

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Журнал заснований у 1918 році

**ВЧЕНІ ЗАПИСКИ
ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Серія: Технічні науки

Том 32 (71) № 2 2021

Частина 2



Видавничий дім
«Гельветика»
2021

Головний редактор:

Кисельов Володимир Борисович – доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту муніципального управління та міського господарства Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського.

Члени редакційної колегії:

Медведєв Микола Георгійович (відповідальний секретар) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Бронін Сергій Вадимович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних систем та технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

Домніч Володимир Іванович – кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Дехтяр Анатолій Соломонович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри архітектурних конструкцій Національної академії образотворчого мистецтва і архітектури;

Дичко Аліна Олегівна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерної екології Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Дубко Валерій Олексійович – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри вищої математики Київського національного університету технологій та дизайну;

Єремєєв Ігор Семенович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Лисенко Олександр Іванович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри телекомунікацій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Огородник Станіслав Станіславович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Сегай Олександр Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Чумаченко Сергій Миколайович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри інформаційних систем Національного університету харчових технологій;

Цомко Олена – доктор філософії по спеціальності «Безпека і управління інформацією», відділення комп'ютерної інженерії, Інститут Міжнародної освіти, Університет Донгсо, Республіка Корея.

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

**Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet
Вченою радою Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського
(протокол № 8 від 22.04.2021 року)**

Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки» зареєстровано Міністерством юстиції України (Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого ЗМІ серія КВ № 22895-12795Р від 11.08.2017 року)

Журнал включено до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б») з технічних наук (спеціальності: 144. Теплоенергетика, 161. Хімічні технології та інженерія, 172. Телекомунікації та радіотехніка) відповідно до Наказу МОН України від 17.03.2020 № 409 (додаток 1), 121. Інженерія програмного забезпечення, 123. Комп'ютерна інженерія, 126. Інформаційні системи та технології, 151. Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 275. Транспортні технології (за видами) відповідно до Наказу МОН України від 02.07.2020 № 886 (додаток 4)

Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International (Республіка Польща)

Сторінка журналу: www.tech.vernadskyjournals.in.ua

ISSN 2663-5941 (Print)

ISSN 2663-595X (Online)

© Таврійський національний університет ім. В.І. Вернадського, 2021

ЗМІСТ

ПРИЛАДИ

Альховик О.В. ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ТВЕРДОМІРІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ПІД ЧАС ВИГОТОВЛЕННЯ СПЕЦТЕХНІКИ.....	1
Кузьменко Т.М. ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ДЕТАЛЕЙ ТОЧНОЇ МЕХАНІКИ У ВИПРОБУВАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРІЯХ.....	7
Цапенко В.В., Терещенко М.Ф., Іваненко Р.О. БІОМЕХАНІЧНИЙ МЕТОД ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ОРТЕЗІВ СТОПИ.....	13

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

Гарист А.В. АНАЛІЗ ЗАХИЩЕНОСТІ МЕРЕЖ СТІЛЬНИКОВИХ ОПЕРАТОРІВ ІЗ ПРОТОКОЛОМ БЕЗПЕКИ SS7.....	20
Романюк В.А., Лисенко О.І., Романюк А.В., Новіков В.І., Гуйда О.Г. МЕТОД ЗБОРУ ІНФОРМАЦІЇ З ВУЗЛІВ БЕЗПРОВОДОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АДАПТИВНИХ ЛІТАЮЧИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ РОБОТІВ.....	25

ЕНЕРГЕТИКА

Баранюк О.В., Воробйов М.В. МОДЕЛЮВАННЯ ТЕЧІЇ І ТЕПЛООБМІНУ В ТРУБАХ ІЗ ТУРБУЛІЗАТОРАМИ У ВИГЛЯДІ СКРУЧЕНИХ СТРІЧОК.....	36
Беляновська О.А., Сухий К.М., Литовченко Р.Д., Суха І.В., Сергієнко Я.О. ТЕРМІЧНІ МАСИ АДСОРБЦІЙНИХ ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧИХ ПРИСТРОЇВ НА ОСНОВІ КОМПОЗИТИВ «СИЛКАГЕЛЬ – НАТРІЙ СУЛЬФАТ» ТА «СИЛКАГЕЛЬ – НАТРІЙ АЦЕТАТ».....	44
Буданов П.Ф., Бровко К.Ю., Жуков С.Ф., Хом'як Е.А. РОЗРОБКА МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ОБОЛОНКИ ТВЕЛ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА.....	49
Бунько В.Я., Христенко Г.М. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ГЕЛІОКОЛЕКТОРА.....	55
Васюченко П.В., Волков І.І., Крохмаль Д.Ю. ОСОБЛИВОСТІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ У СЕРЕДОВИЩЕ MATLAB.....	61
Кулик М.П. ПЕРСПЕКТИВИ БЕЗПЕЧНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ОБ'ЄДНАНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ.....	67
Олійник Ю.С., Лазарчук Л.М., Сук І.В. НОВІ ТЕНДЕНЦІЇ В ЕНЕРГЕТИЦІ.....	74

РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

Петльований М.В., Сай К.С. КОМПЛЕКСНИЙ ВПЛИВ ГЕОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА СТІЙКІСТЬ МАСИВУ ПРИ ПІДЗЕМНОМУ ВИДОБУТКУ ЗАЛІЗНИХ РУД.....	79
---	----

Слободянюк В.К., Максимов І.І. ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЦИКЛІЧНО-ПОТОКОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ В ГЛИБОКИХ КАР'ЄРАХ.....	88
--	----

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Воробйова В.І., Васильєв Г.С., Пилипенко І.В., Скиба М.І. КОМПОЗИТ НА ОСНОВІ КАОЛІНУ ТА НАНОЧАСТИНОК СРІБЛА, СИНТЕЗОВАНИХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВІДХОДІВ ПЕРЕРОБКИ ВИНОГРАДУ.....	99
Кричковська Л.В., Лисак П.Ю., Бобро М.А., Дубоносов В.Л. РОЗРОБКА РІСТСТИМУЛЮЮЧИХ ПРЕПАРАТІВ НА ОСНОВІ БІОТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИРОВИНИ.....	107
Майзеліс А.О. ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ФОРМУВАННЯ МУЛЬТИШАРОВИХ ПОКРИТТІВ [(Cu-Zn) _{газ} /(Cu-Zn) _{дол}] _n ДВОІМПУЛЬСНИМ ПОТЕНЦІОСТАТИЧНИМ МЕТОДОМ.....	112
Ущановський Д.Ю., Васильєв Г.С., Воробйова В.І., Лінючев О.Г. ХІМІЧНЕ ТА ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ІМПРЕГНУВАННЯ ШОВНОГО МАТЕРІАЛУ НАНОЧАСТКАМИ СРІБЛА СИНТЕЗОВАНИМИ НА ОСНОВІ РОСЛИННОГО ЕКСТРАКТУ.....	118

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Бажай-Жежерун С.А., Береза-Кіндзерська Л.В., Тогачинська О.В. ПІДВИЩЕННЯ ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ ХЛІБА ШЛЯХОМ ЗБАГАЧЕННЯ ЙОГО РОСЛИННОЮ БІЛКОВОВМІСНОЮ СИРОВИНОЮ.....	125
Геліх А.О., Янь Жуй РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ У ПРОЦЕСІ ЗБЕРІГАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЙОГУРТУ З НАТУРАЛЬНИМ НАПОВНЮВАЧЕМ.....	131
Любич В.В., Желзна В.В. ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕРНА ТРИТИКАЛЕ У ТЕХНОЛОГІЇ КОМБІКОРМІВ ДЛЯ ГОДІВЛІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТВАРИН.....	137
Nan Haijuan, Li Bo, Stepanova T.M. RELEVANCE OF CULTIVATED MUSHROOMS USAGE IN FOOD AND PERSPECTIVES IN SAUSAGE PROCESSING.....	142

ТРАНСПОРТ

Akmaldinova V.Ye., Volkovska G.G. AIRCRAFT FLEET OPERATION EFFICIENCY: COMPARATIVE ANALYSIS.....	148
Valko A.M., Suvorova N.O. RESEARCH OF THE ROLE OF HANDLING COMPANIES IN PROVIDING SERVICES AT THE AIRPORT.....	153
Volkovska G.G., Akmaldinova V.Ye. METHODICAL PRINCIPLES OF FORECASTING AIR CARGO FLOWS.....	161
Даки О.А., Урум Н.С., Рященко О.І., Бабере О.С. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОСЕРНИСТИХ ПАЛИВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ.....	167
Кириченко Г.І., Бердниченко Ю.А., Стрелко О.Г., Белінський Д.І. ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ПІД ЧАС ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ.....	174
Kozminykh M.A., Zadorozhnyi V.A. FEATURES OF LNG VAPOR TREATMENT ON A GAS CARRIER.....	180

Круглий Д.Г., Дружинін О.О. ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО ФОРМУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ МОРСЬКИХ ТА РІЧКОВИХ ПОТОКІВ УКРАЇНИ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ.....	187
Мединський Д.В., Шевченко Ю.В. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ЗАХОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОТИ ЗАПОБІГАННЯ SARS-COV-2 НА ПРИКЛАДІ АВІАЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З КРАЇНОЮ, ВІЛЬНОЮ ВІД ВИПАДКІВ COVID-19.....	193
Підгорний М.В., Лук'янченко О.Ю. ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЯК КОМПЛЕКСУ ЗАВДАНЬ ПРОГРАМУВАННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПІДПРИЄМСТВА.....	200
Прокудін Г.С., Єрко Я.В., Редіч Ю.А. РОЗВ'ЯЗАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ ПРО НАЙКОРОТШИЙ ШЛЯХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....	206
Прокудін Г.С., Редіч Ю.А., Єрко Я.В. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ МІЖНАРОДНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ.....	212
Савченко В.М., Міненко С.В., Савченко Л.Г. ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЇ ТА ЕКОЛОГІЧНА ПОЛІТИКА ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ АВТОТРАНСПОРТУ.....	216
Суворова Н.О., Валько А.М. ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ЗАСТОСУВАННЯ ГІС У ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ.....	223
Хаврук В.О. ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПАРАМЕТРИ ЗОНИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ В АТП.....	230
БУДІВНИЦТВО	
Стріжельчик Г.Г., Бондаренко О.І., Табачников С.В., Найдьонова В.Є., Кулішов С.В. ОСОБЛИВОСТІ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ БУДІВНИЦТВА КАНАТНОЇ ДОРОГИ У ПРИМОРСЬКОМУ РАЙОНІ М. МАРІУПОЛЬ.....	237
Чичулін В.П., Чичуліна К.В. ЙМОВІРНІСНИЙ РОЗРАХУНОК ФЛАНЦЕВОГО З'ЄДНАННЯ.....	243
ГЕОДЕЗІЯ	
Арсеньєва Н.О., Фоменко Г.Р. СУЧАСНІ ГЕОДЕЗИЧНІ ПРИЛАДИ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬ ПІД ЧАС БУДІВНИЦТВА, РЕКОНСТРУКЦІЇ ТА РЕМОНТНИХ РОБІТ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ.....	248
Винограденко С.О. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАНДЕМІЇ COVID-19 НА ЗЕМЕЛЬНІ РЕСУРСИ ЧЕРЕЗ ЕЛЕКТРОННИЙ ТРЕКІНГ ТА АНАЛІЗ КОНТЕНТУ ГЛОБАЛЬНИХ МЕРЕЖ.....	254
Скляр Ю.Л., Капінос Н.О., Бузіна І.М. СУЧАСНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ СТАЛИХ АГРОЛАНДШАФТІВ.....	261
ЕЛЕКТРОНІКА	
Луцко Л.І. ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МІКРОСХЕМ У КОРПУСАХ VGA.....	268

Озерчук І.М.	
ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ СИЛОВОГО БАГАТОФАЗНОГО ІМПУЛЬСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА НА БАЗІ БПЛА.....	274
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....	281

CONTENTS

EQUIPMENT

Alkhovyk O.V.

APPLICATION OF ELECTRONIC HARDNESS MEASURING INSTRUMENTS
TO IMPROVE QUALITY AND RELIABILITY WHEN PRODUCING SPECIAL EQUIPMENT.....1

Kuzmenko T.M.

EVALUATION OF UNCERTAINTY OF MEASUREMENTS OF LINEAR DIMENSIONS
WHEN MEASURING DETAILS OF PRECE MECHANICS IN TESTING LABORATORIES.....7

Tsapenko V.V., Tereshchenko M.F., Ivanenko R.O.

BIOMECHANICAL METHOD FOR EVALUATING THE EFFICIENCY
OF USING INDIVIDUAL FOOT BRACES.....13

RADIO ENGINEERING AND TELECOMMUNICATIONS

Haryst A.V.

ANALYSIS OF THE SECURITY OF NETWORKS OF CELLULAR OPERATORS
WITH A SECURITY PROTOCOL SS7.....20

Romaniuk V.A., Lysenko O.I., Romaniuk A.V., Novikov V.I., Guida O.H.

METHODS OF GATHERING INFORMATION FROM A NODE OF WIRELESS
SENSOR NETWORKS WITH INTELLIGENT ADAPTIVE INFORMATION
AND TELECOMMUNICATION FLYING ROBOT.....25

POWER ENGINEERING

Baranyuk A.V., Vorobiov M.V.

SIMULATION OF FLOW AND HEAT EXCHANGE IN TUBES WITH TURBULIZERS
IN THE FORM OF TWISTED TAPES.....36

Belyanovskaya E.A., Sukhyy K.M., Lytovchenko R.D., Sukha I.V., Serhiienko Ya.O.

THERMAL MASSES OF ADSORPTIVE HEAT STORAGE DEVICES BASED ON COMPOSITES
“SILICA GEL – SODIUM SULPHATE” AND “SILICA GEL – SODIUM ACETATE”.....44

Budanov P.F., Brovko K.Yu., Zhukov S.F., Khomiak E.A.

IMPROVEMENT OF FUEL ELEMENT SHELL CONTROL METHODS
TO INCREASE NUCLEAR REACTOR SAFETY.....49

Bunko V.Ya., Khrystenko H.M.

STUDY OF THE EFFICIENCY OF THE HELIOCOLLECTOR.....55

Vasiuchenko P.V., Volkov I.I., Krokhnal D.Yu.

FEATURES OF MATHEMATICAL MODELING OF BATTERIES
IN THE MATLAB ENVIRONMENT.....61

Kulyk M.P.

PROSPECTS OF SAFE FUNCTIONING OF THE UNIFIED POWER SYSTEM OF UKRAINE.....67

Oliinyk Yu.S., Lazarchuk L.M., Suk I.V.

EMERGING TRENDS IN ENERGY.....74

RESOURCE DEVELOPMENT

Petlovanyi M.V., Sai K.S.

COMPLEX INFLUENCE OF GEOLOGICAL FACTORS ON THE MASSIF STABILITY
DURING UNDERGROUND MINING OF IRON ORES.....79

Slobodianiuk V.K., Maksymov I.I. DETERMINATION OF OPTIMAL PARAMETERS OF CYCLIC-FLOW TECHNOLOGY IN DEEP OPEN MINES.....	88
---	----

CHEMICAL TECHNOLOGY

Vorobyova V.I., Vasyliiev G.S., Pylypenko I.V., Skiba M.I. COMPOSITE BASED ON KAOLIN AND SILVER NANOPARTICLES SYNTHESIZED USING GRAPE PROCESSING WASTE.....	99
Krychkovska L.V., Lysak P.Yu., Bobro M.A., Dubonosov V.L. DEVELOPMENT OF GROWTH STIMULANTS BASED ON BIOTECHNOLOGICAL RAW MATERIALS.....	107
Maizelis A.O. ELECTROCHEMICAL FORMATION OF $[(\text{Cu-Zn})_{\text{base}}/(\text{Cu-Zn})_{\text{add}}]_n$ MULTILAYER COATINGS BY TWO-PULSE POTENTIOSTATIC MODE.....	112
Ushchapovskiy D.Yu., Vasyliiev G.S., Vorobyova V.I., Linyuchev O.G. CHEMICAL AND ELECTROCHEMICAL IMPREGNATION OF SUTURE MATERIAL WITH SILVER NANOPARTICLES SYNTHESIZED ON THE BASIS OF PLANT EXTRACTS.....	118

TECHNOLOGY OF FOOD PROCESSING AND CONSUMER GOODS INDUSTRY

Bazhay-Zhezherun S.A., Bereza-Kindzerska L.V., Togachynska O.V. ENHANCEMENT OF BREAD NUTRITIONAL VALUE BY ITS ENRICHMENT WITH VEGETABLE PROTEIN-CONTAINING RAW MATERIALS.....	125
Helikh A.O., Yang Rui DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY AND RESEARCH IN THE PROCESS OF PRESERVATION OF QUALITY INDICATORS OF YOGHURT WITH NATURAL FILLER.....	131
Liubych V.V., Zheliezna V.V. RATIONALE FOR THE USE OF TRITICALE GRAIN IN COMPOUND FOOD TECHNOLOGY FOR AGRICULTURAL ANIMALS FEEDING.....	137
Nan Haijuan, Li Bo, Stepanova T.M. RELEVANCE OF CULTIVATED MUSHROOMS USAGE IN FOOD AND PERSPECTIVES IN SAUSAGE PROCESSING.....	142

TRANSPORT

Akmaldinova V.Ye., Volkovska G.G. AIRCRAFT FLEET OPERATION EFFICIENCY: COMPARATIVE ANALYSIS.....	148
Valko A.M., Suvorova N.O. RESEARCH OF THE ROLE OF HANDLING COMPANIES IN PROVIDING SERVICES AT THE AIRPORT.....	153
Volkovska G.G., Akmaldinova V.Ye. METHODICAL PRINCIPLES OF FORECASTING AIR CARGO FLOWS.....	161
Daki O.A., Urum N.S., Riashchenko O.I., Babere O.S. FEATURES OF USING LOW-SULFUR FUELS TO IMPROVE THE ENVIRONMENTALITY OF MARINE DIESELS.....	167
Kyrychenko H.I., Berdnychenko Yu.A., Strelko O.H., Belinskyi D.I. PRACTICAL ASPECTS OF THE USE OF FREIGHT CARS FOR TRANSPORTATION OF GOODS IN THE INTERNATIONAL TRANSPORTATION.....	174

Kozminykh M.A., Zadorozhnyi V.A. FEATURES OF LNG VAPOR TREATMENT ON A GAS CARRIER.....	180
Kruhlyi D.H., Druzhynin O.O. INNOVATIVE APPROACH TO THE FORMATION OF TRANSPORT SEA AND RIVER FLOWS OF UKRAINE IN EMERGENCY SITUATIONS.....	187
Medynskyi D.V., Shevchenko Yu.V. SIMULATION OF MODELING THE ASSESSMENT OF THE IMPACT OF SECURITY MEASURES AGAINST THE PREVENTION OF SARS-COV-2 ON THE EXAMPLE OF AIR SECURITY WITH A COUNTRY FREE OF CASES COVID-19.....	193
Pidhornyy M.V., Lukianchenko O.Yu. INFORMATIZATION OF LOGISTIC PROCESSES AS A COMPLEX TASK OF PROGRAMMING A LIFE CYCLE OF THE MOTOR TRANSPORT ENTERPRISE.....	200
Prokudin G.S., Yerko Ya.V., Redich Yu.A. SOLVING THE TRANSPORT PROBLEM OF THE SHORTEST PATH USING INFORMATION TECHNOLOGY.....	206
Prokudin H.S., Redich Yu.A., Yerko Ya.V. INCREASING THE EFFICIENCY OF THE ORGANIZATION OF INTERNATIONAL FREIGHT TRANSPORTATION OF SUNFLOWER OIL.....	212
Savchenko V.M., Minenko S.V., Savchenko L.G. ISSUES OF ECOLOGY AND ECOLOGICAL POLICY OF VEHICLE TECHNICAL SERVICE COMPANIES.....	216
Suvorova N.O., Valko A.M. RESEARCH OF MODERN APPROACHES TO THE APPLICATION OF GIS IN TRANSPORT SYSTEMS.....	223
Khavruk V.O. FACTORS AFFECTING PARAMETERS CAR MAINTENANCE ZONES IN A TRANSPORTATION COMPANY.....	230
CONSTRUCTION	
Strizhelchik G.G., Bondarenko O.I., Tabachnikov S.V., Naidonova V.E., Kulishov S.V. PECULIARITIES OF ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONDITIONS OF CABLE ROAD CONSTRUCTION IN THE PRIMORSK DISTRICT OF MARIUPOL.....	237
Chichulin V.P., Chichulina K.V. PROBABILITY CALCULATION OF FLANGE CONNECTION.....	243
GEODESY	
Arsenieva N.O., Fomenko G.R. MODERN GEODETIC INSTRUMENTS THAT ARE USED IN THE CONSTRUCTION, RECONSTRUCTION AND REPAIR WORK OF HIGHWAYS.....	248
Vynohradenko S.O. STUDE OF THE IMPACT OF THE PANDEMIC COVID-19 ON LAND RESOURCES BY E-TRACKING AND ANALYSIS OF SOCIAL MEDIA CONTENT.....	254
Skliar Yu.L., Kapinos N.O., Buzina I.M. MODERN RESEARCH METHODS FOR FORMATION OF SUSTAINABLE AGROLANDSCAPES.....	261

ELECTRONICS

Lutsko L.I.
THE FEATURES OF PCB DESIGN WITH THE BGA-CASE CHIPS USAGE.....268

Ozerchuk I.M.
PROSPECTS FOR THE USE OF POWER MULTIPHASE PULSE CONVERTER
BASED ON UAVS.....274

INFORMATION ABOUT AUTHORS..... 281

ПРИЛАДИ

УДК 620.178.1

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/01>

Альховик О.В.

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз
Служби безпеки України

ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ТВЕРДОМІРІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ПІД ЧАС ВИГОТОВЛЕННЯ СПЕЦТЕХНІКИ

В статті проаналізовано застосування електронних портативних твердомірів з програмним забезпеченням на виробництві та в польових умовах для забезпечення високої надійності та терміну експлуатації спецтехніки.

Розглянуті методи і засоби визначення показників фізико-механічних властивостей матеріалів, в першу чергу твердості матеріалу, від якої залежить якість, надійність, експлуатаційні властивості, ресурс та безпека спецтехніки, яку виробляють підприємства.

Описані прямі (класичні методи визначення показників твердості по Брінеллю, Роквеллу, Шору, Віккерсу, Супер-Роквеллу) та непрямі методи (динамічний і ультразвуковий).

Для визначення показників твердості прямими методами застосовують стаціонарні установки. Вимірювання показників твердості за допомогою стаціонарних установок потребує великих затрат часу. Стаціонарні установки мають обмеження під час застосування по вазі та розмірах виробів, які підлягають випробуванням, наявність доволі великого відтиску на поверхні виробу та відсутність мобільності.

Динамічні твердоміри, в яких використовується метод відскоку (метод Ліба), рекомендовані до використання для визначення твердості виробів з вагою не менше ніж 5 кг та товщиною стінки не менше ніж 6 мм.

Ультразвукові твердоміри, в яких визначення твердості ґрунтується на зміні резонансної частоти коливань металевого стержня із закріпленою на кінці алмазною пірамідкою Віккерса під час контакту останньої з поверхнею виробу. Ультразвукові твердоміри практично не мають обмежень під час застосування.

Динамічні і ультразвукові твердоміри доповнюють один одного, тому існують комбіновані твердоміри, які дозволяють проводити визначення твердості великого сортаменту виробів та марок матеріалів одним комбінованим приладом.

На підставі проведеного аналізу визначено, що для виготовлення якісної та надійної спецтехніки необхідно проведення контролю фізико-технічних характеристик елементів виробів, в тому числі визначення показників твердості елементів виробів з застосуванням динамічних, ультразвукових та комбінованих портативних електронних твердомірів.

Ключові слова: твердість, метод визначення твердості, твердомір, якість, надійність, спецтехніка.

Постановка проблеми. Твердість – здатність матеріалу чинити опір проникненню в його поверхневі шари іншого, твердішого тіла. Показник твердості визначає: можливість обробки матеріалу свердлінням, різанням, шліфуванням; стійкість проти спрацювання матеріалу; здатність обробляти інші матеріали.

На цей час визначення показників твердості матеріалів здійснюється за допомогою двох методів: прямих та непрямих. Прямі методи – це

класичні методи визначення показників твердості матеріалів по Брінеллю, Роквеллу, Шору, Віккерсу, Супер-Роквеллу [5; 9; 10]. Твердість металів та інших матеріалів оцінюється в одиницях твердості. Визначення показників твердості прямими методами ґрунтується на здатності матеріалу чинити опір проникненню іншого, твердішого тіла – індентора. Індентор – це накісничок приладу, який виготовляють з алмазу, карбиду вольфраму або гартованої сталі чи твер-

дого сплаву та який має визначену форму: кулька, конус, піраміда.

Прилади для визначення показників твердості прямими методами – це стаціонарні установки, в яких до індентора, що вдавлюється в поверхню зразка, який підлягає випробуванню, прикладається визначене навантаження. Навантаження може прикладатися в ручному або автоматичному режимі. На початку випробувань до індентора прикладається невелике навантаження для перевірки правильності його встановлення, а потім прикладається розрахункове навантаження. Після прикладання навантаження на поверхні зразка залишається відтиск, по формі і глибині якого визначається твердість матеріалів.

До недоліків стаціонарних твердомірів варто віднести: відсутність мобільності; обмеження по вазі та розмірах виробів, які підлягають випробуванню; наявність доволі великого відтиску на поверхні виробу; великі затрати часу на визначення показників твердості.

У наукових дослідженнях та на виробництві застосовують також непрямі методи визначення показників твердості – ультразвуковий і динамічний. Ці методи визначають показники твердості матеріалів в залежності від інших фізико-механічних характеристик матеріалів, що підлягають дослідженням.

У цій роботі проаналізовані методи і засоби для визначення твердості матеріалів та необхідність застосування електронних твердомірів з програмним забезпеченням для підвищення якості, надійності та збільшення терміну експлуатації спецтехніки, саме тому тема цієї роботи є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливим етапом під час виготовлення та експлуатації спецтехніки є контроль якості продукції. На якість і надійність техніки великий вплив мають фізико-механічні властивості матеріалів і виробів, передусім твердість матеріалів, від якої залежать ресурс роботи і експлуатаційні властивості спецтехніки. Першим визначенням твердості матеріалів почав займатися в 1722 р. французький природознавець Реомюр Рене Антуан, його справу продовжив німецький мінеролог Моос. Шкала Мооса виявилася дуже вдалою і використовується в мінералогії до цього часу [3, с. 102]. В XX ст. проблемами твердості матеріалів займалися вчені Брінелль, Роквелл, Віккерс та інші.

Науковими дослідженнями твердості матеріалів в наш час займаються професори ХНАДУ к.т.н. В.І. Мошенко, д.т.н. Ю.В. Батигін та інші вітчизняні та зарубіжні вчені. В їхніх працях опи-

сані класифікація методів визначення твердості матеріалів та сфери застосування цих методів [1, с. 129–132]. Попри велику кількість публікацій, майже у всіх публікаціях описані прямі методи визначення твердості на стаціонарних установках, але мало уваги приділяється портативним електронним твердомірам з програмним забезпеченням, за допомогою яких визначають показники твердості матеріалів та виробів непрямыми методами, тому існує необхідність у подальших дослідженнях сфери застосування цих приладів.

Постановка завдання. Метою статті є аналіз сфер застосування електронних твердомірів з програмним забезпеченням для підвищення надійності та якості спецтехніки за різних умов – на промислових підприємствах, під час випробувань і в польових умовах.

Викладення основного матеріалу дослідження. На цей час використовуються твердоміри, призначені для визначення твердості виробів, виготовлених із сталі, сплавів, чавуну, кольорових металів, пластмаси, гуми, інших матеріалів та зварних з'єднань, за шкалами Брінелля (НВ), Роквелла (HRB, HRC), Віккерса (HV), Шора "D" (HSD) [4, с. 119–125].

Способи визначення твердості залежно від характеру прикладання навантаження і вимірювання опору вдавлення індентора поділяють на статичні, динамічні і кінетичні. Найбільш поширені статичні методи, за яких навантаження до індентора прикладають плавно і поступово, а час витримки під навантаженням регламентується згідно зі стандартами на відповідні методи. Кінетичні методи визначення твердості ґрунтуються на безперервній реєстрації процесу вдавлення індентора з записом діаграми «навантаження на індентор – глибина вдавлення індентора». Особливість такого підходу основана на реєстрації процесу пружно-пластичного деформування матеріалу під час вдавлення індентора. Під час динамічних методів визначення твердості індентор діє на виріб з певною кінетичною енергією, яка витрачається на пружну віддачу виробу і формування відбитка.

У цій статті розглядаємо ручні портативні електронні прилади, які почали використовуватися останнім часом через свою доступність, достатню точність вимірювання, мобільність, універсальність та невисоку вартість. Завдяки розробці та серійному виробництву портативних твердомірів контроль твердості став доступний не лише в наукових лабораторіях і на промислових підприємствах, а також в польових умовах.

На цей час застосовуються два способи визначення твердості, які використовуються в портативних електронних приладах з програмним забезпеченням – динамічний і ультразвуковий.

Динамічний метод (метод відскоку, метод Ліба) регламентується ASTM A956-02 “Standard Test Method for Leeb Hardness Testing of Steel Products” [11]. Визначення твердості за цим методом проводиться шляхом вимірювання швидкості відскоку твёрдосплавної кульки. Швидкість відскоку кульки залежить від твердості поверхні зіткнення. Швидкість падіння-відскоку визначається за допомогою вимірювання ЕРС, що наводиться в котушці індуктивності постійним магнітом, закріпленим на бійку з твёрдосплавною кулькою. Порівняння цих швидкостей і є величиною твердості за шкалою Ліба (HL), яка на практиці не застосовується. Прилади автоматично перекладають та показують значення твердості по одній з розповсюджених шкал твердості: Роквелла; Брінелля; Віккерса; Шора.

Динамічні твёрдоміри рекомендовані для використання під час визначення твердості виробів з вагою, не меншою 5 кг, та товщиною стінки, не меншою 6 мм. Обмеження викликані необхідністю запобігання виникненню пружних коливань в тілі виробу, які призводять до додаткових непередбачуваних похибок.

Динамічний метод застосовується для виробів із значними габаритними розмірами, кованих виробів, литих деталей та деталей зі складною конфігурацією. Глибина відбитка за динамічного методу – 300–500 мкм, що свідчить про непридатність цього методу для визначення твердості поверхневого зміцненого шару, тому що в цьому разі прилад показує середнє значення твердості, яке враховує твердість поверхневого шару і твердість основного металу. Динамічний твёрдомір чутливий до положення датчика приладу в просторі. Датчик приладу повинен бути встановлений по нормалі до поверхні виробу; відхилення від нормалі призводить до завищення результату визначення твердості.

Твёрдоміри, в яких реалізований динамічний метод вимірювання, – NOVOTEST T-Д1 і T-Д2, та аналогічні прилади інших виробників.

Ультразвуковий метод регламентується ASTM A1038-10a “Standard Test Method for Portable Hardness Testing by the Ultrasonic Contact Impedance Method” [12]. Метод заснований на зміні резонансної частоти коливань металевого стержня із закріпленою на кінці алмазною пірамідкою Віккерса під час контакту пірамідки з поверхнею виробу.

На металевий стрижень (резонатор) за допомогою п’єзоелектричного перетворювача подаються коливання ультразвукової частоти. На протилежному кінці стрижня закріплена алмазна пірамідка Віккерса, яка контактує з металом. Залежно від твердості виробу пірамідка під час прикладення фіксованого навантаження вдавлюється на різну глибину і має різну площу контакту з металом. Під час контакту з металом в стрижні відбувається згасання частоти коливань. Швидкість затухання коливань залежить від площі контактної поверхні – із збільшенням площі контактної поверхні збільшується швидкість затухання коливань. Прилад фіксує зміну частоти коливань і автоматично переводить її в значення твердості за шкалою, по якій відкалібрований прилад.

Ультразвуковий метод вимірювань твердості майже не має обмежень під час застосування. Мінімальні допустимі значення ваги і товщини стінок контрольованих виробів умовні. Виріб повинен мати ділянку з площею, достатньою для контакту з пірамідкою (індентором). Притискання стрижня до виробу з зусиллям 5 кгс триває близько секунди.

Ультразвуковий метод найбільш придатний для застосування під час контролю твердості зміцнених поверхневих шарів виробів, тому що глибина проникнення індентора знаходиться в межах 30–50 мкм. Твёрдомір чутливий до положення датчика в просторі, тому необхідно встановлювати датчик по нормалі до поверхні виробу.

Головний недолік методу – обмежене застосування на грубозернистих структурах. Ультразвуковий метод, зважаючи на малу площу контакту, чутливий до розміру зерен матеріалу і призводить до додаткової похибки, яка залежить від різниці властивостей зерен сплавів, меж зерен і фаз компонентів. За допомогою ультразвукового методу можна визначати показники твердості різноманітних виробів. Це вироби різних форм і конструкцій з виступаючими елементами і важкодоступними місцями.

Твёрдоміри, в яких використовується ультразвуковий метод вимірювання, – NOVOTEST T-У1 і T-У2, та аналогічні інших виробників.

Динамічний і ультразвуковий методи, враховуючи їх рекомендовані сфери застосування, доповнюють один одного і дозволяють проводити визначення твердості великого сортаменту виробів та марок матеріалів.

Під час визначення твердості матеріалів динамічними та ультразвуковими методами необхідна попередня підготовка поверхні виробів, які під-

лягають контролю: видалення окалини, іржі, масил, бруду, фарби та інших забруднень. Рекомендовані значення шорсткості поверхні виробів для динамічного методу – не менше Ra 3,2, а для ультразвукового – не менше Ra 2,5.

Динамічний та ультразвуковий методи чутливі до модуля пружності матеріалу (модуля Юнга). Якщо прилад відкалібрований на конкретному матеріалі з певним значенням модуля пружності (звичайно – низьковуглецева сталь), то під час застосування його на матеріалі з іншим значенням модуля пружності визначений показник твердості матеріалу буде некоректним. Для забезпечення необхідної точності визначення твердості проводиться калібрування приладу на зразках матеріалу з відомою твердістю. Зразки матеріалу не повинні бути магнітними, рекомендовано після виготовлення зразків їх розмагнітити [7].

Твердоміри, які дозволяють проводити вимірювання двома методами (динамічним і ультразвуковим), називаються комбінованими, вони оснащені двома датчиками і двома пакетами програмного забезпечення. Такі твердоміри надають можливість вирішити максимальну кількість завдань визначення твердості одним приладом.

Твердоміри, в яких використовуються динамічні та ультразвукові методи, – NOVOTEST T-УД1 і T-УД2 та аналогічні інших виробників.

Електронні твердоміри з програмним забезпеченням (динамічні, ультразвукові та комбіновані) автоматично визначають середнє значення результатів вимірювань, його введення в буфер пам'яті приладу, вивід з нього на дисплей приладу або на комп'ютер зі збереженням у вигляді файлу. Незалежна пам'ять електронних твердомірів запрограмована не менше ніж на десять шкал твердості, а також допускає можливість програмування (калібрування) шкали твердості приладу з його клавіатури або з комп'ютера [2, с. 15–147].

В електронних твердомірах передбачена функція підсвічування дисплея, що забезпечує стійку роботу приладу в неосвітлених місцях. Електронні твердоміри придатні для використання за низьких (до мінус 15°C) температурах повітря. Дисплей приладу дозволяє відстежувати дії спеціаліста під час роботи (визначення середнього значення показників твердості, архівування даних, відображення положення датчиків, калібрування приладу по визначеній шкалі твердості, включення підсвічування, стан акумуляторів живлення).

Наявність спеціальних датчиків різного призначення, в тому числі спеціального датчика з подовженою насадкою, дозволяє вимірювати

твердість шестерень, шківів, пазів під шпонки, в важкодоступних місцях виробів, зон термічного впливу біля зварних валиків на виробках.

Корпуси електронних твердомірів виготовляються в протиударному, вологостійкому виконанні. В багатьох марках твердомірів є вбудовані фотокамери для фіксації процесів визначення твердості з зазначенням часу та дати проведення вимірів.

Під час роботи з ручними приладами на результати визначення твердості також впливає людський фактор. Для успішної роботи з приладом спеціаліст повинен «набити руку», пристосуватися, відчути роботу датчика – це досягається після декількох годин навчання.

Для отримання точних результатів вимірювань рекомендується проводити ряд вимірів – достатня кількість 5–8 раз, з подальшим автоматичним визначенням середнього результату вимірів. Під час визначення середнього результату необхідно відкидати явно некоректні (завищені або занижені) значення твердості; поява таких значень зумовлена непрямыми методами вимірювання. На швидкість відскоку кульки або зміну частоти коливань резонатора можуть, крім твердості матеріалу, вплинути тремтіння рук, переміщення об'єкта контролю, похитування датчика, чистота поверхні та її шорсткість, а для ультразвукового датчика – занадто коротке або занадто тривале прикладення навантаження до вимірювального датчика; занадто слабе або занадто сильне притиснення датчика до об'єкта контролю; низька напруга елементів живлення (за умови їх виснаження). У разі правильного використання за допомогою ручних електронних твердомірів можна досягти точності вимірювань, яка майже не відрізняється (відхилення $\pm 3\%$) від результатів вимірювань стаціонарними твердомірами.

Вага та габаритні розміри електронних твердомірів і швидкість вимірювань роблять їх незамінними інструментами під час проведення експрес-аналізів твердості в виробничих та польових умовах. Автономність роботи вказаних приладів забезпечується за допомогою акумуляторів типу АА.

Портативні електронні твердоміри надають можливість проводити вимірювання твердості за різними шкалами твердості: Роквелла; Брінелля; Віккерса; Шора. Калібрування електронних твердомірів з програмним забезпеченням із використанням зразка матеріалу з відомим значенням твердості повинно проводитися досвідченим спеціалістом. Проведення калібрування проводиться

за допомогою введення з клавіатури електронних твердомірів необхідних даних. Час калібрування приладу не перевищує 5 хвилин.

Висновки. Застосування електронних портативних твердомірів з програмним забезпеченням на виробництві та в польових умовах надає можливість оперативно контролювати фізико-технічні характеристики (твердість) вихідних матеріалів і виробів, що впливає на якість виробів. Зазначені прилади дозволяють проводити вимірювання твердості поверхневого шару металів, які пройшли поверхневу обробку: напилювання, наплавлення, механічну, термічну та інші види обробок. Такий контроль твердості неможливий за допомогою твердомірів стаціо-

нарного типу. Електронні твердоміри дозволяють проводити вимірювання твердості великогабаритних виробів та в важкодоступних зонах виробів; проводити експрес-аналіз твердості з високою продуктивністю – для одного виміру твердості потрібно майже в 10 разів менше часу, ніж для твердомірів стаціонарного типу. З підвищенням якості виробів збільшується також їхня надійність, термін експлуатації і покращуються робочі техніко-економічні характеристики в процесі експлуатації. Визначення показників твердості з застосуванням електронних твердомірів з програмним забезпеченням повинні виконувати спеціалісти, які пройшли навчання і мають практичні навички роботи.

Список літератури:

1. Мощенок В.І. Сучасна класифікація методів визначення твердості. *Автомобільний транспорт*. № 26, 2010. с. 129–132.
2. Шкурко В.В., Хейфец И.М., Алексеева Т.А. Анализ технических средств и программного обеспечения для управления физико-механическими и геометрическими параметрами качества продукции. *Инновационные технологии в машиностроении. Электронный сборник материалов международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию машиностроительных специальностей и 15-летию научно-технического парка Полоцкого государственного университета* (Новополоцк, 21–22 апреля 2020 г.) под. редакцией чл. корр. НАН Беларуси, д.т.н., проф. В.К. Шелега ; д.т.н., проф. Н.Н. Попок. с. 145–147.
3. Орешко Е.И., Уткин А.А., Ерасов В.С., Ляхов А.А. Методы измерения твердости материалов. *Труды ВИАМ* № 1 2020 (85). с. 101–117.
4. Сергеев А.П., Макаров А.В., Владимиров А.А., Белов Н.В. Анализ методов измерения твердости и перспективы их совершенствования. *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2018. № 10. с. 119–125.
5. ДСТУ EN ISO 6506-1:2019 Матеріали металеві. Випробування на твердість по Брінеллю. Частина 1. Метод випробування (EN ISO 6506-1:2014, IDT; ISO 6506-1:2014, IDT)
6. ДСТУ EN ISO 6506-2:2019 Матеріали металеві. Випробування на твердість по Брінеллю. Частина 2. Перевірення та калібрування випробувальних машин (EN ISO 6506-2:2018, IDT; ISO 6506-2:2017, IDT)
7. ДСТУ EN ISO 6506-3:2017 Матеріали металеві. Вимірювання твердості за шкалою Брінелля. Частина 3. Калібрування еталонних мір твердості (EN ISO 6506-3:2014, IDT; ISO 6506-3:2014, IDT)
8. ДСТУ EN ISO 6506-4:2019 Матеріали металеві. Випробування на твердість по Брінеллю. Частина 4. Таблиця значень твердості (EN ISO 6506-4:2014, IDT; ISO 6506-4:2014, IDT)
9. ДСТУ ISO 6507-1:2007 Матеріали металеві. Визначення твердості за Вікерсом. Частина 1. Метод випробування (ISO 6507-1:2005, IDT)
10. ДСТУ ISO 6508-1:2013 Металеві матеріали. Визначення твердості за Роквеллом. Частина 1. Метод випробування (шкали А, В, С, D, E, F, G, H, K, N, T) (ISO 6508-1:2005, IDT)
11. ASTM A956-02 «Standard Test Method for Leeb Hardness Testing of Steel Products», ASTM International, West Conshohocken, PA, 2002, www.astm.org
12. ASTM A1038-10a «Standard Test Method for Portable Hardness Testing by the Ultrasonic Contact Impedance Method», ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010, www.astm.org

Alkhovyk O.V. APPLICATION OF ELECTRONIC HARDNESS MEASURING INSTRUMENTS TO IMPROVE QUALITY AND RELIABILITY WHEN PRODUCING SPECIAL EQUIPMENT

The use of electronic hardness measuring instruments with software in production and in the field to ensure high reliability and service life of special equipment is analyzed in the article.

The article considers methods and means of determining the indicators of physical and mechanical qualities of materials, first of all the hardness of the material, on which the quality, the reliability, the operational attributes, the resource and the safety of the special equipment which is produced by enterprises depend on.

The article describes direct (Brinell, Rockwell, Shore, Vickers, Super-Rockwell classical methods for determining hardness indicators) and indirect methods (dynamic and hypersonic).

Permanently fixed installations are used to determine hardness indicators by direct methods. Measuring hardness indicators by means of permanently fixed installations requires a lot of time. Permanently fixed installations have limitations when applying on the weight and on the size of the devices which are to be tested, the presence of quite a large imprint on the surface of the device and the lack of mobility.

Dynamic hardness measuring instruments in which the rebound method is used (Leeb method) are recommended for use to determine the hardness of devices weighing at least 5 kg and having the wall thickness of at least 6 mm.

Hypersonic hardness measuring instruments, in which the determination of hardness is based on the change of the resonant oscillations frequency of the metal rod with the fixed Vickers diamond pyramid at the end when the latter is in contact with the surface of the product. Hypersonic hardness measuring instruments have virtually no restrictions on use.

Dynamic and hypersonic hardness measuring instruments reinforce each other, so there are combined hardness measuring instruments which allow determining the hardness of a wide range of devices, products and brands of the materials with one combined device.

It is determined based on the analyses that it is necessary to control the physical and technical characteristics of product elements, including determining the hardness of the product elements using dynamic, hypersonic and combined portable electronic hardness measuring instruments for producing of high-quality and reliable special equipment.

Key words: *hardness, method of hardness determination, hardness measuring instrument, quality, reliability, special equipment.*

Кузьменко Т.М.

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз
Служби безпеки України

ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ДЕТАЛЕЙ ТОЧНОЇ МЕХАНІКИ У ВИПРОБУВАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРІЯХ

Прискорений темп розвитку метрології зумовив новий світогляд щодо засобів вимірювання та процесу контролю геометричних розмірів. Випробувальні лабораторії, оснащені засобами вимірювальної техніки, стурбовані питанням запобігання отриманню недостовірних результатів при постачанні продукції, пов'язаної з вимірюванням. Тобто обладнання, яке застосовується при вимірюванні геометричних (лінійних) розмірів, повинно забезпечувати точність вимірювання (невизначеність вимірювання).

Важливим моментом є те, що при постачанні продукції та наданні послуг необхідно надавати звіти про результати вимірювання зі встановленням їх невизначеності. Тому випробувальна лабораторія повинна мати програму (методику) вимірювання, яка, за необхідності, має переглядатися та коригуватися для підтримання довіри (впевненості) щодо забезпечення невизначеності вимірювань [8, с. 13]. Оскільки перехід від похибок до невизначеності полягає не тільки в заміні відповідних термінів, а й потребує системних заходів у метрологічному забезпеченні, достовірність складання звітних даних є основним важливим фактором виконання вимірювальних робіт.

Отже, питання, які пов'язані з визначенням видів і методів оцінювання результатів вимірювання засобами вимірювальної техніки, відносяться до важливих науково-технічних задач, які є актуальними при гармонізації вітчизняних нормативних документів у галузі метрології та метрологічного забезпечення. На підставі низки досліджень, виконаних трьома операторами лабораторії, обґрунтована необхідність проведення аналізу існуючих видів і методів обчислення невизначеності та похибок вимірювання, яка висуває вимоги щодо розробки своїх кваліфікаційних процедур оцінки невизначеності вимірювань. Тому розгляд та аналіз невизначеності у лабораторіях не є новим питанням і потребує подальших удосконалень.

Ключові слова: похибка, невизначеність, засоби вимірювальної техніки, методика вимірювання, результат вимірювання.

Постановка проблеми. Згідно існуючого ДСТУ ISO/IES 17025:2017 [8], випробувальні лабораторії повинні періодично проходити процедури оцінювання невизначеності вимірювання, тобто оцінювати, наскільки точні результати отриманих вимірювань. Існуючі алгоритми такого оцінювання є складним і трудомістким процесом, тому що складники вхідних величин групують у відповідності зі способом їх оцінювання, а при обчисленні невизначеності застосовується теорія статистичної математики.

Лабораторія повинна проводити верифікацію (чи відповідає обладнання визначеним вимогам), а для цього необхідні періодичні перевірки для підтримання довіри (впевненості) до працездатності обладнання відповідно до процедури [8, с. 13–14]. Якщо врахувати, що в штаті випробувальних лабораторій найчастіше відсутні спеціалісти з метрології, доводиться використовувати фахів-

ців з інших підрозділів або і з інших організацій, що створює певні незручності. Тому для випробувальних лабораторій необхідно розробляти свої кваліфікаційні процедури оцінки невизначеності вимірювань.

Постановка завдання. Методика виконання вимірювань – це сукупність операцій і правил, які необхідно виконувати для забезпечення одержання результатів вимірювань з відомою похибкою. Згідно з вимогами ДСТУ ISO/IES 17025:2017, лабораторія, що отримує продукцію та надає послуги, пов'язані з вимірюванням, повинна оцінювати невизначеність вимірювання [8, с. 21]. Алгоритм такого оцінювання відомий і регламентований в існуючих документах [5, с. 101: 6], але ця задача не є простою, оскільки потребує певних знань і досвіду в області метрології. Тому метою цієї статті є розроблення спрощеного алгоритму оцінювання невизначеності

вимірювання лінійних розмірів деталей точної механіки на підставі результатів внутрішньо лабораторного контролю (враховуючи специфіку випробувальної лабораторії).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У процесі роботи, пов'язаної з аналізом оцінювання невизначеності вимірювань, розглядалася велика кількість наукових досліджень і теорії в області метрології [1; 2; 9]. Проаналізувавши розглянутий матеріал, можна зробити висновок, що в авторів різні погляди на цю проблему. Наприклад, І. Захаров, Д. Нестерчук, С. Квітка, С. Галько розглядають це питання з точки зору статистичної математики зі складними математичними обчисленнями з урахуванням похибок усіх джерел невизначеності вимірювань. Тоді як А. Коцюба підходить до цієї проблеми з точки зору фізичних явищ і пропонує не проводити повну ідентифікацію усіх помітних джерел невизначеності, що значно спрощує обчислення кінцевого результату, тобто розширеної невизначеності. В результаті опрацювання нормативної документації та проаналізувавши сучасні наукові досягнення, запропоновано спрощений алгоритм обчислення (визначення) розширеної невизначеності геометричних розмірів, який детально описаний і представлений у цій статті.

Виклад основного матеріалу дослідження. Перш ніж перейти до розгляду оцінки невизначеності вимірювання у випробувальній лабораторії, слід уточнити визначення основних понять у сфері ідентифікації вимірювання, похибок і невизначеності.

Вимірювання – це багатогранний процес, який можна розглядати як технічну процедуру вимірювання та отримання вимірювальної інформації. Ціллю вимірювань є отримання оцінки істинного значення вимірюваної величини. При цьому відбувається постійне уточнення отриманої вимірювальної інформації, вивільнення її від супутніх похибок і наближення до абсолютної істини.

Оцінка невизначеності вимірювання засобів вимірювальної техніки є однією з найважливіших задач випробувальних лабораторій, яка обов'язково проводиться після ремонту та періодично – під час експлуатації. Для описання точ-

ності вимірювань тривалий час використовували поняття «похибки вимірювань» як різниці між результатом вимірювань та істинним (дійсним) значенням вимірюваної величини. Але виникла необхідність розробки нової концепції оцінки точності результатів вимірювань, яка була викликана відсутністю міжнародної єдності в цих питаннях.

Розробку концепції здійснювала низка міжнародних організацій. У 1993 році вони опублікували документ «Керівництво з оцінки невизначеності» (GUM) [4], який відразу ж після видання отримав статус неформального міжнародного стандарту. «Керівництво з оцінки невизначеності» внесло узгодженість в оцінювання точності результатів вимірювань у вигляді концепції невизначеності вимірювань. Отже, концепція «невизначеності» є єдиною визнаною на міжнародному рівні мірою оцінки точності, використовується в широкому спектрі вимірювань і є мірою знань щодо фізичної величини після вимірювань; якості вимірювань з точки зору точності; надійності результату вимірювання.

Обов'язковими компонентами будь-якого вимірювання є *метод (спосіб) вимірювання та засіб вимірювання, а якість вимірювання характеризується похибкою – відхиленням результату вимірювань від дійсного значення вимірюваної величини.* Тобто похибка характеризує точність вимірювань і відображає близькість отриманих результатів до дійсного значення вимірюваної величини. Якщо говорити про оцінювання похибки в метрологічній практиці, то мається на увазі оцінювання її характеристик по схемі, яка представлена на рисунку 1.

У «Керівництві з оцінки невизначеності» (GUM) [4] вводять поняття «*невизначеності вимірювань*», яке розуміють як неповне визначення значення вимірюваної величини і для кількісного виразу цієї неповноти вводять розподіл вірогідності можливих значень вимірюваної величини. Таким чином параметр цього розподілу (невизначеність) кількісно характеризує точність результатів вимірювань [4] (ДСТУ РМГ 43:2006. Застосування «Керівництва з оцінки невизначеності»).

При оцінюванні характеристики похибок та обчисленні невизначеності вимірювань має



Рис. 1

місце аналіз рівняння вимірювань; виявлення усіх джерел похибок (невизначеності) вимірювань та їх кількісне оцінювання; введення поправок на систематичні похибки, які можна виключити [1]. Методи обчислення невизначеності, так само як і методи оцінювання характеристик похибок, запозичені з математичної статистики, однак при цьому використовуються різні інтерпретації закону розподілу ймовірності випадкових величин.

Розглянемо характеристики похибок. За характером вияву виділяють грубі, систематичні та випадкові похибки [3].

Грубою похибкою вимірювань (промахом) є похибка вимірювання, що значно перевищує очікувану (помилка або неправильні дії оператора).

Систематична похибка – це похибка вимірювання, визначена обчисленням і введенням поправок або ж систематичною похибкою, на дію якої поправка не введена (похибка калібрування).

У групу систематичних похибок можна віднести такі:

1) інструментальна похибка вимірювання – це складник похибки вимірювання, яка зумовлена недосконалістю засобу вимірювальної техніки (далі – ЗВТ), який застосовується при вимірюванні, тобто реальна функція перетворення ЗВТ відрізняється від його калібрувальної залежності;

2) похибка, зумовлена неправильним встановленням та експлуатуванням;

3) похибки, що виникають внаслідок дії зовнішніх факторів;

4) методична похибка вимірювання – це складник похибки вимірювань, що виникає через недосконалість методу вимірювань, неточності співвідношень, які використовуються для знаходження оцінки вимірюваної величини, та інші фактори, не пов'язані з властивостями ЗВТ, тобто теоретичні похибки;

5) суб'єктивна (особиста) похибка вимірювання – це складник похибки вимірювання, яка визначається діями оператора, тобто похибка відліку оператором вимірюваних величин;

6) обчислювальна похибка, яка виникає в результаті ефекту заокруглення та обчислювальних проблем розв'язування вимірювальної задачі.

Проте універсальних методів виявлення систематичних похибок не існує.

Випадкова похибка вимірювання – це складник похибки вимірювання, що змінюється випадково при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини (без будь-якої закономірності).

Усі складники невизначеності вхідних величин можна згрупувати у дві категорії відповідно до способу їх оцінювання [1, с. 256]:

– *виміряна розбіжність показників* (отримана при вимірюванні ЗВТ) – зумовлена стандартною невизначеністю типу A .

Примітка 1. Категорія A – складники, які оцінюються шляхом використання статистичних методів (тобто шляхом обробки результатів багаторазовим вимірюванням).

Складники типу A оцінюються як стандартні невизначеності (uA), рівні середньоквадратичним відхиленням (далі – СКВ) середніх арифметичних багаторазових спостережень. Ці складники характеризуються числами степенів свободи $\nu A = n - 1$, де n – кількість спостережень.

– *поправки на невиключені систематичні похибки* (далі – НСП) ЗВТ – зумовлені стандартною невизначеністю типу B .

Примітка 2. Категорія B – складники, які оцінюються іншим способом (по характеристиках, взятих із формуляра або паспорта, наприклад, із методик використання вимірювань, із попередніх експериментів, із довідкових джерел, через округлення результатів вимірювань, через використання констант).

Складники типу B (uB) оцінюються як стандартні СКВ, отримані з відомих границь, в яких можуть знаходитися значення величин, що вимірюються. Ці складники характеризуються числами степенів свободи $\nu B = \infty$.

Усі складники формують сумарну стандартну невизначеність uC , яка обчислюється за правилом складання дисперсій:

$$uC^2 = uA^2 + uB^2, \quad (1)$$

Звідси шляхом витягу квадратного кореня з обох частин рівності отримуємо вираз, який називається законом розповсюдження невизначеності:

$$uC = \sqrt{uA^2 + uB^2}, \quad (2)$$

Інтервальною оцінкою невизначеності є розширена невизначеність U , яку отримують шляхом множення стандартної сумарної невизначеності uC на коефіцієнт охоплення k : $U = k uC$ (3).

Коефіцієнт охоплення (що визначає інтервал) знаходять як коефіцієнт Стюдента [1] із рівнем довіри, який приблизно дорівнює 95% при допустимому нормальному розподілі. В границях $\nu_{eff} = \infty$, $k = 2$.

Якщо розглянути *стандартну невизначеність типу A* , то тут діє закон розподілу випадкових похибок – нормальний (гаусів). Характе-

ристикую положення такого закону розподілу є середнє арифметичне \bar{x} окремих показників ЗВТ, яке приймається як результат вимірювання (якщо припустити, що систематичні похибки близькі до нуля):

$$\bar{x} = \frac{x_1+x_2+x_3+\dots+x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j, \quad (4)$$

Відхилення окремих показників ЗВТ $x_1+x_2+x_3+\dots+x_n$ від середнього значення \bar{x} описується характеристикою, яка має назву *дисперсія* (від англійського слова “dispersion” – «розкид», «розсіювання»):

$$D(x) = \frac{(x_1-\bar{x})^2 + (x_2-\bar{x})^2 + (x_3-\bar{x})^2 + \dots + (x_n-\bar{x})^2}{n} = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_j-\bar{x})^2, \quad (5)$$

Для узгодження розмірності зі значення дисперсії треба витягти корінь квадратний і отримати СКВ окремих показників, тобто:

$$S(x) = \sqrt{D(x)} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_j-\bar{x})^2}, \quad (6)$$

Оскільки за результат багатократних вимірювань приймають середнє арифметичне показників ЗВТ, то характеристикою розкиду \bar{x} слугує не ЗВТ окремих показників $S(x)$, а СКВ середніх арифметичних цих показників $S(\bar{x})$. Це називається стандартною (середньоквадратичною) невизначеністю типу А(uA), яка в \sqrt{n} раз менше $S(x)$:

$$u_A(\bar{x}) = \frac{S(x)}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{j=1}^n (x_j-\bar{x})^2}, \quad (7)$$

Якщо розглянути *стандартну невизначеність типу В*, то тут діє рівно ймовірний (рівномірний) закон розподілу НСП. Для такого закону роз-

поділу СКВ НСП (невизначеність типу В) буде дорівнювати:

$$u_B = \frac{\theta}{\sqrt{3}}, \quad (8)$$

де $\pm\theta$ – відомі границі інтервалу

Примітка 3. Тут присутня систематична похибка, яка залишається постійною або закономірно змінюється при повторних вимірюваннях величини Y. Така особливість систематичної похибки дозволяє оцінити її значення (в результаті проведення вимірювання) і внести поправку в результат вимірювань. Значення поправки визначається неточно, тобто у виправленому результаті вимірювань буде присутня НСП, для якої відомі границі $\pm\theta$ інтервалу, в якому невідоме значення може бути із певною вірогідністю.

Для повірених ЗВТ стандартна невизначеність типу В розраховується, з огляду на дані розширеної невідповідності U та коефіцієнта охоплення k, взятого із сертифіката про калібрування ЗВТ за формулою:

$$u_B = \frac{U}{k}, \quad (9)$$

Проведено низку досліджень (вимірювання розмірів трьома операторами) з проведенням аналізу та обчисленням розширеної невизначеності. Результати отриманих вимірювань та обчислень представлені в таблиці 1.

Проаналізувавши таблицю, можна зробити висновок, що повна ідентифікація усіх видимих джерел (класичний метод розрахунку) не є гарантією достовірного оцінювання (тобто деяка інформація щодо розрахунку джерел невизначеності відсутня).

Розглянемо запропонований *алгоритм оцінювання* невідповідності вимірювань лінійних розмірів деталей точної механіки у випробувальній лабораторії (як ЗВТ використаємо автоматизовану

Таблиця 1

№ вимірювання	Вхідні дані, виміряні операторами, мм			Номінальне значення, мм
	Оператор 1	Оператор 2	Оператор 3	
1	50,0050	49,9987	49,9995	50,00
2	49,9950	49,9997	50,0077	
3	50,0000	50,0015	50,0009	
n (кількість вимірювань)	3	3	3	
Середнє арифметичне значення, мм	50,0000	49,9966	50,0027	
*Розширена невизначеність, U, мм,	0,00624	0,00500	0,00498	
**Розширена невизначеність, U, мм,	0,00609	0,00542	0,00544	
Коефіцієнт охоплення, k	2,0	2,0	2,0	
Рівень довіри, P, %	95	95	95	

Примітка 4. *Результати, розраховані класичним методом з урахуванням усіх видимих джерел невизначеності.

**Результати, розраховані шляхом нового (спрощеного) алгоритму оцінювання

відео-вимірювальну систему). Відео-вимірювальна система – це сукупність функціонально і конструктивно об’єднаних засобів вимірювань і допоміжних пристроїв, призначена для раціональної організації вимірювання, яка також дозволяє передбачити певний метод вимірювань і заздалегідь оцінити похибку вимірювання. Використовуємо пряме вимірювання, де шукане значення величини знаходять безпосередньо із дослідних даних, тобто прямим порівнянням вимірюваної величини.

Для оцінювання невизначеності вимірювань маємо [9, с. 51]:

1) кожне вимірювання передбачає отримання n результатів спостережень (згідно з методикою, здебільшого $n=3$);

2) інформацію про стандартний зразок, який наведений у свідоцтві щодо калібрування (калібрувальний блок – плоско паралельна кінцева міра з номінальним значенням 50,00 мм), де розширена невизначеність $U = 0,002$ мм (коефіцієнт охоплення $k = 2$, що визначає інтервал із рівнем довіри, який приблизно дорівнює 95% при допустимому нормальному розподілі);

3) маємо інформацію щодо вимірювальної процедури: час вимірювання, обладнання, кліматичні умови проведення вимірювання, оператора.

Використання стандартного каліброваного зразка дозволяє вилучити більшість систематичних похибок. Розглянемо приклад розрахунку розширеної невизначеності U , використовуючи результати вимірювань першого оператора.

Починаємо розрахунок зі складання модельного рівняння, яке виражає залежність між вихідною величиною (величина, що вимірюється) Y і вхідними величинами $Y = f(X_1 + X_2 + \dots + X_m)$.

Оцінюємо вхідні величини – значення вхідних величин знаходимо шляхом багаторазового вимірювання лінійних розмірів. Знаходимо середнє арифметичне результатів низки вимірювань, використовуючи формулу (4) (шляхом триразового вимірювання фіксованого розміру 50,00 мм отримали такі результати: 50,05 мм; 49,95 мм; 50,00 мм)

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i = \frac{50,005 + 49,995 + 50,00}{3} = 50,00 \text{ (мм)}$$

Знаходимо дисперсію за формулою (5):

$$D(x) = \frac{(50,005 - 50,00)^2 + (49,995 - 50,00)^2 + \dots + (50,00 - 50,00)^2}{2} = 0,000025 \text{ (мм)}^2$$

СКВ окремих показників обчислюємо за формулою (6):

$$S(x) = \sqrt{D(x)} = 0,005 \text{ (мм)}$$

Знаходимо стандартну невизначеність типу A (u_A), використовуючи формулу (7):

$$u_A(\bar{x}) = \frac{S(x)}{\sqrt{n}} = 0,00288 \text{ (мм)}$$

Знаходимо стандартну невизначеність типу B, яка знаходиться в залежності від апріорної інформації щодо мінливості вхідної величини. Для каліброваних ЗВТ вона розраховується за формулою (9):

$$u_B = \frac{U}{k} = \frac{0,002}{2} = 0,001 \text{ (мм)}$$

Примітка 5. Числове значення розширеної невизначеності U , яке складає 0,002 мм, беремо із сертифіката щодо калібрування, де вказано, що коефіцієнт охоплення $k = 2$ для рівня довіри, $p = 0,95$.

За формулою (2) визначаємо сумарну стандартну невизначеність вимірювань, враховуючи, що всі коефіцієнти впливу дорівнюють одиниці:

$$u_c(y) = \sqrt{0,00288^2 + 0,001^2} = 0,003048 \text{ (мм)}$$

Обчислюємо розширену невизначеність U за формулою (3):

$$U = 0,00609 \text{ (мм)}$$

Розрахунки, наведені в цій роботі, є цілком виправданими, тому що контроль результатів проводився з метою забезпечення стабільності процесів вимірювання, а перевагою такого алгоритму є виключення необхідності оцінювання ідентифікації джерел невизначеності, а саме: виключення похибок у процесі вимірювання способами заміщення; усунення джерел похибок до початку вимірювань; внесення відомих поправок у результати вимірювань; оцінювання границь систематичних похибок, які не можна виключити.

Висновки. Узагальнюючи зазначене вище, можна зробити висновок, що концепція «невизначеності» стала результатом розвитку теоретичної метрології та витіснила звичну узаконену в багатьох вітчизняних нормативних документах теорію похибок.

У статті проаналізовані основні визначення теорії похибок і невизначеності. Обґрунтовано, що організація вимірювального процесу забезпечує контроль відповідності отриманих результатів вимірюваних лінійних розмірів тим вимогам, які були встановлені під час планування вимі-

рювального експерименту. Розраховані характеристики сумарної стандартної невизначеності та розширеної невизначеності, які були отримані в результаті проведення низки досліджень трьома операторами. Вважаю, що необхідні теоретичні визначення (пояснення) та показані практичні задачі роблять викладений матеріал зручним для самостійного опрацювання операторами.

Порівнюючи розрахункові дані значення невизначеності, обчислених класичним методом (з урахуванням усіх видимих джерел невизначеності) та спрощеного алгоритму оцінювання, можна зробити висновок, що спрощений алгоритм оцінювання невідповідності цілком може

бути застосований для розрахунку розширеної невизначеності геометричних (лінійних) розмірів. Запропонований алгоритм оцінювання призначений для тих, хто займається метрологією, проте не має достатньої наукової бази в області математичної статистики, але вимушений у стислі строки розібратися в основних принципах оцінювання невідповідності вимірювань.

Ця робота, на мою думку, може використовуватися як методика для апріорного оцінювання невизначеності вимірювання та для полегшення співпраці між лабораторіями й іншими організаціями, а також можливістю обміну інформацією та досвідом.

Список літератури:

1. Захаров И.П. Теория неопределенности в измерениях. Харьков : Консум, 2002.
2. Нестерчук Д.М., Квітка С.О., Галько С.В. Основы метрологии та засобів вимірювання. Мелітополь : Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017.
3. МИ 1317 – 2005. ГСИ. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроль их параметров. М. : Изд. Стандартов.
4. ДСТУ РМГ 43:2006. Застосування «Керівництва з оцінки невизначеності».
5. Guide to the Expression of the Uncertainty in Measurement-Geneva :ISO, 1993. 101 p; First Edition – ISO, Switzerland, 1993. 101 p.
6. EA – 4/02 Expression of the Uncertainty in Measurement in Calibration.
7. First Edition – ISO, Switzerland, 1993.
8. ДСТУ ISO/ IES 17025:2017 Вимоги до компетентності випробувальних і калібрувальних лабораторій.
9. Коцюба А.М. Оцінювання невизначеності вимірювання за результатами контрольних вимірювань з використанням стандартних зразків. URL: <http://www/hups/mil/gov/ua/periodic-app/article/5775/sol2007>.

Kuzmenko T.M. EVALUATION OF UNCERTAINTY OF MEASUREMENTS OF LINEAR DIMENSIONS WHEN MEASURING DETAILS OF PRECE MECHANICS IN TESTING LABORATORIES

An increasing development of metrology has led to a new point of view of measuring instruments and the process of geometric dimensions controlling. Testing laboratories which are equipped with measuring equipment are concerned about preventing inaccurate results when supplying of measurement-related products. That is, the equipment used in the measurement of geometric (linear) dimensions must ensure the accuracy of measurement (measurement uncertainty).

An important point is that when supplying products and providing services, it is necessary to provide reports on the results of measurements to establish their uncertainty. Therefore, the testing laboratory is to have a measurement program (methodology), which, if necessary, should be revised and adjusted to maintain trust (confidence) to ensure measurement uncertainty [8, p. 13]. Since the transition from errors to uncertainty is not only a replacement of the relevant terms, but also requires systematic measures in metrological support, the reliability of the reporting data is a major important factor in the performance of measurement works.

Thus, the issues related to the definition of types and methods of evaluation of measurement results by measuring equipment are important scientific and technical tasks that are topical in the alignment between local regulations in the field of metrology and metrological support. Based on a number of investigations which were performed by three laboratory operators, the necessity to analyze existing types and methods of calculating measurement uncertainty and errors is justified, which, in turn, requires the development of its own qualification procedures for estimating measurement uncertainty. Therefore, the consideration and analysis of uncertainty in laboratories is not a new issue and requires further improvement.

Key words: error, uncertainty, means of measuring equipment, measurement methodology, measurement result.

УДК 617.3

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/03>**Цапенко В.В.**

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Терещенко М.Ф.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Іваненко Р.О.

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз
Служби безпеки України

БІОМЕХАНІЧНИЙ МЕТОД ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ОРТЕЗІВ СТОПИ

У статті запропоновано біомеханічний метод оцінки ефективності використання індивідуальних ортезів стопи з використанням апаратно-програмного комплексу, що базується на аналізі статодинамічного навантаження, який дозволяє оцінити динамічні та ударні навантаження на стопу та зводиться до визначення модуля пружності стопи та вибору, на основі проведених розрахунків, відповідного матеріалу для виготовлення індивідуальних ортезів стопи. Для об'єктивної оцінки розподілу навантаження, викликаного вагою тіла людини та його впливу на локомоції, необхідні клінічний аналіз руху та постурологічне обстеження. При аналізі навантажень на стопу необхідно враховувати ударні, як один із видів динамічних навантажень. Мета дослідження полягає у визначенні ефективності використання різних типів устілок на покращення опорної та ресорної функції стопи. Для досягнення поставленої мети проведено біомеханічне дослідження, яке передбачає визначення ефективності застосування різних типів устілок, виготовлених із твердих та еластичних матеріалів у статичному та динамічному режимах. У ході досліджень, проведених у рамках даної роботи, було встановлено, що максимальний контакт за одиницю часу має передній відділ стопи (фаза відштовхування), далі – задній відділ стопи (фаза приземлення), і найменший – середній відділ стопи (фаза перекату). Пік ударних навантажень припадає на передній та задній відділи стопи, тому на ці області необхідно звернути особливу увагу при виборі методів профілактики, лікування та ортезування. Використання устілок з еластичного матеріалу є більш доцільним та ефективним із біомеханічної точки зору. Практичне значення отриманих результатів полягає у вдосконаленні наявних методів дослідження біомеханічних параметрів шляхом комплексного оцінювання особливостей стояння та ходи, циклу кроку та опорних властивостей стопи.

Ключові слова: цикл кроку, біомеханічні параметри, пружні властивості, навантаження, модуль пружності.

Постановка проблеми. У медичному приладобудуванні дуже актуальним є прикладний аспект аналізу локомоцій людини. Діагностика постави не була б повною без вимірювання і оцінки стану опорно-ресорних властивостей стопи. Стопа є першою, найбільш навантаженою ланкою опорно-рухового апарату. Вона здійснює контакт з опорою, перерозподіляє силу реакції опори на розташовані вище сегменти опорно-рухового апарату та виконує важливу ресорну функцію, забезпечує стійкість нижньої кінцівки та зчеплення з опорною поверхнею. Для об'єктивної оцінки впливу розподілу навантаження по стопі на локомоції необхідні клінічний аналіз руху (дослі-

дження різноманітних патологій ходи та основної стійки, з використанням методів біомеханіки) та постурологічне обстеження (дослідження положення прийнятого тілом). На сьогодні найбільш інформативними методами аналізу рухів є подоконтурометрія (аналіз морфологічної структури стопи), стабілометрія (кількісна оцінка рухових можливостей) та бароподометрія (оцінка функцій стопи в динамічному та статичному положеннях) [1]. Не викликає сумнівів значимість оцінки функціонального стану опорно-рухової системи у пацієнтів ортопедичного та неврологічного профілю. Однак між тим у даний час методи інструментального аналізу ходи ще не отримали широ-

кого розповсюдження та впровадження в широку клінічну практику вітчизняних лікувальних установ та реабілітаційних центрів. Найчастіше оцінка біомеханічних функцій проводиться візуально і має велику частку суб'єктивізму. Інформація отримана за допомогою спеціалізованої апаратури може бути використана на всіх етапах лікувального процесу – від діагностики захворювання з виявленням провідної патологічної ланки до оцінки правильності проведеного лікування, дослідження очікуваних та віддалених результатів реабілітації, виконання експертної оцінки, тощо.

В останні роки кількість захворювань, травм та патологій опорно-рухового апарату неухильно зростає, що суттєво впливає на якість життя населення. Аналіз людської ходи є об'єктом багатьох наукових досліджень. Різні захворювання і пошкодження органів опори нерідко супроводжуються серйозними функціональними порушеннями рухового апарату, зниженням сили і тону м'язів, втратою здатності до нормальних рухів, що врешті-решт призводить до інвалідності і подальшої втрати працездатності [2].

Стопа є структурним сегментом опорно-рухового апарату, яка забезпечує його стато-локомоторну функцію і являє собою цілісний морфофункціональний об'єкт, від якого залежить рухова функція людини. Під час стояння опорними точками є п'ятковий горб і головки плеснових кісток. При зміні постави тіла тиск його маси на ці точки змінюється. Завдяки розташованим на її підшовній поверхні екстерорецепторам вона збирає інформацію про коливання маси тіла і направляє його в центральну нервову систему (ЦНС), яка буде координувати постуральну стабільність [3]. Виділяють три основні функції стопи:

- ресорна – здатність до пружного розпластування під дією навантаження та відновлення своєї форми після зняття останнього;
- балансує – участь у регуляції пози та позиційної активності при стоянні та ходьбі;
- поштовхова (опорна) – передача прискорення загального центру мас (ЗЦМ) тіла при локомоціях [4].

Упродовж життя змінюються функціональні параметри стопи. У першу чергу вони стосуються її ресорної і опорної функцій. У випадку порушень симетричності навантаження стопи в положенні стоячи або при ході, а також за рахунок зниження пружних характеристик стопи – знижуються її амортизаційні властивості, що призводить до збільшення ударного навантаження та посилення вібраційних впливів на весь опо-

рно-руховий апарат. На даний час поздовжня та поперечна розпластаність стоп, що може носити як самостійний характер, так і бути в поєднанні з іншими деформаціями, є одним з найбільш поширених ортопедичних захворювань [5]. За даними ВООЗ, більше 80% людей мають ті чи інші анатомо-функціональні відхилення стоп та нижніх кінцівок, найбільш частим з яких є плоскостопість (зміна форми стопи, яка характеризується зниженням висоти її поперечного та поздовжнього склепіння). Ця деформація є причиною багатьох важких захворювань опорно рухового апарату (ОРА), які часто призводять до інвалідності [2–3]. Порушення формувань склепіння стоп займає 26,4% всієї ортопедичної патології та до 81,5% серед всіх деформацій нижніх кінцівок у дітей [6]. Як показують дослідження, в дитячому віці дані порушення піддаються частковій або повній корекції, тоді як у дорослому віці дані порушення корегувати надзвичайно складно, інколи неможливо. Також було доведено, що відсутність фізіологічних склепіння та порушення осі гомілковостопного суглобу веде до розвитку патологічних процесів у великих суглобах нижніх кінцівок та хребті, а також часто є причиною больових відчуттів [7–8]. При плоско-вальгусній деформації стопи, крім слабкості м'язів та зв'язок, порушується форма і співвідношення кісток стопи, опорний вектор зміщується латерально (до зовнішнього краю стопи). Це змінює характер ходи, є причиною посилення динамічного навантаження на весь опорно-руховий апарат [2]. Виходячи із цього, різноманітні деформації стоп, зокрема плоско-вальгусну, доцільно розглядати в якості первинної ланки в формуванні нестійкої ходи, яка впливає на порушення ОРА, та призводить до різноманітних уражень останнього.

Для оцінки функціонального стану стопи необхідно проаналізувати інформацію щодо просторово-часових характеристик ходи, опорних реакцій, розподілу тиску по опорній поверхні стопи в процесі перекату, а також площі опорної поверхні [1]. Усі функції стопи реалізуються під час ходи та бігу. Основна функціональна одиниця ходи – це цикл кроку – визначається як час від початку контакту кінцівки з опорою до наступного такого ж контакту цієї ж кінцівкою [2]. Питання дослідження розподілу навантаження по стопі протягом повного циклу кроку в динаміці вивчене не повною мірою, відомі способи не дозволяють діагностувати функціональні зміни стопи, що відбуваються при поступовій зміні навантаження на неї, а також визначати індивідуальні фізіологічні

особливості нижніх кінцівок, що обмежує застосування таких методів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі методи діагностики та корекції стоп поєднують те, що вони враховують тільки статичні та кінетостатичні деформації, в положенні сидячи-стоячи, переступаючи з ноги на ногу [5; 9–12]. У динаміці, порівнюючи зі статикою, де в положенні стоячи на кожному кінцівку приходится близько 50% маси тіла людини, ця складова частина збільшується в середньому в 4 рази. Аналіз літературних джерел [1–12] вказує на недостатню кількість комплексних досліджень, які характеризують стан, розвиток і підготованість сегментів опорно-рухового апарату, зокрема стопи, до різноманітних навантажень різних інтенсивностей, із метою встановлення границь динаміки змін скелета стопи як компенсаторно-приспосувальних. Так, зокрема, було розглянуто значну кількість наукових публікацій, спрямованих на дослідження стану нижніх кінцівок різних груп населення та виявлення взаємозв'язку між деформацією стопи та іншими структурними порушеннями ОРА. Дослідники зазначають, що проблема ранньої діагностики ушкоджень та захворювань стоп є актуальною при виборі способів профілактики, лікування, ортезування та оцінки їх ефективності. З огляду на те, що стопа несе на собі основне навантаження, то порушення її функцій відображається на функціонуванні всього опорно-рухового апарату і може привести, в подальшому, до виникнення ряду хронічних захворювань. Дослідження стопи людини в динаміці (при поступово чи різкому змінному навантаженні на неї) є ключовим фактором в діагностиці її функціонального стану, яке дозволяє своєчасно виявити відхилення та визначити необхідний комплекс лікувальних заходів [1; 2]. Відомі способи визначення біомеханічних властивостей м'яких тканин стопи, основані на оцінці величин змін значень параметрів тиску, прикладеного ззовні, достатнього для перекриття артеріального судинного русла тканин, що визначається за зміною кольору поверхні шкіри чи зникненням пульсації артеріол в судинах [5]. Однак дані способи мають ряд обмежень, зокрема не можуть використовуватися при оцінці ходи. У процесі ходьби виникають додаткові короточасні ударні навантаження переднього та заднього поштовху, в демпфуванні яких можуть приймати участь різні біологічні середовища, зокрема, крім м'язо-скелетного, суттєву роль відіграють рідинні крово-лімфатичні середовища [6]. Також у наукових публікаціях описані типи та варіанти ходи при

різноманітних деформаціях, сколіозі та цілому ряді вроджених деформацій скелету. Автори деяких публікацій [9–12] зазначають, що вивчення патологічних змін в будові стопи є складною задачею, у зв'язку зі специфічною просторовою орієнтацією її осей та невеликих габаритів досліджуваного сегмента, що ускладнює установку спеціальних реєструючих пристроїв. Дані складності зумовлюють використання складних систем, які часто порушують нормальну біомеханіку суглобів стопи та не забезпечують належну точність вимірювання. Однак серед різноманіття наукових підходів до вирішення цього питання дослідження розподілу навантаження по стопі протягом повного циклу кроку в динаміці вивчене не повною мірою. Відомі способи не дозволяють діагностувати функціональні зміни стопи, що відбуваються при зміні навантаження, а також визначити індивідуальні фізіологічні особливості нижніх кінцівок, що обмежує застосування таких методів. Крім того, у вітчизняній та зарубіжній літературі не достатньо уваги присвячено кількісній оцінці параметрів пружності стопи, тоді коли аналіз останніх дозволить підвищити точність діагностики захворювань ОРА та ефективність ортезування нижніх кінцівок.

Постановка завдання. Для об'єктивної оцінки розподілу навантаження, викликаного вагою тіла людини на стопи та його впливу на локомоції, необхідні клінічний аналіз руху та постурологічне обстеження. Відомий метод бароподометрії, який дозволяє об'єктивізувати дослідження біомеханічних параметрів стопи з урахуванням статичної та динамічної складових [4]. Проблема ранньої діагностики ушкоджень та захворювань стоп є особливо актуальною при виборі способів виготовлення індивідуальних ортезів та оцінки їх ефективності. Дослідження стопи людини в динаміці (при поступовому чи різкому змінному навантаженні на неї) є ключовим фактором в діагностиці її функціонального стану, що надає вихідну інформацію для виготовлення індивідуальних ортезів стопи, яку не надають наявні на сьогодні системи статичного дослідження [11; 12]. Виникає потреба у вдосконаленні методів дослідження біомеханічних параметрів стопи людини шляхом комплексного оцінювання особливостей стояння та ходи, циклу кроку та опорно-ресорних властивостей стопи. Із метою підвищення точності дослідження біомеханічних параметрів стопи необхідно врахувати вплив динамічних, а саме короточасних ударних навантажень викликаних масою тіла на відповідні фази циклу кроку.

Мета дослідження полягає у визначенні ефективності використання різних типів устілок на покращення опорної та ресорної функції стопи.

Виклад основного матеріалу. Для досягнення поставленої мети проведено біомеханічне дослідження, яке передбачає визначення ефективності застосування різних типів устілок, виготовлених із твердих та еластичних матеріалів у статичному та динамічному режимах. Поставлена задача вирішується шляхом розробки методу розрахунку динамічного навантаження з урахуванням короткочасних ударних впливів на стопу.

При ходьбі стопа приймає на себе ударні навантаження співрозмірні з масою тіла. Із кожним кроком по різним жорстким покриттям вона отримує прискорення рівні $(18-20) \cdot g$ (де g прискорення вільного падіння, $g=9,80665 \text{ м/с}^2$) [3]. Здатність стопи протидіяти різноманітним навантаженням, зумовлена не тільки біомеханічною досконалістю, а й властивостями складових її тканин. У нормі завдяки склепінчастій будові стопи та її ресорній функції до 70% прискорення гаситься й амортизується. Біомеханіка стопи та її функції в різні фази циклу кроку різні. Пом'якшення інерційного навантаження при ході та бігу здійснюється складним комплексом суглобово-зв'язкового апарату, який з'єднує 26 основних кісток стопи, де виділяють 5 поздовжніх кісток та поперечний звід [4].

Основою будь-якого локомоторного акту є опорні взаємодії, тобто короткочасний контакт певної ланки ОРА з опорою, в результаті якого виникають сили здатні змінити центр руху загального центру мас тіла. Опорні взаємодії мають всі фізичні ознаки ударних навантажень (короткочасність, значне збільшення модуля сили та ін.), тому такі взаємодії можуть розглядатися як ударні [1].

Для вирішення поставлених задач застосовано такі методи дослідження:

- метод систематизації теоретичного матеріалу;
- експериментальне визначення;
- візуальний метод;
- вимірювальний метод (плантографія);
- розрахунковий метод.

Алгоритм розрахунку ударних навантажень такий:

1. Реєстрація циклу кроку.
2. Визначення біомеханічних параметрів циклу кроку – значень навантаження, швидкості, площ контакту опорних поверхонь, довжини напівкроку та ін.

3. Визначення коефіцієнту ударного навантаження.

4. Розрахунок на основі п.3 модуля пружності стопи.

Використання індивідуальних ортезів у пацієнтів з порушенням функції стоп є необхідним етапом лікування, особливо в дитячому віці. Розробка та підбір індивідуальних коригувальних засобів має два підходи. Концепція першого – використання еластичних матеріалів для виготовлення устілок із подальшою індивідуалізацією виробів. Основою другого напрямку є індивідуальний підбір устілок на основі модульного принципу для жорстких устілок. Використання твердих, нееластичних коригувальних устілок є нефізіологічним, оскільки вони позбавляють стопу ресорної функції, заважаючи нормальному розподілу навантаження по ній. Тому рекомендовано використовувати устілки з еластичних амортизуючих матеріалів, які рівномірно розподіляють навантаження на опорні ділянки стопи, збільшуючи площу опори та знижуючи тиск на них [12]. Слід зауважити, що до теперішнього часу залишається спірним питання щодо локалізації опори поздовжнього склепіння стопи при виготовленні індивідуальної ортопедичної устілки. Тому важливим та доцільним питанням є оцінка ефективності використання різних типів ортезів стопи.

Стопа за нормальних умов піддається впливу пружних деформацій, тобто її можна розглядати як пружну систему з одним ступенем свободи. Модуль пружності в цьому випадку буде характеристикою ресорної функції стопи. Skorистаємося одновимірним варіантом закону Гука [4].

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1)$$

де σ – напруження опорної поверхні стопи (кг/см^2).

ε – коефіцієнт деформації стопи.

Унаслідок опорної взаємодії тіла людини зі стопою в останній виникають певні співвідношення сил пружності – внутрішнє силове поле, яке протидіє виникненню пластичних деформацій опори, викликаних масою тіла. Якщо змінюються умови опори (наприклад, при зміні пози), то відповідно змінюється конфігурація силового поля пружних сил у розглядуваній системі. При цьому, якщо людина не рухається, тобто швидкість її переміщення відносно розглядуваної системи відліку рівна 0, то її тіло все одно створює навантаження – статичне. Після початку руху з певним прискоренням a виникає вертикальна сила інерції, направлена протилежно прискоренню. Від-

повідно, якщо сила інерції направлена вниз, то навантаження викликане масою тіла на опорі збільшується, оскільки під впливом прискорення статичне навантаження Q_{st} змінюється динамічним Q_d [1].

У попередніх дослідженнях була визначена опорна сила F , яка діє на стопу протягом циклу кроку [1].

$$F = \frac{P \cdot v}{t} \quad (2)$$

де P – загальне значення навантаження на стопу, H .

v – швидкість переміщення стопи, m/c .

t – час опори на стопу, c .

Ураховуючи вищезазначене, модуль пружності стопи можна визначити за формулою:

$$E = P \cdot \frac{v}{t \cdot S \cdot \varepsilon} \quad (3)$$

де S – площа опорної поверхні стопи, m^2 .

У рамках даного дослідження, на основі розрахованого модуля пружності стопи, обрано еластичний матеріал індивідуальних ортезів стопи – етилен вініл ацетат (ЕВА) щільністю 200 кг/см^3 , твердістю 55 Шор. Для вивчення впливу індивідуальних ортопедичних устілок на параметри стояння та ходи проведено дослідження опорних реакцій (ОР) 15 дітей, з порушенням функцій стоп різного ступеня. Інструментальною базою дослідження стала бароподометрична платформа, розмірами $0,4 \cdot 1,8 \cdot 0,02 \text{ м}$, з відповідним програмним забезпеченням [4].

У дослідженні використовувався метод бароподометрії. Платформа складається з 4 активних модулів, розмірами $0,4 \times 0,4 \text{ м}$ та 4 пасивних. У кожному активному модулі вмонтовано 6400 сенсорів (загальна кількість сенсорів на платформі становить 25600) [4]. Платформа працює у двох режимах: статичному та динамічному. Бароподометрія статичного положення визначає розподіл зон навантаження, окреслює периметр опорного полігону, фіксує центри положення стопи та проекцію загального центру мас, розраховує відсоткові співвідношення опорної поверхні та сили тиску в тому числі перевантаження кінцівки або ротацію тазу. Статичний аналіз розглядається як геометрична модель, яка пов'язує базові біомеханічні параметри, корелюючись з інформацією, отриманою з морфології підшви (подоконтурометрія) та з відображенням тиску стоп, отриманими в динамічному аналізі. Кількісні значення величин відбитків тиску, виявлені після дослідження і представлені в розділі статичного ана-

лізу, дозволяють помітити будь-яку можливу асиметрію або відхилення від фізіологічного стану. Бароподометрія в динаміці показує, як розподіляється тиск при перекаці кожної стопи. Точка приземлення, контакту та поштовху в нормі мають чітку послідовність, швидкість та силу. За графічним відображенням руху можна чітко відслідкувати стабільність суглобів, латеральні чи медіальні відхилення руху. У процесі аналізу фіксуються цикли кроків із часовими характеристиками моноопори та подвійної опори. Визначаються подовження стопи при динамічній опорі та її розширення під час руху. За трьома відбитками аналізують повний кроковий цикл, за двома – напівкрок. Наявність повного крокового циклу завжди є більш інформативним параметром від одиночних відбитків [4].

Аналізували силові та часові показники одноопорного навантаження та їх розподіл по періодах, імпульс сили по окремих складових ОР із використанням твердих та еластичних устілок. Під час застосування м'якої устілки навантаження на задній відділ стоп наближалось до референтних значень ($55\% \pm 2$). Розподіл навантажень між лівою та правою стопою був більш збалансованим при застосуванні еластичних устілок та складав $54,7\%/45,3\%$. Аналіз статичного та динамічного дослідження з використанням еластичних устілок показав збільшення загальної опорної площі, розподіл навантаження по стопі рівномірний. У динаміці площа передньої та задньої частини стопи збільшувалась порівняно із значеннями статичного дослідження. Розподіл навантаження аналогічний розподілу при статичному аналізі. Рівнодійна сил центра стопи знаходилась у межах норми.

Стопа як опорна конструкція першою сприймає ударний імпульс p опорної реакції, і від її функціональних можливостей напряму залежить подальший характер взаємодії із середовищем. На рисунку 1 наведено діаграму залежності опорної сили стопи F від ударного імпульсу p .

У даному випадку стопа розглядається як опора, яка діє із силою, рівною за значенням з опорною силою тіла людини F та протилежною за напрямом, така сила називається реакцією опори R_d . Коли $R_d = F$ – система знаходиться у стані рівноваги. Із діаграми видно, що максимальне значення опорної сили, прикладеної до стопи ($51H$), відповідає максимальному значенню імпульсу опорної реакції ($59,4 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$). Однак дане твердження справедливе лише для тих випадків, коли стопа знаходиться в області пружних деформацій (компенсаторно-притосувальних). Основне завдання

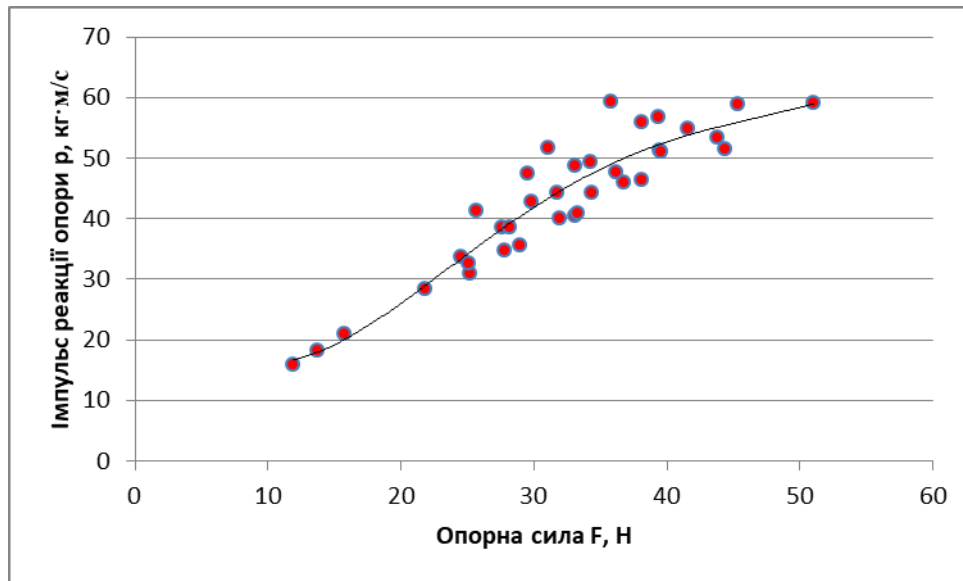


Рис. 1. Діаграма залежності опорної сили стопи F від ударного імпульсу p

ортезування стопи полягає в підтриманні границь динаміки змін склепінь стопи як компенсаторно-приспосувальних. Ураховуючи попередні дослідження [1; 2]: максимальний контакт за одиницю часу має передній відділ стопи (фаза відштовхування), далі – задній відділ стопи (фаза приземлення), і найменший – середній відділ стопи (фаза перекачу) – можна зробити висновок, що пік ударних навантажень припадає на передній та задній відділи стопи, тому на ці області необхідно звернути особливу увагу під час вибору методів профілактики, лікування та ортезування.

Висновки. Опорно-рухова система людини достатньо складна, але стопа як опорна конструкція і частина цієї системи першою сприймає ударний імпульс опорної реакції, і від її функціональних можливостей напряму залежить подальший характер взаємодії із середовищем. Опорні властивості стопи досліджені не повною мірою – для підвищення точності методів їх оцінки необхідно врахувати вплив динамічних, а саме короткочасних ударних навантажень, на відповідні фази циклу кроку. Запропонований новий підхід

в методиці оцінки ефективності використання індивідуальних ортезів стопи. У процесі дослідження встановлено, що максимальний контакт за одиницю часу має передній відділ стопи (фаза відштовхування), далі – задній відділ стопи (фаза приземлення), і найменший – середній відділ стопи (фаза перекачу). Виходячи із цього, можна зробити висновок, що пік ударних навантажень припадає на передній та задній відділи стопи, тому на ці області необхідно звернути особливу увагу під час вибору методів профілактики, лікування та ортезування. При застосуванні м'якої устілки навантаження на задній відділ стопи наближалось до референтних значень ($55\% \pm 2$). Розподіл навантажень між лівою та правою ногою був більш збалансованим при застосуванні еластичних устілок та складав $54,7\%/45,3\%$. Аналіз статичного та динамічного дослідження з використанням еластичних устілок показав збільшення загальної опорної площі, розподіл навантаження по стопі рівномірний. Встановлено, що використання устілок з еластичного матеріалу є більш доцільним та ефективним з біомеханічної точки зору.

Список літератури:

1. V. Tsapenko, M. Tereshchenko, V. Shevchenko, R. Ivanenko, «Methodology for calculating shock loads on the human foot», *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, vol. 6, no. 2, 2021, pp. 58–64. DOI: 10.25046/aj060208.
2. V. Tsapenko, M. Tereshchenko, G. Tymchik, S. Matvienko and V. Shevchenko, «Analysis of Dynamic Load on Human Foot», 2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 400-404. DOI: 10.1109/ELNANO50318.2020.9088788.
3. Perepelkin A. I. Individual and typological characteristics of the human foot in the age aspect / A. I. Perepelkin, V. B. Mandrikov, A. I. Krayushkin. – Raleigh, North Carolina, USA: Lulu Press, Inc, 2015. 140 p.
4. Цапенко В.В., Терещенко М.Ф., Тимчик Г.С. «Моделі оцінювання біомеханічних параметрів нижніх кінцівок у дітей», *KPI Science News*, № 1, 2019, с. 67-75. DOI: 10.20535/kpi-sn.2019.1.158812.

5. Щуров В.А. Способ оценки биомеханических свойств мягких тканей опорной поверхности стопы. *Российский журнал биомеханики*. 2008. С. 47–52.
6. Мармыш А.Г. Особенности распределения подошвенного давления при плоско-вальгусной деформации стопы у детей. *Журнал Гродненского государственного медицинского университета*. 2017. С. 400–404.
7. V. Tsapenko, N. Tereshchenko, «Method of study of spatial parameters of the human foot», in Proc. XI Int. Sci. Tech. Conf. Integrated Intellectual Robotechnical Complexes (IIRTC-2018), Kyiv, Ukraine, May 22–23, 2018, pp. 157–159.
8. Цапенко В.В., Терещенко М.Ф., «Аналіз впливу різниці довжини нижніх кінцівок на біомеханічні параметри ходи». *Вісник КПІ. Серія Приладобудування: збірник наукових праць*. № 57(1). 2019. С. 102-107. DOI: 10.20535/1970.57(1).2019.172034.
9. A. Laputyn, V. Kashuba, V. Hamalyi, K. Serhyenko, “Diagnostics morphofunctional properties of athletes’ feet”, *Science in Olympic sports*, pp. 67–74, 2003.
10. Krumka, Kasapova, “Dynamic loads induced by human motion”, in Proc. Bauhaus Summer School in Forecast Engineering: Global Climate change and the challenge for built environment. University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy (UACEG). Weimar, Germany, August 17-29 th, pp. 1-22, 2014.
11. V.V. Lashkovsky, M.I. Ignatovsky, “Quantitative assessment of pedobarographic data in plano-valgus deformity of the foot in children”, *Medical news*, vol. 7, pp. 69-71, 2012.
12. S.I. Boltrukevich, V.V. Kochergin, K. Yavorek, M.G. Lambotsky, V.S. Anosov and A.G. Marmysh, “Biomechanical methods of control of correction and rehabilitation of orthopedic diseases of the foot. Peculiarities of forming a plane-housing deformation in children”, *Surgery News*, vol. 15, no. 4, pp. 54-69, 2007.

Tsapenko V.V., Tereshchenko M.F., Ivanenko R.O. BIOMECHANICAL METHOD FOR EVALUATING THE EFFICIENCY OF USING INDIVIDUAL FOOT BRACES

The article proposes a biomechanical method for evaluating the effectiveness of individual foot orthoses using a hardware-software complex based on the analysis of load, which allows to estimate dynamic and shock loads on the foot and is reduced to determining the modulus of elasticity of the foot and selection based on calculations, a suitable material for the manufacture of individual foot orthoses. Clinical analysis of movement and posturological examination are required to objectively assess the distribution of the load caused by the weight of the human body and its effect on locomotion. When analyzing the loads on the foot, it is necessary to consider shocks as one of the types of dynamic loads. The aim of the study is to determine the effectiveness of using different types of insoles to improve the support and spring function of the foot. To achieve this goal, a biomechanical study was conducted, which involves determining the effectiveness of different types of insoles made of solid and elastic materials in static and dynamic modes. In the course of research conducted in this work, it was found that the maximum contact per unit time has the front of the foot (repulsion phase), then – the rear of the foot (landing phase) and the lowest – the middle of the foot (rolling phase). Based on this, we can conclude that the peak of shock loads falls on the front and rear of the foot, so these areas need special attention when choosing methods of prevention, treatment and orthosis. The use of insoles made of elastic material is more appropriate and effective from a biomechanical point of view. The practical significance of the obtained results is to improve the existing methods of studying biomechanical parameters by comprehensively assessing the peculiarities of standing and walking, step cycle and support properties of the foot.

Key words: *step cycle, biomechanical parameters, elastic properties, load, the modulus of elasticity.*

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 621.396.42

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/04>

Гарист А.В.

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз
Служби безпеки України

АНАЛІЗ ЗАХИЩЕНОСТІ МЕРЕЖ СТІЛЬНИКОВИХ ОПЕРАТОРІВ ІЗ ПРОТОКОЛОМ БЕЗПЕКИ SS7

Телефонна мережа загального користування починаючи з 80-х років XX сторіччя модернізувалась із простої мережі, яка забезпечує передачу голосу з обмеженими можливостями передачі даних, до більш інтелектуального засобу з можливістю передавати інформацію з високою пропускну спроможністю та можливістю її швидкого відновлення в разі апаратних відмов. Стимулом до модернізації служило прагнення телекомунікаційних компаній ефективно керувати мережею та збільшувати її пропускну спроможність найбільш економічним чином.

У телефонних мережах, зокрема мобільних, чітко розділяються абонентський (голос або дані) і службовий трафік (наприклад, для встановлення з'єднання). Службовий трафік – це система сигналізації № 7 (Signaling System № 7, далі за текстом – SS7), яка містить певний набір протоколів, правил і повідомлень. Протокол SS7 належить до мережі передачі даних і до низки технічних протоколів або правил, які регулюють обмін даними по них. Його було розроблено в 1970-х роках для відстеження та під'єднання викликів у різних мережах операторів зв'язку, але тепер він зазвичай використовується для розрахунку білінгу стільникового зв'язку та відправлення текстових повідомлень у доповнення до маршрутизації мобільних і стаціонарних викликів між операторами й регіональними комутаційними центрами.

У статті представлено результати дослідження захищеності мереж із протоколом захисту SS7. Протокол SS7 використовується для обміну службовою інформацією між мережевими пристроями в телекомунікаційних мережах. Коли розроблявся цей стандарт, доступ до мережі SS7 мали лише оператори фіксованою зв'язку, тому безпека не була пріоритетним завданням. Сьогодні сигнальна мережа вже не є повністю ізольованою, тому зловмисник, який отримав до неї доступ, має можливість експлуатувати вади безпеки для того, щоб прослуховувати голосові виклики абонентів, читати SMS, викрадати гроші з рахунків, обходити системи тарифікації або впливати на функціонування мобільної мережі.

На початку 2000-х років було запропоновано специфікацію Sigtran, яка дала змогу передавати службову інформацію протоколу SS7 по IP-мережі і сигнальна мережа перестала бути ізольованою.

Ключові слова: система сигналізації № 7, абонент, стільникова мережа зв'язку, ідентифікатор, протокол, білінг.

Постановка проблеми. Незважаючи на появу мереж нового покоління 4G, які використовують іншу систему сигналізації Diameter, проблеми безпеки протоколу SS7 будуть залишатися актуальними ще довгий час, оскільки оператори зв'язку досі повинні забезпечувати підтримку стандартів 2G та 3G, а також взаємодію між мережами різних поколінь. Ба більше, дослідження доводять, що протокол Diameter схильний до тих же загроз, що й SS7. У статті розглянуто вразливості цього протоколу, а також опис можливих атак, надано приклади застосування цих вразливостей, щоб продемонструвати масштаби проблем безпеки сучасних мереж зв'язку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Уперше вразливості SS7 були публічно продемонстровано в 2008 році. Німецький дослідник Тобіас Енгель показав техніку стеження за абонентами мобільних мереж. У 2014 році експерти Positive Technologies Дмитро Курбатов і Сергій Пузанков виступили на конференції Positive Hack Days із презентацією «Як підслухати людину на іншому кінці земної кулі» та представили детальний звіт «Вразливості мереж мобільного зв'язку на основі SS7», у якому розповідали не тільки про прослуховування, але й про багато інших можливостей хакерів у сигнальній мережі SS7, зокрема переказ грошей, перехоплення SMS-повідомлень, визна-

чення місця розташування абонента без його відома та інше.

У 2015 році фахівці SR Labs в ефірі австралійської програми «60 хвилин», перебуваючи в Німеччині, перехоплювали SMS-листування австралійського сенатора Ніка Ксенофонта і британського журналіста, а потім спостерігали за пересуваннями сенатора у відрядженні в Токіо.

Водночас, незважаючи на значну кількість наукових публікацій, присвячених проблемам вразливостей протоколу SS7, стрімкий розвиток систем зв'язку та протоколів їх захисту зумовлює потребу подальших досліджень цієї тематики.

Постановка завдання. Метою статті є аналіз захищеності сигнальних мереж SS7 у режимі реального часу та виявлення нелегітимної активності з можливістю блокування несанкціонованих повідомлень або оповіщення сторонніх засобів фільтрації та блокування трафіку. Метою аналізу є своєчасне виявлення потенційних загроз і реагування на них, не надаючи негативного впливу на функціонування мережі зв'язку.

Виклад основного матеріалу дослідження. Адресація вузлів у мобільному зв'язку під час взаємодії між операторами відбувається не за IP-адресами, а за адресами Global Title, формат яких нагадує телефонні номери. Адреси Global Title в обов'язковому порядку повинні входити в діапазон телефонних номерів, закріпленими за оператором зв'язку, а якщо на національному рівні діапазони розбиваються за регіонами, то й адреси Global Title вузлів мережі повинні відповідати регіональним діапазонам.

Для взаємодії вузлів ядра мобільного оператора використовується протокол MAP – Mobile Application Part. Протокол MAP спрямований на реалізацію функцій, які властиві саме мережі мобільного зв'язку, такі як аутентифікація і реєстрація мобільного апарату в мережі, локалізація абонента для здійснення вхідного виклику, підтримка безрозривного мовного каналу зв'язку під час пересування абонента. Кожній операції відповідають певні повідомлення протоколу MAP зі своїм набором параметрів.

Для мобільних комунікацій використовуються телефонні номери, які називаються MSISDN – Mobile Subscriber Integrated Services Digital Network Number. Цей номер надається абоненту під час укладання договору з мобільним оператором, але в надрах мережі зв'язку абоненти адресуються за ідентифікатором – IMSI (International Mobile Subscriber Identity), який прив'язується до конкретної SIM-картки. Пере-

важна більшість операцій вимагає адресації абонента саме через IMSI, отже, для проведення більшості атак, спрямованих на конкретного абонента, зловмиснику насамперед потрібно дізнатися цей ідентифікатор.

Потрібно також зазначити, що в протоколах SS7 не закладено можливості аутентифікації вузлів, фільтрації повідомлень за списками доступу, динамічну маршрутизацію нових вузлів мережі.

Розгляньмо приклад опису атаки.

Наприклад, ми маємо номер +380670000000. Це MSISDN (Mobile Subscriber Integrated Services Digital Number). Він не зберігається на SIM-картці. На SIM-картці зберігається інший ідентифікатор – IMSI, який передається в мережу тільки під час реєстрації абонента. Це 15-значне число, яке має вигляд 380-11-5555555555, у якому «380» – код країни, «11» – код оператора, а інші 10 цифр – внутрішній унікальний номер цієї SIM-картки (MSIN, Mobile Subscriber Identification Number). Саме IMSI використовується для ідентифікації абонента всередині стільникової мережі зв'язку, тобто для здійснення будь-яких операцій із номером.

Для здійснення атаки на протокол SS7 зловмисник під'єднується до сигнальної мережі SS7 і відправляє службову команду Send Routing Info в мережевий канал, вказуючи номер телефону абонента, який атакується як параметр. Домашня абонентська мережа відправляє у відповідь таку технічну інформацію: IMSI і адресу MSC, за якою надаються послуги підписнику.

Після цього зловмисник змінює адреси білінгової системи в профілі підписника на свої власні адреси псевдобілінгової системи (наприклад, повідомляє, що абонент прилетів на відпочинок і в роумінгу зареєструвався на новій білінговій системі). Як відомо, жодну перевірку така процедура не проходить. Далі атакуючий вводить оновлений профіль у базу даних VLR через повідомлення «Insert Subscriber Data».

Коли абонент, якого атакують, здійснює вихідний дзвінок, його комутатор звертається до системи зловмисника замість фактичної білінгової системи. Система зловмисника відправляє комутатору команду, що дозволяє перенаправити виклик третій стороні, яка контролюється зловмисником.

У сторонньому місці встановлюється конференц-зв'язок між трьома підписниками, два з них є реальними (абонент А і абонент В), а третій вводиться зловмисником незаконно і здатний прослуховувати й записувати розмову.

Відповідним чином ми маємо можливість отримати і SMS-повідомлення, вказавши свій MSC/VLR, увесь трафік буде направлено зловмиснику. Наприклад, так можна зібрати одно-разові SMS-паролі для двоетапної авторизації в різних сервісах. SMS вимагає від MSC/VLR підтвердження його доставки, і якщо його не відправляти, а замість цього перереєструвати абоненту на «справжній» MSC, то через кілька хвилин буде зроблено ще одну спробу доставки повідомлення, і воно надійде адресату. Тобто одне й те ж SMS буде відправлено двічі: спочатку – зловмиснику, потім – адресату.

Маючи доступ до псевдобілінгової системи, на яку вже зареєструвався абонент, можна отримати будь-яку інформацію, яка надходить або виходить з його телефону.

Усі вищенаведені дії з перехоплення повідомлень і прослуховування телефонної розмови можна виконувати за допомогою IMSI-перехоплювачів. Вони налаштовуються так, щоб мобільний телефон жертви вважав, що це єдине доступне з'єднання, оскільки віддають перевагу тій стільниковій вишці, чий сигнал найбільш сильний для того, щоб максимізувати якість сигналу й мінімізувати власне енергоспоживання.

Крім того, у мережах GSM (2G) тільки мобільний телефон повинен проходити процедуру аутентифікації, від стільникової вишки цього не потрібно, тому його легко ввести в оману, зокрема щоб від'єднати на ньому шифрування даних.

Налаштовуються IMSI-перехоплювачі так, що без посередництва IMSI-перехоплювача не можна зробити виклик.

Знаючи IMSI мобільного телефону цілі, оператор може запрограмувати IMSI-перехоплювач, щоб він зв'язувався тільки з цим телефоном, коли той перебуває в межах досяжності.

Після під'єднання оператор використовує процес картографування радіочастот, щоб з'ясувати напрямок місцеположення цілі та його напрям руху.

За правильного налагодження перехоплювача мобільний телефон цілі може надавати інформацію про режим роботи в стандарті LTE, 3G або 4G, а насправді працювати в режимі 2G із більш слабкою системою шифрування.

Деякі мобільні телефони навіть у режимі LTE виконують команди без попередньої аутентифікації, хоча стандарт LTE до цього зобов'язує. Крім того, оскільки LTE-інтерфейс розроблявся як модернізація UMTS-інтерфейсу, який є модернізованим GSM-інтерфейсом, то його структура не

бездоганна. Також, незважаючи на широке поширення мереж 3G і 4G, мережі 2G, як і раніше, забезпечують резервний доступ, якщо 3G і 4G стають недоступними.

Коли IMSI-перехоплювач захоплює IMSI із SIM-картки і IMEI з мобільного телефону, обидва ці параметри зберігаються в базі даних пристрою. Отже, зміна SIM-карток і зміна мобільного телефону не допоможуть уберегтися від прослуховування за допомогою IMSI-перехоплювача.

Стандарт мобільних пристроїв бездротової високошвидкісної передачі даних Long Term Evolution (LTE), який використовують мільярди людей, було розроблено для виправлення багатьох огріхів безпеки в попередньому стандарті, відомої як глобальна система мобільного зв'язку GSM. Взаємна аутентифікація між кінцевими користувачами і базовими станціями та використання перевірених схем шифрування були двома основними змінами. Тепер дослідники публічно виявляють слабкі місця в LTE, які дають змогу зловмисникам відправляти найближчих користувачів на шкідливі вебсайти та відстежувати сайти, які вони відвідують, аналізувати трафік абонента й маніпулювати даними, що відправляються на пристрій користувача.

Атаки можливі через хиби, які вбудовані в сам стандарт LTE. Найбільш серйозна слабкість – це форма шифрування, яка не захищає цілісності даних. Брак аутентифікації даних дає змогу зловмисникові непомітно маніпулювати IP-адресами в зашифрованому пакеті. Дослідниками розроблено три варіанти атаки на LTE. Дві атаки проводяться в пасивному режимі та дають змогу збирати метадані про трафік, наприклад ідентифікувати певні види трафіку й визначати, які сайти відвідує користувач.

Атака, якою займалася група дослідників, отримала назву aLTER. Вона змушує мобільні пристрої використовувати шкідливий сервер системи доменних імен, який перенаправляє користувача на шкідливий сервер, маскується під Hotmail шляхом заміни IP-адреси DNS-сервера в DNS-пакетах.

Для захисту від підміни DNS-пакетів рекомендується застосовувати методи захисту DNS-трафіку, такі як DNS-SEC і DNS over TLS/HTTPS.

Атака вимагає фізичної присутності поблизу від жертви й основана на ініціюванні під'єднання пристрою жертви до фіктивної базової станції, трафік з якої перенаправляється до цієї базової станції (MITM-атака, що нагадує IMSI-catcher, але дає змогу не тільки прослуховувати трафік, але й модифікувати пакети).

Дві інших хиби пов'язані з тим, як LTE показує користувачів у стільниковій мережі та дає можливість витоку конфіденційної інформації про дані, які передаються між базовими станціями й кінцевими користувачами.

Можливість маніпулювати трафіком зумовлена недоробками в механізмах шифрування, які застосовуються на каналному рівні LTE (Data Link Layer). Зокрема, дані в LTE шифруються з використанням алгоритму AES-CTR, що працює в режимі лічильника, але без застосування засобів для контролю цілісності блоків. Брак контролю цілісності дає змогу підмінити шифротекст. Зокрема, в AES-CTR шифротекст формується шляхом застосування операції XOR між ключовою послідовністю (keystream) й вихідними даними.

Якщо атакуючий знає, які дані буде передано в пакеті, він може визначити частину ключової послідовності, яка використовується для створення частини шифротексту (операція XOR дає змогу відновити вміст ключа, знаючи підсумковий шифротекст і вихідні дані), і використовувати його для підміни відомих вихідних даних на свої дані, згенерувавши для них коректний шифротекст.

Найбільш простою з огляду практичної реалізації є підміна IP-адреси DNS-сервера в DNS-пакетах, оскільки атакуючий може передбачити адресу DNS-сервера (зазвичай використовуються сервери провайдера або публічні сервери типу 8.8.8.8 або 1.1.1.1). Варто зазначити, що проблема частково зачіпає й ще не прийнятий стандарт 5G, у якому введено додатковий режим надійного шифрування даних, що передаються з контролем цілісності, але проблема в тому, що цей режим не обов'язковий і запропонований як опція.

Основними проблемами під час атак є:

- необхідно заздалегідь знати, де є ціль, і мати дублюючу базову станцію, яка працює в радіусі приблизно кілометра від місця розташування;
- наявність спеціальної програмно-обумовленої радіосистеми, на якій виконується індивідуальна реалізація специфікації LTE;
- стабільність з'єднання, фільтрування радіооперешкод і програмне забезпечення для вияв-

лення шахрайства, впровадженого операторами мережі.

У лабораторних умовах для демонстрації стабільної атаки в приміщенні використовуються спеціальні екрани, які допомагають позбутися шумів і домогтися підтримки стійкого під'єднання.

У середині 2016 року Національний інститут стандартів і технологій США (The National Institute of Standards and Technology, NIST) представив документ, згідно з яким використання SMS-повідомлень для здійснення двофакторної аутентифікації в майбутньому не буде заохочуватись. У документі міститься пряма вказівка на те, що використання SMS-повідомлень для двофакторної аутентифікації буде розглядатися як неприпустиме й небезпечне.

Висновки. Узагальнюючи вищезазначене, можна зробити висновок, що захищеність мереж SS7 досі на низькому рівні. Мережі зв'язку містять небезпечні вразливості, які дають змогу порушити доступність сервісів для абонентів. Майже в кожній мережі можна прослухати розмову абонента або прочитати вхідні SMS-повідомлення та проводити шахрайські операції.

Оператори усвідомлюють наявні ризики та вживають заходів, які спрямовані на зниження ймовірності реалізації загроз.

Сьогодні вдалося скоротити ризики витоку інформації про мережу й абонента із впровадженням системи SMS Home Routing, яка здійснює фільтрацію повідомлень. Нині із цим мережі мобільного зв'язку використовують системи фільтрації та блокування сигнального трафіку.

Проте, незважаючи на активне впровадження додаткових систем захисту, усі мережі зв'язку є схильними до вразливостей, які пов'язані як із приватними випадками некоректного налагодження обладнання, так і з архітектурними проблемами сигнальних мереж SS7, які неможливо усунути наявними засобами. Тільки комплексний підхід до розв'язання проблем безпеки, який передбачає регулярний аналіз захищеності, підтримання параметрів мережі в актуальному стані, постійний моніторинг сигнального трафіку та своєчасне виявлення нелегітимної активності, може забезпечити високий рівень захисту від злочинців.

Список літератури:

1. ОКС-7. *Вікіпедія*. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ОКС-7#:~:text=Система%20сигнализации%20№%207%2C%20или,%20канальным%20разделением%20по%20времени>.
2. Уязвимости сетей мобильной связи на основе SS7. URL: <https://www.ptsecurity.com/upload/corporate/ru-ru/analytics/PT-SS7-security-2014-rus.pdf>.
3. Tobias Engel (2008), Location Mobile Phones using SS7-25. Chaos Communication Congress. URL: http://media.ccc.de/v/25c3-2997-en-locating_mobile_phones_using_ss7.

**Haryst A.V. ANALYSIS OF THE SECURITY OF NETWORKS
OF CELLULAR OPERATORS WITH A SECURITY PROTOCOL SS7**

Since the 1980s, the public telephone network has been upgraded from a simple network that provides voice transmission with limited data transmission capabilities to a more intelligent means that has the ability to transmit information with high bandwidth and the ability to quickly recover from hardware failures.

The incentive for modernization was the desire of telecommunications companies to effectively manage the network and increase its capacity in the most cost-effective way. This upgrade laid the foundation for new services such as ISDN, Intelligent Networking and others.

In telephone networks, including mobile ones, subscriber traffic (voice or data) and service traffic (for example, for establishing a connection) are clearly separated. Service traffic is Signaling System 7 – SS7, which contains a specific set of protocols, rules and notifications. The SS7 protocol refers to the data network and the technical protocols or rules that govern the exchange of data over them. It was developed in the 1970s to track and connect calls across various carrier networks, and is now used to calculate cellular billing and send text messages in addition to routing mobile and landline calls between carriers and regional switching centers.

This article presents the results of a study of the security of networks with the SS7 security protocol. When this standard was developed, only fixed operators had access to the SS7 network, so security was not a priority. Today, the signaling network is no longer completely isolated, so the offender who has gained access to it has the opportunity to use security flaws in order to listen to voice calls of subscribers, read SMS messages, transfer money from accounts, bypass billing systems or affect the functioning of the mobile networks.

In the early 2000s, the SIGTRAN specification was proposed, which allowed the transmission of SS7 protocol information over an IP network, and the signaling network was no longer isolated.

Key words: *Signaling System № 7, subscriber, cellular communication network, identifier, protocol, billing.*

УДК 621.396.4

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/05>**Романюк В.А.**

orcid.org/0000-0002-6218-2327

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут

Лисенко О.І.

orcid.org/0000-0002-7276-9279

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Романюк А.В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Новіков В.І.

orcid.org/0000-0003-4199-9968

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Гуйда О.Г.

orcid.org/0000-0002-2019-2615

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

МЕТОД ЗБОРУ ІНФОРМАЦІЇ З ВУЗЛІВ БЕЗПРОВОДОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АДАПТИВНИХ ЛІТАЮЧИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ РОБОТІВ

У роботі розглянуто метод збору інформації з вузлів безпроводової сенсорної мережі із використанням інтелектуальних адаптивних літаючих інформаційно-телекомунікаційних роботів (ІАЛІТР). В якості мережі, яку обслуговує ІАЛІТР розглядається безпроводова сенсорна мережа (БСМ). Ключова ідея покладена в розбудову алгоритмів БСМ та ІАЛІТР полягає у гнучкій кластеризації вузлів БСМ, яка надає можливість реалізувати раціональний маршрут руху ІАЛІТР.

Реалізація зазначеної ідеї представлена у вигляді математичної постановки задачі, яка характеризується: технічними та алгоритмічними властивостями мережі, вузлів мережі, ІАЛІТР; вимоги до якості збору інформації (даних), вимоги до системи збору інформації (даних) моніторингу.

При синтезі рішення на борту ІАЛІТР стосовно вибору раціонального способу збору інформації з вузлів БСМ використовується системний підхід, який дозволив: надати алгоритмам функціонування літаючих інформаційно-телекомунікаційних роботів інтелектуальності та адаптивності; сформулювати етапи (складові) методу збору інформації з вузлів БСМ.

Проведено дослідження ефективності вдосконаленого методу збору даних моніторингу при різних вихідних даних: розмірність мережі, кількість кластерів, кількості вузлів в кластері, варіантах побудови методів збору даних, стратегії обльоту вузлів в кластері.

Проведено порівняльне моделювання вдосконаленого безпосереднього методу збору даних ІАЛІТР з існуючим центроїдним методом збору даних моніторингу.

Проведений аналіз чотирьох стратегій обльоту кластера (тільки між центрами точок збору; обліт критичних вузлів; передача в точках, ближчих до маршруту обльоту; кооперативна) показав переваги кооперованої стратегії.

Проведена оцінка ефективності вдосконаленого методу збору даних з головних вузлів кластеризованої мережі показала його переваги відносно існуючих методів даного класу.

Ключові слова: телекомунікаційна аероплатформа, безпроводова сенсорна мережа, інтелектуальний адаптивний літаючий інформаційно-телекомунікаційний робот, кластери, центр управління мережею.

Постановка проблеми. Класична телекомунікаційна аероплатформа (ТА) являє собою базову станцію, яка винесена у тривимірному просторі над підстилаючою поверхнею завдяки використанню літального апарату (“повітряна сота”) або аеростатичного, або гвинтокрилого, або літакового типу [1, 2]. Якщо на борту ТА виконується обробка інформації у режимі реального часу і на основі цієї обробки приймається рішення щодо виконання складних просторових рухів („інтелект дії”), які спрямовані на підвищення ефективності функціональних завдань мережі, яку обслуговує ця ТА, то телекомунікаційну аероплатформу можливо вважати інтелектуальним адаптивним літаючим інформаційно-телекомунікаційним роботом (ІАЛІТР).

В якості мережі, яку обслуговує ІАЛІТР розглядається безпроводова сенсорна мережа (БСМ). Завдання АЛІТР полягає у зборі інформації (даних) з БСМ. Існуючий на сьогодні тривіальний метод збору даних (метод безпосереднього збору даних з кожного сенсорного вузла БСМ окремо [2; 7]) при застосуванні ІАЛІТР не дозволяє використати усі технологічні можливості ІАЛІТР для підвищення ефективності функціонування БСМ (збільшити „час життя” та (або) зменшити час збору інформації і, у підсумку, підвищити надійність, функціональну стійкість та живучість БСМ). Основна перевага тривіального методу полягає у спрощених алгоритмах функціонування і взаємодії БСМ та ІАЛІТР, що призводить до здешевлення апаратних засобів БСМ. Але у багатьох критичних ситуаціях економічна перевага поступається своєю важливістю надійності, функціональній стійкості та живучості БСМ [3-8].

Постановка завдання. Ключова ідея, яка покладена у розробку алгоритмів взаємодії БСМ та ІАЛІТР, полягає у гнучкій (адаптивній) кластеризації вузлів БСМ, яка надає можливість реалізувати раціональний маршрут руху ІАЛІТР. Згідно із цими алгоритмами пропонується об’єднувати вузли в тимчасові кластери, де роль головного вузла кластера покладається на ІАЛІТР. Алгоритм побудови траєкторії руху ІАЛІТР за відомою інформацією про координати положення вузлів БСМ здійснює розрахунок координат точок збору даних та будує траєкторію руху ІАЛІТР („інтелект дії”). У статті, на відміну від існуючих „жорстких” центроїдних алгоритмів кластеризації, пропонується використовувати „адаптивні (гнучкі)” алгоритми кластерного аналізу, які отримали назви відповідно: алгоритм k -середніх та алгоритм фор-

мального елемента (for.el). Ці алгоритми характеризуються меншою обчислювальною складністю та надають можливість адаптивно змінювати розміри кластера і, тим самим, керувати кількістю кластерів [4-7].

Виклад основного матеріалу.

1. Математична постановка задачі

Незмінними вважаємо параметри, які характеризують:

1) технічні та алгоритмічні властивості мережі, вузлів мережі, ІАЛІТР;

2) вимоги до якості збору інформації (даних), вимоги до системи збору інформації (даних) моніторингу.

Керуючими параметрами вважаємо кількість пунктів маршруту руху ІАЛІТР (кількість точок збору інформації (даних), що співпадає із кількістю кластерів n_k) та характеристики траєкторії руху ІАЛІТР між цими пунктами та поблизу цих пунктів; схему обльоту ІАЛІТР пунктів маршруту.

Керуючі параметри впливають на критерії, в якості яких обрано: час збору інформації (даних) $T_{зб}$; час функціонування („життя”) БСМ $T_{ф}$; кількість ІАЛІТР, яку обрано для обслуговування БСМ $N_{ІАЛІТР}$.

Математична постановка задачі набуває вигляду:

$$T_{зб} \rightarrow \min \text{ або } T_{зб} \leq T_{зб\text{зад}}, \quad (1)$$

$$T_{ф} \rightarrow \min \text{ або } T_{ф} \geq T_{ф\text{зад}}, \quad (2)$$

$$N_{ІАЛІТР} \rightarrow \min \text{ або } N_{ІАЛІТР} \leq N_{ІАЛІТР\text{зад}}, \quad (3)$$

$$\text{де } T_{зб} = L_{мб} / v; L_{мр} = f((x, y)_k, h, t_{обк}, St, k = 1 \dots n_k) \quad (4)$$

при виконанні обмежень Ω на:

1) граничний час (відстань) в раунді польоту ІАЛІТР

$$T_{зб} \leq T_{пол\text{мах}} \quad (0 < L_{мб} \leq L_{мр} \leq L_{м\text{мах}}); \quad (5)$$

2) швидкість польоту

$$TA - v = [v_{\min}, v_{\max}]; \quad (6)$$

3) кількість кластерів – $1 \leq k \leq n_k$;

4) енергію батарей вузлів і ІАЛІТР – $e_i \leq e_{\max}$, $e_{ІАЛІТР} \leq e_{ІАЛІТР\text{мах}}$;

5) координати розташування (x, y) вузлів знаходяться в області покриття зони моніторингу A ;

6) висоту польоту – $h = [h_{\min}, h_{\max}]$;

7) обсяги буферів $V_{буф\text{вузл}i} \leq V_{буф\text{вузл}\text{мах}}$; $V_{буфІАЛІТР} \leq V_{буфІАЛІТР\text{мах}}$;

8) вимоги моделей обслуговування, наприклад, при гарантованій якості обслуговування час обльоту кожного k -го кластера $t_{обклk}$ повинен бути більшим ніж сумарний час передачі між всіма вузлами і ТА – $t_{обклk} \geq t_{перk}$;

9) St – множину стратегій (схем) обльоту.

2. Синтез рішення інтелектуальним адаптивним літаючим інформаційно-телекомунікаційним роботом

При синтезі рішення на борту ІАЛПТР стосовно вибору раціонального способу збору інформації з вузлів БСМ використовується системний підхід, складові якого представлені на рис. 1.

Системний підхід дозволяє:

- 1) надати алгоритмам функціонування ЛПТР інтелектуальності та адаптивності;
- 2) сформулювати етапи (складові) методу збору інформації з вузлів БСМ.

Розглянемо детальніше складові методу збору інформації з вузлів БСМ.

1. Спосіб безпосереднього збору даних з кожного вузла мережі – з обльотом кожного вузла, з обльотом території (де розташована БСМ), з обльотом кластерів БСМ.

2. Спосіб оптимізації операцій стосовно управління – ізольовано (центр управління мережею, система управління ІАЛПТР, система управління вузла БСМ або кооперовано – у взаємодії між ними; при наявності або відсутності інформації про стан вузлів БСМ у ІАЛПТР (ЦУ мережею); централізовано або децентралізовано.

3. Порядок та правила кластеризації БСМ:

а) розрахувати кількість і розміри кластерів (повинна бути проведена оптимізація кількості та розмірів кластерів в залежності від різних цільових функцій управління мережею на етапі збору даних);

б) провести кластеризацію мережі і визначити точки збору даних моніторингу за певними параметрами в залежності від цільових функцій управління мережею і ситуації в мережі;

в) визначити моделі (алгоритми) обміну даними між ІАЛПТР і вузлами кластера;

г) розрахувати стратегії та параметри обльоту ІАЛПТР вузлів в кластерах по заданим цільовим функціям (побудова, оптимізація та корегування шляху обльоту ІАЛПТР вузлів в залежності від цільових функцій управління та наявних ресурсів ІАЛПТР і вузлів БСМ).

При наявності інформації про стан БСМ ці завдання вирішуються централізовано центром управління мережею (ЦУМ). При її відсутності – децентралізовано: ІАЛПТР і вузлами мережі у взаємодії.

4. Побудувати маршрути обльоту точок збору даних ІАЛПТР: базового (обльоту всієї мережі БСМ) та маршрутів обльоту кожного з кластерів. Наприклад, базові параметри польоту розраховує ЦУМ, а ІАЛПТР здійснює коригування базового маршруту в кластерах після отримання інформації про стан вузлів кластера при підльоті до нього та наявності відповідних ресурсів.

5. Визначити критерії та їх пріоритет при управлінні процесом збору даних, а саме: мінімізація часу збору даних, максимум часу функціонування БСМ, мінімум ІАЛПТР, мінімізація витрат енергії вузлів в процесі передачі від вузлів до ІАЛПТР, тощо.

6. Визначити модель польоту на основі наявності або відсутності інформації про координати знаходження вузлів БСМ, з постійною або адаптивною швидкістю, з гарантією обслуговування або її відсутністю.

7. Моделі польоту ІАЛПТР при зборі даних моніторингу з БСМ.

Формування та реалізація параметрів польоту ІАЛПТР відбувається в два етапи.

На першому – центр управління мережею будує базовий найкоротший маршрут з обльоту



Рис. 1. Структура системного підходу стосовно вибору раціонального способу збору інформації з вузлів БСМ

точок збору даних в БСМ одним з відомих алгоритмів вирішення задачі комівояжера [7, 60, 61], (наприклад, метод найближчого сусіда) визначає середню швидкість і висоту польоту.

На другому – при підльоті до чергового кластера ІАЛІТР коригує параметри свого обльоту (траєкторію, швидкість, якість обслуговування) в залежності від кількості вузлів в кластері, параметрів вузлів кластера (місцеположення, наявна енергія батарей вузлів та обсяги даних моніторингу), наявних особистих ресурсів (енергії та часу, що залишився на політ) і цільових функцій управління мережею. Так, наприклад, при існуванні „критичних” вузлів в кластері („виснажених”, „перевантажених” тощо) їх обліт (обслуговування) пропонується здійснювати на мінімальній відстані до них з пріоритетом в обслуговуванні. Для забезпечення гарантії часу збору даних розраховується та реалізується необхідна швидкість польоту (зависання ІАЛІТР в певній точці простору на потрібний час).

Середній час польоту (в цілому збору даних) в мережі $T_{зб}$ визначається співвідношенням довжини маршруту обльоту L_m до середньої швидкості польоту v : $T_{зб} = L_m/v$. Максимальний час обльоту визначає найпростіша стратегія збору даних ІАЛІТР – безпосередньо з кожного вузла – $T_{збmax} = L_{mmax}/v$, мінімальний час (при даному рішенні по кластеризації) дорівнює $T_{збmin} = L_{min}/v$, де L_{min} – мінімальна довжина маршруту, що охоплює всі точки збору мережі за умови, що час, необхідний для збору (передачі) даних в кожному k -му кластері, буде менше часу його обльоту $t_{перк} \leq t_{обк}$ (при гарантованому обслуговуванні всіх даних моніторингу).

Скорочення довжини маршруту польоту призводить до зменшення часу збору інформації і зменшення витрати енергії ІАЛІТР, але збільшує витрати енергії сенсорних вузлів через збільшення відстані в радіоканалах вузол- ІАЛІТР.

Більш детально час збору даних $T_{зб}$ залежить від: вимог додатків, середньої швидкості польоту v , кількості сформованих кластерів мережі $n_{кл}$, розташування $(x, y)_k$ точок збору даних, базової довжини маршруту $L_{мб}$ (реальна довжина маршруту $L_{мр}$ буде збільшуватимуся через застосування різних стратегій обльоту кластерів), висоти польоту h , часу обльоту кожного k -го кластера мережі $t_{обклk}$, швидкості передачі в радіоканалі вузол- ІАЛІТР, стратегії обльоту при обслуговуванні кожного k -кластера St_k , можливостей та ресурсу ІАЛІТР.

При цьому доцільно розглядати різні моделі польоту.

1. Базова найпростіша модель.

Політ з однаковою постійною швидкістю в кластері та між кластерами спрощує управління переміщенням ІАЛІТР, не висуває додаткових вимог до БПЛА, може використовуватися як гвинтокрилий так й літаковий тип БПЛА. Збір даних починається при встановленні радіозв'язку з першим вузлом кластера. Час збору дорівнює часу польоту через кластер. Дані, які вузли не встигли передати, зберігаються в вузлах до наступного раунду польоту. При прильоті до зони радіозв'язності з базовою станцією ІАЛІТР передає їй дані та починає новий цикл обльоту. Модель може бути реалізована як роторним так і літаковим типом БПЛА.

2. Політ ІАЛІТР з однаковою постійною швидкістю достатньою для обслуговування кластера та з підвищеною швидкістю (визначається можливостями БПЛА) при переміщенні між кластерами.

Для реалізації моделі необхідні БПЛА зі змінною швидкістю польоту. Ця модель може бути реалізована як роторним так і літаковим типом БПЛА.

3. Політ з адаптивною швидкістю в кластерах.

Для визначених типів додатків може бути необхідна різна швидкість обміну даними, яка визначається зовнішніми факторами такими як надзвичайна ситуація. Наприклад, деякі вузли можуть мати спеціальні можливості збору та передачі аудіо та відео даних, які можуть бути потрібними в певні моменти часу (поява порушника в зоні контролю, висока температура, тиск та вібрація в трубопроводі тощо). Крім цього для гарантованого збору даних необхідно адаптувати швидкість передачі до необхідного часу передачі даних.

Рішення про збільшення або зменшення часу збору інформації приймається ЦУМ або СУ ІАЛІТР разом з вузлом-джерелом цих даних. Можуть бути використані БПЛА гвинтокрилого та літакового типу.

4. Політ з гарантованим обслуговуванням вузлів кластера.

ІАЛІТР розраховує час обслуговування всіх вузлів при постійній швидкості передачі. При браку часу вираховується додатковий час. Необхідно відмітити, що ця модель може бути використана в сценаріях надзвичайних ситуацій або спеціальних місіях, де моніторинг певного географічного району або „гарячої точки ” вимагається за певний період часу.

Модель може бути використана для передачі трафіку реального часу. Використовуються БПЛА роторного типу.

5. Політ з обмеженням максимального часу обслуговування кластера (вузла).

Вузол певного кластера в змозі зібрати досить великий обсяг даних, що вимагає дуже значного часу його обслуговування. Одночасно час інші вузли теж очікують обслуговування в цьому циклі польоту, час затримки в обслуговуванні певних додатків може бути перевищений, буфери інших вузлів кластера можуть бути переповнені тощо. Тому для справедливого обслуговування встановлюється граничний час обслуговування для кожного кластера. Якщо кількість даних в кластері не може бути обслужена в період цього циклу обльоту, тоді не обслужена частина даних переноситься на наступний раунд польоту. Використовуються БПЛА гвинтокрилого типу. Ця модель також може бути застосована для забезпечення безпеки системи збору даних в цілому. Вона запобігає захопленню ІАЛПТР вузлом супротивника, який виставив вимогу безмежно великого буферу та організує атаку типу „вимога в обслуговуванні” (DoS-атака).

3. Математичне моделювання

Модель мережі: неоднорідна БСМ, наземні вузли якої випадковим чином розподілені на певній території, мають однакові функції та ресурси, стаціонарні, не обслуговуються, не змінюють свого місця розташування, оснащені системою позиціонування (наприклад, GPS).

Вважаємо, що ІАЛПТР і сенсорні вузли оснащені однаковим радіообладнанням і підтримують однакові протоколи інформаційного обміну (наприклад, IEEE 802.11), мають обмежені дальність радіозв'язку і швидкість обміну. Кожен вузол мережі має власну систему управління, діє в кооперації з ІАЛПТР (при необхідності з іншими вузлами мережі), має достатній об'єм пам'яті для зберігання даних моніторингу.

ІАЛПТР має можливість переміщатися в трьох вимірах із постійною або змінною швидкістю на обмеженій висоті та обмежений час. ІАЛПТР має власну систему управління, яка дозволяє самостійно приймати свої рішення в умовах відсутності зв'язності з центром управління мережею. Коли в зону радіозв'язку вузла входить ІАЛПТР, він відправляє йому зібрані дані моніторингу згідно прийнятої моделі обміну.

Вважається, що ІАЛПТР має інформацію про координати вузлів, які можуть бути отримані одним із таких способів:

1. На етапі розгортання наземних мереж при детермінованому розміщенні вузлів фіксуються координати кожного з вузлів при його розміщенні.

2. У разі випадкового розгортання вузлів мережі ІАЛПТР здійснює первинний обліт території, що покривається наземними вузлами БСМ, і збирає дані про координати вузлів в припущенні наявності в вузлах системи позиціонування. В цьому випадку маршрут польоту будується з метою покриття всієї території спостереження. В процесі обльоту ІАЛПТР збирає як інформацію моніторингу, так інформацію про стан вузлів і кластерів для подальшого планування завдань управління.

3. При наявності зв'язної топології вузлів БСМ з наземним шлюзом з'являється можливість збору центром управління інформації про стан і координати розташування сенсорних вузлів.

Будемо вважати, що зона радіозв'язку ІАЛПТР з вузлами являє собою коло (кластер) радіуса R , а зчитування інформації з вузлів БСМ може проводитися в довільних точках кластера.

Необхідно: знайти мінімальну кількість точок збору інформації (центрів кластерів) з вузлів БСМ та координати цих точок у просторі.

Завдання полягає в покритті вихідної множини точок (вузлів) мережі мінімальною кількістю кіл радіуса R . Задано:

зона покриття A , множина сенсорів $S = \{s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_n\}$, $i = 1 \dots n$ та їх координати на місцевості $X = \{x_1, \dots, x_i, \dots, x_n\}$;

h – висота польоту ІАЛПТР;

d_{\max} – дальність радіозв'язку між сенсорним вузлом і ІАЛПТР у припущенні граничної моделі радіоканалу;

R – радіус зони покриття ІАЛПТР, $R = \sqrt{d_{\max}^2 - h^2}$;

множина ІАЛПТР $U = \{u_1, u_2, \dots, u_k, \dots, u_K\}$, $k = 1 \dots K$, проекція їх положення на місцевості $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_k, \dots, y_K\}$.

Необхідно: знайти мінімальну кількість ІАЛПТР (кластерів $C = \{C_1, C_2, \dots, C_j, \dots, C_J\}$, $j = 1, J$) і розташування їх у просторі (центрів зон покриття ІАЛПТР з радіусом R), для покриття всіх вузлів мережі (рис. 2).

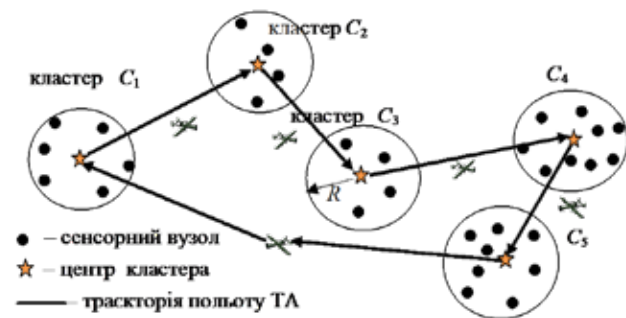


Рис. 2. Варіант кластеризації мережі та переміщення ІАЛПТР між точками збору – центрами кластерів

Математична постановка задачі щодо мінімізації кількості кластерів:

$$K \rightarrow \min \quad (7)$$

при виконанні обмежень

$$\min_{y_1, y_2, \dots, y_K} \max_j \min_{x \in C_j} |x - y_k| \leq d_{\max}, k = \overline{1, K}, j = \overline{1, J}, \quad (8)$$

$$q_j \leq q_{j\max}, \quad (9)$$

$$K \leq K_{\max}, R = [R_{\min} \dots R_{\max}], h = [h_{\min} \dots h_{\max}], \quad (10)$$

де $|x - y|$ – Евклідова відстань між крапками x та y на місцевості, q_j – кількість сенсорних вузлів в j -му кластері. Фізичний зміст обмежень полягає в наступному: нерівність (8) – максимальна відстань між центром зони покриття та сенсорними вузлами повинна бути мінімізована; нерівність (9) визначає граничну кількість вузлів в кластерах; (10) – задає ресурсні обмеження.

Ця задача відноситься до класу обчислювальної геометрії та близька до задачі розміщення p -центрів – знаходження мінімальної кількості кіл фіксованого радіуса та їх положення, що покривають задану кількість точок [64]. Завдання є NP -повним, одержання точного рішення задачі для мереж великої розмірності є складним, тому для її вирішення необхідно використовувати евристичні методи пошуку. Для отримання рішення пропонується використовувати ітераційні алгоритми кластерного аналізу формального елементу (for-el) та k -середніх [65; 66].

Результати моделювання

Розглянемо результати моделювання для наступних основних вихідних даних. Однорідні вузли БСМ розташовані випадковим чином на певній площині. Кількість сенсорних вузлів – $N = 400$. Кількість вузлів в кластері – $n_k = 10, 20, 50$. Початкова енергія вузлів – $e_0 = 0.1$ J. Дальність радіозв'язку – $d_{\max} = 250$ м, максимальна висота польоту ІАЛІТР – $h_{\max} = 250$ м, максимальна швидкість польоту – $v_{\max} = 10$ м/с, кількість раундів обльоту – $NR_{\text{зад}} = 700$. Протокол доступу до каналу IEEE 802.11g, розмір даних моніторингу вузла – 100 Кб.

Будем розглядати та порівнювати наступні методи збору даних за відповідними класами:

1. Відомий метод безпосереднього збору при центроїдній кластеризації.

2. Вдосконалений (запропонований у статті) метод безпосереднього збору даних з вузлів ІАЛІТР при реалізації різних стратегій (правил обльоту та обміну даними в кластерах):

а) стратегія № 1 – точка збору даних ІАЛІТР тільки в центрі кластера;

б) стратегія № 2 – збір інформації ІАЛІТР з врахуванням правил обльоту „критичних” вузлів;

в) стратегія № 3 – збір інформації ІАЛІТР з врахуванням правил обміну з вузлами, ближчими до траєкторії обльоту кластера;

г) стратегія № 4 – збір інформації ІАЛІТР з вузлів при кооперативній роботі по створенню міні-кластерів та побудови енергоефективних маршрутів до вузлів, які знаходяться ближче до маршруту обльоту кластера;

Ефективність функціонування методів будемо порівнювати за критеріями: час збору даних моніторингу $T_{\text{зб}}$ та час функціонування БСМ – $T_{\text{ф}}$ (за фізичним змістом – це час від початку роботи БСМ до моменту часу, коли в наслідок інформаційного обміну буде витрачено увесь запас енергії акумуляторної батареї останнього вузла. Якщо $T_{\text{ф}} = 100\%$ – це означає що немає працездатних вузлів для передачі даних, тобто в останньому вузлі залишок енергія споживання $e_{\text{ст}}$ стає нулем. Чим вище значення $T_{\text{ф}}$, тим менша кількість працездатних вузлів залишається в мережі). Моделювання та розрахунки здійснено в системі комп'ютерної математики MATLAB.

На рис. 3 наведені залежності часу збору даних від методу збору (центроїдний та вдосконалений методи збору даних) при різній кількості вузлів в віртуальному кластері $n_k = 10, 20, 50$. Можемо спостерігати переваги вдосконаленого методу безпосереднього збору даних. Час збору даних при цьому методі зменшується на 10 – 15% за рахунок зменшення кількості точок обльоту (застосування алгоритму кластерного аналізу for-el).

На рис. 4. наведені залежності часу функціонування БСМ від методу збору (центроїдний та безпосереднього збору даних) при різній кількості вузлів в віртуальному кластері $n_k = 10, 20, 50$. Вдосконалений метод безпосереднього збору даних дозволяє збільшити час функціонування мережі на 12 – 17 % за рахунок застосування правил зменшення витрат енергії вузлами при обміні з ТА.

На рис. 5–8 наведені результати моделювання застосування запропонованих правил зменшення витрат вузлів при реалізації вдосконаленого методу безпосереднього збору даних ІАЛІТР. На цих рисунках горизонтальна вісь являє собою кількість ітерацій, що означає кількість раундів обльоту ІАЛІТР.

Зменшення середньої енергії споживання вузлом $e_{\text{ст}}$ зі збільшенням раундів обльоту обумовлюється тим, що залишається менша кількість працездатних вузлів. Це пояснюється тим, чим менша кількість вузлів, тим менше мож-

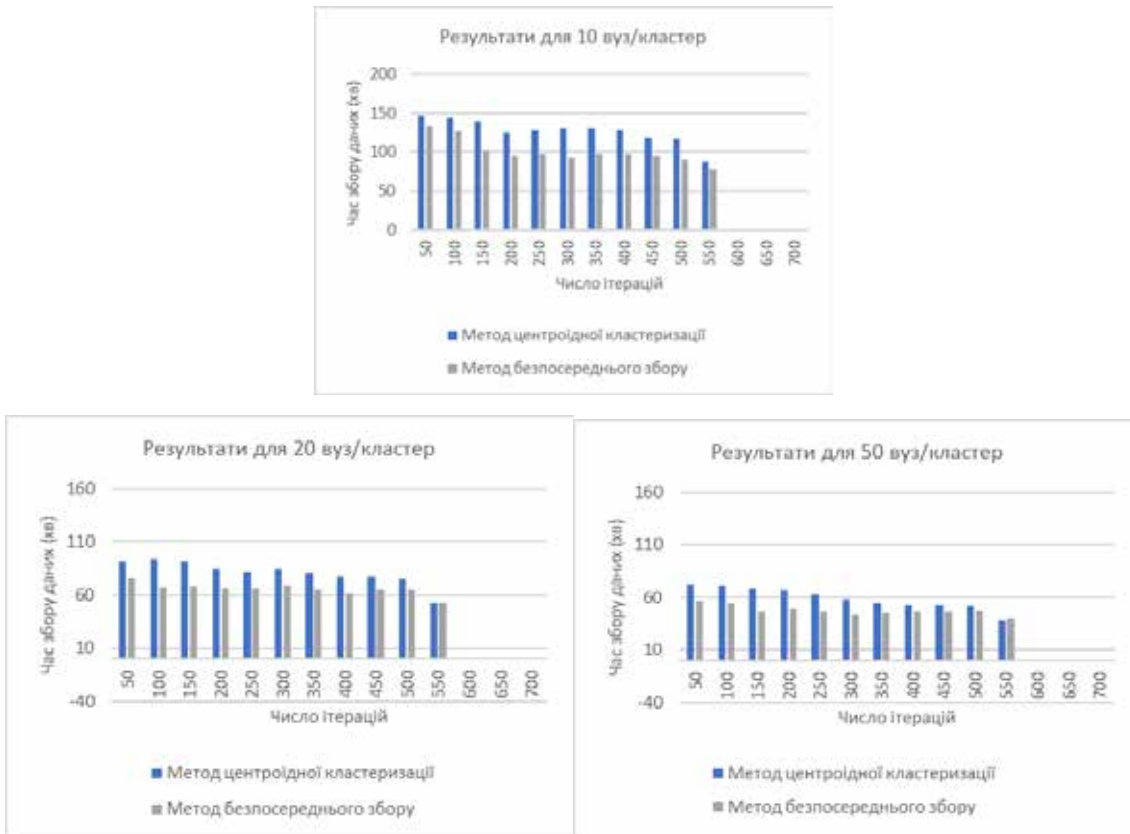


Рис. 3. Залежність часу збору даних від методу збору при різній кількості вузлів в кластері $n_k=10, 20, 50$

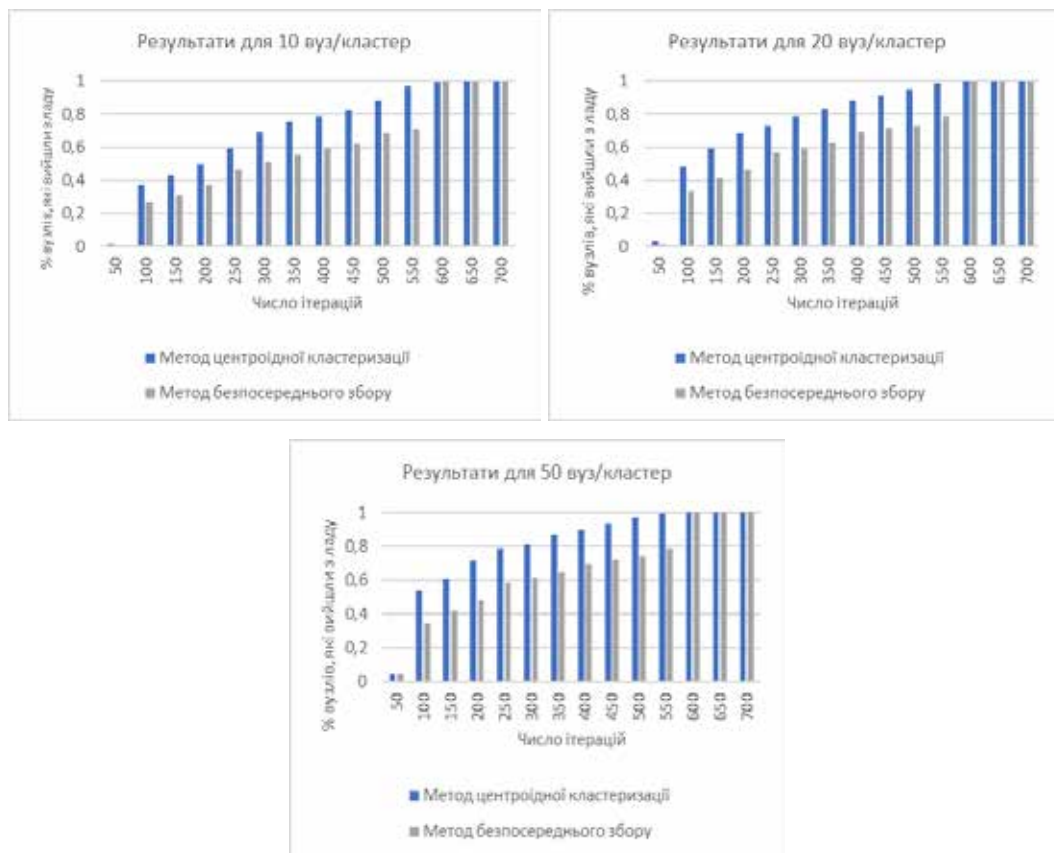


Рис. 4. Залежність часу функціонування БСМ від методу збору при різній кількості вузлів в кластері $n_k=10, 20, 50$

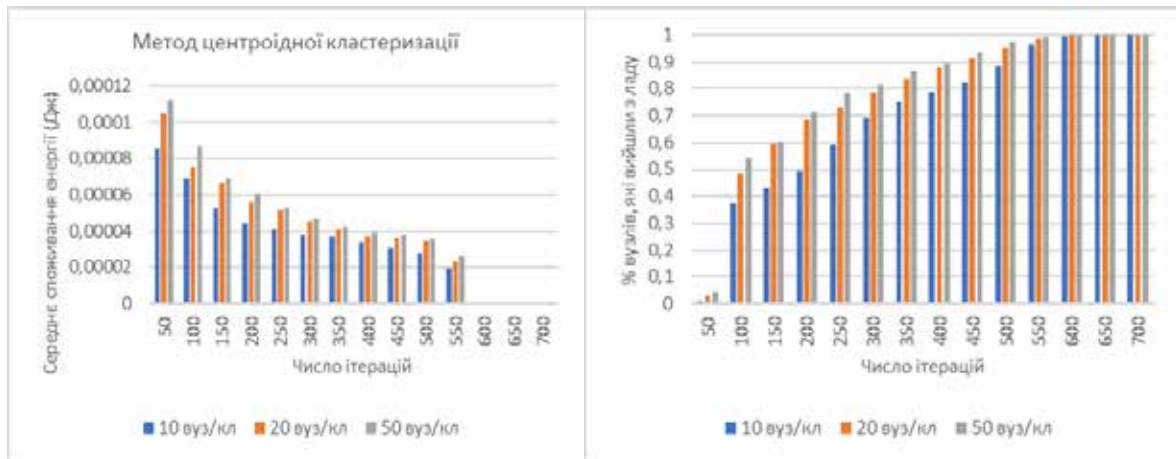


Рис. 5. Середнє споживання енергії вузла і відсоток виходу з ладу вузлів при обльоті ІАЛІТР тільки центрів кластерів (стратегія № 1)

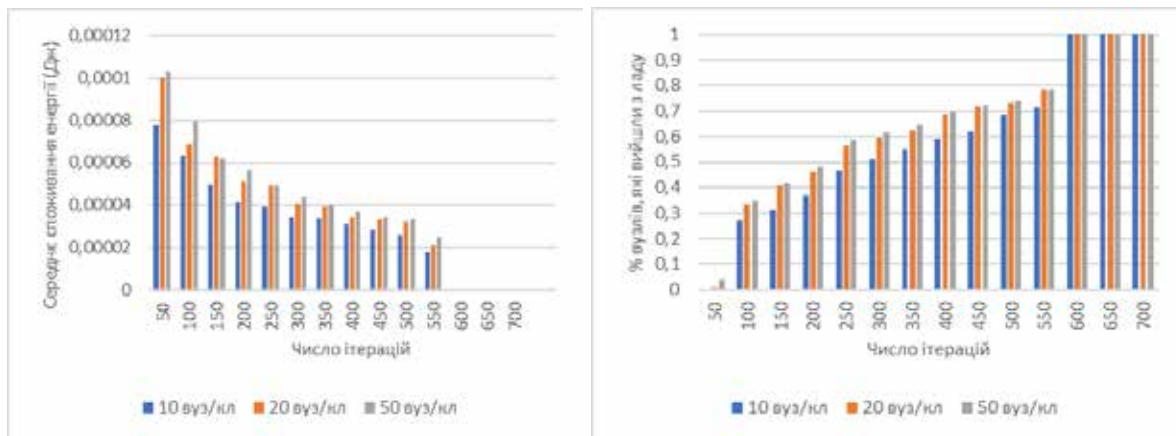


Рис. 6. Середнє споживання енергії вузла і відсоток виходу з ладу вузлів при обльоті критичних вузлів (стратегія № 2)

ливостей витратити багато енергії завдяки відокремленим вузлам. Отже, значення середньої енергії, яка споживається всіма вузлами в кластері незначне.

На рис. 5 (зліва) показані значення $e_{сп}$ і $T_{ф}$ для стратегії № 1 (ТА летить над центром кластера), на рис. 5 (справа) – для стратегії № 2 (ТА летить над вузлом, який має найменший рівень енергії та потім через центр кластера).

На рис. 7 наведені результати моделювання стратегії № 3 (вузли, які ближчі до маршруту обльоту кластера, передають дані).

З результатів моделювання, які наведені на рис. 5–7, спостерігається загальна тенденція – зі збільшенням раундів збору даних ІАЛІТР зменшується середня енергія споживання та збільшується кількість непрацездатних вузлів в мережі. Це пояснюється наступним: на початкових раундах обльоту кожний кластер містить багато працездатних вузлів, але ця кількість зменшується зі зростанням кількості раундів обльоту.

Кращі результати серед трьох стратегій продемонструвала стратегія № 3 (рис 5) (найменше споживання енергії і найменший відсоток непрацездатних вузлів) у порівнянні з результатами у попередніх двох стратегій.

Застосування кооперативної стратегії № 4 (маршрутизація даних з вузлів кластера до вузла, який знаходиться ближче до траєкторії польоту ІАЛІТР з використанням енергоефективних метрик пошуку маршруту) показало помітну перевагу в низькому споживанні енергії та часі функціонування мережі (рис. 8).

Так після 600 раундів, в усіх трьох стратегіях різко знижується кількість працездатних вузлів (стратегії № 1 – 3), але 40% працездатних вузлів залишається при використанні стратегії № 4. Показано, що щільніше розташування вузлів призведе до меншого енергоспоживання і більшої тривалості часу функціонування. Це є результатом використання енергоефективної метрики побудови маршруту для пошуку маршрутизатора з більшою енергією батареї.

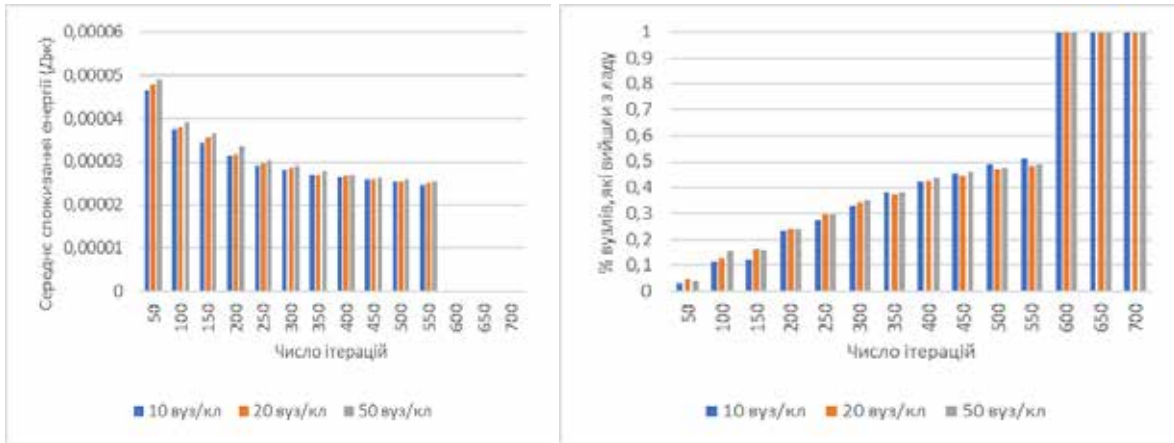


Рис. 7. Середня витрата енергії на вузол та відсоток виходу з ладу вузлів при кооперованій стратегії обльоту (стратегія № 3)

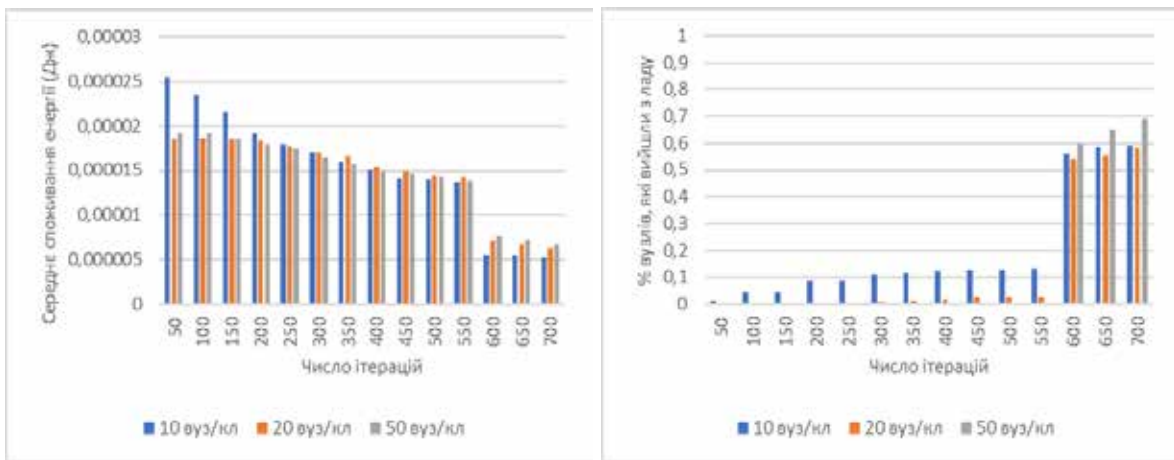


Рис. 8. Середнє споживання енергії та відсоток непрацездатних вузлів при використанні енергоефективних метрик вибору маршруту (стратегія № 4)

На рис. 9 та 10 наведені результати моделювання вдосконаленого методу збору даних ІАЛІТР з головних вузлів кластера в порівнянні з методом свого класу (HEED) за показниками час збору даних та час функціонування мережі.

У запропонованого методу в порівнянні з методом HEED час збору даних менший в середньому на 14% за рахунок використання та пріоритету метрики вибору головного вузла кластера – коротша відстань до траєкторії польоту ІАЛІТР. Виграш збільшується з зростанням частки вузлів, які відмовили. Витрати енергії вузлів при реальній кластеризації в запропонованому методі зменшуються на 10 – 15% внаслідок застосування енергозберігаючих правил побудови топології кластерів, вирівнювання витрат енергії вузлів при побудові маршрутів передачі в кластері (вибираються з множини можливих маршрутів передачі між вузлом та ГВК маршрути, які мають мінімум витрат енергії на передачу та вузли, рівень батареї яких не перевищують граничний рівень).

Висновки. Проведено дослідження ефективності вдосконаленого методу збору даних моніторингу при різних вихідних даних: розмірність мережі, кількість кластерів, кількості вузлів в кластері, варіантах побудови методів збору даних, стратегії обльоту вузлів в кластері.

Результати порівняльного моделювання вдосконаленого безпосереднього методу збору даних ІАЛІТР з існуючим центроїдним методом збору даних моніторингу продемонстрували, що час збору даних з вузлів ІАЛІТР при застосуванні вдосконаленого методу зменшується на 10 – 15% за рахунок зменшення точок обльоту (застосування алгоритму кластерного аналізу for-el). Вдосконалений метод дозволяє збільшити час функціонування мережі на 12 – 17 % за рахунок застосування правил зменшення витрат енергії вузлами при обміні з ІАЛІТР.

Проведений аналіз чотирьох стратегій обльоту кластера (тільки між центрами точок збору; обліт критичних вузлів; передача в точках, ближчих до

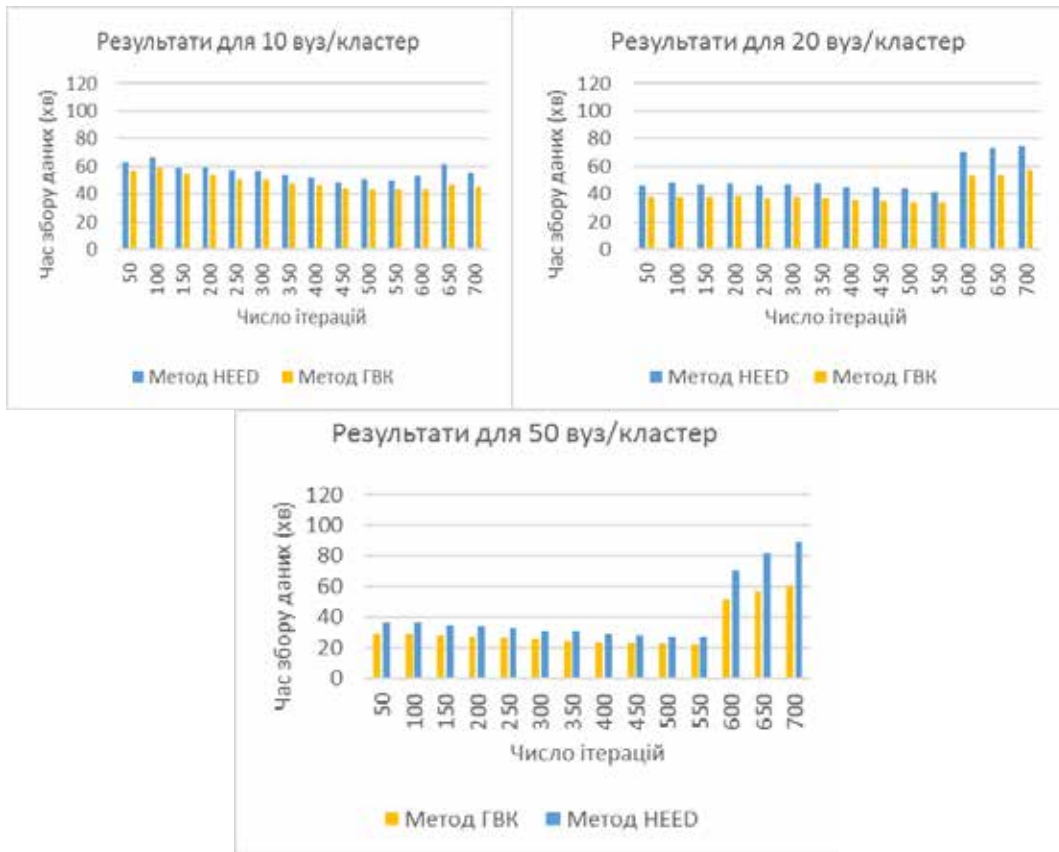


Рис. 9. Залежності часу збору даних з БСМ ІАЛІТР для методу HEED та запропонованого вдосконаленого методу збору з головних вузлів

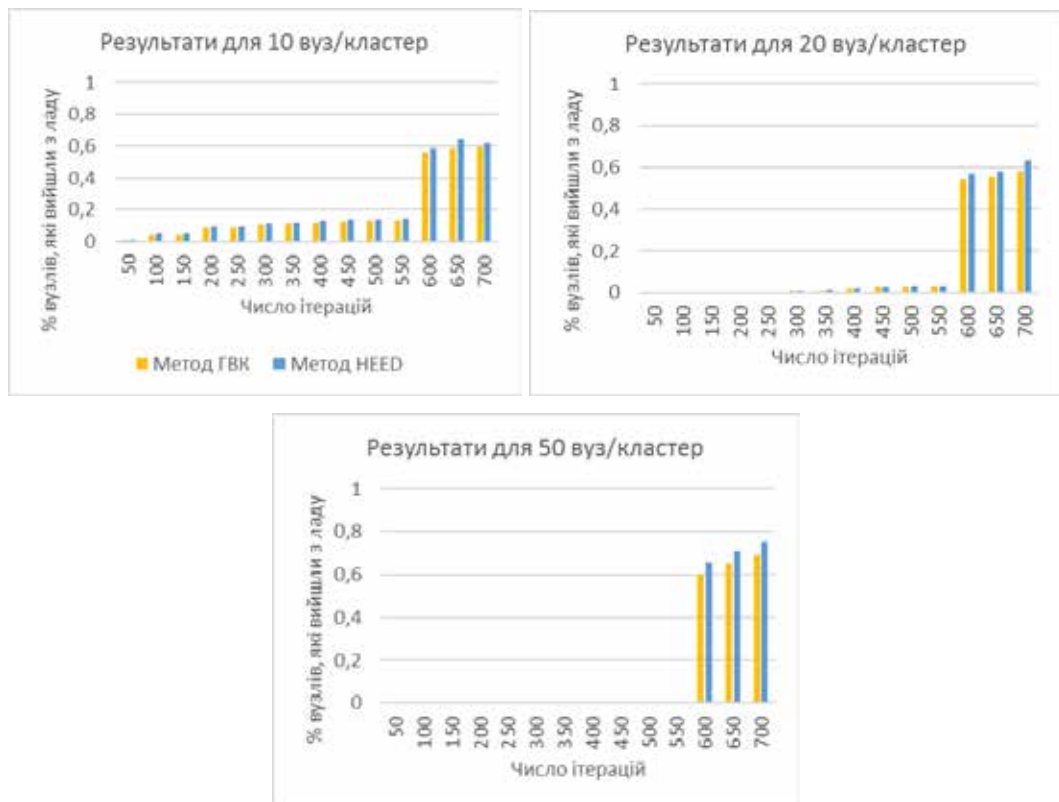


Рис. 10. Залежності часу функціонування БСМ для методу HEED та запропонованого методу збору з головних вузлів ТА

маршруту обльоту; кооперативна) показав переваги кооперованої стратегії, яка дозволяє в порівнянні з іншими до 15 % зменшити витрати енергії вузлів в кластерах.

Проведена оцінка ефективності вдосконаленого методу збору даних з головних вузлів

кластеризованої мережі показала його переваги відносно існуючих методів даного класу. В порівнянні з методом кластеризації HEED вдосконалений метод дозволяє скоротити час збору даних моніторингу в середньому на 14 %, збільшити час функціонування мережі на 10 – 15 %.

Список літератури:

1. Dan Popescu, Florin Stoican, Grigore Stamatescu, Oana Chenaru and Loretta Ichim A Survey of Collaborative UAV–WSN Systems for Efficient Monitoring. *Sensors* 2019, 19 (21), 4690, <https://doi.org/10.3390/s19214690>.
2. Бунин С.Г. Самоорганізуючіся радіосети со сверхширокополосными сигналами / С.Г. Бунин, А.П. Войтер, М.Е. Ильченко, В.А. Романюк. – К: НПП „Издательство „Наукова думка” НАН України”. – 444 с.
3. Романченко І.С. Моделі застосування інформаційно-телекомунікаційних технологій на основі безпілотних авіаційних комплексів у надзвичайних ситуаціях / І.С. Романченко, С.Л. Данилюк, С.М. Чумаченко [та ін.]. – К: НАУ, 2016. – 232 с.
4. Романюк А.В. Алгоритм временной кластеризации узлов беспроводных сенсорных сетей для сбора информации мониторинга с использованием БПЛА / А.В. Романюк // Міжвідомчий науково-технічний збірник „Адаптивні системи автоматичного управління”. – № 2 (33). – 2018. – С. 106 – 117. <https://doi.org/10.20535/1560-8956.33.2018.164680>.
5. Романюк А.В. Метод доступу до радіоканалу вузлами безпроводної сенсорної мережі при зборі даних моніторингу телекомунікаційними аероплатформами / А.В. Романюк // Збірник наукових праць ВІТІ. – 2018. – № 4. – С. 84 – 91.
6. Романюк А.В. Задачі управління збором даних моніторингу БПЛА в безпроводових сенсорних мережах / А.В. Романюк // Збірник наукових праць ВІТІ. – 2018. – № 2. – С. 103 – 112.
7. Романюк А.В. Цільові функції управління вузлами безпроводних сенсорних мереж для моніторингу об'єктів критичної інфраструктури / А.В. Романюк // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 28 (67). – № 2, – 2017. – С. 49 – 54. ISSN 1606-3721.
8. Lysenko O. Optimal control of telecommunication airplatforms in the area of emergency / O. Lysenko, S. Valuiskyi, P. Kirchu, A. Romaniuk // *Telecommunication Sciences*. – 2013. – vol. 4. – № 1. – P. 14 – 20.

Romaniuk V.A., Lysenko O.I., Romaniuk A.V., Novikov V.I., Guida O.H. METHODS OF GATHERING INFORMATION FROM A NODE OF WIRELESS SENSOR NETWORKS WITH INTELLIGENT ADAPTIVE INFORMATION AND TELECOMMUNICATION FLYING ROBOT

The paper considers the method of collecting information from the nodes of the wireless sensor network using intelligent adaptive flying information and telecommunication robots (IAFITR). The wireless sensor network (WSN) is considered as a network served by IAFITR. The key idea is to build algorithms WSN and IAFITR is a flexible clustering of nodes WSN, which provides an opportunity to implement a rational route of movement IAFITR.

The implementation of this idea is presented in the form of a mathematical formulation of the problem, which is characterized by: technical and algorithmic properties of the network, network nodes, IAFITR; requirements for the quality of information (data) collection, requirements for the system of information (data) monitoring.

When synthesizing the solution on board IAFITR regarding the choice of a rational method of collecting information from the nodes of BSM, a systematic approach is used, which allowed: to give algorithms to the functioning of flying information and telecommunication robots intelligence and adaptability; formulate the stages (components) of the method of collecting information from the nodes of the WSN.

A study of the effectiveness of the improved method of monitoring data collection with different source data: network size, number of clusters, number of nodes in the cluster, options for constructing data collection methods, flight strategy of nodes in the cluster.

Comparative modeling of the improved direct method of data collection IAFITR with the existing centroid method of data collection of monitoring is carried out.

The analysis of the four cluster flight strategies (only between the centers of collection points; flight of critical nodes; transmission at points closer to the flight route; cooperative) showed the advantages of the cooperative strategy.

The evaluation of the efficiency of the improved method of data collection from the main nodes of the clustered network showed its advantages over the existing methods of this class.

Key words: telecommunication air platform, wireless sensor network, intelligent adaptive flying information and telecommunication robot, clusters, network control center.

ЕНЕРГЕТИКА

УДК 536.24:533.6.011

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/06>

Баранюк О.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Воробйов М.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕЧІЇ І ТЕПЛООБМІНУ В ТРУБАХ ІЗ ТУРБУЛІЗАТОРАМИ У ВИГЛЯДІ СКРУЧЕНИХ СТРІЧОК

У роботі проведено чисельне дослідження і побудова чисельної моделі течії в циліндричних трубах з інтенсифікатором теплообміну у вигляді скрученої стрічки за допомогою ANSYS-Fluent. Метою роботи є вивчення механізму інтенсифікації теплообміну в умовах складної внутрішньої течії за допомогою CFD-методів. Для досягнення поставленої мети розроблена CFD-модель течії і теплообміну в циліндричних трубах з діаметрами 18, 28 та 36 мм, в середині яких розміщувалась скручена стрічка, ступінь закрутки якої змінювався в діапазоні від до 3 до 9. Досліджувався теплообмін при турбулентній течії повітря з наступними параметрами на вході в трубу: середня температура $T_{\infty} = 19,3$ °C, тиск $P_{\infty} = 0,1$ МПа, ступінь турбулентності $Tu_{\infty} = 0,1$ %, профіль швидкості – рівномірний. На стінці задавалися граничні умови виду $T_w = const$. Числа подібності розраховувалися за середньою швидкістю повітря, віднесеною до круглого поперечного перерізу труби з внутрішнім діаметром d , який служив і визначальним розміром. Як визначальна температура бралася середня температура потоку повітря в трубі. Дослідження проводилися в діапазоні чисел Рейнольдса $Re = (1,5 \dots 4,4) \cdot 10^4$.

Попередньо проведена валідація методики розрахунку на циліндричній трубі свідчить, що модель, розроблена в середовищі ANSYS-Fluent, коректно відображає сутність процесів течії і теплообміну в циліндричній трубі і може використовуватися для дослідження відривного процесу в трубах з турбулізаторами. Для моделювання використовувалась академічна ліцензія програмного комплексу ANSYS Student, яка є (з 2015 року) абсолютно безкоштовною і призначена для вирішення ознайомлювальних і освітніх задач в академічному середовищі.

Результати CFD-моделювання дозволили визначити, що інтенсифікація тепловіддачі досягається за рахунок збільшення пристінної швидкості потоку і виникнення вторинних течій, що виникають під дією відцентрових сил і підсилюють теплообмін між ядром потоку і прилеглим шаром, який розвивається на поверхнях теплообміну. На жаль, не отримано випереджаючого росту теплообміну над ростом гідравлічного опору. Гідравлічний опір труби зі скрученою стрічкою зростає (у порівнянні з циліндричною трубою) в середньому у 1,35–1,55 рази. Це може бути пов'язано зі збільшенням поверхні тертя і додатковими витратами енергії на створення обертального руху теплоносія і утворення вторинних поперечних течій.

Ключові слова: вимушена конвекція, інтенсифікація, скручена стрічка, моделювання, завихреність, вторинні течії.

Постановка проблеми. Представлена робота присвячена аналізу структури течії в трубах із стрічковим завихорювачем. Стрічкові й інші завихорювачі потоку ефективно застосовуються в технологічних і промислових котлах з димогарними трубами під час їх роботи на відносно чистих гарячих газах (спалювання газу, мазуту). Відомо, що стрічковий завихорювач при кроці закрутки 0,712 м,

ширині стрічки 66 мм і товщині 1,4 мм збільшує тепловіддачу на 65%, а гідравлічний опір – на 160% порівняно з гладкою трубою за інших рівних умов. Такі завихорювачі, інтенсифікуючи теплообмін, призводять до істотної економії витрати палива на підігрів рідини в паровому котлі [1].

Беззаперечно, що структура закрученого потоку дуже складна. Рух рідини складається

з поздовжнього і обертального і має гвинто-подібний характер, одночасно в поперечному перерізі труби може виникати замкнута вихрова вторинна течія. Визначити і зрозуміти механізм інтенсифікації теплообміну можливо тільки за допомогою новітніх PIV-методів [2] та більш простим і дешевшим методом чисельного моделювання [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Дослідження і впровадження в промисловість різних методів інтенсифікації теплообміну ніколи не втрачуть своєї актуальності. На цей час інтенсифікація конвективного теплообміну є однією з перспективних і складних задач, яка спрямована на зменшення маси теплоенергетичного обладнання і/або значного підвищення його ефективності. Традиційно вважається, що ця задача найбільш актуальна для теплоносіїв, яким притаманні високі значення чисел Рейнольдса. Практично всі основні монографії на тему інтенсифікації конвективного теплообміну [4–8], що можна знайти в доступній літературі, присвячені аналізу течії в умовах високореїнольдсових течій і високих числах Рейнольдса.

Над дослідженням інтенсифікації теплообміну в трубі за допомогою стрічкових турбулізаторів працювали такі провідні вчені, як В.К. Щукін, А. Бергльс, Сперроу, Р.З. Алімов, Г.А. Дрейцер, Б.В. Дзюбенко, В.М. Івлев, А.А. Халатов, Ю.М. Бродов та інші. Їхні роботи допомогли визначити, що при ламінарному і перехідному режимах стрічкові завихорювачі дозволяють збільшити тепловіддачу в кілька разів за помірного зростання втрат енергії на прокачування теплоносія. В цьому режимі течії завихорювачі особливо ефективні. У турбулентному режимі під час використання стрічкових завихрителів досягається збільшення тепловіддачі в 1,5–2 рази.

Зниження ефективності завихорювачів під час зростання числа Рейнольдса пояснюється тим, що розглянуті інтенсифікаторами теплообміну впливають на весь потік, а не тільки на пристінну область. Турбулентність ядра течії за досить великих чисел Рейнольдса настільки висока, що додаткова турбулізація потоку за допомогою завихрювача стає малоефективною і енергетично недоцільною. Практично цікавий діапазон відносних кроків закрутки стрічки – 2...15. За менших кроків різко зростає опір, за великих – значно знижується рівень інтенсифікації теплообміну. В рекомендованому діапазоні відносних кроків тепловіддача зростає приблизно пропорційно збільшенню гідравлічного опору.

Роботи авторів [9] свідчать, що стрічкові і шнекові завихорювачі, встановлені на вході в трубу на короткому вхідному ділянці, інтенсифікують теплообмін у кілька разів, а на досить видовженому ділянці труби (50–60 діаметрів і більше) забезпечують підвищення тепловіддачі в 1,5–2,5 рази. Тому авторами статті прийнято рішення дослідити вплив турбулізатора, що встановлений в початковій ділянці труби для найбільш вірогідного в енергетиці режиму течії – перехідного.

Постановка завдання. Дослідниками [10] накопичено великий експериментальний матеріал по теплообміну в трубах із стрічковими завихорювачами, яким присвячено достатню кількість монографій. Проте слід зазначити, що в останнє десятиліття стрімкий розвиток програмних комплексів, призначених для обчислення характеристик потокових процесів із широкими можливостями візуалізації розрахункових даних (наприклад ANSYS), призвів до того, що жодного фундаментального наукового дослідження без розділів, присвячених моделюванню, не виконується. Роботи, присвячені моделюванню теплообміну в гладкій трубі з стрічковим завихорювачем, є, проте їх значно менше і вони не настільки якісно виконані, як експериментальні роботи. Тому вирішення відомих задач на новому рівні є також актуальним завданням.

Мета статті – дослідити структуру потоку і визначити середні характеристики теплообміну в гладкій трубі із інтенсифікатором у вигляді скрученої стрічки за допомогою відомого пакету програм CFD-моделювання ANSYS-Fluent, що дозволяє після попередньої верифікації з експериментальними даними взятими з робіт інших авторів, розширити діапазони режимних та геометричних параметрів дослідних інтенсифікаторів.

Методи, об'єкт та предмет дослідження. Метод дослідження – чисельний, за допомогою академічної ліцензії програмного комплексу ANSYS Student. Ця ліцензія є абсолютно безкоштовною (з 2015 року) і призначена для вирішення ознайомлювальних і освітніх задач в академічному середовищі.

Об'єкт дослідження – процеси, що протікають під час течії і теплообміну в гладкій циліндричній трубі з інтенсифікатором теплообміну у вигляді скрученої стрічки.

Предмет дослідження – циліндричні труби, внутрішній діаметр d , яких становив 18, 28, і 36 мм. Довжина труб L і товщина стрічки δ не змінювались і становили відповідно 300 і 1 мм. Ступінь закрутки s/d змінювався в діапазоні від до 3 до 9.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розробка чисельної CFD-моделі включає в себе процес комп'ютерної інтерпретації таких її складників, як геометричні, граничні умови і фізичні властивості досліджуваного об'єкта. Процедура моделювання передбачає дискретизацію досліджуваної геометрії за допомогою розрахункових сіток, що дозволяють представити фізико-математичний опис початкової ділянки, яке базується на чисельному рішенні усереднених по Рейнольдсу рівнянь Нав'є-Стокса, замкнених за допомогою моделі турбулентності на основі концепції вихрової в'язкості типу $k-\varepsilon$ realizable [11]. Використання в роботі цієї моделі в першу чергу продиктовано тим, що ця модель запропонувала більш обґрунтоване формулювання рівняння переносу швидкості дисипації, оскільки вона отримана з рівняння переносу середньої завихрюваності. А також під час застосування цієї моделі неможливо отримати негативних значень для u_j^2 значних деформаціях поля середньої швидкості. Автори [11] рекомендують використання цієї моделі для течій з великою кривизною ліній току і закручуванням течії. Закручування потоку в цій задачі може відбуватися внаслідок гідродинамічної взаємодії між ядром потоку і прилеглим шаром, який розвивається на поверхнях теплообміну (поверхні скрученої стрічки і криволінійної поверхні труби).

Керуючі рівняння математичної моделі турбулентної течії, що має місце в цій задачі, і рівняння стандартної моделі турбулентності приведені в [12] і в інших підручниках з чисельних методів в гідродинаміці.

У цій публікації розглядався теплообмін в умовах перехідного режиму течії повітря з наступними параметрами на вході в трубу: $T_\infty = 19,3$ °C, тиск $P_\infty = 0,1$ МПа, ступінь турбулентності

$Tu_\infty = 0,1$ %, профіль швидкості – рівномірний. На зовнішній циліндричній стінці задавалися граничні умови першого роду виду з огляду на використання як базової відомої експериментальної залежності А.С. Сукомела [13], отриманої за аналогічних граничних умов.

Теплофізичні властивості повітря задавалися у вигляді поліноміальних залежностей від температури. Числа подібності розраховувалися за середньою швидкістю повітря, віднесеною до круглого поперечного перерізу труби з внутрішнім діаметром d , який служив і визначальним розміром. Як визначальна температура бралася середня температура потоку повітря в трубі. Дослідження проводилися в діапазоні чисел Рейнольдса $Re = (1,5 \dots 4,4) \cdot 10^4$.

Чисельне рішення системи базових і модельних рівнянь ґрунтувалося на неявному скінченно-об'ємному підході з використанням процедури корекції тиску SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations). Це найпоширеніший і найбільш стійкий з алгоритмів числового рішення рівнянь Нав'є-Стокса. Для інтерполяції на грані контрольних об'ємів термодинамічних параметрів, що обчислювалися в їх центрах використовувалися алгоритми Least Squares Cell Based та Second-Order, що призначувалися для моделювання потоків, в яких спостерігаються ефекти стискаємості.

Розрахункова область покривалася нерівномірною, зі згущенням до твердотільних стінок моделі тетрадричних сіткою. Тривимірною розрахунковою сіткою представлена на рис. 1. Максимальна кількість чарунок, вибрана для дискретизації розрахункової області складала ~ 4 млн. Для всіх рівнянь системи був обраний критерій збіжності рішення, рівний 10^{-5} .



Рис. 1. Скінченно-елементна сітка моделі з $s/d = 8$ з $d = 18$ мм

Валідація моделі і адекватність прийнятих методик були протестовані на апробованій задачі – теплообміну й течії на початковій ділянці гладкої циліндричної труби, шляхом зіставлення обчислених значень середніх коефіцієнтів тепловіддачі і коефіцієнтів гідравлічного опору в розглянутому діапазоні чисел Рейнольдса з відомими експериментальними залежностями [8]. Порівняльний аналіз результатів розрахунку CFD-моделей для гладкої циліндричної труби (результати CFD-моделювання представлені суцільними лініями) по теплообміну (рис. 2, а) і опору (рис. 2, б) свідчить, що максимальне відхилення даних не перевищує 4% в порівнянні з відомими залежностями [8] та даними роботи [14], що свідчить про коректність використовуваного під час моделювання підходу загалом.

Аналіз даних в доступній літературі свідчить, що в трубах зі стрічковими завихрювачами можливі ламінарна, ламінарна з макровихрами і турбулентна течії. Тому для верифікації результатів CFD-моделювання, автори використали критеріальні залежності для визначення середнього теплообміну і опору, що отримані в роботі [8] для ламінарного та турбулентного режимів течії в трубах з стрічковими вставками.

Для ламінарної течії:

$$\overline{Nu}_f = \frac{\alpha d_{екв}}{\lambda} = 0,3 Re_f^{*0,33} \cdot Dn_f^{*0,27} \cdot Pr_f^{0,43} \quad (1)$$

$$\xi = \frac{6,34}{Re_e^{0,47}} \left(\frac{d}{D}\right)^{0,26} + \frac{25,6}{Re_e} \quad (2)$$

де Nu_e , Re_e – числа Нусельта і Рейнольдса, в яких характерним розміром є еквівалентний діаметр каналу; d/D – відношення діаметру труби до

діаметру кривизни гвинтової лінії. Рівняння отримано в діапазоні числа Діна:

$$Dn = Re \sqrt{2s/d}, s/d = 2,5...11. \quad (3)$$

Фізичні властивості взяті при температурі потоку.

Середній діаметр кривизни гвинтової лінії, утворений стінкою труби і стрічковим завихрювачем, залежить від кроку стрічкового завихрювача і визначається за допомогою залежності:

$$\frac{D}{d} = \frac{1}{2} - \frac{8}{\pi^2} \left(\frac{s}{d}\right)^2 \quad (4)$$

Для характеристики закрученої течії використовувався так званий [1] «коефіцієнт закрутки»: $k = \pi D/s$ – відношення тангенціального та осьового складників швидкості закрученого потоку у стінки. За ефективну швидкість потоку приймалась швидкість поблизу внутрішньої поверхні труби: $w_e = w(1 + k^2)^{0,5}$.

Для турбулентної течії:

$$\overline{Nu}_f = \frac{\alpha d_{екв}}{\lambda} = 0,079 \cdot \varepsilon_i \cdot Re_f^{*0,74} \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^{0,11} \cdot Pr_f^{0,43} \quad (5)$$

$$\xi = 0,705 \cdot Re_e^{-0,28} \left(\frac{d}{D}\right)^{0,09} + 0,009 \left(\frac{d}{D}\right)^{0,09} \quad (6)$$

де ε_i – поправка на довжину початкової ділянки. Визначалась за формулою:

$$\varepsilon_i = 1 + \frac{2}{L/d}, \quad (7)$$

де L – довжина труби.

Результат верифікації для двох граничних діаметрів труб, які використовувались під час моделювання – 18 і 36 мм для ступеню закрутки потоку $s/d = 2$ і 8 представлений на рис. 3. Аналіз

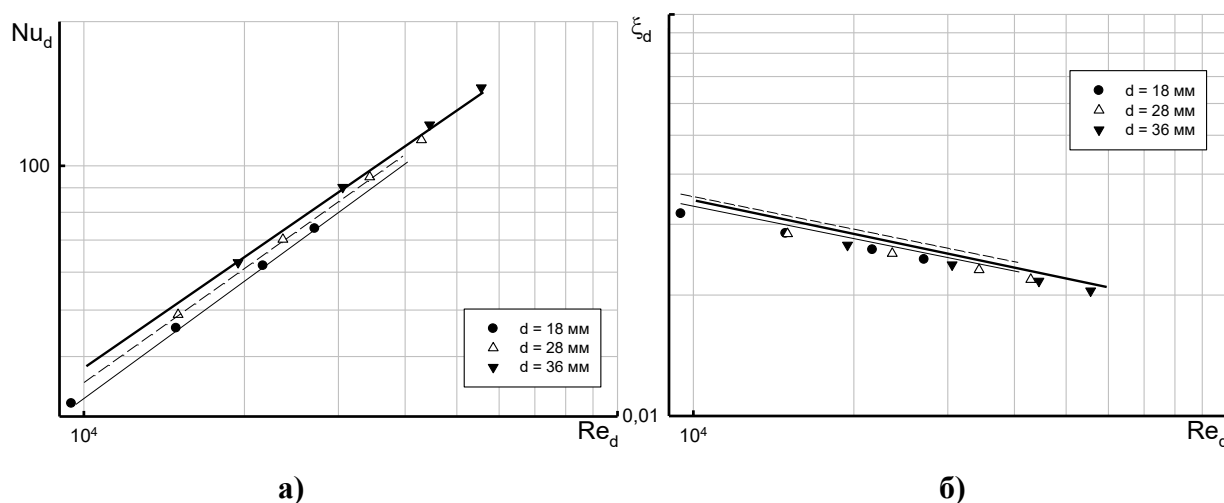


Рис. 2. Залежність чисел Нусельта від чисел Рейнольдса (а) та коефіцієнта опору (б) для тестової задачі течії в гладкій циліндричній трубі

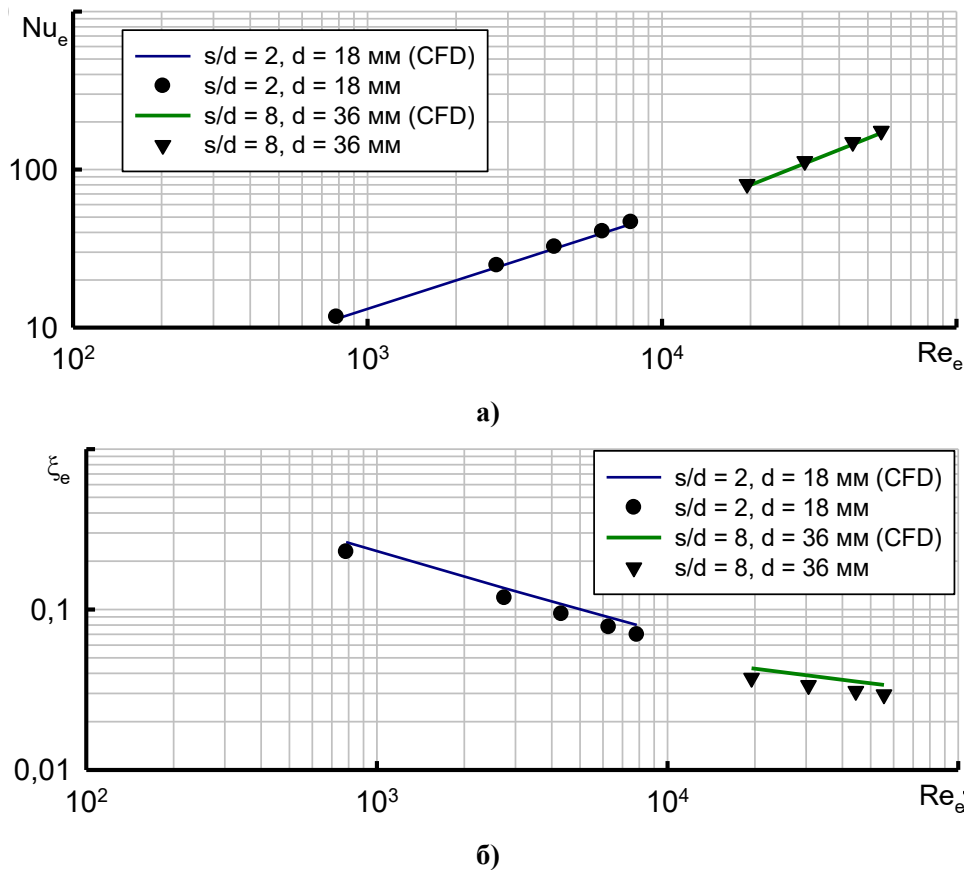


Рис. 3. Верифікація результатів чисельного моделювання інтенсивності теплообміну (а) та коефіцієнта опору (б) для CFD-моделі зі скрученою стрічкою

приведених на рис. 3. даних свідчить, що CFD-модель «занижує» в середньому на 2 % середньо-інтегральні коефіцієнти тепловіддачі і «завищує» значення коефіцієнтів опору в середньому на 5%.

Результати CFD-моделювання інтенсивності теплообміну і аеродинамічного опору стрічкових турбулізаторів представлено на рис. 4. Розшаровуючим параметром на графіку служить ступінь закрутки потоку s/d . Для порівняння на графіках також приведені розрахункові дані для гладкої циліндричної труби.

Як свідчать дані рис. 4, збільшення внутрішнього діаметра труби не впливає на інтенсивність теплообміну для всього дослідженого діапазону ступеню закрутки потоку s/d . Гідравлічний опір за тих же чисел Рейнольдса зменшується в межах 1% із збільшенням внутрішнього діаметра труб. При цьому порівняно з гладкою циліндричною трубою застосування стрічкового турбулізатора дозволяє збільшити інтенсивність теплообміну в середньому на 25 % для труби з внутрішнім діаметром 18 мм. Для труб з 28 і 36 мм це значення становить 40 і 50% відповідно.

Як свідчить рис. 4, гідравлічний опір при цьому зростає на 66% для труби з внутрішнім ді-

аметром 18 мм. Для труб з 28 і 36 мм це значення становить 60 і 48% відповідно.

Рис. 4 також свідчить, що збільшення ступеню закрутки потоку s/d призводить до незначного зменшення інтенсивності теплообміну в усьому дослідженому діапазоні внутрішніх діаметрів труб. Це може бути пояснено зменшенням ступеню турбулентності, що генерується в потоці, та зменшенням інтенсивності перемішування рідини між ядром потоку і пристінною зоною течії. Так, у випадку труби з внутрішнім діаметром 18 мм модель з $s/d = 2$ має на 25% вищу інтенсивність теплообміну, ніж модель, у якій ступінь закрутки становить 8. Те ж саме значення інтенсифікації теплообміну спостерігається для випадку труб з внутрішнім діаметром 28 мм. У разі збільшення внутрішнього діаметру до 36 мм інтенсивність теплообміну моделі з $s/d = 2$ вище на 35%, ніж модель з $s/d = 8$.

Аналіз зміни гідравлічного опору свідчить, що при ламінарному з макровихрами режимі течії (спостерігається у всьому діапазоні зміни внутрішнього діаметру при $s/d = 2$) коефіцієнт гідравлічного опору різко змінюється зі зміною числа Re . При турбулентному режимі спостерігається

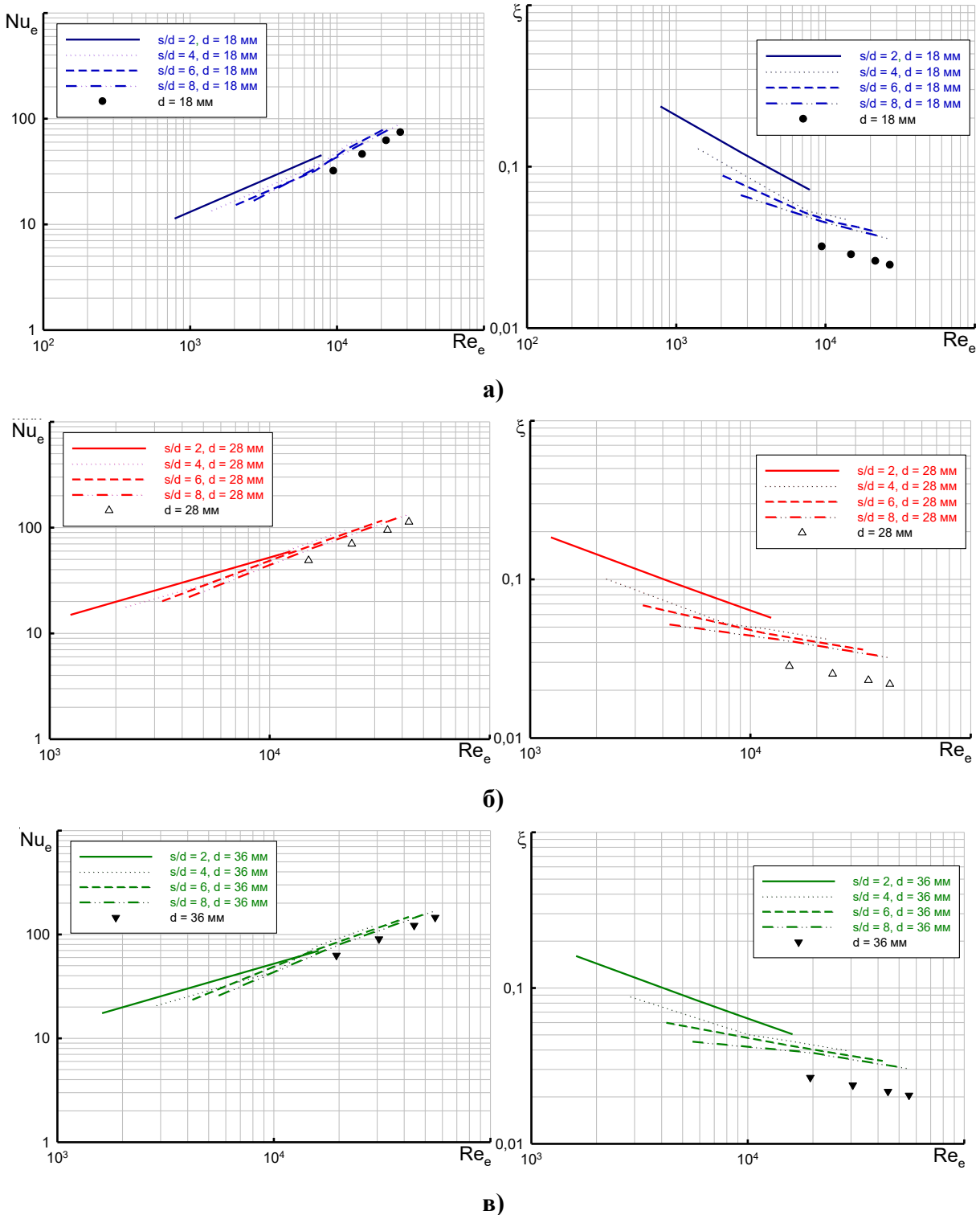


Рис. 4. Результат CFD-моделювання інтенсивності теплообміну і аеродинамічного опору стрічкових турбулізаторів, що розміщені в трубах з внутрішнім діаметром 18 мм (а), 28 мм (б) та 36 мм (в)

утворення автомодельної області, для якої характерна незалежність коефіцієнту опору від числа Re . При цьому у випадку труби з внутрішнім діаметром 18 мм при $Re = 10^4$ модель з $s/d = 2$ має в 1,6 рази вищий гідравлічний опір, ніж модель, у якій ступінь закрутки становить 8. Труби з вну-

трішнім діаметрами 28 і 36 мм при $Re = 10^4$ при зміні s/d від 2 до 8 мають в 1,5 та 1,25 вищий гідравлічний опір.

На рис. 5 представлені розподіли частоти обертального руху потоку (velocity curl), що характеризують інтенсивність обертання вторинної течії.

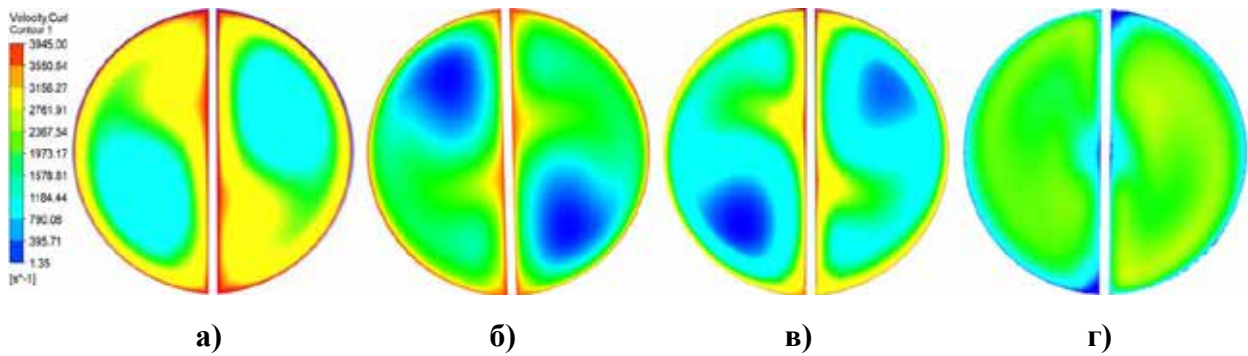


Рис. 5. Результат розрахунку частоти обертання потоку в поперечному перерізі на виході з труби із стрічковою вставкою при $s/d = 2$ (а), $s/d = 4$ (б), $s/d = 6$ (в), та $s/d = 8$ (г) при $Re = 2 \cdot 10^4$

Представлений розподіл є типовим розподілом поля швидкості при турбулентній течії в трубі зі скрученої стрічкою, що отриманий в роботі [15].

Аналіз рис. 5 свідчить, що зі збільшенням ступеню закрутки потоку (зі зменшенням кількості обертів скрученої стрічки) відбувається зменшення частоти обертального руху, чим може пояснюватись зменшення інтенсивності теплообміну.

Обговорення отриманих результатів. Інтенсифікація тепловіддачі в закрученому потоці досягається за рахунок збільшення пристінної швидкості потоку і вторинних течій. Вторинні течії виникають під дією відцентрових сил і підсилюють теплообмін між ядром потоку і прилеглим шаром на стінці каналу. Важливим є і той факт, що скручена стрічка збільшує поверхню теплообміну. В представленій задачі завдяки тому, що між стінкою труби і скрученою вставкою немає термічного опору, спостерігається ефект оребрення. Вставка у вигляді теплопровідності передає теплоту від стінки труби до повітряного потоку. Слід зазначити, що частка теплового потоку за рахунок ефекту оребрення не перевищує 30% від кількості теплоти, яким обмінюються стінка труби і теплоносій шляхом тепловіддачі.

Збільшення гідравлічного опору труби зі скрученою стрічкою пов'язано із збільшенням поверхні тертя, що своєю чергою призводить до додаткових витрат енергії на створення обертального руху повітряного потоку і утворення вторинних поперечних течій.

Висновки. Проведено дослідження гідравлічного опору й інтенсивності теплообміну в круглій трубі із турбулізатором у вигляді закрученої стрічки. Напрямок закручування стрічок був однаковим для усіх досліджених випадків.

Аналіз отриманих даних свідчить, що зменшення кроку закрутки спіральної стрічки s призводить до збільшення кількості витків спіралі на одиницю довжини труби. Це своєю чергою призводить до зміни режиму течії і до збільшення середніх чисел Нуссельта і коефіцієнтів гідравлічного опору.

При фіксованих значеннях s/d зміна внутрішнього діаметра труби не впливає ні на інтенсивність теплообміну, ні на зростання гідравлічного опору. Основним впливовим параметром, що впливає на згадані характеристики, є ступінь закрутки потоку s/d . Чим більший крок закрутки спіральної стрічки s , тим менше кількість витків спіралі і менша кривизна її поверхні. Все це призводить до створення умов більш плавного омивання поверхні теплообміну, зменшення витрат енергії на створення обертального руху і утворення вторинних поперечних течій.

Для всіх стрічок-вставок спостерігається тенденція до збільшення інтенсивності теплообміну зі зменшенням коефіцієнту закрутки і зростанням числа Рейнольдса. Середні числа Нуссельта для труби із закрученої стрічкою, в середньому на 25% вище, ніж для гладкої циліндричної труби.

Список літератури:

1. Лаптев А.Г., Николаев Н.А., Башаров М.М. Методы интенсификации и моделирования тепломассообменных процессов. Учебно-справочное пособие. Москва : «Теплотехник», 2011. 335 с.
2. IRE-Polus. Визуализация потока. URL: <https://www.ipgphotonics.com/ru/applications/innovatsii-i-nauka/vizualizatsiya-potoka>. 14.03.2021 р.
3. Скородумов А.П., Шершнева Б.Б. Теплообмен в гладкой трубе с ленточным завихрителем. URL: <https://www.ansysadvantage.ru/heat-transfer-in-a-smooth-tube/>. 14.03.2021 р.

4. Белов И.А., Кудрявцев Н.А. Теплоотдача и сопротивление пакетов труб. Ленинград : Энергоатомиздат, 1987. С. 32–36.
5. Гортышев Ю.Ф., Олимпиев В.В. Теплообменные аппараты с интенсифицированным теплообменом. Казань : Изд-во КГТУ им. А.Н. Туполева, 1999. 176 с.
6. Дзюбенко Б.В., Кутепов А.М., Свириденко И.П., Федик И.И., Харитонов В.В., Холпанов Л.П. Интенсификация тепло- и массообмена в энергетике. Москва : ФГУП «ЦНИИАТОМ-ИНФОРМ», 2003. 232 с.
7. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Ярко С.А. Интенсификация теплообмена в каналах. Москва : Машиностроение, 1990.
8. Мигай В.К. Повышение эффективности современных теплообменников. Ленинград : Энергия, 1980. 144 с.
9. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. Москва : Наука, 1982. 472 с.
10. Щукин В.К., Халатов А.А. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах. Москва : Машиностроение, 1982. 200 с.
11. Shih T.-H., Liou W. W., Shabbir A., Yang Z., Zhu J. A New $k-\epsilon$ Eddy Viscosity Model for High Reynolds Number Turbulent Flows – Model Development and Validation. Computers and Fluids. 1995. Vol. 24, No 3. P. 227–238.
12. Ferziger, J.H., Peric, M. Computational methods fluid dynamics. Berlin: Springer, 2001. 423 p.
13. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача: учебник для вузов. Москва : Энергия, 1975. 488 с.
14. Чангчароэн В., Сомравысин П., Эямса-ард П., Эямса-ард С. Особенности теплообмена затухающего вихревого потока через круглую трубу с генератором вихрей с двойной закруткой в прямом и противоположном направлениях. *Теплофизика и аэромеханика*, 2016, том 23, № 4, С. 543–557.
15. Митрофанова О.В. Гидродинамика и теплообмен закрученных потоков в каналах ядерно-энергетических установок. Москва : «Физматлит», 2010. 290 с.

Baranyuk A.V., Vorobiov M.V. SIMULATION OF FLOW AND HEAT EXCHANGE IN TUBES WITH TURBULIZERS IN THE FORM OF TWISTED TAPES

Numerical research and construction of a numerical flow model in cylindrical tubes with a heat exchange intensifier in the form of a twisted tape using ANSYS-Fluent were carried out. The aim of the work is to study the mechanism of heat exchange intensification in the conditions of complex internal flow with the help of CFD-methods. To achieve this goal, a CFD model of flow and heat exchange was developed in cylindrical tubes with diameters of 18, 28 and 36 mm inside which a twisted tape was placed. The degree of twisting varied from 3 to 9 into the tube: average temperature $T_{\infty} = 19,3$ °C, pressure $P_{\infty} = 0,1$ MPa, degree of turbulence $Tu_{\infty} = 1\%$, velocity profile – uniform. Boundary conditions of the form $T_w = const$ were set on the wall. The similarity numbers were calculated from the average air velocity attributed to the circular cross section of the tube with an inner diameter d , which served as the determining size. The average temperature of the air flow in the tube was taken as the determining temperature. The studies were performed in the range of Reynolds numbers $Re = (1,5 \dots 4,4) \cdot 10^4$.

Preliminary validation of the calculation method for cylindrical tubes shows that the model developed in the ANSYS-Fluent environment correctly reflects the essence of the processes of flow and heat exchange in a cylindrical tube and can be used to study the separation process in tubes with turbulizers. The academic license of the ANSYS Student software complex was used for modeling, which is (since 2015) absolutely free and is intended for solving introductory and educational tasks in the academic environment.

The results of CFD modeling showed that the intensification of heat transfer is achieved by increasing the near-wall flow rate and the occurrence of secondary currents that occur under the action of centrifugal forces and enhance heat transfer between the flow core and the boundary layer that develops on heat exchange surfaces. Unfortunately, no anticipatory growth of heat transfer over the growth of hydraulic resistance. The hydraulic resistance of a tube with a twisted tape increases (in comparison with a cylindrical tube) on the average in 1,35-1,55 times. This may be due to an increase in the friction surface and additional energy consumption to create the rotational motion of the coolant and the formation of secondary transverse flows.

Key words: forced convection, intensification, twisted tape, modeling, vorticity, secondary currents.

Беляновська О.А.

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Сухий К.М.

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Литовченко Р.Д.

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Суша І.В.

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Сергієнко Я.О.

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

ТЕРМІЧНІ МАСИ АДСОРБЦІЙНИХ ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧИХ ПРИСТРОЇВ НА ОСНОВІ КОМПОЗИТИВ «СИЛІКАГЕЛЬ – НАТРІЙ СУЛЬФАТ» ТА «СИЛІКАГЕЛЬ – НАТРІЙ АЦЕТАТ»

Розглянуто термічні маси теплоакумулюючих пристроїв відкритого та закритого типів на основі композитних адсорбентів «силікагель – натрій сульфат» та «силікагель – натрій ацетат». Як робочу рідину запропоновано використовувати воду. Допрацьована процедура розрахунку, яка включає визначення теплового навантаження, теплоти адсорбції, маси адсорбенту, а також невід'ємної, конструкційної та питомої термічної маси. Оцінено питомі термічні маси адсорбційних теплоакумулюючих модулів відкритого та закритого типів. Проаналізовано основні фактори, які впливають на їхню величину. Показано, що питома термічна маса адсорбційного теплоакумулюючого модуля істотно зростає завдяки адсорбції води під час розряду пристрою. Показано, що максимальних значень вона досягає наприкінці стадії розряду, коли досягнуто максимальні значення адсорбції в циклі. Підтверджено вплив конструкції теплоакумулюючого модуля на величину питомої термічної маси. Менші значення питомої термічної маси для пристроїв закритого типу є результатом того, що термічна маса пристрою закритого типу включає не лише термічну масу адсорбенту, але й гідравлічного контуру з теплоносієм, який розміщено в шарі адсорбенту. Показано, що максимальні значення цих змін відповідають композитам, які містять 80% солі та 20% силікагелю, завдяки максимальним значенням граничної адсорбції та теплоти адсорбції, що сприяє меншим значенням маси адсорбенту, яка необхідна для покриття теплового навантаження. Порівняно питомі термічні маси адсорбційних модулів на основі композитів «силікагель – натрій сульфат» та «силікагель – натрій ацетат». Встановлені склад композиту 80% натрій сульфату та 20% силікагелю, який відповідає мінімальним розмірам адсорбційного модуля і, отже, максимальним значенням питомої термічної маси.

Ключові слова: термічна маса, адсорбційне перетворення теплової енергії, композитний адсорбент, адсорбція, гранична адсорбція.

Постановка проблеми. Декарбонізація енергетичного сектора підвищення енергоефективності та енергетичної безпеки є головними напрямками для досягнення ряду кліматичних вимог протягом наступного десятиріччя. Одним з перспективних технічних рішень, яке дозволяє компенсувати неспівпадання періодів активного виробництва та споживання енергії під час експлуатації відновлюваних енергоресурсів є адсорбційне перетворення теплової енергії. Режим експлуатації більшості

адсорбційних перетворювачів теплової енергії передбачає нагрівання та охолодження, які періодично змінюють одне одного [1, с. 3142]. У цих умовах стає ключовим вплив на експлуатацію подібних пристроїв термічної маси, тобто теплоємності пристрою (кДж/К), яка включає добуток його маси та питомої теплоємності [2, с. 52–62]. В літературі та дослідницькій спільноті є доволі чіткий поділ між термічними масами адсорбенту та інших матеріалів. Їх протиставляють, як живу

та мертвої маси, активну та інертну (інертну) масу, хазяїн / гість [3, с. 1150]. Вважають нелогічним поділ на живу та мертву термічні маси, оскільки власне адсорбент має термічну масу. В цій роботі використовується термін лише термічна маса. Існує невід'ємний зв'язок між термічною масою та ефективністю процесів нагрівання або охолодження. Подібна характеристика може бути вирішальною під час проектування адсорбційних пристроїв.

Це вимагає аналізу основних факторів, які впливають на цю характеристику.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Існує невіддільний компроміс між термічною масою адсорбційного пристрою та його ефективністю. Так, максимальна ефективність адсорбційного пристрою відповідає нульовій термічній масі, але це призводить до зниження поверхні теплообміну, більш високої тривалості циклу та зниження потужності в порівнянні з менш ефективною конструкцією за більш високою термічною масою.

Demig та інші [4, с. 2381–2403] розглядали термічну масу як ключовий параметр, який впливає на ефективність циклів. Paul та інші [5, с. 0410011] досліджували можливість збільшення ефективності шляхом зниження термічної маси під час впровадження мікроканалних теплообмінників. Li та інші [6, с. 3376–3384] досліджували вплив відношення мас металевих частин реактора та солі в термохімічній холодильній системі за допомогою термодинамічної моделі та встановили оптимальне масове відношення сорбційної системи тверда речовина – газ близько 5:1. Більш високе відношення призводить до зростання споживання теплоти під час десорбції та виділення теплоти під час адсорбції, без зміни холодопродуктивності, що знижує холодильний коефіцієнт.

Gluesenkamp та інші [3, с. 1150] вважають необхідним розглядати загальну термічну масу, яка є сумою термічних мас адсорбента (тобто невід'ємна) та суми термічних мас теплоносія (НТФ) та конструкційних матеріалів (конструкційна). Невід'ємну термічну масу Gluesenkamp та інші [3, с. 1150] спрощено визначають як добуток маси та теплоємності адсорбента. Водночас термічна маса адсорбента протягом циклу, вочевидь, змінюється в результаті адсорбції робочої речовини, що визначається властивостями адсорбента, але цією зміною переважно нехтують, що припустимо лише у разі незначної адсорбції або низької теплоємності адсорбату. Доцільно порівняти зміну термічної маси адсорбційного теплоакumuлюючого модуля протягом циклу.

Постановка завдання. Метою дослідження є встановлення основних факторів, які впливають на термічну масу адсорбційного теплоакumuлюючого пристрою. Для досягнення цієї мети поставлено такі завдання:

- встановити граничні значення термічних мас теплоакumuлюючих пристроїв протягом циклу;
- виявити основні фактори, які впливають на величину термічних мас теплоакumuлюючих пристроїв;
- встановити умови, за яких термічна маса адсорбенту сягає максимальних значень.

Виклад основного матеріалу дослідження. Доцільно порівняти термічні маси теплоакumuлюючих пристроїв двох типів відповідно до характеру масообміну з навколишнім середовищем – закритого та відкритого.

Приклад подібного пристрою закритого типу наведено на рис. 1. Експлуатація пристрою закритого типу проводиться в двофазному режимі: розряд – адсорбція та заряд – регенерація адсорбенту, тобто десорбція.

Експлуатація пристрою відкритого типу (рис. 1) проводиться також в двофазному режимі, який передбачає стадії розряду (адсорбція) та заряду (десорбція, тобто регенерація адсорбенту). Експлуатація пристрою закритого типу проводиться в двофазному режимі: розряд – адсорбція та заряд – регенерація адсорбенту, тобто десорбція.

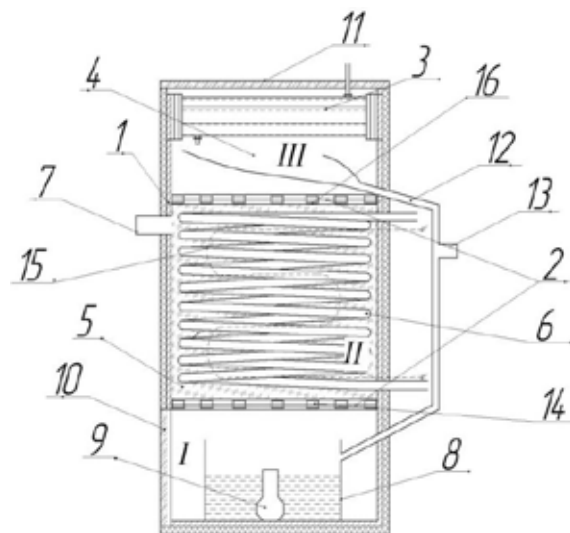


Рис. 1. Конструкція поглинаючого теплоакumuлятора закритого типу

1 – теплоізолюваний корпус; 2 – сітчасті перегородки; 3 – конденсатор; 4 – тарілка для збору конденсату; 5 – адсорбційно-десорбційний реактор; 6 – гідравлічний контур; 7 – патрубок; 8 – резервуар для води; 9 – випарник; 10, 11 – кришки; 12 – трубка; 13 – патрубок; 14 – сталеві жалюзі; 15 – резистивний нагрівальний елемент; 16 – сталеві жалюзі [7, с. 151]

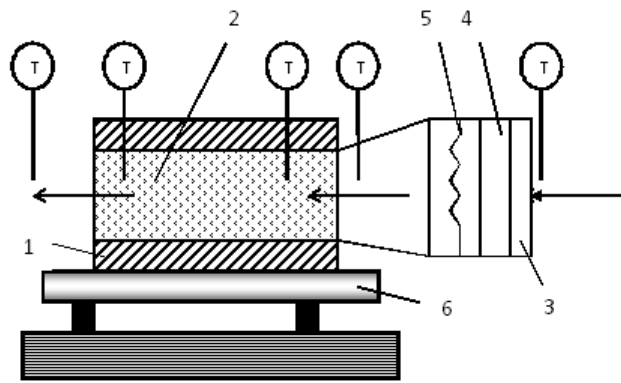


Рис. 2. Тепловий акумулятор відкритого типу

1 – теплоізолюваний корпус; 2 – теплоакumuлюючий матеріал; 3 – компресор; 4 – зволожувач повітря; 5 – елемент опору; 6 – терези [7, с. 159]

Експлуатація пристрою відкритого типу (рис. 2) проводиться також в двофазному режимі, який передбачає стадії розряду (адсорбція) та заряду (десорбція, тобто регенерація адсорбенту). В результаті температура шару адсорбенту зростає до 90–115 °С. Друга стадія (регенерація) здійснюється шляхом подачі гарячого повітря, яке прогріває шар адсорбенту до температур, не менш за 90°С, що сприяє десорбції.

Розрахунок невіддільних термічних мас адсорбційного модуля проводився відповідно до формул, які наведено в роботі [3, с. 1150]

$$TM_{inherent} = m_{ads}c_{ads} \quad (1)$$

$$TM_{inherent} = m_{ads} (c_{ads} + Ac_{ad-te}), \quad (2)$$

де $TM_{inherent}$ – невід’ємна термічна маса адсорбційного модуля, m_{ads} – маса адсорбенту, кг; c_{ads} –

теплоємність адсорбенту; A – адсорбція (кг адсорбату/кг адсорбенту), яка змінюється протягом циклу; добуток $m_{ads}Ac_{ad-te}$ – це термічна маса речовини, яка поглинута адсорбентом.

Термічну адсорбційного пристрою визначали як суму невід’ємної термічної маси та конструкційної, яка включає термічні маси несорбуючих матеріалів, тобто деталей конструкції та теплоносія.

Іншою важливою характеристикою є питома термічна маса (STM) за методикою, яку наведено в [3, с. 1150].

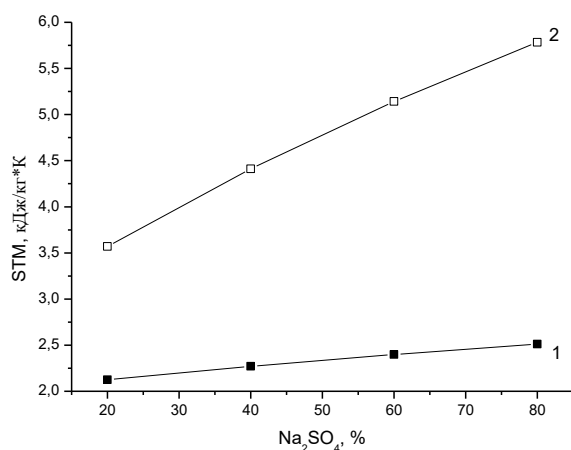
$$STM = \frac{TM}{m_{ads}} \text{ кДж / (К·кг сорбента)}, \quad (3)$$

де TM – питома термічна маса пристрою, кДж/К, m_{ads} – маса адсорбенту, кг.

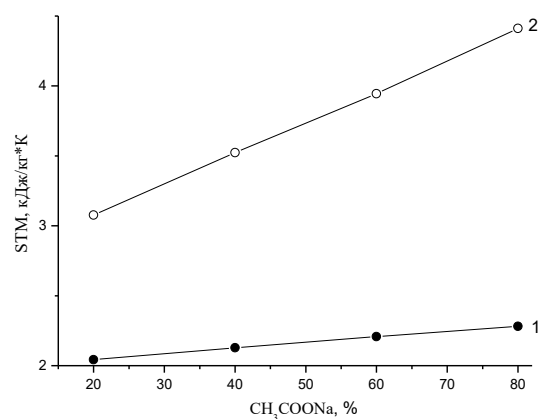
Порівняння питомих термічних мас адсорбційних теплових акумуляторів закритого та відкритого типів наведено на рис. 3 та 4.

Як теплоакumuлюючі середовища використані композити «силікагель – натрій сульфат» та «силікагель – натрій ацетат» [8, с. 52–58], які є перспективними середовищами для адсорбційних перетворювачів теплової енергії [9, с. 5611, 10, с. 136–140]. Максимальних значень термічна маса, відповідно до формули (2), буде досягати наприкінці стадії розряду, коли адсорбція близька до граничних значень A_{lim} .

Для пристроїв як відкритого, так і закритого типів максимальні значення питомої термічної маси відповідають адсорбентам, які містять 20% силікагелю та 80% солі (рис. 3, 4).



а



б

Рис. 3. Вплив складу композиту на питому термічну масу теплоакumuлюючого пристрою закритого типу

Композити: а – «силікагель – натрій сульфат», б – «силікагель – натрій ацетат». Питома термічна маса на початку циклу (1) та наприкінці циклу (2). Маса адсорбента розрахована для покриття теплового навантаження 339.5 МДж/на добу

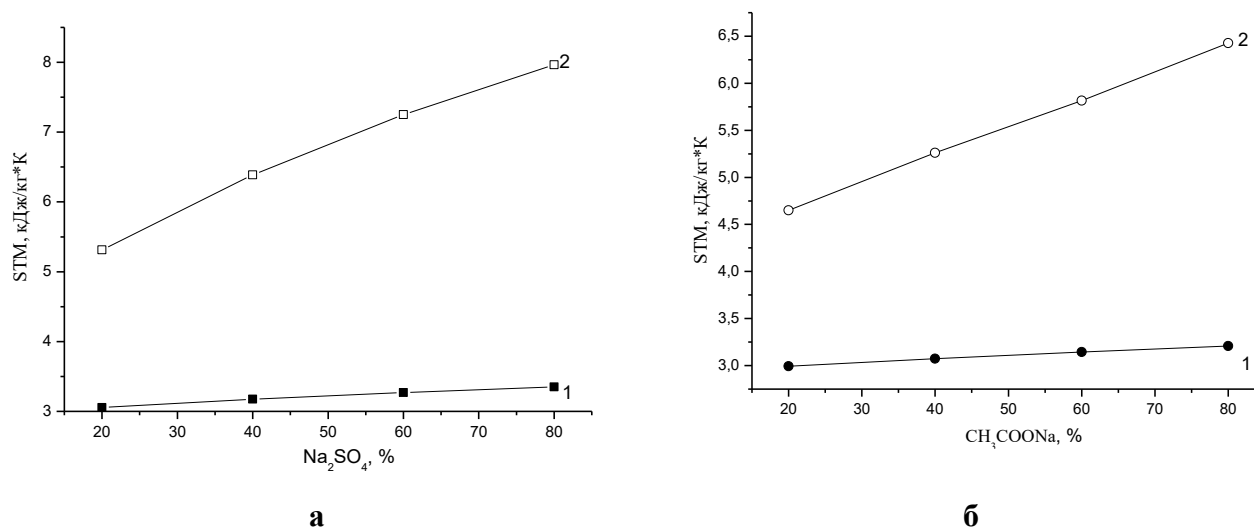


Рис. 4. Вплив складу композита на питому термічну масу теплоакумулюючого пристрою відкритого типу

Композити: а – «силікагель – натрій сульфат», б – «силікагель – натрій ацетат». Питома термічна маса на початку стадії розряду (1) та наприкінці стадії розряду (2). Маса адсорбенту розрахована для покриття теплового навантаження 339.5 МДж/на добу

Підвищення термічної маси у разі зростання вмісту солі, вочевидь, відповідає підвищенню граничної адсорбції та теплоти адсорбції, що сприяє зниженню маси адсорбенту, яка необхідна для покриття теплового навантаження. Крім того, менша маса адсорбенту сприяє зниженню конструкційної термічної маси завдяки зниженню об'єму адсорбційного модуля.

Висновки. Розглянуто основні фактори, які впливають на термічну масу адсорбційних теплоакумулюючих пристроїв. Показано зміну термічної маси протягом експлуатації адсорбційних пристроїв на основі композитних адсорбентів «силікагель – натрій сульфат» та «силікагель – натрій ацетат».

Порівняно питомі термічні маси адсорбційних теплоакумулюючих пристроїв та показано характер їх змін протягом циклу.

Встановлено, що максимальних значень питомі термічні маси досягають за вмісту в композиті солі 80% та 20% силікагелю. При тому ж складі адсорбенту встановлені найбільші зміни питомої термічної маси, що корелює з максимальними значеннями граничної адсорбції. Максимальних значень питомі термічні маси досягають під час використання композитів «силікагель – натрій сульфат», що відповідає максимальним значенням граничної адсорбції та теплоти адсорбції і, отже, мінімальним розмірам адсорбційного модуля.

Список літератури:

1. Airò Farulla G.; Cellura M.; Guarino F.; Ferraro M. A Review of Thermochemical Energy Storage Systems for Power Grid Support. *Appl. Sci.* 2020. Vol. 10. P. 3142.
2. Sangwon S., Kawakami H., Mikšik F., Takata N., Thu Kyaw, Miyazaki T. Thermodynamic analysis and impact of thermal masses on adsorption cycles using MaxsorbIII/R245fa and SAC-2/R245fa pairs. *International Journal of Refrigeration.* 2021. 123. P. 52–62.
3. Gluesenkamp K. R., Frazzica A., Velte A., Metcalf S., Yang Z., Rouhani M., Corey B., Ming Q., Laurenz E., Rivero-Pacho A., Hinners S., Critoph R., Bahrami M., Fuldner G., Hallin I. Experimentally Measured Thermal Masses of Adsorption Heat Exchangers. *Energies.* 2020. Vol. 13. P. 1150.
4. Demir H.; Mobedi M.; Ülkü S. A review on adsorption heat pump: Problems and solutions. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2008. Vol. 12. P. 2381–2403.
5. Paul B.K., Lee K., Wang H. Improving the Energy Efficiency of Adsorption Chillers by Intensifying Thermal Management Systems in Sorbent Beds. *J. Manuf. Sci. Eng. Trans. ASME.* 2018, Vol. 140, P. 0410011.
6. Li T.X.; Wang R.Z.; Kiplagat J.K.; Wang L.W.; Oliveira R.G. A conceptual design and performance analysis of a triple-effect solid-gas thermochemical sorption refrigeration system with internal heat recovery. *Chem. Eng. Sci.* 2009, Vol. 64. P. 3376–3384.
7. Sukhyy K.M., Belyanovskaya E.A., Sukhyy M.P. Technology Development for Adsorptive Heat Energy Converters: Emerging Research and Opportunities. San Fransisco : IGI-GLOBAL, USA, 2020. 328 pp.

8. Sukhyy K., Belyanovskaya E., Kovalenko V., Kotok V., Sukhyy M., Kolomiyets E., Gubynskyi M., Yeromin O., Prokopenko O. The study of properties of composite adsorptive materials “silica gel – crystalline hydrate” for heat storage devices. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 91, № 1. P. 52–58.

9. Belyanovskaya E.A., Rimár M., Lytovchenko R.D., Variny M.V., Sukhyy K.M., Yeromin O.O., Sykhyy M. P., Prokopenko E. M., Sukha I.V., Gubinskyi M. V., Kizek J. Performance of Adsorptive Heat-Moisture Regenerator Based on Composites ‘Silica Gel – Sodium Sulphate’. *Sustainability*. 2020. Vol. 12. P. 5611.

10. Белянoвська О.А., Пустовой Г.М., Суха І.В., Скляренко О.І., Сухий М.П., Губинський М.В., Сухий К.М. Експлуатаційні характеристики адсорбційного холодильного модуля парової компресійної холодильної установки. *Вісник Таврійського Національного університету. Сер. Технічні науки*. 2020. № 4. С. 136–140.

Belyanovskaya E.A., Sukhyy K.M., Lytovchenko R.D., Sukha I.V., Serhiienko Ya.O. THERMAL MASSES OF ADSORPTIVE HEAT STORAGE DEVICES BASED ON COMPOSITES “SILICA GEL – SODIUM SULPHATE” AND “SILICA GEL – SODIUM ACETATE”

Thermal masses of heat and storage devices of open and closed types based on composite adsorbents “silica gel – sodium sulphate” and “silica gel – sodium acetate” are considered. It is proposed to use water as a working fluid. The calculation procedure has been improved, which includes the determination of heat load, heat of adsorption, mass of adsorbent, as well as non-negative, structural and specific thermal mass. The specific thermal masses of adsorption heat storage modules of open and closed types are estimated. The main factors influencing their value are analyzed. It is shown that the specific thermal mass of the adsorption heat storage module increases significantly due to the adsorption of water during the discharge of the device. It is shown that it reaches its maximum values at the end of the discharge stage, when the maximum values of adsorption in the cycle are reached. The influence of the heat storage module design on the value of specific thermal mass is confirmed. The lower values of the specific thermal mass for the closed type device are the result of the fact that the thermal mass of the closed type device includes not only the thermal mass of the adsorbent but also the hydraulic circuit with the coolant placed in the adsorbent layer. It is shown that the maximum values of these changes correspond to composites containing 80% salt and 20% silica gel, due to the maximum values of limiting adsorption and heat of adsorption, which contributes to lower values of the adsorbent mass required to cover the heat load. Relatively specific thermal masses of adsorption modules based on composites “silica gel – sodium sulphate” and “silica gel – sodium acetate”. The composition of the composite is 80% sodium sulphate and 20% silica gel, which corresponds to the minimum size of the adsorption unit, and therefore the maximum value of thermal mass.

Key words: thermal mass, adsorptive conversion of heat energy, composite adsorbent, adsorption, maximal adsorption.

УДК 621.311
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/08>

Буданов П.Ф.

Українська інженерно-педагогічна академія

Бровко К.Ю.

Українська інженерно-педагогічна академія

Жуков С.Ф.

Українська інженерно-педагогічна академія

Хом'як Е.А.

Українська інженерно-педагогічна академія

РОЗРОБКА МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ОБОЛОНКИ ТВЕЛ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

Проведено аналіз існуючих методів контролю поверхні матеріалу оболонки тепловиділяючого елементу, який показав, що їх застосування для виявлення поверхневих і внутрішніх дефектів, таких як локальні неоднорідності, мікро і макропори, різноманітні тріщини, осьова рихлість, відрізняється малою ефективністю, представляє трудомісткій процес, який потребує додаткової обробки поверхні матеріалу оболонки тепловиділяючого елементу. Крім того, досліджені методи контролю поверхні матеріалу оболонки тепловиділяючого елементу дозволяють візуально виявити тільки грубі зовнішні тріщини та великі шлакові включення, дрібні тріщини та неметалеві включення невидимі під кулею окалини. Запропоновано для оцінки якості поверхні матеріалу оболонки у разі її пошкодження чи руйнування застосування розрахункового апарату, заснованого на методі теорії фракталів. Запропоновано використовувати фрактальні властивості структури матеріалу оболонки та кількісну фрактальну величину – фрактальну розмірність, яка дозволяє визначити ступінь заповнення обсягу структури матеріалу оболонки під час розгерметизації тепловиділяючого елементу. Розроблена математична модель пошкодження структури матеріалу оболонки тепловиділяючого елементу залежно від одночасного впливу високої температури і внутрішнього тиску, викликаного накопиченням продуктів поділу ядерного палива між таблеткою ядерного палива і внутрішньою поверхнею оболонки тепловиділяючого елементу, з урахуванням фрактальних збільшень геометричних параметрів. Показано, що пошкоджені структури матеріалу оболонки тепловиділяючих елементів залежать від тиску і температури всередині оболонки, а також фрактального збільшення геометричних параметрів, таких як: обсяг і площа поверхні, зовнішній і внутрішній діаметр, висота і площа перетину, довжина оболонки і висота ядерних таблеток, зазор між внутрішньою поверхнею оболонки і ядерним паливом. Визначено критерій оцінки стану цілісності оболонки тепловиділяючого елементу, який залежить від зміни геометричних величин у разі пошкодження і руйнування структури матеріалу. Надані практичні рекомендації щодо застосування запропонованого методу контролю герметичності оболонки тепловиділяючого елементу для обробки інформації, отриманої з обчислювального модуля системи контролю герметичності оболонки для програмно-технічного комплексу АСУ ТП енергоблоку АЕС, яка дозволяє виявляти розгерметизацію тепловиділяючих елементів на більш ранній стадії в порівнянні зі штатною методикою.

Ключові слова: тепловиділяючий елемент, система контролю герметичності оболонки, пошкодження структури матеріалу.

Постановка проблеми. Створення надійних, безпечних та економічно ефективних атомних електростанцій є першочерговим завданням у Концепції розвитку атомної енергетики України. Особлива увага приділяється вивченню процесів, які проходять в активній зоні реактора саме за порушень режимів нормальної експлуатації,

які приводять до аварійних ситуацій. Одним зі шляхів зменшення наслідків аварійних ситуацій є збереження охолоджуваності активної зони реактора, яка може бути порушена у разі можливого перегріву, формозміни і розгерметизації оболонки ТВЕЛ. В більшості країн, які розвивають атомну енергетику, приділяється увага питанню вивчення

поведінки ТВЕЛів в аварійних режимах. Тому завдання дослідження фізико-хімічних процесів, що відбуваються в оболонці ТВЕЛ у разі її розгерметизації, є актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основним параметром, що обмежує зростання ефективності експлуатації ядерного реактору типу ВВЕР, є порушення герметичності оболонок тепловиділяючого елемента (ТВЕЛ), який є основним елементом активної зони ядерного реактора.

У нормативних документах [1, с. 117; 3, с. 34] не регламентується зміна пошкодження оболонок ТВЕЛ за нормальних умов і не описано, як можна управляти цим параметром, а також не описується метод розрахунку пошкоженості матеріалу оболонок під час експлуатації ТВЕЛ, яка призводить до його розгерметизації [4, с. 40]. При досягненні рівні розуміння процесу розгерметизації оболонок ТВЕЛ в нормальних умовах експлуатації ядерного реактора типу ВВЕР механізм розгерметизації оболонок приблизно в 20% випадків невідомий [4, с. 41; 5, с. 208]. З цієї причини на діючих ядерних реакторах типу ВВЕР немає технічних засобів і не передбачені процедури і алгоритми для визначення місця зруйнованого ТВЕЛ в активній зоні ядерного реактора, локалізації дефекту оболонки ТВЕЛ, в якому сталася розгерметизація. На АЕС України не ведеться запис статистики по локалізації областей розгерметизації в оболонках ТВЕЛ [6, с. 1470; 7, с. 53].

Отже, для підвищення безпеки, надійності і економічності експлуатації ТВЕЛ ядерних реакторів типу ВВЕР актуальною проблемою є необхідність контролювати процес накопичення пошкоженості оболонок ТВЕЛ і визначити критерій розгерметизації ТВЕЛ в автоматизованому режимі, тобто оперативно, в режимі реального часу [5, с. 204; 7, с. 51].

Тому застосування автоматизованих методів контролю цілісності або пошкодження оболонки ТВЕЛ для оцінювання критерію герметичності або розгерметизації оболонки ТВЕЛ є актуальним завданням і головним фактором безпечної і надійної експлуатації ТВЕЛ, що і зумовило вибір напряму дослідження.

Постановка завдання. Метою статті є підвищення безпеки ядерного реактора шляхом оперативного виявлення негерметичних тепловидільних елементів на основі застосування вдосконаленого методу контролю з використанням апарату фрактально-кластерної теорії.

Основні матеріали дослідження. Найважливішою вимогою до тепловиділяючих елементів є

збереження герметичності їх оболонок під час експлуатації, зберігання і транспортування, оскільки воно безпосередньо пов'язане з безпекою цих етапів поводження з ними. Проте під час експлуатації ядерного реактору типу ВВЕР спостерігаються випадки розгерметизації оболонок ТВЕЛ. Ідентифікація та вивантаження тепловиділяючих збірок (ТВЗ) з негерметичними ТВЕЛ з ядерного реактору типу ВВЕР можливі тільки після його зупинки. Позапланова зупинка ядерного реактору типу ВВЕР через перевищення експлуатаційної межі по активності теплоносія, а також дострокове вивантаження ТВЗ завдають економічних збитків АЕС. Для прогнозування радіоактивного забруднення теплоносія і поведінки ТВЕЛ після розгерметизації потрібна розробка моделей і методів контролю, а також встановлення критеріїв допустимої кількості негерметичних ТВЕЛ в активній зоні ядерного реактору типу ВВЕР і критеріїв можливості продовження експлуатації або дострокового вивантаження ТВЗ з негерметичними ТВЕЛ. Для скорочення випадків розгерметизації необхідне встановлення їх причин (недолік конструкції, технології виготовлення, умов експлуатації) і прийняття відповідних заходів. У цьому плані найбільш повна і достовірна інформація може бути отримана в результаті післяреакторних досліджень. В результаті аналізу встановлено, що основними причинами розгерметизації оболонок ТВЕЛ в ядерному реакторі типу ВВЕР є такі:

1. У 60% випадків розгерметизації ТВЕЛ ядерного реактору типу ВВЕР-1000 наскрізне пошкодження оболонок відбулося за рахунок взаємодії зі сторонніми предметами, що потрапляють в пучок ТВЕЛ з теплоносія (експлуатаційна причина), два випадки розгерметизації сталися за рахунок фреттинг-корозії під час взаємодії ТВЕЛ один з одним, однак корінна причина розкріплення нижнього кінця одного з них не встановлена, два ТВЕЛ (20%) розгерметизувались з технологічних причин – внутрішнє гідрування оболонки.

2. Дефекти оболонок по перетину тепловиділяючої збірки ВВЕР-1000 розподілені випадковим чином, а по висоті рееструються переважно в районі опорної решітки пучка або під нижніми дистанцієюними ґратами. У ТВЕЛ з внутрішнім гідруванням дефекти розподілені практично по всій висоті паливного сердечника, при цьому не представляється можливим відокремити первинні від вторинних. Розгерметизація ТВЕЛ за механізмом фреттинг-корозії сталася поблизу нижньої решітки. У ТВЕЛ ядерного реактору типу ВВЕР

ділянки вторинного гідрування оболонок віддалені від первинних дефектів зазвичай на відстань 2500...3000 мм і часто впритул примикають до верхніх зварних з'єднань. Не встановлено явні залежності відстані між первинними і вторинними дефектами оболонок ні від лінійної потужності, за якої експлуатувалися негерметичні ТВЕЛ, ні від часу їх експлуатації в негерметичному стані.

3. Під час експлуатації негерметичних ТВЕЛ ядерного реактору типу ВВЕР в оболонках можуть утворитися вторинні дефекти внаслідок локального гідрування. Час між утворенням первинного і вторинного дефекту зазвичай менший, ніж тривалість паливної кампанії. Поза зоною підвищеного гідрування оболонка негерметичного ТВЕЛ зберігає пластичність і досить високу міцність, тоді як на ділянках підвищеного гідрування вона руйнується крихко за невеликих навантажень. Тангенціальна деформація оболонки щонайменше на 0,5% не призвела до її руйнування. Подовження негерметичних ТВЕЛ зазвичай менше герметичних, а їх діаметр перевищує діаметр ТВЕЛ на величину до 0.3 мм.

4. Вихід цезію з паливного сердечника ТВЕЛ ядерного реактора типу ВВЕР-1000 знаходиться в межах 16...44%. Вихід цезію з паливних таблеток залежить не тільки від потужності на цій ділянці негерметичного ТВЕЛа, але і від ступеня окислення оболонки і палива, та погіршує теплопровідність і коефіцієнт теплопередачі в зоні їх контакту. Це супроводжується збільшенням температури, від якої суттєво залежить величина ефекту. В діапазоні зміни сумарної площі наскрізних дефектів від 0.6 до 106 мм² і середнього вигорання палива від 13 до 42 МВт·сут/кг вихід цезію з палива слабо зменшується зі збільшенням розміру дефектів.

5. Значна ерозія палива ВВЕР відбувається в зонах великих дефектів оболонок внаслідок стирання таблеток твердим предметом і випадання дрібних фрагментів паливних таблеток. В інших перетинах з наскрізними дефектами зафіксована ерозія таблеток, що супроводжується «вимиванням» з ТВЕЛ, за попередніми оцінками не більше 4...5%.

6. В ході проведення післяреакторних досліджень вдалося встановити, що причиною розгерметизації ТВЕЛ всіх досліджених тепловиділяючих збірок ядерного реактору типу ВВЕР-1000 були пошкодження їх оболонок сторонніми предметами, які циркулюють в потоці теплоносія. Під час формування вторинних дефектів найбільшому гідруванню піддавався район нижньої

торцевої заглушки ТВЕЛів. Гамма-сканування негерметичних оболонок ТВЕЛ виявило вимивання Cs-137 на ділянках поблизу вторинних наскрізних дефектів і міграцію цезію на торці і по радіусу паливних таблеток.

7. Порівняння макроструктури уранового палива негерметичних і герметичних ТВЕЛ ядерного типу ВВЕР-1000 показало, що розвиток сітки макротріщин для останніх відбувається в меншому ступені. Аналіз мікроструктури показав, що основною відмінністю є реструктуризація палива на ділянках вторинних дефектів в негерметичних твелах, що виражається в збільшенні розміру зерен. Також було виявлено зменшення щільності палива в місцях, розташованих поблизу ділянок вторинного гідрування.

В результаті металографічних досліджень [6–8] встановлено, що структура матеріалу оболонки (СМО) ТВЕЛ в негерметичних і герметичних ТВЕЛах фрагментована в поперечному перерізі в основному радіальними тріщинами на кілька частин.

Більшість тріщин перетинають всю СМО ТВЕЛ. У перетинах наскрізних дефектів оболонок негерметичних ТВЕЛ фрагментовані більшою мірою, ніж на решті частини сердечника. Поблизу наскрізних дефектів оболонок негерметичних ТВЕЛів виявлена ерозія таблеток у вигляді збільшення центрального отвору і відсутності сегмента. У деяких перетинах негерметичних ТВЕЛів виявлено зменшення діаметра центрального отвору таблетки. В результаті досліджень мікроструктури СМО ТВЕЛ герметичних ТВЕЛів, які відпрацювали в штатних умовах, зміни розміру зерен і пористості уздовж радіуса не з'явилися. Найбільш значні зміни мікроструктури СМО ТВЕЛ виявлені в негерметичних ТВЕЛах.

У СМО ТВЕЛ утворилися концентричні структурні зони. Біля центрального отвору розташована зона з підвищеною пористістю. До цієї зони примикала область зі збільшеними нерівноосними і рівноосними зернами. Далі по радіусу перебувала зона з розміром зерен, близьким до вихідного, і з підвищеною пористістю. Пори в цій зоні об'єднані в ланцюжки, витягнуті уздовж радіуса СМО ТВЕЛ. У периферійній зоні СМО ТВЕЛ негерметичного ТВЕЛа розмір зерен і пористість практично такі ж, як в герметичному ТВЕЛі.

Зміна розмірів зерен і збільшення пористості свідчать про істотне (вище 1200 °С) збільшення температури в центральній зоні перетину СМО ТВЕЛ негерметичних ТВЕЛів. Підвищення тем-

ператури відбувається внаслідок заповнення зазору між таблетками і оболонкою паром і через зниження теплопровідності за збільшення кисневого коефіцієнта. В результаті підвищення температури газоподібні і летючі продукти поділу виходять з зерен за їх межі. У деяких негерметичних ТВЕЛах розпухання і термічне розширення СМО ТВЕЛ викликало механічний вплив паливного сердечника на оболонку (після зникнення зазору між ними).

Основним експлуатаційним фактором, що впливає на температуру СМО ТВЕЛ, є лінійна потужність ТВЕЛа. Кількісні оцінки інертних газів, що вийшли з негерметичного твела, виробляли за результатами металографії і гамма-спектрометричного вимірювання.

Розглянемо процес утворення дефектів у структурі матеріалу оболонки ТВЕЛ (рис. 1).

За впливу факторів руйнування на зовнішню і внутрішню поверхню матеріалу оболонки ТВЕЛ відбувається первинний дефект у вигляді утворення мікропор розміром до 5 мкм, які, відповідно до кластерної теорії, можна прийняти у вигляді окремого кластера. Подальше збільшення кількості мікропор (кластерів) призводить до утворення макропор до 500 мкм і, відповідно, до утворення кластерних агрегацій.

Далі, за підвищення температури і тиску, між внутрішньою поверхнею оболонки і зовнішньої поверхнею ядерного палива, збільшення концентрації інертних небезпечних газів, відбувається злиття макропор (кластерних агрегацій), що призводить до наскрізних макротріщин (кластер – кластерним структурам), а отже, до появи вторинного дефекту пошкодження оболонки ТВЕЛ.

Таким чином, отримана в результаті вторинного дефекту кластер – кластерна структура (рис. 1), являє собою пористу неоднорідну структуру, яка, як відомо, має специфічні фрактальні властивості.

Тому в роботі запропоновано провести дослідження механізму пошкодження зовнішньої і внутрішньої поверхні структури матеріалу під час утворення дефектів в оболонці ТВЕЛ для встановлення факту його розгерметизації на основі обчислювального апарату фрактально-кластерної теорії. В роботі запропоновано основним фізичним процесом накопичення пошкоженості вважати повзучість матеріалу оболонки ТВЕЛ за впливу на неї руйнівних чинників для реальних режимів експлуатації ядерного реактора типу ВВЕР.

Тому розробка методу контролю розгерметизації (пошкоженості) оболонки ТВЕЛ полягає у визначенні параметра пошкодження матеріалу оболонки і визначається формулою (1):

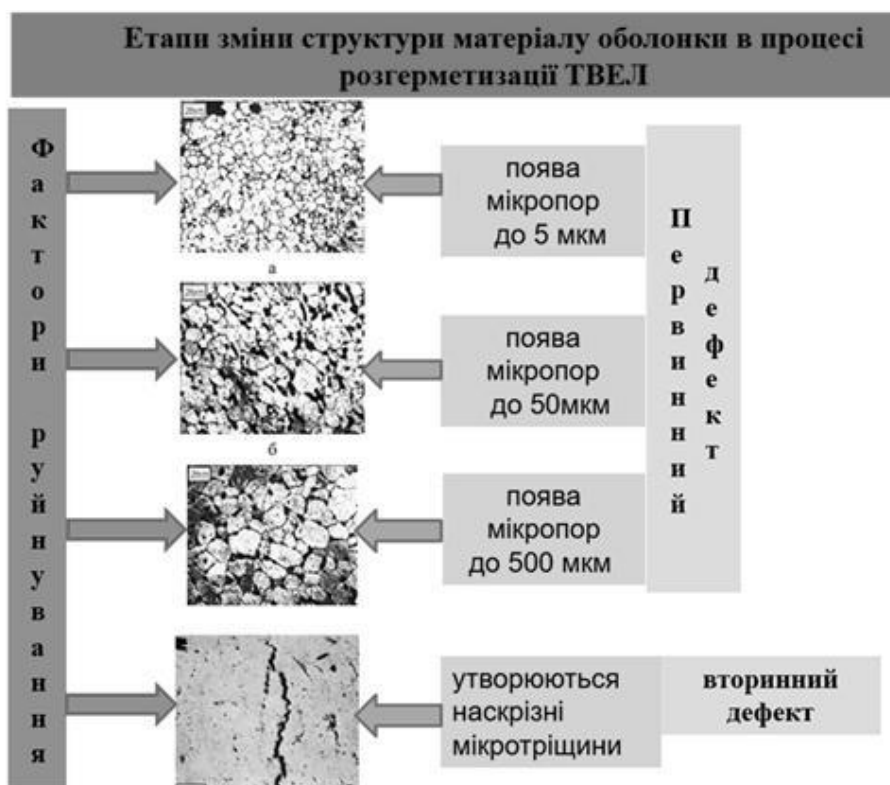


Рис. 1. Процес утворення первинних і вторинних дефектів у разі пошкоженості структури матеріалу оболонки ТВЕЛ

$$\omega(\tau) = \frac{A(\tau)}{A_0} = 1, \quad (1)$$

де A_0 – питоме розсіювання, яке характеризує зміну матеріалу оболонки ТВЕЛ; $A(\tau)$ – питоме розсіювання, яке характеризує інтенсивність пошкодження за час τ , залежить від тиску P і температури T всередині оболонки ТВЕЛ, а також фрактального збільшення геометричних параметрів ΔH та визначається формулою (2):

$$A(\tau) = F(P, T, \Delta H) \quad (2)$$

Необхідно відзначити, що в матеріалі оболонки ТВЕЛ під впливом тиску інертних газів в результаті ядерної реакції в ядерному паливі, підвищення температури вище 360°C , а також впливу радіоактивного випромінювання утворюються локальні неоднорідності, мікропори і тріщини, тому структура матеріалу оболонки ТВЕЛ піддається розтягуванню, розбуханню і відзначається повзучістю, тобто в різних напрямках приймає анізотропний стан, а отже, має специфічні фрактально-кластерні властивості.

Крім того, виходячи з формул (1) і (2), в роботі запропоновано критерій, за яким оцінюється герметичність або розгерметизація оболонки ТВЕЛ.

ТВЕЛ вважається герметичним, якщо виконується умова відповідно до виразу (3):

$$\omega(\tau) \leq 1 \quad (3)$$

ТВЕЛ вважається негерметичним, якщо виконується умова відповідно до виразу (4):

$$\omega(\tau) > 1 \quad (4)$$

Таким чином, удосконалено метод контролю герметичності оболонки ТВЕЛ шляхом розробки математичної моделі, що враховує фрактальні властивості структури матеріалу у разі її пошкодження, і визначені умови для критерію оцінки стану ТВЕЛ.

Висновки. Розроблена математична модель, яка показує, що на параметр пошкоженості матеріалу оболонки ТВЕЛ значний вплив мають фрактальні властивості структури матеріалу оболонки ТВЕЛ, а отже, розгерметизація ТВЕЛ залежить від ступеня фрактальної розмірності геометричних величин: обсягу, площі, довжини, внутрішнього і зовнішнього діаметра оболонки. Кінцевим результатом роботи обчислювального програмного модуля є визначення дефекту матеріалу оболонки ТВЕЛ і передачі цієї інформації на автоматизоване місце оператора АРМ (о) про виявлені дефекти і їх розташування на ТВЕЛ. Дані практичні рекомендації щодо впровадження обчислювального програмного модуля системи СКГО для ПТК АСУТП енергоблоку АЕС. Для сполучення обчислювального модуля системи СКГО з програмним обчислювальним комплексом АСУ ТП енергоблоком АЕС була удосконалена інформаційно-алгоритмічна схема АСУТП енергоблоку під час функціонування модуля для виявлення дефектів ТВЕЛ в нештатних режимах роботи енергоблоку АЕС.

Список літератури:

1. Круглов А.Б., Круглов В.Б., Харитонов В.С., Стручалин П.Г. Неразрушающая методика измерений теплофизических свойств твэлов с плотным топливом. *ВАНТ. Серия: Ядерно-реакторные константы*. 2018. Вып. 4. С. 147–152.
2. Богомолов В.Н. Алгоритм бездемонтажной проверки измерительных каналов секторной системы контроля герметичности оболочек твэлов реакторов типа БН. *Аппаратура и новости радиационных измерений*. 2018. № 1. С. 115–120.
3. Албутова О.И., Лукьянов Д.А. Исследование зависимости показаний секторной системы контроля герметичности оболочек твэлов реактора БН–600 от эксплуатационных параметров. *Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика*. 2015. № 2. С. 32–38.
4. Волков А.В., Кузнецов И.А. Разгерметизация оболочки твэла быстрого реактора с выходом газообразных продуктов деления в натрий. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2006. № 2. С. 39–43.
5. Битюцкая Л.А., Кузнецов П.В., Богатиков Е.В. Методы фрактальной параметризации поверхностных деформационных субструктур. *Нелинейный мир*. Москва, 2005. Т. 3, № 3. С. 202–212.
6. Потапов А.А., Герман В.А. О методах измерения фрактальной размерности и фрактальных сигнатур многомерных стохастических сигналов. *Радиотехника и электроника*. Москва, 2004. Т. 49, № 12. С. 1468–1491.
7. Буданов П.Ф., Бровко К.Ю., Хом'як Е. А. Аналіз факторів безпеки при експлуатації тепловиділяючих елементів ядерного реактора атомної електростанції. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки*. Випуск 204 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». Харків : ХНТУСГ, 2019. С. 50–52.

Budanov P.F., Brovko K.Yu., Zhukov S.F., Khomiak E.A. IMPROVEMENT OF FUEL ELEMENT SHELL CONTROL METHODS TO INCREASE NUCLEAR REACTOR SAFETY

The analysis of the existing methods of control of the surface of the fuel element cladding material was carried out, which showed that their use for detecting surface and internal defects, such as local inhomogeneities, micro and macropores, various cracks, axial looseness, is characterized by low efficiency, is a laborious process that requires additional surface treatment. material of the fuel elements cladding. In addition, the investigated methods of controlling the surface of the fuel element cladding material make it possible to visually identify only rough external cracks and large slag inclusions, small cracks and non-metallic inclusions invisible under the scale ball. It is proposed to assess the quality of the surface of the shell material in case of its damage and destruction, the use of a computational apparatus based on the method of the theory of fractals. It is proposed to use the fractal properties of the shell material structure and a quantitative fractal value – the fractal dimension, which makes it possible to determine the degree of filling of the volume of the shell material structure during fuel element depressurization. A mathematical model of damage to the structure of the fuel element cladding material is developed depending on the simultaneous effect of high temperature and internal pressure caused by the accumulation of nuclear fuel fission products between the nuclear fuel pellet and the inner surface of the fuel element cladding, taking into account the fractal increases in the geometric parameters of the fuel element cladding. It is shown that damaged structures of the fuel rod cladding material depend on the pressure and temperature inside the fuel rod cladding, as well as the fractal increase in geometric parameters, such as: volume and surface area, outer and inner diameters, height and cross-sectional area, cladding length and height of nuclear pellets, gap between the inner surface of the cladding and nuclear fuel. A criterion for assessing the integrity of the fuel rod cladding is determined, which depends on the change in geometric values in the event of damage and destruction of the structure of the fuel rod cladding material. Practical recommendations are given on the use of the proposed method for monitoring the tightness of the fuel element cladding for processing information obtained from the computational module of the system for monitoring the tightness of the cladding for the APCS of the NPP power unit, which makes it possible to detect the depressurization of fuel elements at an earlier stage in comparison with the standard procedure.

Key words: fuel elements, control system for the tightness of the shell, damage to the structure of the material.

УДК 621.362.2
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/09>

Бунько В.Я.

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України
«Бережанський агротехнічний інститут»

Христенко Г.М.

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України
«Бережанський агротехнічний інститут»

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ГЕЛІОКОЛЕКТОРА

У цій статті проведено аналіз роботи сонячних елементів, зокрема геліоколектора всесезонного типу, який використовується як джерело альтернативної енергетики для економії техніко-економічних ресурсів.

Проведено аналіз інтенсивності сонячної радіації, яка надходить на перпендикулярну до напрямку випромінювання поверхню, що залежить від широти і може бути розрахована та знайдена довільними методами. Зокрема, запропоновано метод для визначення середньої інтенсивності сонячної радіації, яка потрапляє та падає на розташовану під будь-яким кутом поверхню до напрямку випромінювання.

Дослідженнями встановлено, що найвагоміший вплив на ККД геліоколектора мають такі фактори, як: інтенсивність сонячної енергії та температура навколишнього середовища, конструктивні параметри і характеристики сонячного колектора, а також властивості теплопоглинаючої поверхні, зокрема, матеріал і товщина поверхні колектора, товщина ізоляції та коефіцієнт теплопровідності цієї ізоляції, відстань-крок труб, пропускна здатність скла, робочі параметри геліоколектора – витрата теплоносія і його температура на вході.

З метою підвищення ефективності роботи геліоколектора обґрунтовано важливість та правильність проведення відповідних розрахунків для знаходження оптимальних кутів його встановлення, за яких буде отримано максимально можливу кількість поглинутої сонячної енергії для ефективного використання сонячного колектора та параметрів робочого агента теплової енергії.

Проведено порівняльний аналіз вакуумних та плоских геліоколекторів. Наведено результати потужності колекторів в залежності від часу доби у різних місяцях року. Потужність колектора залежить від інтенсивності сонячної радіації протягом доби та інсоляційного періоду. Встановлено, що вакуумний колектор дає кращі показники під час виробництва теплової енергії практично в усіх місяцях року.

Наведено графік накопичення сонячної радіації у відсотках, яка безпосередньо залежить від правильності улаштування сонячного колектора – кута нахилу та орієнтації встановлення даної геліоустановки.

Ключові слова: геліоколектор, сонячна енергія, тепла енергія, інсоляція, альтернативні джерела, сонячна радіація.

Постановка проблеми. Широке впровадження та інтенсивне використання традиційних джерел енергії у всьому світі призвело до появи ряду екологічних проблем, найбільш гострими з яких є збільшення викидів в атмосферу вуглекислого газу та зменшення товщини озонового шару.

На сьогоднішній день розроблено та використовується значна кількість сонячних установок (геліоколекторів, фотоелектричних елементів тощо) різних конструкцій, що відрізняє їх за техніко-економічними показниками. Більшість геліоколекторів виготовляється у формі плоских конструкцій, істотним недоліком яких є нестабільність ефективності їх роботи впродовж світлового дня (знижується до 60% в ранішні та

вечірні години), висока вартість і трудомісткість виготовлення.

Враховуючи стрімкий розвиток енергозберігаючих технологій з використанням альтернативних джерел енергії, великі перспективи має розробка та проектування таких інженерно-технологічних рішень, які забезпечуватимуть можливість поєднання конструктивних та архітектурних функцій окремих елементів будівель та споруд з одночасним поглинанням ними сонячної енергії і перетворення її на теплову енергію при зниженні матеріальних і трудових затрат.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженнями інсоляційного режиму займалися такі вчені, як О.В. Сергейчук, М.В. Омеляненко,

А.Я. Штейнберг, М.Б. Яців та інші. Деякі питання альтернативної енергетики різних країн світу в своїх працях досліджували такі науковці: Р.М. Буквич, Г.Г. Гелетуха, П.П. Кучерук, Е.Н. Олейник, А.В. Трибой, І.В. Замула, А.В. Кирейцева.

Питання щодо використання альтернативних джерел енергії, зокрема сонячних колекторів, обговорюються фахівцями в цій галузі та вченими як всього світу, так і України зокрема на міжнародних, всеукраїнських конференціях, симпозиумах щодо впровадження відновлювальних джерел енергії у всіх сферах людської діяльності, зокрема на II Міжнародній науково-практичній конференції «Використання альтернативних джерел енергії в умовах розвитку сільських територій» м. Полтава, 2019; Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи використання альтернативних і поновлюваних джерел енергії в Україні (REU 2014)»; XXI міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті» м. Київ, 2020 (Інститут відновлюваної енергетики НАН України) та інші.

Виклад основного матеріалу. Відомо, що сонячна радіація надходить до Землі у вигляді електромагнітних хвиль, котрі кількісно характеризуються питомою густиною потоку випромінювання та вимірюються у $\text{Вт}/\text{м}^2$ [4]. Цю величину також ще називають питомою потужністю, енергетичною освітленістю або інтенсивністю випромінювання. Такі дані про зміну сонячної енергії протягом певного дня чи року можна отримати з відповідних літературних джерел [5].

Слід відмітити, що системи сонячних колекторів для нагріву максимальної кількості гарячої води і максимальної економії енергоресурсів потребують встановлення якомога більшої площі сонячних колекторів.

Але в найбільш спекотні літні дні це може призводити до того, що колектори будуть виробляти «надлишкове» тепло, що приведе до закипання теплоносія в колекторах і зупинки в роботі всієї системи.

Для таких систем відомі компанії пропонують сонячні колектори, які самостійно регулюють максимальну робочу температуру і здатні надійно захищати систему від закипання: наприклад вакуумні колектори Vitosol 300-T типу SP3B і нові плоскі колектори Vitosol 100-FM та Vitosol 200-FM з абсорбером ThermProtect, що змінює свої властивості в залежності від робочої температури [13].

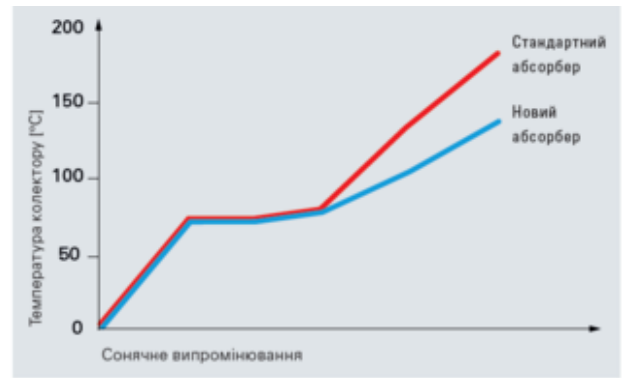


Рис. 1. Залежність температури геліоколектора від сонячного випромінювання (графік захисту від закипання теплоносія)

Всесезонний сонячний колектор постійно виробляє теплову енергію, коли на нього потрапляє сонячне випромінювання. Навіть тоді, коли в цьому теплої немає потреби. Наприклад, влітку, коли теплоносії не використовується для жодних потреб. Сонячні колектори нагрівають наявні баки запасу гарячої води в буферну ємність (теплоакумулятор). Коли ж гарячу воду ніхто не використовує, то геліостанції нагрівають теплоносії в акумуляторі тепла до максимальних температур і вимикаються за допомогою системи автоматичного контролю та управління.

Слід врахувати, що коли при цьому на геліоколектор буде потрапляти значна частина сонячних променів, яка підвищить інтенсивність сонячного випромінювання, то це призведе до закипання в ньому теплоносія. А тому цей процес негативно впливає на сам теплоносії, оскільки термін його експлуатації буде зменшуватись. Водночас відповідних термічних навантажень зазнають і самі компоненти такої системи: трубопроводи, арматура, ущільнення, циркуляційний насос тощо. В окремих сонячних колекторах з інноваційним абсорбером ThermProtect [13] закипання теплоносія гарантовано виключається.

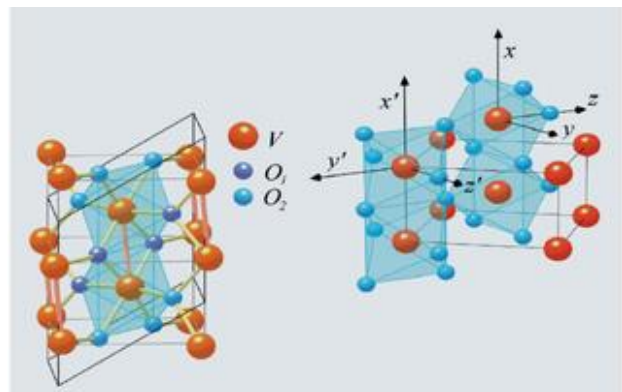


Рис. 2. Зміна оптичних властивостей абсорбера [13]

Новий абсорбер складається з багатьох шарів. Один з цих шарів складає оксид ванадію (VO_2). При температурах вище $+75^\circ\text{C}$ оксид ванадію починає змінювати свої оптичні властивості. При розігріванні значно збільшується його теплове випромінювання і завдяки цьому зменшується температура колектору. І чим вище буде температура абсорберу, тим вище буде його теплове випромінювання. Особливо сильно цей ефект проявляється при температурах абсорберу від $+100^\circ\text{C}$. При температурі $+150^\circ\text{C}$ він повністю випромінює тепло, що попадає на нього з сонячними променями. Кількість змін структури кристалів шарів селективного покриття не обмежена, що гарантує довготривалий термін експлуатації сонячних колекторів [3].

Як тіло з середньою температурою близько 5762 K сонце випромінює електромагнітні хвилі різної довжини, які разом складають відповідний сонячний спектр [1; 5; 12]. За довжиною хвилі λ такий спектр умовно поділяють на три діапазони, а саме: ультрафіолетовий, видимий та інфрачервоний. Перші два діапазони ще називаються короткохвильовими, а інфрачервоний – довгохвильовим [1; 4; 12]. На приймач-споживач біля поверхні землі сонячна радіація надходить у вигляді трьох потоків: прямого, розсіяного та відбитого від рельєфу та навколишніх поверхонь. Певними дослідженнями та обґрунтуваннями встановлено, що практично вся енергія цих потоків сонячної радіації надходить в область коротких довжин хвиль, причому основна частина потрапляє на видиму та ближню інфрачервону область спектру [1; 5; 12].

Найбільша густина потоку сонячного випромінювання, яке надходить на земну поверхню, становить 1 кВт/м^2 з діапазоном довжини хвиль $0,2\text{--}3\text{ мкм}$ [1; 5; 12]. Таке випромінювання називається короткохвильовим та включає видимий спектр. Під час проходження сонячного проміння через атмосферу Землі частина випромінювання розсіюється і поглинається озоном, повітрям та водяною парою, а також частинками пилу, що приводить до послаблення прямого сонячного випромінювання [1; 4; 5; 12]. Часто необхідні дані про сонячну енергію відсутні, тому для цього використовують графічні та аналітичні залежності, котрі дають можливість вирішувати поставлені завдання. Знаходження та опис таких залежностей описано в багатьох наукових працях [7; 8; 9; 10; 12].

Інтенсивність випромінювання сонячної радіації I_e , яка надходить на поверхню, перпендику-

лярну до напрямку випромінювання, залежить від широти і може бути знайдена за відповідними формулами та методами. Для розрахунку такого показника I_e для широти $38^\circ\text{--}64^\circ$ доцільною є формула [1; 11; 12]:

$$I_e = \frac{Q_0 \cdot \sin h}{\sin h + c}, \quad (1.1)$$

де h – висота сонячного стояння для певної окремої місцевості в певну годину доби, град; c – емпіричний показник, що характеризує прозорість (видимість) атмосфери; Q_0 – інтенсивність сумарної сонячної радіації за безхмарного чистого неба, Вт/м^2 .

Для широти $0^\circ\text{--}37^\circ$ та $65^\circ\text{--}90^\circ$ ця величина визначається за формулою [1; 11; 12]:

$$I_e = Q_0 \cdot \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 \cdot \frac{\sin h}{\sin h + c}, \quad (1.2)$$

де r_0 – середня відстань від Землі до Сонця, м; r – відстань від Землі до Сонця в певний період року, м.

Середню інтенсивність сонячної радіації I_{cp} , яка падає на розташовану поверхню під будь-яким кутом до напрямку випромінювання, можна розрахувати за формулою [1; 5; 12]:

$$I_{cp} = I_e \cdot \cos \theta, \quad (1.3)$$

де $\cos \theta$ – косинус кута між напрямком випромінювання і нормаллю до поверхні.

Проте слід провести порівняльний аналіз сонячних колекторів на основі вакуумних трубок або плоских колекторів.

В останні десять років, з тих пір, як альтернативна енергетика стала більш доступною для широкого кола споживачів, і сонячні колектори почали активно впроваджуватись в системах опалення та гарячого водопостачання, тема порівняння продуктивності, а так само інших характеристик плоских та вакуумних колекторів, неодноразово обговорювалась на конференціях, семінарах та виставках і викликала між апологетами цікаву дискусію, яку слід зобразити графічно для того, щоб зрозуміти та дати відповідь на це питання [2].

Для початку представимо графіки реального виробництва двох колекторів апертури (ефективної поглинаючої площі сонячного колектора), які здебільшого займають більшу частину ринку подібних геліосистем. Такий тип сонячних колекторів працює не в лабораторних умовах, а в реальних, тому цей графік максимально точно дозволить описати роботу сонячних колекторів вакуумного та плоского типу. Теорія цього процесу доволі проста, оскільки вакуумний колектор

має вакуум між абсорбером і склом, яке безпосередньо контактує з атмосферою. Плоский колектор такого вакууму не має. Відповідно, вплив зовнішнього середовища на вакуумний колектор істотно менший, ніж плоский. Особливе значення в цьому процесі мають температурне та вітрове навантаження [2].

T1 – температура поверхні колектора з вакуумними трубками; T2 – температура теплоносія в акумуляторі тепла; R1 – циркуляційний насос.

Проаналізувавши усі графіки (рис. 4–7), можна сказати, що вакуумний колектор дає кращі показники під час виробництва теплової енергії практично в усіх місяцях року. Як показує практика, варто зазначити, що у разі правильного встановлення вакуумного колектора його загальне річне виробництво тепла перевищує виробництво теплової потужності плоского не менш ніж на

20% [2]. Проте слід розуміти, що правильне улаштування геліоколектора передбачає дотримання окремих аспектів, котрі мають місце в зимовий період: вакуумний колектор не повинен засипатись снігом зважаючи на малий кут нахилу; колектор не повинен знаходитись в положенні, коли він лежить прямо на даху приміщення і шар снігу просто покриває його повністю, а почистити немає можливості.

На рис. 8 зображено графік накопичення сонячної радіації у відсотках, яка безпосередньо залежить від правильності улаштування сонячного колектора – кута нахилу та орієнтації встановлення даної геліоустановки.

Висновки. Отже, враховуючи всі аспекти проектування, розрахунку та впровадження сонячних колекторів для системи тепlopостачання, слід враховувати особливості вибору таких систем,

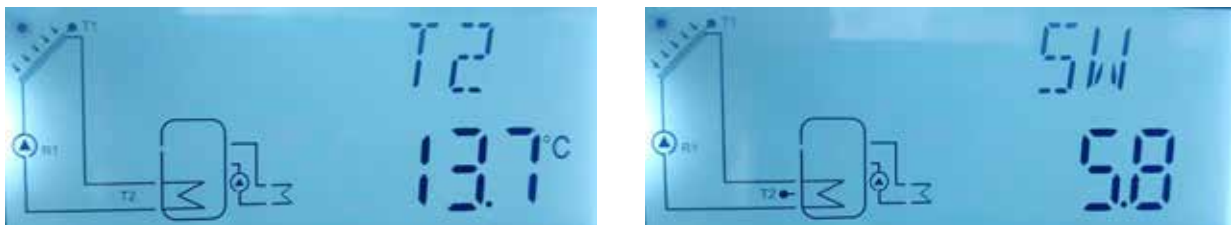


Рис. 3. Індикаторні параметри діючого геліоколектора з вакуумними трубками

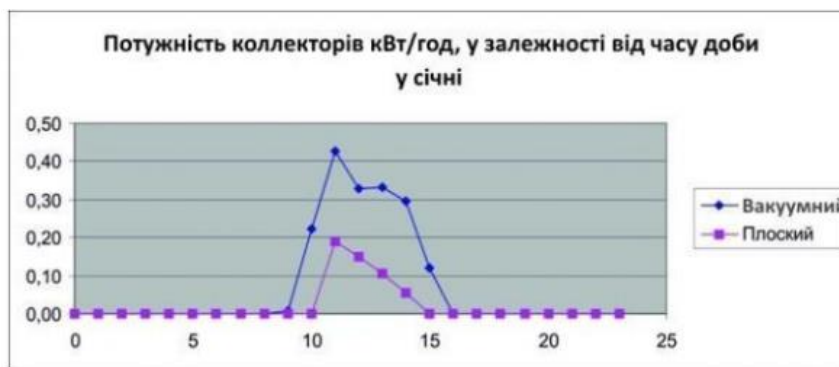


Рис. 4. Потужність колекторів в залежності від часу доби у січні місяці [2]

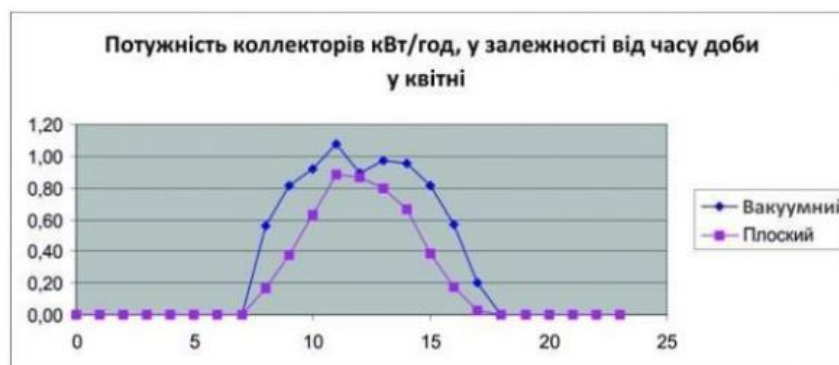


Рис. 5. Потужність колекторів в залежності від часу доби у квітні місяці [2]

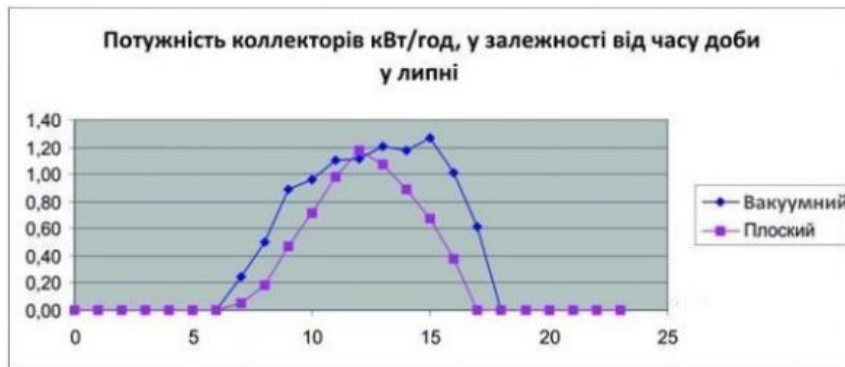


Рис. 6. Потужність колекторів в залежності від часу доби у липні місяці [2]

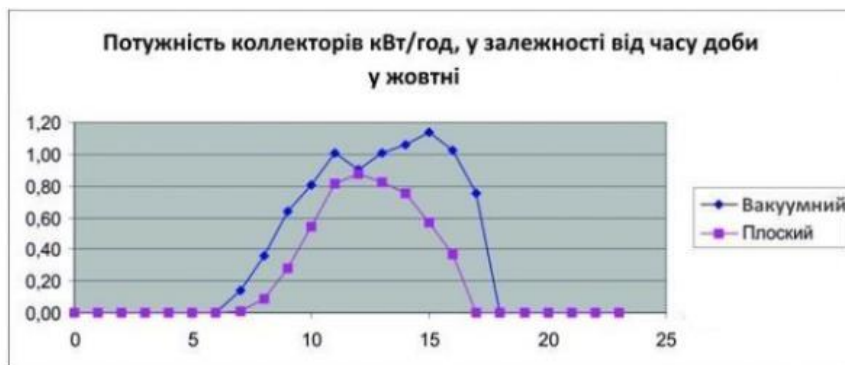


Рис. 7. Потужність колекторів в залежності від часу доби у жовтні місяці [2]

Нахил і орієнтація колектора

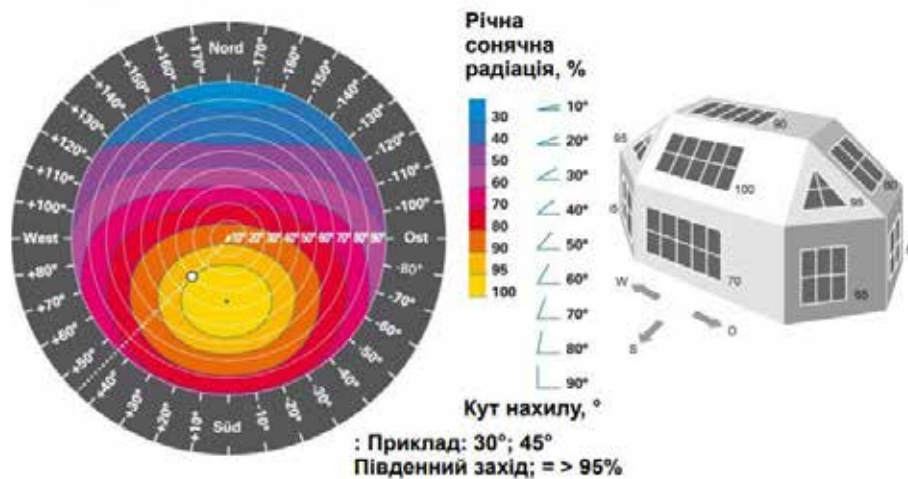


Рис. 8. Визначення річної сонячної радіації в залежності від кута нахилу та орієнтації колектора [3]

правильно улаштувати, передбачити окремі розрахунки кута нахилу колектора для ефективної інтенсифікації процесу інсоляції, що дасть можливість підвищити ККД геліосистеми в цілому. Провівши порівняльний аналіз вакуумних та плоских колекторів, варто зазначити, що плоский колектор втрачає частину тепла шляхом прямого

теплопереносу від абсорбера до скла і далі – назад в атмосферу. Причому ці втрати тим більші, чим більша різниця температур між внутрішньою частиною плоского колектора і температурою повітря ззовні. А тому такі дослідження будуть мати подальше обґрунтування та перспективи в сфері альтернативної енергетики.

Список літератури:

1. Кондратьев К.Я. Актинометрия. Ленинград : Гидрометеорологическое издательство, 1965. 690 с.
2. URL: <https://teplocel.com.ua/ne-vyvodyty/sonyachnyj-kolektor-yakyj-vybraty-ploskyj-abo-vakuumnyj/> (дата звертання 20.03.2021).
3. URL: <https://snabrezerv.ua/upload/medialibrary/374/rez.kollektory12-05-2017.pdf> (дата звертання 22.03.2021).
4. Гальчак В., Боярчук В. Альтернативні джерела енергії : навч. посіб. Львів : Арал, 2008. 135 с.
5. Даффи Дж. А., Бекман У. А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии / пер. с англ. под ред Ю.Н. Малевского. Москва : Мир, 1977. 420 с.
6. Perers В. Dynamic method of solar collector testing. *Solar Energy Engng* 2. P. 1149–1154, 1992.
7. Голицын М.В., Голицын А.М., Пронина Н.М. Альтернативные энергоносители. Москва : Наука, 2004. 159 с.
8. Ляшенко М.Б., Реджепова Ш. Р. Математическое моделирование и оптимальное проектирование некоторых хозяйственных гелиотехнических систем. Ашхабад : Ьлым, 1989. 124 с.
9. Магомедов М.А. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. Махачкала : Юпитер, 1996. 245 с.
10. Максимова Н.А. Енергозберігаючі системи на основі абсорбційних термотрансформаторів: авто-реф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.23.03. Макіївка, 2007. 19 с.
11. Твайделл Д., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии / пер. с англ. под ред. В.А. Коробкова. Москва : Энергоатомиздат, 1990. 391 с.
12. Пона О.М. Підвищення ефективності комбінованої системи теплопостачання з геліопокрівлею: дис.... канд. техн. наук. Львів, 2018. 201 с.
13. URL: <http://xn--80avikb.xn--j1amh/page/geliosistemi> (дата звертання 21.03.2021).

Bunko V.Ya., Khrystenko H.M. STUDY OF THE EFFICIENCY OF THE HELI COLLECTOR

This article analyzes the operation of solar cells, in particular the all-season solar collector, which is used as a source of alternative energy to save technical and economic resources.

The analysis of the intensity of solar radiation, which enters the surface perpendicular to the direction of radiation, depends on the latitude and can be calculated and found by arbitrary methods. In particular, a method is proposed to determine the average intensity of solar radiation that falls and falls on the surface located at any angle to the direction of radiation.

Studies have shown that the most significant influence on the efficiency of the solar collector are factors such as: solar energy intensity and ambient temperature, design parameters and characteristics of the solar collector, as well as heat-absorbing surface properties, including material and collector surface thickness, insulation thickness and thermal conductivity, distance-step of pipes, capacity of glass, working parameters of a solar collector – a expense of the heat carrier and its temperature on an entrance.

In order to increase the efficiency of the solar collector, the importance and correctness of appropriate calculations to find the optimal angles of its installation, at which the maximum possible amount of absorbed solar energy for efficient use of the solar collector and the parameters of the working agent of thermal energy.

A comparative analysis of vacuum and flat solar collectors was performed. The results of reservoir capacity depending on the time of day in different months of the year are given. The power of the collector depends on the intensity of solar radiation during the day and the insolation period. It is established that the vacuum collector gives the best indicators in the production of thermal energy in almost all months of the year.

The graph of accumulation of solar radiation in percent which directly depends on correctness of the arrangement of a solar collector – an angle of inclination and orientation of installation of the given solar installation is resulted.

Key words: solar collector, solar energy, thermal energy, insulation, alternative sources, solar radiation.

УДК 621.31:004.421

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/10>**Васюченко П.В.**

Українська інженерно-педагогічна академія

Волков І.І.

Українська інженерно-педагогічна академія

Крохмаль Д.Ю.

Українська інженерно-педагогічна академія

ОСОБЛИВОСТІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ У СЕРЕДОВИЩЕ MATLAB

Під час використання електричної енергії вкрай актуальним стає питання акумулювання електричної енергії. Враховуючи особливості використання електроенергії, необхідність підтримання балансу потужностей, потрібно все більше уваги приділяти підвищенню ефективності використання акумулювального обладнання, створенню нових технічних рішень, упровадженню сучасних високоефективних технологій у цей технологічний напрям. Перед науковцями і технічним фахівцями виникають питання щодо розробки нових технічних рішень, перевірки гіпотез, що виникають, запропонованих рішень, що дозволяють підвищити техніко-економічні показники використання акумуляторних систем на етапі як проектування, розробки та впровадження, так і функціонування та експлуатації.

Для зниження витрат на експериментальні дослідження, часу проведення таких досліджень доцільним є застосування методів математичного моделювання, створення математичної моделі, що описує експлуатаційні характеристики акумуляторної батареї.

Зважаючи на це, виникає необхідність в одержанні достовірної й оперативної інформації про поточний стан і про експлуатаційні характеристики АБ. Методи оперативної оцінки станів АБ ґрунтуються на характеристиках, отриманих побічно (у результаті аналізу параметрів пристрою). Для цього потрібна математична модель, що описує основні характеристики акумуляторної батареї.

Метою статті є розробка математичної моделі АБ і методики вибору параметрів математичної моделі, що дозволяє підвищити вірогідність достовірної оцінки експлуатаційних характеристик.

У статті розглянуто особливості математичного моделювання акумуляторних батарей у середовищі Matlab. З огляду на основні підходи до моделювання акумуляторних батарей, обрано метод опису даних, отриманих у результаті аналізу наявних варіантів. Здійснено порівняння результатів моделювання наявної і розробленої за результатами незалежного експерименту моделі.

Ключові слова: математичне моделювання, акумулювання енергії, акумуляторні батареї, середовище Matlab, модель акумуляторної батареї.

Постановка проблеми. У сучасних умовах розвитку нетрадиційної енергетики потенціал акумулювання електричної енергії має велике значення [1]. Розвиток електроніки сприяє збільшенню кількості портативної техніки. Так, з'являються нові пристрої, зростає потреба в компактних переносних пристроях. Акумуляторні батареї широко застосовуються як джерела живлення, тому для грамотної розробки систем із їх використанням необхідно здійснювати математичне моделювання.

Основною експлуатаційною характеристикою АБ є її номінальна ємність. Прямий вимір номінальної ємності пов'язаний із розрядом АБ, що займає багато часу й вимагає відключення АБ від системи, що живиться нею. На зниження роз-

рядної ємності акумуляторної батареї впливає внутрішній опір АБ, що є важливою характеристикою акумуляторної батареї, визначаючи продуктивність акумулятора. У наявних математичних моделях внутрішній опір вважається постійним, але на практиці він збільшується. На збільшення внутрішнього опору впливає ступінь зарядженості й температура, що призводить до швидкого падіння розрядної напруги і, як наслідок, до зниження розрядної ємності акумулятора.

Зважаючи на це, виникає необхідність в одержанні достовірної й оперативної інформації про поточний стан й експлуатаційні характеристики АБ. Методи оперативної оцінки станів АБ ґрунтуються на характеристиках, отриманих побічно (у результаті аналізу параметрів пристрою). Для

цього потрібна математична модель, яка описує основні характеристики акумуляторної батареї.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням хімічних джерел живлення займалися Н.В. Коровін, А.М. Скудін, Я.М. Скоков. У роботах К.К. Васильєва, М.Н. Служивого, В.В. Савенкова, А.Б. Сазанова наведені рішення моделювання, розробки та експериментальних досліджень електротехнічних систем акумулявання електричної енергії. Наведені переваги та недоліки тих чи інших видів акумуляторних батарей, їх електричні характеристики.

Постановка завдання. Метою статті є розробка математичної моделі АБ і методики вибору параметрів математичної моделі, що дозволяє підвищити вірогідність достовірної оцінки експлуатаційних характеристик.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Модель АКБ у середовищі Matlab

Батарейний блок реалізує узагальнену динамічну модель [2] (рис. 1).

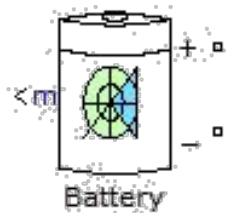


Рис. 1

Заряд і розряд динамічної моделі батареї перевіряються експериментально за допомогою чотирьох найбільш відомих типів акумуляторних батарей, як-от:

- нікель-кадмієвий;
- нікель-метал-гідридний;
- літій-іонний;
- свинцево-кислотний.

Особливістю цієї моделі є простота одержання експлуатаційних характеристик. Необхідно всього три параметри для введення в блок: номіналь напруга, В (Nominal Voltage); номінальна ємність, А/год (Rated Capacity); початковий стан заряду, % (Initial State-Of-Charge).

Еквівалентна схема батареї наведена на рисунку 2 [3].

Нижче представлені формули, що розраховують моделі розряду й заряду акумуляторних батарей у батарейному блоці [5]:

Для свинцево-кислотних АБ

Модель розрядки ($i^* > 0$)

$$f_1(it, i^*, i, Exp) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot it + \text{Laplace}^{-1} \left(\frac{Exp(s)}{Sel(s)}, 0 \right) \quad (1.1)$$

Модель зарядки ($i^* < 0$)

$$f_2(it, i^*, i, Exp) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{it+0.1 \cdot Q} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot it + \text{Laplace}^{-1} \left(\frac{Exp(s)}{Sel(s)}, \frac{1}{a} \right) \quad (1.2)$$

Для літій-іонної АБ

модель розрядки ($i^* > 0$)

$$f_1(it, i^*, i) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot it + A \cdot \exp(-B \cdot it) \quad (1.3)$$

Модель зарядки ($i^* < 0$)

$$f_2(it, i^*, i) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{it+0.1 \cdot Q} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot it + A \cdot \exp(-B \cdot it) \quad (1.4)$$

Для Нікель-кадмієвої і Нікель-метал-гідридної АБ

Модель розрядки ($i^* > 0$)

$$f_1(it, i^*, i, Exp) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot it + \text{Laplace}^{-1} \left(\frac{Exp(s)}{Sel(s)}, 0 \right) \quad (2.5)$$

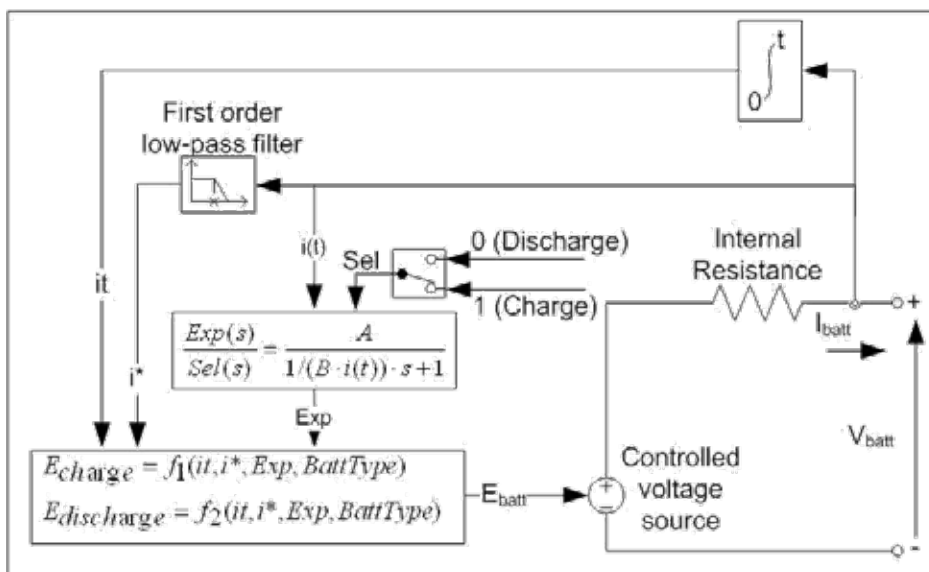


Рис. 2. Еквівалентна схема АКБ у середовищі MATLAB

Модель зарядки ($i^* < 0$)

$$f_2(i^*, i^*, i, E_{exp}) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{|i| + 0.1 \cdot Q} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q - i} \cdot i + \text{ExpPlace}^{-1} \left(\frac{\text{Exp}(s)}{\text{Sud}(s)} \cdot \frac{1}{s} \right) \quad (2.6)$$

де:

E_{batt} – нелінійна напруга (В);

E_0 – постійна напруга (В);

$\text{Exp}(s)$ – експонентна динаміка зони (В);

$\text{Sel}(s)$ – представляє режим роботи від акумулятора;

$\text{Sel}(s) = 0$ під час розрядки батареї;

$\text{Sel}(s) = 1$ під час зарядки акумулятора;

K – постійна поляризації (Ач-Ач⁻¹);

i^* – низькочастотна поточна динаміка (А);

i – струм батареї (А);

i_t – витягнута ємність (Ач);

U – експонентна ємність (Ач)⁻¹;

Q – максимальна ємність батареї (Ач);

A – експонентна напруга (В).

Параметри еквівалентної схеми можуть бути змінені, щоб представляти певний тип батареї, заснований на його розрядних характеристиках. Типова розрядна крива складається з трьох областей (рисунк 3) [4].

Перша область становить експонентне спадання напруги, коли акумулятор заряджений. Залежно від типу акумулятора ця область більш-менш широка.

Друга область показує напругу, яка може бути витягнута з акумулятора, поки напруга не впаде нижче номінальної напруги батареї.

Третя область показує повний розряд акумулятора, коли напруга падає дуже швидко.

Вкладка блок-параметрів

Тип батареї дозволяє вибрати тип АБ зі списку визначених моделей поведінки для чотирьох типів батарей, як-от:

- свинцево-кислотні;
- літій-іонний;
- нікель-кадмієві;
- нікель-метал-гідридні.

Номінальна напруга, В. Номінальна напруга прерентує кінець лінійної зони характеристик розряду.



Рис. 4

Номінальна ємність, А/ч. Номінальна ємність – мінімальна ефективна ємність батареї.

Початковий стан заряду, %. Початковий стан заряду позначається як SOC. Якщо значення рівне 100%, то акумулятор є повністю зарядженим. А за умов значення 0% акумулятор є вирядженим («порожнім»). Цей параметр уживається як початкова умова для моделювання й не впливає на криву розряду.

Максимальна ємність, А/ч. Максимальна теоретична ємність, коли виникає розрив у напрузі батареї. Значення цього параметра, як правило, дорівнює 105% від номінальної ємності.

Номінальний струм розряду, А. Номінальний струм розряду, для яких була обмірювана крива розряду.

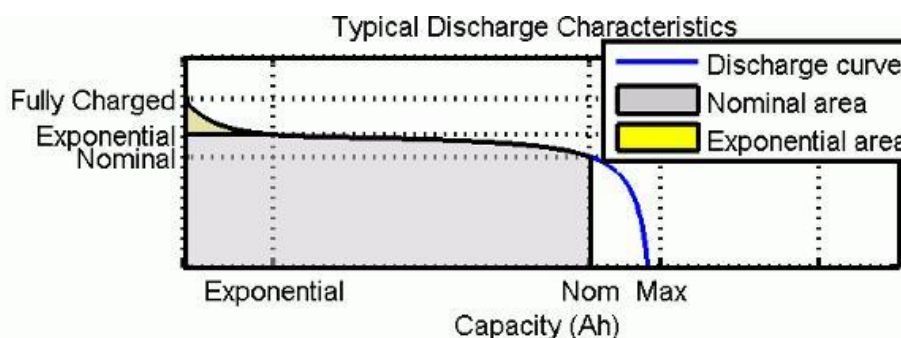


Рис. 3. Типова розрядна крива

Внутрішній опір, Ом. Внутрішній опір постійний під час циклів заряду й розряду й не міняється залежно від амплітуди струму.

Ємність за номінальної напруги, А/ч. Пропускна здатність із батареї, поки напруга не падає нижче номінальної напруги.

Експонентна зона. Напруга (U_{exp}) і ємність (Q_{exp}) властиві кінцю експонентної зони. Напруга визначається в інтервалі U_{nom} до U_{full} , ємність в інтервалі від 0 до Q_{nom} .

Вкладка виду характеристики розряду

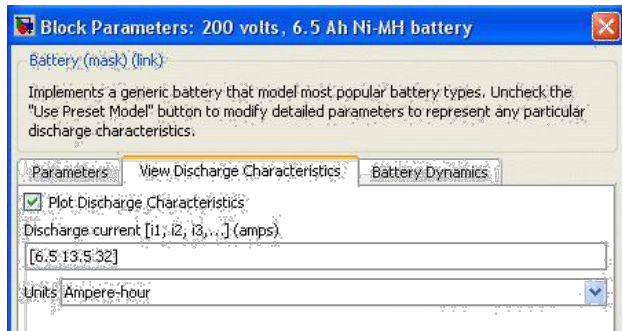


Рис. 5

Ділянка характеристики розряду (Plot Discharge Characteristics). Використовується під час вибору ділянок фігури, що містить два графіки. Перший графік показує номінальну криву розряду за умов номінального струму розряду, а другий – криві розряду в заданих струмах. Коли прапорець активний, то графа залишається включеною й оновлюється під час зміни параметра в діалоговому вікні.

Розрядний струм (Discharge current). Дозволяє задавати різні значення розрядного струму. Розрядні характеристики цих струмів представлені в другій частині графіка.

Одиниці виміру (Units). Ця графа дозволяє задавати час або ампер-годину як вісь X для графіка.

Вкладка динаміки батареї

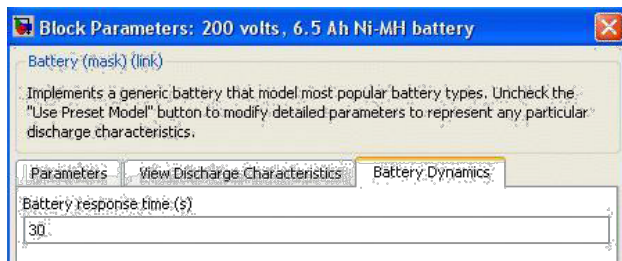


Рис. 6

Час відгуку батареї (на 95% від кінцевого значення). Це значення презентує динаміку напруги.

Пропонована модель заснована на певних допущеннях і обмеженнях [6]:

Допущення моделі:

- внутрішній опір передбачається постійним під час циклів зарядки й розрядки й не залежить від амплітуди струму;
- параметри моделі виводяться з розряду характеристики й ухвалюються рівними для зарядки;
- ємність батареї не змінюється залежно від амплітуди струму;
- температура не впливає на поведінку моделі;
- саморозряд відсутній;
- ефект пам'яті відсутній.

Обмеження моделі:

- мінімальна напруга батареї дорівнює 0 V, а максимальна – $2 \cdot E_0$.
- мінімальна ємність батареї – 0 А/год, а максимальна не може бути більше 100%.

У програмному забезпеченні Matlab/Simulink зроблене моделювання батарейного блока Battery. Моделювання зроблене згідно зі схемою, показаною на рисунку 7.

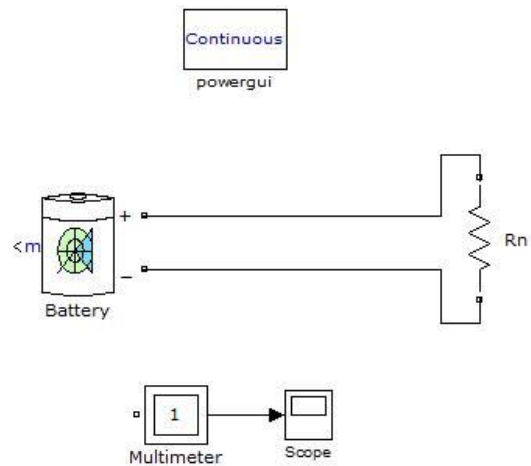


Рис. 7. Схема моделювання в блок Battery зі списку АБ обрані Нікель-метал-гідридна акумуляторна батарея

Згідно з практичним дослідженням батарейний блок опору в навантаженні $R_n = 1$ Ом. У блок внесені основні дані: U – Номінальна напруга, В; Q – номінальна ємність, Ач; SOC – початковий стан заряду, %. Це взято з практичного дослідження трьох акумуляторних батарей. Вихідним параметром є напруга на навантаженні U (В).

Для АБ типу ВТУ 3000 (1) початкові значення:
 $U = 1.113$ В
 $Q = 0,155$ Ач
 $SOC = 100\%$.

Результат виміру: графік залежності напруги на навантаженні U від часу t показано на рисунку 8.

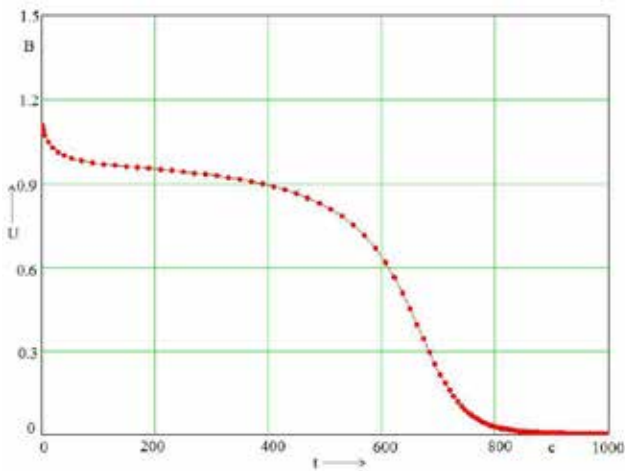


Рис. 8. Графіки залежності напруги на навантаженні U від часу t

Для АК типу ВТУ 3000 (2) початкові значення:
 $U = 1.147$ В
 $Q = 0,276$ Ач
 $SOC = 100\%$.

Результат виміру: графік залежності напруги на навантаженні U від часу t показано на рисунку 9.

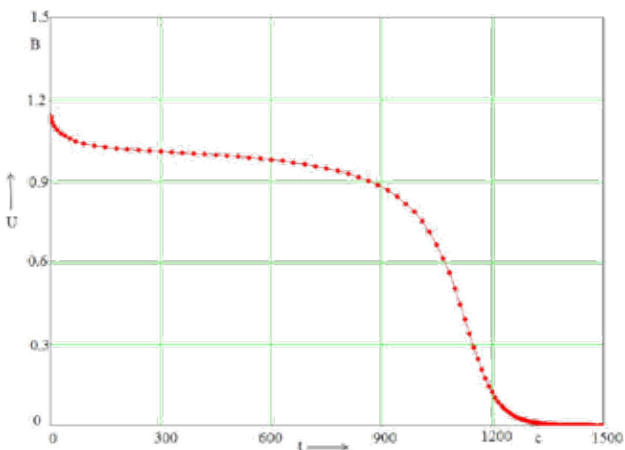


Рис. 9. Графіки залежності напруги на навантаженні U від часу t

Для АК типу Camelion 2100 mAh початкові значення:

$U = 1.156$ В
 $Q = 1,376$ Ач
 $SOC = 100\%$.

Результат виміру: графік залежності напруги на навантаженні U від часу t показано на рисунку 10.

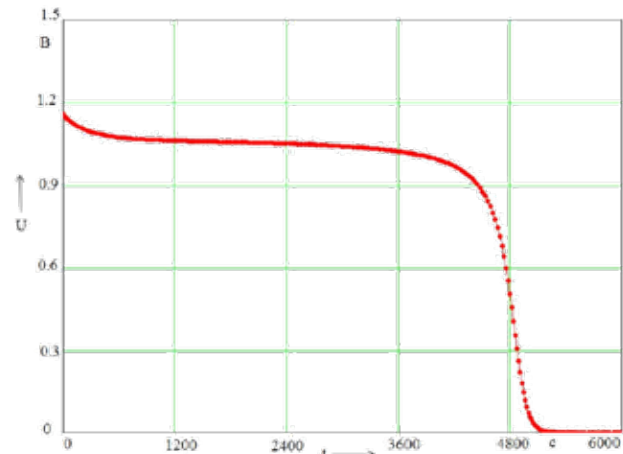


Рис. 10. Графіки залежності напруги на навантаженні U від часу t

Висновки. Батарейний блок у програмному забезпеченні Matlab/Simulink дозволяє моделювати 4 основні типи акумуляторних батарей. Особливістю цієї моделі є простота одержання експлуатаційних характеристик. Необхідно всього три параметри для введення в блок: номінальна напруга, номінальна ємність, початковий стан заряду. Але блок не враховує зміну внутрішнього опору.

Експериментальне моделювання обраних для дослідження нікель-метал-гідридних акумуляторних батарей показало, що математична модель адекватна протягом усієї розрядної характеристики.

Так, немає необхідності проводити експериментальне дослідження акумуляторної батареї, що займає більше часу й передбачає високу трудомісткість.

Список літератури:

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року України «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80>
2. Tremblay, O.; Dessaint, L.-A.; Dekkiche, A.-I., A Generic Battery Model for the Dynamic Simulation of Hybrid Electric Vehicles, Vehicle Power and Propulsion Conference, 2007. VPPC 2007. IEEE, pp. 284–289, 9–12 Sept. 2007.
3. Zhu, C., X. Li, L. Song, and L. Xiang, “Development of a theoretically based thermal model for lithium ion battery pack”. *Journal of Power Sources*. Vol. 223, pp. 155–164.
4. Saw, L.H., K. Somasundaram, Y. Ye, and A.A.O. Tay, “Electro-thermal analysis of Lithium Iron Phosphate battery for electric vehicles”. *Journal of Power Sources*. Vol. 249, pp. 231–238.

5. Shepherd, C. M., Design of Primary and Secondary Cells – Part 2. An equation describing battery discharge. *Journal of Electrochemical Society*, Volume 112, July 1965, pp. 657-664.
6. Rynkiewicz, R., Discharge and charge modeling of lead acid batteries, Applied Power Electronics Conference and Exposition, 1999. APEC '99. Fourteenth Annual, vol. 2, no., pp. 707-710 vol. 2, 14–18 Mar 1999.

Vasiuchenko P.V., Volkov I.I., Krokhmal D.Yu. FEATURES OF MATHEMATICAL MODELING OF BATTERIES IN THE MATLAB ENVIRONMENT

When using electric energy, the issue of accumulating electric energy becomes extremely relevant. Taking into account the peculiarities of electricity use, the need to maintain a balance of capacities, it is necessary to pay more and more attention to improving the efficiency of using storage equipment, creating new technical solutions, and introducing modern fisocoeffective technologies in this technological direction. Scientists and technical specialists are faced with the development of new technical solutions, testing emerging hypotheses, proposed solutions that allow improving the technical and economic performance of battery systems, both at the design, development and implementation stage, and at the stage of operation and operation.

To reduce the cost of experimental research, the time of conducting such research, it is advisable to use mathematical modeling methods, create a mathematical model describing the operational characteristics of the battery.

In this regard, there is a need to obtain reliable and up-to-date information about the current state and operational characteristics of the AB. methods of operational assessment of the AB state are based on the characteristics obtained indirectly as a result of analyzing the device parameters. To do this, you need a mathematical model that describes the main characteristics of the battery.

The purpose of the article is to develop a mathematical model of AB and a methodology for selecting parameters of the mathematical model, which makes it possible to increase the reliability of a reliable assessment of operational characteristics.

The article considers the features of mathematical modeling of batteries in the Matlab environment. Taking into account the main approaches to battery modeling, a method for describing data obtained as a result of analyzing existing options was chosen. The results of modeling the existing model and the developed one with the results of an independent experiment are compared.

Key words: *mathematical modeling, energy storage, batteries, Matlab environment, battery model.*

Кулик М.П.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ПЕРСПЕКТИВИ БЕЗПЕЧНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ОБ'ЄДНАНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ

Проведений аналіз об'єктів генерації, що входять в об'єднану енергетичну систему України: теплові, атомні, гідроелектростанції, а також об'єкти генерації на основі ВДЕ. Наведені позитивні аспекти та їх недоліки, включно з впливом на довкілля, а також зазначено, що більшість вугільних блоків ТЕС вичерпали свій технічний ресурс, а із 15 блоків атомних станцій 13 найближчим часом відпрацюють свій нормативний період і мають пройти модернізацію з метою продовження терміну експлуатації. Одночасно з цим потужність об'єктів генерації за два останніх роки зросла майже утричі. Це призвело до зростання виплат по «зеленому» тарифу з 19 млрд грн у 2019 році до 42 млрд грн у 2020 році. В подальшому такі виплати тільки зростатимуть.

Крім того, об'єднана енергетична система України вже тривалий час відчуває нестачу маневрових потужностей, дефіцит яких буде зростати із нарощуванням потужностей «зеленої» енергетики. Таке явище профільні спеціалісти називають «зелено-вугільним» тарифним парадоксом. Проаналізовані причини невиконання Енергетичної стратегії 2030, а також зазначено, що у випадку не прийняття реальних заходів щодо нових об'єктів генерації для великої енергетики Україна буде змушена переходити до імпорту електричної енергії.

Очікувати на розробку систем накопичення енергії, а також провести їх фінансування в складних умовах сьогодення Україна не може через бюджетні труднощі. Вітчизняні інвестори не виявляють великого бажання до вирішення такої проблеми, а зовнішні інвестори, з огляду на існуючі труднощі в економіці України, ведуть себе досить пасивно.

В Україні існує певна інфраструктура в області використання газотурбінної генерації, зокрема газопоршневих двигунів, газотурбінних із використанням технології «Водолій», однак такі установки не знайшли широкого розповсюдження. Останнім часом на східних територіях ФРН, а також у Польщі збудовані сучасні вугільні блоки великої потужності з дотриманням усіх екологічних вимог відповідних директив ЄС. Показано, що комбіновані парогазові енергетичні установки при спалюванні твердого палива в атмосферному повітрі, збагаченому киснем, суттєво зменшують концентрацію оксидів азоту, а також обсяги відхідних газів.

Ключові слова: об'єкти генерації, маневровість, собівартість, «зелений» тариф, коефіцієнт корисної дії, енергетична стратегія, комбінована парогазова енергетична установка.

Постановка проблеми. Енергетична безпека України визначається наявністю паливо-енергетичних ресурсів, до яких відносять викопне паливо, рідкі та газоподібні вуглеводні, відновлювальні запаси, а саме вітер, сонце та воду, а також пристрої й системи для виробництва із цих ресурсів електричної енергії. Її кількість, якість та еколого-економічні показники процесу виробництва електричної та теплової енергії [1, с. 4–28] є необхідною умовою для успішного розвитку економіки будь-якої держави.

Енергетика України базується на генеруючих потужностях гідро- та гідроакumuлюючих (далі – ГЕС і ГАЕС) станцій, теплових та атомних (далі – ТЕС та АЕС) електростанцій, а також на альтернативних і відновлювальних джерелах генерації. Нині попри те, що основне технологічне обладнання ГЕС, ТЕС та АЕС здебільшого вичерпало

свій технічний ресурс, відновлювальні джерела генерації почали досить стрімко розвиватися. У зв'язку з цим об'єднана енергетична система (далі – ОЕС) України стала заручницею «зелено-вугільного» тарифного парадоксу.

Основні генеруючі потужності ОЕС працюють ефективно у базовому (постійному) режимі генерації, що забезпечує відносно високі економічні показники та мінімальний вплив на довкілля, зокрема на атмосферне повітря, через нестачу маневрових потужностей, що могли би працювати у пікових і напівпікових проектних режимах для покриття добових, тижневих, сезонних та інших змінних режимах споживання електричної енергії. Для покриття вказаних коливань у графіку електричних навантажень все частіше використовують вугільні блоки ТЕС, що тягне за собою погіршення техніко-економічних та екологічних

показників, а також збільшує кількість і частоту аварійних зупинок і ремонтів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Коротка характеристика ОЕС України. Вироблена електроенергія об'єктами великої та малої енергетики об'єднані сімома електро-генеруючими компаніями у загальнодержавну ОЕС, включно із генеруючими виробниками з альтернативних і відновлювальних джерел. Передача енергії від виробників до електропостачальних компаній здійснюється високовольтними магістральними мережами, а вже від них розподільчими мережами – безпосередньо до споживачів.

Розподіл електроенергії в Україні здійснюють 25 обленерго (з урахуванням східних областей та АР Крим). Загальна встановлена потужність усіх об'єктів генерації, що входять до складу ОЕС України, з урахуванням сучасного стану та недалекої перспективи [2; 3, с. 35] мала б становити майже 53.4 ГВт, а розподіл потужностей між видами генерації (у % відн.) виглядає приблизно так: ГЕС – 9, ГАЕС – 2.8, ТЕЦ – 11.5, ТЕС – 40.5, АЕС – 25.5, СЕС і ВЕС – 9.3. Решта потужностей (майже 1.4%) припадає на дрібні альтернативні та відновлювальні джерела генерації, які суттєво не впливають на енергетичний баланс України.

Обсяги виробленої електричної енергії різними видами генерації ОЕС України наприкінці ХХ ст. і на початку ХХІ ст. змінювалися у досить широкому діапазоні, який не завжди може бути пропорційним встановленій потужності.

Найстарішими виробниками електроенергії в Україні є ГЕС, а сам процес є надзвичайно простим і дешевим. Для нього необхідні лише два пристрої – гідротурбіна та електричний генератор, а також невеличкий перепад висот русла річки. Для утворення водосховища спеціально будують дамбу, при цьому затоплюється певна площа, іноді досить велика, земельних угідь.

Основні ГЕС розташовані на Дніпрі (Київська та Канівська ГЕС і ГАЕС, Кременчуцька ГЕС, Середньодніпровська та Дніпровська ГЕС, а також Каховська ГЕС і ГЕС-2). Крім того, на річці Дністер знаходиться Дністровський гідровузол, який включає дві ГЕС, побудована одна ГАЕС і ще одна – на завершальній стадії будівництва, на річці Південний Буг – Ташлицька ГЕС і Олександрівська ГЕС.

ГАЕС використовуються для часткового покриття пікових режимів споживання. Крім того, деякі ГЕС можуть працювати в насосному режимі, що також цьому сприяє. Крім державних гідроелектростанцій, що об'єднані в компанію «Укргі-

дроенерго», в Україні поширене будівництво приватних малих ГЕС до 10 МВт потужності, на які поширюється «зелений» тариф, що стимулює їх поширення.

До недоліків таких об'єктів генерації відносять необхідність затоплювання земель при створенні водосховища, потребу в стабільній і невеликій швидкості течії, а також деякі незручності у сфері регулювання сезонних запасів води: навесні через паводки, а влітку – через засуху.

Втрати напору на гідроелектростанціях можуть становити до 5% залежно від схеми деривації, а коефіцієнт корисної дії гідросилового устаткування (гідротурбіни та електрогенератора) складає, залежно від їх типу та характеристик, 90-94%. Загалом на окремі ГЕС потенційна енергія водотоку [4, с. 285–290] перетворюється в електричну з високим коефіцієнтом корисної дії (далі – ККД) на рівні 86-93%. Робота ГАЕС має свої особливості, пов'язані з тим, у якому режимі (турбінному чи насосному) працює гідросиловий агрегат.

Основною ж частиною ОЕС України є теплова енергетика, яка здебільшого базується на вугільних блоках і включає 14 ТЕС (деякі з них працюють і знаходяться на тимчасово окупованих територіях Донецької і Луганської областей), а Вуглегірська ТЕС була знищена (березень 2013 року) в результаті пожежі. Усі вони входять до п'яти генеруючих компаній: ПАТ «ДТЕК Дніпроенерго», ПАТ «ДТЕК Західенерго», ТОВ «ДТЕК Східенерго», ПАТ «ДТЕК Центренерго», ПАТ «ДТЕК Донбасенерго». Загальна кількість встановлених і працюючих вугільних блоків на ТЕС України і теплових електроцентралях (далі – ТЕЦ) оцінюється різними авторами кількістю 79 одиниць. Маючи біля 60% встановленої потужності ТЕС України, вони виробили в першому кварталі 2018 року лише майже 40% електроенергії.

Усі теплові станції ОЕС України є конденсаційними і працюють на твердому органічному паливі. Здебільшого вони побудовані поблизу або в місцях видобутку кам'яного вугілля. Такі ж об'єкти генерування електричної і теплової енергії як ТЕЦ працюють по теплофікаційній схемі і побудовані поблизу місць споживання, крім електричної, ще й теплової енергії. Залежно від часу роботи ТЕС протягом року для покриття графіка енергетичних навантажень, що характеризується числом годин використання ($\tau_{\text{вст.}}$) встановленої потужності, їх поділяють на три категорії: базові ($\tau_{\text{вст.}} > 6000$ год./рік), напівпікові ($\tau_{\text{вст.}} = 2000-5000$ год./рік) та пікові ($\tau_{\text{вст.}} < 2000$ год./рік).

Пікові електростанції включаються у роботу тоді, коли потрібно покрити пікову частину добового графіка електричного навантаження.

Слід зауважити, що основне технологічне обладнання більшості вугільних блоків усіх ТЕС на 80-90% вичерпало свій технічний ресурс. Коефіцієнт корисної дії існуючих ТЕС України знаходиться на рівні 30-35%, тоді як вугільні блоки ТЕС передових країн Європи та світу працюють із ККД не нижче 45%.

Фактична частка вугільних потужностей (готових до запуску) знаходиться на рівні до 60% від загальної потужності об'єднаної енергетичної системи України. Згідно Енергетичної стратегії України до 2030 року, затвердженої розпорядженням КМУ від 15.03.2006, основою електроенергетичної системи України залишатиметься теплова енергетика, яка і в майбутньому буде базуватися на переважному використанні вугілля в паливному балансі. Згадана стратегія на період до 2030 року має три редакції (2006, 2008 та 2013 рр), а після схвалення КМУ на чолі з Ю.І. Єхануровим майже кожен наступний прем'єр вносив суттєві правки – у результаті не все заплановане було виконано.

Вже у 2017 році в Україні була затверджена нова Енергетична стратегія на період до 2035 року (ЕС-35) [5] як поєднання розроблених до того моменту планів і програм. На думку деяких авторів [6, 7], яких ми підтримуємо, довгострокове прогнозування перспектив енергетики України повинно супроводжуватися авторським наглядом чи додатковими документами або інституціями. Поряд із цим виникає питання про передачу таких функцій державним секретарям профільних міністерств або їх наглядовим радам.

Ще одним із суттєвих недоліків теплової генерації на вугільних блоках, крім великої витрати умовного палива на вироблену кВт-год. (на 40% вище, ніж у передових країнах), є величезна кількість викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря. Нині ТЕС в Україні працюють при вкрай низькому коефіцієнті використання встановленої потужності та неприпустимих екологічних показниках. Витрати умовного палива на вироблення однієї кіловат-години електроенергії перевищили 400 грамів, тоді як такий показник у 1991 році був на 70-80 грамів нижчий. Серед шкідливих компонентів надзвичайно небезпечними є оксиди азоту.

Крім того, ОЕС України характеризується [8, с. 20] нестачею маневрових потужностей, а для покриття пікових навантажень часто використовують застарілі вугільні блоки, які працюють у непроєктних режимах, що прискорює їх зношення

та погіршує екологічну ситуацію в зоні розташування ТЕС.

Вкінці 80-х років минулого століття в Україні почався розвиток атомної енергетики. Відповідно до планів розвитку АЕС у колишньому СРСР на території України в період 1977-1989 років планувався запуск 16 енергоблоків загальною потужністю 14.8 ГВт на п'яти атомних станціях: Запорізькій, Рівненській, Хмельницькій, Чорнобильській і Південно-Українській. На момент найбільшої техногенної катастрофи на четвертому енергоблоці Чорнобильської АЕС (26 квітня 1986 року) [9, с. 14] в експлуатації вже було 10 атомних енергоблоків, із яких 8 – потужністю 1000 МВт (ВВЕР-1000 – 4 шт., а також 4 енергоблоки типу РБМК-1000), що на той час задовольняло зростаючі потреби в електроенергії.

Після цього до кінця 1990 року в експлуатацію були введені ще 6 атомних енергоблоків аналогічної потужності (з них 3 – на Запорізькій і по одному – на Рівненській, Хмельницькій і Південно-Українській АЕС). Після скасування встановленого ВРУ на кілька років мораторію на будівництво атомних енергоблоків постали питання, пов'язані з реконструкцією та відновленням недобудованих енергоблоків, а також підвищенням техногенної безпеки вказаних потенційно небезпечних об'єктів до рівня світових вимог. У подальшому всі об'єкти атомної енергетики були об'єднані в НАЕК «Енергоатом». Після закриття Чорнобильської АЕС в експлуатації знаходиться чотири АЕС, на яких працює 15 ядерних енергетичних установок.

До найбільш вагомих переваг АЕС можна зарахувати дешевизну виробленої електроенергії, компактність планування промайданчиків, а також їхню зовнішню видиму чистоту. До суттєвих недоліків, вірніше небезпек, слід віднести наявність [10, с. 13–33] радіоактивних відходів, зокрема відпрацьоване ядерне паливо, для якого необхідні додаткові затрати на утилізацію. Крім того, для них характерним є теплове забруднення довкілля, яке для станції, що працює на водоохолоджуваних реакторах, є значно вищим, аніж для ТЕС. Коефіцієнт корисної дії АЕС, побудованих в Україні, не перевищує 35%. Це означає, що майже дві третини тепла, яке виділяється у реакторі, використовується неефективно, а деяка частин – надходить у довкілля.

Розрахунки, проведені вітчизняними та зарубіжними вченими, зокрема В.О. Легасовим, показують, що щільність теплової енергії від АЕС середньої потужності сягає 10^3 - 10^4 Вт/м².

Таке теплове забруднення довкілля співмірне із тепловими потоками від лісових пожеж, вулканів, пожеж на нафтогазових промислах. Очевидно, що такі величезні та постійно діючі джерела тепла не можуть не впливати на гідросферу та атмосферу. Кінцевим результатом такої дії АЕС та ТЕС на довкілля є утворення потужної хмарності, зростання грозової активності, випадання граду та утворення вихорів. Крім того, усі вітчизняні АЕС і ТЕС викидають у довкілля радіоактивні матеріали та речовини. Перші – у вигляді газів та аерозолей, другі – аерозолей (коли в атмосферному повітрі наявні завислі частинки у вигляді сажі та шлакового пилу). Через це навколо таких об'єктів створюється підвищений радіаційний фон внаслідок осаджування аерозолей, сажі та шлаків.

Альтернативні джерела електричної енергії, здебільшого СЕС і ВЕС, останнім часом широко поширюються – як у всьому світі, так і в європейських країнах і в Україні. Існують, крім автономних, мережеві СЕС, які здатні забезпечити електричною енергією домашні потреби, а передача її надлишку в мережу забезпечує її швидку окупність завдяки «зеленому» тарифу. Особливо слід наголосити на наявності гібридних СЕС, які придатні для використання у лікарнях, ОСББ, бюджетних організаціях та окремих підприємствах комунальної сфери.

Постановка завдання. ОЕС України має кілька недоліків, про які ми вже згадували вище. Насамперед це нестача маневрових потужностей, технологічне обладнання основних генеруючих потужностей (теплова та атомна генерація) майже вичерпало свій технічний ресурс, а деякі з них знаходяться на цій межі. ГАЕС у повній мірі неспроможні забезпечити покриття пікових навантажень, а робота ГЕС у насосному режимі в деякому наближенні підходить до дуже древнього виразу «сізіфова праця». Занадто швидке нарощування обсягів встановленої потужності у сфері ВДЕ та зростання виробництва електроенергії на СЕС тільки загострює існуючі проблеми. При цьому зі збільшенням генерації за допомогою ВДЕ зростає дефіцит маневрових потужностей.

З іншого боку таке захоплення «зеленим» тарифом і зростання обсягу чистої енергії (враховуючи термін «зелена» металургія) при існуючих правилах на енергетичному ринку та без урахування міжнародного досвіду (Іспанія та ФРН) загрожує загостренням існуючих проблем. В Україні станом на 2012 рік (цей момент важливий з огляду на низку деяких очевидних фактів) існував такий тариф за видами генерацій (грн/кВт/год): ВЕС –

1.22, СЕС – 5.05, ГЕС – 0.06, АЕС – 0.21, ТЕС – 0.67. У структурі обсягів виробленої електроенергії за 2018 та 2019 роки частка енергії, отриманої від ВДЕ за офіційними даними Міністерства енергетики та захисту навколишнього середовища, зросла більш ніж удвічі із 1.7 до 3.4%.

За даними НКРЕКП, виплати по «зеленому» тарифу у 2019 році становили 18 млрд грн, а за 2020 рік очікувана сума сягатиме 42 млрд грн. Тягар оплати таких тарифів лягає на державу в особі ДП «Енергоринок», а по суті – на всіх українців. У подальшому ці виплати зростатимуть, адже українські інвестори поспішали із будівництвом об'єктів ВДЕ у 2019–2020 рр., коли тариф був високим, а виплати гарантувалися до 2030 року. Вихід вбачається у ринкових підходах з оголошенням аукціону на будівництво об'єктів генерації з використанням ВДЕ. Для порівняння у 2018 році в Казахстані прийшло 113 компаній із 9 країн і аукціон визначив інвесторів на 857 МВт, а ціни упали на 48% на сонячну енергію та на 23 % – на вітряну.

Аналіз економічних аспектів зношеності основних генеруючих виробників електроенергії, проведений в [11, с. 102], де автор, також провів порівняльний аналіз собівартості кінцевої продукції від вартості грошових ресурсів для усіх видів генерації, що забезпечують українського споживача. У зв'язку зі зношеністю більшості об'єктів великої енергетики (ТЕС та АЕС), які обмежене коло дослідників об'єднує в одне ціле, адже теплові процеси переважають інші в цих видах генерації, в Україні виникне необхідність їх заміни. Україна вже починає імпортувати електричної енергії, тоді як деякі виробники продовжують її експортувати за цінами нижчими за внутрішні, суттєво забруднюючи довкілля. До речі, Європейський Союз (ЄС) як споживач має підстави припинити такий імпорту, що повністю відповідатиме угоді про асоціацію між Україною та ЄС.

Найближчим часом в Україні реально виникне необхідність заміни технологічного обладнання основних теплових та атомних електростанцій, оскільки існуючі об'єкти генерації з використанням ВДЕ не зможуть компенсувати потужності цих виробників. До такого оновлення вітчизняні інвестори не готові, адже витрати мали б спрямовуватися не тільки на переоснащення основних об'єктів генерації. Відповідні затрати потрібно понести також на забезпечення паливом, на дотримання екологічних вимог і процедур, пов'язаних із ліквідацією існуючих застарілих вугільних блоків.

У бюджеті України на найближче десятиліття складно буде віднайти кілька мільярдів євро чи доларів, а намагання залучити закордонних інвесторів може привести Україну до не вигідних умов в інвестиційному процесі. Але найбагатші країни Європи, зокрема ФРН і Польща, лише нещодавно пішли на такий крок. Перша – через кілька років після приєднання НДР побудувала сучасний вугільний блок потужністю 1000 МВт, друга – зробила аналогічний крок (у 2010 році на найбільшій вугільній ТЕС у Європі в м. Белхатов побудований сучасний блок потужністю майже 900 МВт).

В Україні існує певна інфраструктура в сфері парогазової генерації (проекування енергетичних установок, виготовлення газових турбін, на кількох регіональних підприємствах теплокомуненерго працюють ПГУ, які, крім виробництва електричної енергії, продукують [12, с. 31] і теплову енергію).

Вирішення нагальних проблем енергетики не можливе без використання інноваційних технологій, оскільки ситуацію в тепловій енергетиці ще можна виправити. Так, на думку авторів [13, с. 32] такі кроки слід почати досить швидко, адже Україна може перейти на імпорту електричної енергії, при цьому акценти слід зробити на вітчизняні парогазові технології [14, с. 64], адже тільки вони зможуть підвищити маневровість енергетики [15, с. 10] і забезпечити енергетичну безпеку та незалежність України.

З урахуванням останніх подій на східних територіях, а також занадто бурхливого нарощування потужностей з використанням ВДЕ, що не призведе до поліпшення ситуації у сфері енергетичної безпеки, кроки з вибором типу генерації необхідно робити дуже швидко. Для забезпечення стійкості ОЕС України зусилля слід сконцентрувати на кроках, які збільшать частку маневрових енергосистем до рівня 20-25%. Для цього цілком підходять парогазові енергетичні установки, які можуть працювати навіть на продуктах газифікації твердого палива, зокрема кам'яного вугілля, в тому числі і вугілля низької якості власного видобутку.

Широко використовується технологія двох- і навіть трьохстадійного спалювання не тільки в основному котельному агрегаті [16, с. 57], що реалізовано на Старобішевській ТЕС із використанням циркулюючого киплячого шару. Але таке спалювання частини палива в циклонному передтопку, у міжкорпусному об'ємі якого формується робоче тіло [17, с. 281] для газової частини комбінованої ПГУ, дозволить досягнути екологіч-

них стандартів по викидах шкідливих речовин в атмосферне повітря. До аналогічного висновку доходять у роботі [18] наукові співробітники двох провідних академічних структур НАН України (Інституту вугільних енерготехнологій та Інституту проблем загальної енергетики).

Поєднання в одній установці ланцюжка парової генерації, типової для вугільного блока, із ланцюжком газової генерації, реалізували ще німецькі інженери всередині ХХ століття. Така схема роботи досить перспективна для підвищення маневровості енергетичної установки, у ній можливе суттєве зниження шкідливих речовин. Вже давно для зменшення утворення оксидів азоту використовують спалювання палива усіх видів у котельних агрегатах [19] із додатковим циклонним передтопком. При цьому можливим є використання на різних ступенях дещо менших коефіцієнтів надлишку повітря. Так автори [20, с. 225] вважають, що на першому ступені вказаний коефіцієнт може бути $\alpha_1 = 0.8-0.85$, а на другому $\alpha_2 = 1.2-1.3$. Це забезпечує зниження утворення оксидів азоту на 40-50%. У випадку триступеневого спалювання палива співвідношення коефіцієнтів надлишку повітря буде дещо іншим.

У випадку спалювання в топці котельного агрегату парогазової енергетичної установки меленого вугілля, особливо досить низької якості, або природного газу у звичному режимі (тобто при подачі необхідної кількості атмосферного повітря з певним надлишком, який визначається конструктивними характеристиками палиникових пристроїв, кількість утворення оксидів азоту, що утворюються із атмосферного азоту, не зменшується, а навпаки може зрости через значно вищу температуру у факелі).

При подачі в зону спалювання збагаченого киснем атмосферного повітря зменшується загальний об'єм валових викидів внаслідок подачі меншої кількості атмосферного повітря, а також концентрація оксидів азоту через значно нижчу кількість атмосферного азоту. Такий спосіб у металургії давно відомий і широко використовується у вигляді так званого «кисневого дуття». Для металургії кисень отримують кріогенним розділенням повітря. Детальний аналіз некріогенних методів розділення повітря в різних сферах промисловості, зокрема в хімічній, проведений у роботі [21, с. 60].

У 70-х роках минулого століття почалося промислове використання технології мембранного розділення повітря, що призвело до реальної революції в різних галузях промисловості. Нині

ця технологія активно розвивається і досягає все більшого поширення завдяки простоті реалізації та високій економічній ефективності. Детальний аналіз стану наявних технологій розділення повітря проведений авторами роботи [22, с. 60–62], а також їх придатності для використання у процесах спалювання органічного палива, зокрема вугільного пилу, при модернізації об'єктів теплової енергетики із переходом на спільну генерацію по паровому та газовому циклах.

У цій ситуації несподівано відкриваються широкі можливості комплексного використання кисневої фракції (частини атмосферного повітря, збагаченого киснем, здебільшого на рівні 35–40%). Інша ж частина продукту розділення (азотна фракція) скеровується у міжкорпусний об'єм передтопка для формування робочого тіла для газової генерації електричної енергії.

Висновки. На підставі аналізу об'єктів генерації ОЕС України з урахуванням позитивних характеристик і їх негативних впливів на довкілля слід

зауважити, що усі вони мають як позитивні сторони, так і певні недоліки. ОЕС України гостро відчуває нестачу маневрових потужностей, а надмірне захоплення «зеленою» енергетикою тільки посилює вказаний недолік. Для часткового покриття пікових навантажень використовують вугільні блоки ТЕС, часті пуски і зупинки призводять до збільшення аварійних зупинок, затрат на ремонт технологічного обладнання. При цьому робота блоків у перехідних режимах погіршує екологічну ситуацію.

Вихід із кризової ситуації вбачається в побудові за короткий термін сучасної ТЕС по прикладу деяких багатих країн Європи зі схожими природними умовами та структурою енергетичних потужностей, а також запасами енергоносіїв власного видобутку. З використанням в одній установці парового та газового циклу генерації можна, окрім підвищення маневровості, поліпшити екологічні показники, спалюючи паливо в атмосфері повітря, збагаченого киснем.

Список літератури:

1. Теплова енергетика. Нові виклики часу / За заг. ред. П. Омеляновського та Й. Мисака. Львів : НВФ «Українські технології». 2009. 659 с.
2. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», затверджена розпорядженням КМУ від 17 серпня 2017 року № 605-р.
3. Кулик М.М. Концептуальні підходи до розвитку енергетики України: аналітичні матеріали / М.М. Кулик, В.М. Горбулін, О.В. Кириленко // Київ : «ТОВ Наш Формат», 77 с.
4. Энергетика: история, настоящее и будущее. Развитие теплоэнергетики и гидроэнергетики / Под ред. В.Н. Клименко, Ю.А. Ландау, И.Я. Сигал // Киев : ООО «Новый друк», 399 с.
5. Нова енергетична стратегія України до 2035 року. «Безпека, енергоощадність, конкурентоспроможність». URL: [energetychna_strategija_do_2035_r](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358), zip: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>.
6. Басок Б.І. Енергетична стратегія в реаліях сучасного світу (огляд) // Б.І. Басок, Є.Т. Базеев / Теплофізика та теплоенергетика. 2019, т. 41, № 1. С. 34–42.
7. Гаєць В.А. Розвиток і взаємодія економічної та енергетичної політики в Україні. Вісник НАН України, 2016, № 2. С. 46–53.
8. Вольчин І.А. Перспективи впровадження чистих вугільних технологій в енергетику України / І.А. Вольчин, Н.І. Дунаєвська, Л.С. Гапонич, М.В. Чернявський, О.І. Топал, Я.І. Засядько // Київ : «Гнозіс», 2013, 308 с.
9. Энергетика: история, настоящее и будущее. Развитие атомной энергетики и объединенных энергосистем / Под ред. Ю.А. Ландау, И.Я. Сигал // Киев : ООО «Новый друк», 2011. 304 с.
10. Пристер Б.С. Проблемы безопасности атомной энергетики. Уроки Чернобыля / Б.С. Пристер, А.А. Ключников, В.М. Шестопапов, В.П. Кухарь // Київ : ПАТ «ВІПОЛ», 201 с.
11. Нараєвський С.В. Залежність собівартості електроенергії від вартості грошових ресурсів для різних видів генерації / С.В. Нараєвський // «Економіка держави», № 12, 2014. С. 101–105.
12. Дикий. Н.А. Газотурбинная технология «Водолей» для совместного производства электрической и тепловой энергии / Н.А. Дикий, А.С. Соломаха, Е.И. Суздальская // Энерготехнологии и ресурсосбережение // 2012, № 3. С. 30–33.
13. Запорожець Ю.М. Теплові електростанції України перед дилемою: або закриття або інтенсивне відновлення / Ю.М. Запорожець // Наукові праці. Техногенна безпека, вип. 198, том 210, 2013. С. 31–36.
14. Патон Б.Є. Перспективи розвитку вітчизняної парогазової технології / Б.Є. Патон, А.А. Долинський, А.А. Халатов і інші // Вісник НАН України (Київ), 2009, № 4. С. 61–69.

15. Праховник А.В. Развитие маневренной генерации ОЭС Украины как фактор повышения энергетической безопасности государства / А.В. Праховник, В.А. Попов, В.Ф. Находов, А.Г. Баталов, К.Б. Денисевич // *Енергетика та електрифікація*, 2008. № 7. С. 9–12.

16. Халатов А.А. Енергетика України: сучасний стан і найближчі перспективи / А.А. Халатов // *Вісник НАН України (Київ)*, 2016, № 6. С. 53–61.

17. Мисак Й.С. Перспективи інтенсивного відновлення теплової енергетики на базі комбінованих енергетичних установок / Й.С. Мисак, М.П. Кулик // *Прикарпатський вісник НТШ*. Число 1 (37), 2017. С. 277–295.

18. Дудник О.М. Застосування технологій парогазових енергетичних установок із внутрішньоцикловою газифікацією твердого та рідинного видів палива у світовій енергетиці та перспективи їх впровадження в Україні / О.М. Дудник, Н.І. Дунаєвська, І.С. Соколовська // *Проблеми загальної енергетики*, 2019, № 3(58). С. 37–44.

19. Грінченко Д.М. Спосіб роботи енергетичної установки / Д.М. Грінченко, М.П. Кулик // *Авт. свід. СРСР № 1188338, БВ № 40*, 1985.

20. Мисак Й.С. Об'єкти теплових електричних станцій. Режими роботи та експлуатації / Й.С. Мисак, Я.Ф. Івасик, П.О. Гут, Н.М. Лашковська // *Львів : Видавництво НУ «Львівська політехніка»*, 2007. 254 с.

21. Кириченко В.І. Некріогенні технології виробництва. Мембранні системи виробництва кисню і перспективи їх розвитку / В.І. Кириченко, В.К. Осокіна, Б.Д. Рісюк, І.М. Новіков, О.Г. Голубов // *Хім. промисловість України*. 2008. № 6. С. 58–68.

22. Кулик М.П. Аналіз наявних технологій розділення повітря для підвищення ефективності спалювання палива в теплоенергетиці / М.П. Кулик, Т.Ю. Кравець, М.М. Семерак // *«Екологічні науки»*, № 21, 2018. С. 59–66.

Kulyk M.P. PROSPECTS OF SAFE FUNCTIONING OF THE UNIFIED POWER SYSTEM OF UKRAINE

Analysis of generation facilities, that are part of the unified power system of Ukraine: thermal, nuclear, hydroelectric power plants, as well as generation facilities based on renewable energy sources is conducted. Their positive aspects and shortcomings, including the impact on the environment are presented, it is noted that most coal units of thermal power plants have exhausted their technical resources and regulatory service life of 13 out of 15 nuclear power plant units will soon expire and need to be upgraded to extend their operational lifetime. At the same time, capacity of generation facilities almost tripled in the last two years. This led to an increase in green tariff payments from UAH 19 billion in 2019 to UAH 42 billion in 2020. In the future, such payments will only increase.

Additionally, the unified power system of Ukraine, has been experiencing a shortage of maneuvering capacity for a long time, the deficit of which will increase with growing capacity of green energy. Specialists call such a phenomenon a “green-coal” tariff paradox. The reasons for non-implementation of Energy Strategy 2030 are analyzed, it is also noted that in case of not taking real measures for new generation facilities of large power production, Ukraine will be forced to switch to electricity imports.

Ukraine cannot expect to develop energy storage systems, as well as to finance them in today's difficult conditions due to budgetary difficulties. Domestic investors do not show much desire to solve this problem, and foreign investors, given the existing difficulties in Ukraine's economy, behave rather passively.

In Ukraine, there is a certain infrastructure in the field of gas turbine generation, particularly, of gas piston engines, gas turbine engines using “Vodoliy” technology, such plants are not widespread. Recently, modern high-capacity coal units have been built in the eastern territories of Germany, as well as in Poland, in compliance with all environmental requirements of the relevant EU directives. It is shown that combined steam and gas power plants during combustion of solid fuels with atmospheric oxygen enriched air, significantly reduce the concentration of nitrogen oxides, as well as the volume of exhaust gases.

Key words: *generation objects, maneuverability, cost, “green” tariff, efficiency, energy strategy, combined steam and gas power plant.*

Олійник Ю.С.

Українська інженерно-педагогічна академія

Лазарчук Л.М.

Київський енергетичний фаховий коледж

Сук І.В.

Київський енергетичний фаховий коледж

НОВІ ТЕНДЕНЦІЇ В ЕНЕРГЕТИЦІ

Коли ми вживаємо словосполучення «інтелектуальні мережі», то маємо на увазі нові засади роботи енергетичної галузі. У статті розглянуто нові тенденції в енергетиці, а саме приділено увагу аналізу основних функцій, переваг та недоліків інтелектуальних адаптивних мереж технології SmartGrid. Основна мета інтелектуальних мереж полягає у забезпеченні надійного використання мереж, збільшення строку служби та можливості всебічного контролю електричних апаратів на відстані. Робота інтелектуальних мереж здійснюється на основі інформаційно-комунікаційних технологій з метою подальшої економії фінансових витрат та збільшення рівня надійності електричних мереж без залучення додаткових паливно-енергетичних ресурсів. Сучасні енергетичні системи повинні бути модернізовані відповідно до нових тенденцій розвитку електроенергетичної галузі. У процесі оптимізації сучасних енергетичних систем є можливість збільшення їх ефективності, при цьому відсутні потреби у значних капіталовкладеннях у процес виробництва, передачі та розподілу електричної енергії. Тобто можливо модернізувати наявну систему до інтелектуальної, тим самим створивши повною мірою інтегровану систему виробництва, передачі, розподілу та споживання електричної енергії, наприклад, побутовими споживачами. Стисло розглянуто основні групи елементів, що входять до складу інтелектуальних мереж. Оскільки інтелектуальні мережі SmartGrid є досить новою тенденцією та не є розповсюдженими, це означає, що не повною мірою визначено їх вплив на якість електричної енергії у споживача. Стаття дуже стисло розглядає вплив використання нових інтелектуальних мереж на якість електричної енергії. Також у статті приділено увагу американському підходу щодо стандартів взаємодії для SmartGrid, очікування від втілення інтелектуальних мереж.

Ключові слова: інтелектуальні мережі, надійність електромереж, електрична енергія, розподільчі мережі, енергетичні ресурси, відновлювальні джерела енергії.

Постановка проблеми. Відносно новою тенденцією є швидкий розвиток інтелектуальних адаптивних мереж в енергетиці, які мають значні перспективи. Ці інтелектуальні мережі відомі також під назвою «SmartGrid». Ця технологія відома як Self-Monitoring Analysis and Reporting Technology. Якщо проаналізувати походження цих мереж, то необхідно зауважити, що вони заявили про себе ще у минулому столітті в Радянському Союзі та в інших державах.

Національна енергетична компанія «Укренерго» зазначає: «Нами розпочато роботу над застосуванням у національній енергосистемі новітніх революційних технологій. Нині ми активно працюємо над підготовкою до впровадження в країні системи інтелектуальних мереж SmartGrid. У світі ця інтелектуальна мережа дає змогу підвищити ефективність та надійність електропостачання, значно зростає рівень безвідмов-

ної роботи систем та зберігається навколишнє середовище» [8].

У сучасному світі інтелектуальними мережами можна вважати саме ті мережі, які базуються на інформаційно-комунікативних технологіях, які дають змогу отримати своєчасний звіт щодо виробництва та подальшого використання електричної енергії. Все це дає змогу споживачам електричної енергії створювати такі виробництва, які можуть здійснювати економію коштів, функціонувати з підвищеною надійністю та не вимагати додаткового використання енергетичних ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У 2010 році Національним інститутом стандартизації та технології в США було опубліковано документ, який регламентував сумісність, стандарти SmartGrid та дорожню карту. Відповідно до цього документу «інтелектуальна мережа – це складна підсистема системи, яка повинна широк

розподіляти поняття її основних блоків та того, яким чином вони пов'язані між собою».

Було визначено вісім галузей, що мали першочергові пріоритети. До них, згідно з [2, с. 27], належать:

- реагування на попит та енергоефективність споживачів;
- широка ситуаційна обізнаність;
- зберігання електроенергії;
- розширена інфраструктура вимірювань;
- управління розподільчою мережею;
- кібербезпека;
- мережеві комунікації [2, с. 27].

Щодо розвитку інтелектуальних мереж SmartGrid у країнах світу, то необхідно зауважити, що за передумовами ринкових експертів до 2030 року населення буде споживати вдвічі більше електричної енергії, ніж натеper [7].

Країни Європейського союзу планують знизити споживання електричної енергії через підвищення рівня енергоефективності, зокрема, широко використовуючи інтелектуальні мережі технології SmartGrid. Отже, впровадження та використання таких технологій дасть змогу знизити витрати енергетичних ресурсів [7].

Постановка завдання. Мета статті – проаналізувати поняття SmartGrid: які функції виконують нові інтелектуальні мережі, які мають переваги та недоліки. Стисло розглянути перспективи подальшого використання, зокрема в електричних мережах України. Розглянути, яким чином впливає застосування цих мереж на якість електричної енергії, що отримує споживач.

Виклад основного матеріалу. Як зауважено у документі «GRID 2030 A National Vision for Electricity's Second 100 Years», електроенергетична система у майбутньому базуватиметься на тій енергетичній системі, що існує зараз. Типи основного електричного обладнання, яке сьогодні застосовується у всіх системах електропостачання, лінії електропередач, трансформатори тощо у майбутньому будуть мати такі ж самі функції. При цьому фахівці зауважили, що втілення нових технологій, методів та інструментів дасть змогу суттєво підвищити ефективність, якість та безпеку існуючих енергетичних систем та у подальшому розробити нову конфігурацію електричних мереж. Результат цих взаємодій – це покращення ефективності поставок електричної енергії та проведення ринкових операцій, а також наявність мережі високої якості, що здатна забезпечити безпечні джерела електричної енергії, зокрема, у США» [3, с. 27].

Нині термін SmartGrid є таким, що набуває популярності та швидкого розповсюдження. Існує велика кількість визначень цього терміна, деякі з них є близькими за значенням, деякі мають відмінності. Але при цьому незалежно від конкретного визначення інтелектуальні мережі нового покоління повинні виконувати найважливіші функції, серед яких необхідно визначити такі, як:

- керування процесом виробництвом електричної енергії та процесом її споживання;
- отримання інформації у повному обсязі від виробників електричної енергії щодо її генерації;
- отримання інформації у повному обсязі щодо витрат електричної енергії.

Якщо звернутися до вітчизняних компаній, які свою діяльність присвячують технологіям SmartGrid, можна зауважити таке: «система SmartGrid – це система, яка повною мірою є інтегрованою, такою, що має можливості для саморегулювання та відновлювання. Вона містить генеруючі джерела, магістральні та розподільчі мережі, всі типи електроспоживачів, які керуються загальною мережею інформаційно-керуючих пристроїв у режимі реального часу» [1; 2, с. 35].

Основні групи, які входять до складу SmartGrid, містять такі елементи, як [1; 3, с. 23]:

- інтелектуальні датчики інформації, контрольно-вимірювальні прилади, прилади обліку та контролю;
 - системи збору та передачі інформації, які містять інтелектуальні пристрої та аналітичні інструменти для підтримки комунікацій на рівні об'єктів енергосистеми;
 - інтелектуальні системи прогнозування, підтримки та прийняття рішень;
 - удосконалені технології та активні силові компоненти електричної мережі;
 - інтегровані системи інформаційного обміну.
- Відповідно до [9, с. 16] конструктивні особливості та функції інтелектуальних мереж такі:
- моделі зносу компонентів – програмне забезпечення для прогнозування зносу забезпечує надійність; моделі перевіряються за допомогою результатів, що отримані у споживачів;
 - робота обладнання, тобто датчиків та інших інтелектуальних пристроїв збору даних, повинна відповідати експлуатаційним характеристикам та технічним вимогам;
 - можливість визначення тенденції щодо виробництва та технічного обслуговування систем та обладнання;
 - використання нових методів експлуатації та технічного обслуговування енергетичного

обладнання, зменшення втрат електричної енергії та зменшення перевантаження ліній електропередач;

– автоматичне сповіщення про виникнення проблем у процесі експлуатації обладнання оператору або автоматизованій системі управління щодо подальшого прийняття рішення.

Якщо проаналізувати використання інтелектуальних електричних мереж, можна зробити висновок, що воно тісно пов'язане із якістю електричної енергії. Має сенс подальший аналіз обліку якості електричної енергії під час використання інтелектуальних мереж SmartGrid: роздільно чи разом розглядаються питання щодо нормування якості електричної енергії під час використання інтелектуальних мереж. Застосування принципово нових електричних мереж має на увазі використання нового обладнання, те, який вплив на мережу загалом та на показники якості електричної енергії конкретно можуть здійснювати інтелектуальні мережі нового покоління – позитивний чи негативний. Проблеми споживачів електричної енергії знаходять відображення у технологіях SmartGrid. Як відомо, постійно зростаючі тарифи є неабиякою проблемою для споживачів. Ці технології мають можливості для зниження витрат споживачів енергії.

Розглядають можливість розділення тарифів у часі тривалістю 15 хвилин та споживання електричної енергії за низькими тарифами. Це можливо за рахунок втілення мікропроцесорної техніки у побутові прилади. Мікропроцесорна техніка отримує інформацію про постачальника електричної енергії у часі та про тарифи і, як наслідок, змінює споживання електричної енергії побутовим приладом таким чином, щоб воно у відповідний час було мінімальне. Використання таких побутових приладів дозволить споживачам знизити споживання електричної енергії у середньому на 5%.

Як відомо, в режимі пікового навантаження споживачів здійснюється негативний вплив на режим роботи електрообладнання. Для того, щоб уникнути таких ситуацій, необхідно збільшити запас потужності, що може призвести до підвищення споживання паливно-енергетичних ресурсів та, як наслідок, до збільшення негативного впливу на навколишнє середовище. Це досить вагомий аргумент для пошуку альтернативних рішень щодо оптимізації цієї ситуації. Висока надійність систем електропостачання завжди була пріоритетним напрямом розвитку енергетики. Електричні мережі, які застосовують технологію SmartGrid,

із часом отримують більш широке застосування, і це є досить об'єктивним процесом. За допомогою використання інтелектуальних мереж можливо розв'язати або наблизитися до розв'язання таких завдань, як:

– зниження зростаючого споживання паливно-енергетичних ресурсів;
– зменшення втрат в енергетичних мережах;
– зменшення рівня забрудненості навколишнього середовища, використання альтернативних джерел живлення [4, с. 221].

Завдання, що повинні бути розв'язані за допомогою інтелектуальних мереж, можна розглядати з погляду енергетичних компаній та споживачів електричної енергії. Кожна з цих груп переслідує свої конкретні завдання.

Отже, енергетичні компанії зі свого боку ставлять такі цілі, як:

– керування нерівномірністю графіків електричного навантаження;
– підвищення рівня оплати за електричну енергію, що було спожито;
– підвищення рівня ефективності керування;
– зниження втрат енергетичних ресурсів;
– підвищення надійності функціонування елементів енергетичної системи у випадку аварійних ситуацій у мережі;
– підвищення якості об'єднання елементів відновлювальної енергетики та розподільної генерації у системі.

З боку споживачів електричної енергії інтелектуальні мережі технології SmartGrid повинні вирішувати такі завдання, як:

– підвищення ефективності роботи енергетичної системи;
– покращення доступу споживача до енергетичної інфраструктури;
– підвищення надійності електропостачання споживачів всіх категорій з безперебійності;
– сучасні підходи щодо повноцінної взаємодії споживачів із постачальниками електричної енергії;
– здатність електричної мережі до самовідновлення після перерви в електропостачанні;
– підвищення можливостей щодо керування процесом електропостачання та зниження оплати за електричну енергію, яку було спожито [1; 9].

Як відомо, до основних вимог, які висуваються до систем електропостачання, належать:

– надійність електропостачання;
– безпека функціонування;
– економічність;
– можливість подальшого розширення;
– екологічність.

Розглядаючи поступове та водночас широке втілення інтелектуальних мереж, необхідно зазначити їх переваги, які у своїй більшості є близькими до основних вимог щодо систем електропостачання, такі як [10, с. 162]:

- надійність та якість електропостачання – необхідно уникнути відключення споживачів електричної енергії від джерела та забезпечити споживання електричної енергії відповідної якості;

- безпека – забезпечення безпеки функціонування електричних мереж;

- екологічність та охорона навколишнього середовища – зниження потужностей електричних станцій та, як наслідок, зменшення викидів вуглекислого газу до атмосфери; нині тема глобального потепління та скорочення викидів вуглекисню є дуже актуальною;

- енергоефективність – оптимізація та зниження споживання енергетичних потужностей за рахунок зниження споживання електричної енергії [5, с. 126; 6, с. 140];

- фінансові переваги – споживачі електричної енергії мають можливість самостійно оптимізувати витрати електричної енергії та мати можливість подальшого планування витрат на експлуатацію розподільчих електричних мереж [2, с. 30; 4, с. 222; 9, с. 7].

Авторами у [8, с. 17] було наведено переваги основних характеристик від упровадження інтелектуальних мереж SmartGrid:

Характеристики	Вигода
Самовідновлення	Підвищення економії, надійності та ефективності надлишку енергії
Мотивація, що включає споживачів електричної енергії	Розумне використання енергетичних ресурсів, більш ефективна утилізація відходів, має широкий діапазон екологічної вигоди
Опір незаконному втручанню	Електрична мережа повинна витримувати несанкціоновану фізичну кібератаку
Забезпечення якості електроенергії, якої потребує 21-ше сторіччя	Запобігти зменшенню виробництва через простий обладнання, особливо за використання цифрових пристроїв
Погодження для всіх поколінь та функцій зберігання	Різноманітні ресурси з «підключи та грай» мають зв'язок різного типу з опціями електричної генерації та зберігання, включаючи нові можливості для більш ефективного, чистого виробництва електричної енергії

Можливий ринок	Відкритий доступ до ринку розкриває марні та неефективні витрати та допомагає знижити їх у системі, пропонуючи новий вибір споживачам, такий як «зелене» виробництво енергії.
Оптимізація активів та ефективне функціонування	Бажане функціонування за мінімізації витрат та використання активів.

Неможливо не відзначити також і недоліки, які має технологія SmartGrid. Що стосується локальних проектів, то ці технології мають безперечні переваги. У європейських країнах у період із 2000 року було втілено близько 100 таких проектів з використанням інтелектуальних мереж SmartGrid. Завдання, які поставали перед застосуванням таких проектів, у результаті було вирішено. Велика проблема міститься у спільній роботі існуючих енергетичних мереж та інтелектуальних мереж із використанням SmartGrid, зокрема йдеться про їх безаварійну роботу. Цей процес є не до кінця вивченим. Отже, це завдання майбутнього – масштабне втілення інтелектуальних мереж SmartGrid, яке водночас є досить не дешевим заходом.

Також до суттєвих недоліків технологій SmartGrid під час їх втілення належать:

1. Знос основного електрообладнання систем електропостачання.

2. Недостатній рівень контролю споживання енергетичних ресурсів.

3. Значна величина втрат електричної енергії в системах електропостачання.

4. Недостатній рівень розвитку системи моніторингу споживання електричної енергії;

5. Все більш гострий дефіцит кваліфікованих кадрів в енергетичній галузі.

6. Підвищення обмежень щодо забруднення електричними станціями навколишнього середовища.

Але ці недоліки не є підставою для припинення розроблення та втілення інтелектуальних мереж. Це є повштохом для більш поглибленого аналізу та швидкої модернізації наявних електричних мереж із метою подальшого застосування технологій SmartGrid.

Висновки. Стаття присвячена новим тенденціям в електроенергетиці, зокрема розглянуто поняття інтелектуальних мереж SmartGrid. Це електричні мережі нового покоління, які мають велику кількість переваг, як було проаналізовано. Використання SmartGrid дасть змогу вирішити низку вагомих завдань за їх широкого впрова-

дження та використання. Зокрема, «GRID 2030 A National Vision for Electricity's Second 100 Years» передбачає такі три етапи втілення та подальшого застосування технологій SmartGrid:

Етап I: мається на увазі прогрес у дослідженнях, розроблення та демонстрація передових технологій. Це також включає зусилля з уточнення та модернізації нормативно-правової бази.

Етап II: передбачає оборотність основного капіталу електричних активів та заміну на сучасні системи. Також включає місцеві та регіональні втілення концепцій і обладнання Grid 2030.

Етап III: містить розширення розгортання Grid 2030, починаючи з локального та регіонального рівнів, із подальшим виходом на національний та міжнародний ринки [3, с. 26].

Список літератури:

1. SEA инновации и эффективность, URL: <https://www.sea.com.ua/oborudovanie-dlya-energetiki/smart-grids/>
2. NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 2.0. Февраль 2012. Авторы: NIST (Национальный институт технологий и стандартизации, США), Государственный коммерческий департамент США. Концепция и дорожная карта по стандартам взаимодействия для SmartGrid.
3. "GRID 2030" A National Vision for Electricity's Second 100 Years, URL: https://www.energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/Electric_Vision_Document.pdf
4. Олійник Ю.С. Використання сонячних батарей у сучасних умовах / Ю.С. Олійник // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Випуск 29 (68), № 2. 2018. С. 220–224.
5. Пантелєєва І.В. Організаційні та технічні заходи з енергозбереження / І.В. Пантелєєва // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. Харків, 2016. № 4. С. 125–127.
6. Шматько Н.М. Організація планування структурних змін у процесі розвитку промислового підприємства / Н.М. Шматько // Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця. Випуск 4. С. 138–143.
7. Розумні електромережі або що таке SmartGrid, URL: <https://eco-live.com.ua/content/blogs/rozumni-elektromerezhi-abo-shcho-take-smart-grid>
8. Укренерго: Розумні мережі (SMART GRID), URL: <https://ua.energy/majbutnye-ukrenergo/smart-grid/>
9. The National Energy Technology Laboratory "A vision for the Modern Grid", March, 2010. URL: https://netl.doe.gov/sites/default/files/Smartgrid/ASystemsViewoftheModernGrid_Final_v2_0.pdf
10. Повышение надёжности функционирования энергообъектов на основе усовершенствования программно-технического комплекса автоматизированной подсистемы аварийной и предупредительной защиты / П.Ф. Буданов, К.Ю. Бровко, П.В. Васюченко // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. Харків: Харків. ун-т Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. 2016. Вип 48. С. 161–167.

Oliinyk Yu.S., Lazarchuk L.M., Suk I.V. EMERGING TRENDS IN ENERGY

When we use the term «intellectual networks», we mean new principles of the energy industry. The article discusses new trends in energy, namely the analysis of the main functions, advantages and disadvantages of intelligent adaptive networks of SmartGrid technology. The main purpose of intelligent networks is to ensure the reliable use of the networks, to extend the service life and to enable complete control of electrical appliances at a distance. In turn, the work of smart networks is based on information and communication technologies with the aim of further saving financial costs and increasing the reliability of electric networks without attracting additional energy resources. Modern energy systems should be modernized in accordance with new developments in the electricity sector. In the process of optimizing modern energy systems, it is possible to increase their efficiency, and there is no need for significant investments in the production, transmission and distribution of electrical energy. That is, it is possible to modernize the existing system to an intelligent one, thereby creating a fully integrated system of production, transmission, distribution and consumption of electrical energy, for example, by domestic consumers. The main groups of elements that make up knowledge networks are briefly discussed. Because SmartGrid's smart grids are fairly new and not widespread, their impact on the customer's electrical energy quality is not fully defined. The paper very briefly examines the impact of new smart grids on the quality of electrical energy. The article also focuses on the American approach to SmartGrid interoperability standards, expectations from the implementation of knowledge networks.

Key words: smart grids, grid reliability, electrical power, distribution grids, energy resources, renewable energy.

РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 622.023:622.831

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/13>**Петльований М.В.**

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Сай К.С.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

КОМПЛЕКСНИЙ ВПЛИВ ГЕОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА СТІЙКІСТЬ МАСИВУ ПРИ ПІДЗЕМНОМУ ВИДОБУТКУ ЗАЛІЗНИХ РУД

У дослідженні розкриваються особливості неоднорідності геологічної будови та властивостей рудного покладу і вміщуючих порід за простяганням, що істотно впливає на стійкість та вірогідність руйнування масиву гірських порід у процесі видобутку запасів руд з очисних камер. Проведено комплексний аналіз геологічної структури Південно-Білозерського родовища за його простяганням в інтервалі процесу активного видобутку запасів залізних руд. Встановлено ділянки рудного покладу за простяганням, де фіксувалися випадки обвалення масиву гірських порід висячого боку і засмічення видобутої руди. Виявлена мінливість геологічного середовища за простяганням рудного покладу та характерна зональність зі схожими гірничо-геологічними умовами – північна, центральна й південна частини. Зазначені ділянки покладу відрізняються за морфологічним складом руд і вміщуючих порід, складом заліза в руді, міцністю, тріщинуватістю, потужністю покладу й кутом його падіння. Встановлено, що висока інтенсивність обвалень порід висячого боку спостерігається в обширній зоні, яка охоплює практично всю центральну та половину південної частин рудного покладу довжиною 600 м, де інтенсивно змінюється комплекс геологічних факторів: морфологічний склад порід, властивості порід і руди, їх форма та елементи залягання. Встановлена нерівномірність кута падіння рудного покладу за падінням порід висячого боку, що суттєво впливає на явище обвалення порід, оскільки відмінність у кутах падіння порід і руди сягає до 7–10°. Для підвищення стійкості масиву дослідження необхідно розвивати в напрямі оптимізації геометричних форм очисних камер, їх просторового розташування, вдосконалення порядку відпрацювання запасів за площею рудного покладу, раціонального порядку відбійки запасів руди в камерах.

Ключові слова: геологічна будова, міцність, стійкість, обвалення порід, сланці, засмічення руди, висячий бік.

Постановка проблеми. Щорічно в Україні вилучається близько 160 млн т залізної руди, причому підземним способом видобувається близько 15 млн т 9 шахтами [1–3]. Під час розробки залізних руд підземним способом основного поширення набула камерна система розробки і підповерхового обвалення (Криворізький залізорудний басейн), але також є досвід ведення гірничих робіт камерною системою розробки із твердіючим закладенням на ПрАТ «Запорізький залізорудний комбінат» (ПрАТ «ЗЗРК»), що забезпечує стабільність і поступове нарощування видобутку протягом тривалого часу. ПрАТ «ЗЗРК», який розробляє багаті залізні руди Білозерського залізорудного району, займає істотну частину (25%) у підзем-

ному видобутку руди в Україні. Впровадження системи розробки з твердіючим закладенням на ПрАТ «ЗЗРК» дозволило досягти більш якісних показників вилучення, ніж при розробці залізних руд Криворіжжя без закладення. Показники втрат і збіднення руди менші в 2–2,3 раза [3; 4].

Однак, незважаючи на ефективність застосовуваної системи розробки, в інтервалі глибин 640–940 м виникли проблеми стійкості вміщуючих порід висячого боку, викликані гірським тиском і посиленням сейсмічним впливом вибухових робіт, що призвело до істотного погіршення якості видобутої руди та зниження техніко-економічних показників розробки загалом [5; 6]. Негативний вплив обвалень порід із наступним збідненням

руд, що вилучаються, не відзначається в низці наукових праць [7–10]. Складність полягає в тому, що не завжди раніше спроектована і нині застосовувана технологія видобутку корисних копалин здатна показувати високу ефективність у неоптимальних гірничо-геологічних умовах.

Для виявлення причин зниженої стійкості масиву необхідно вивчити комплекс факторів: мінералогічний склад, геологічну будову та умови залягання як рудного покладу, так і вміщуючих порід висячого та лежачого боків. Ступінь впливу геологічних факторів масиву гірських порід можна охарактеризувати за допомогою зіставлення зон вивалоутворень при відпрацюванні очисних камер з геологічними характеристиками.

У представленому дослідженні розкриваються особливості неоднорідності геологічної будови та властивостей рудного покладу і вміщуючих порід за простяганням, що істотно впливає на стійкість та вірогідність руйнування масиву гірських порід у процесі видобутку запасів руд з очисних камер.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для покращення технології видобутку залізних руд на залізорудних родовищах України вченими виконано значну кількість наукових досліджень. Проблемам відпрацювання запасів камер Південно-Білозерського родовища на контакті з висячим боком присвячені наукові праці [11; 12], в яких досліджувалися деформації нестійких порід висячого боку покладу. Але зазначені дослідження виконані лише для південної частини рудного покладу. Дослідженням напруженого стану масиву руди навколо очисної камери залежно від її розмірів і глибини гірничих робіт присвячені роботи [13; 14], в яких вдосконалено параметри систем розробки та порядок відпрацювання запасів. У дослідженні [15] при розробці залізних руд Криворізького басейну в умовах нестійких порід запропоновано залишати рудний захисний шар для попередження обвалень порід. Для покращення стійкості очисної камери при нестійких рудах на шахтах Криворізького басейну запропоновано зміну її форми з прямокутної на квазіпараболічну [16]. Авторами встановлено, що кут падіння покладу впливає на величину тиску порід висячого боку, з його збільшенням тиск знижується [17], а потужність покладу збільшує довжину камери і, відповідно, горизонтальний проліт її відслонення [18].

У світовій практиці розробки крутопадаючих рудних родовищ при виникненні проблем стійкості порід висячого боку рішення знаходять за допомогою застосування технології зміцнення

порід висячого боку тросовими анкерами за допомогою спеціальних бурових установок для криплення гірничих виробок [19].

Проте саме питанням впливу комплексу гірничо-геологічних характеристик різних зон рудного покладу на інтенсивність вивалоутворень при видобутку запасів руд з очисних камер та їх вірогідного прогнозування в літературних та інформаційних джерелах приділено недостатньо уваги.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження геологічних особливостей та властивостей рудного покладу і вміщуючих порід Південно-Білозерського родовища, а також оцінка їх впливу на стійкість і вірогідність руйнування масиву гірських порід у процесі видобутку запасів багатих залізних руд з очисних камер. Для досягнення мети проведено комплексний аналіз геологічної структури Південно-Білозерського родовища. Уздовж простягання рудного покладу за даними геологічних звітів і паспортів виймальних камер аналізувалися морфологічний склад порід висячого боку, міцність порід та руди, ступінь тріщинуватості, кут падіння рудного покладу і порід висячого боку, потужність рудного покладу.

Вплив геологічного середовища на інтенсивність обвалень порід і руди досліджувався лише при відпрацюванні камер на контакті з налягаючими породами висячого боку. Тому аналізу підлягали очисні камери, де вилучались запаси руди на контакті з висячим боком, а також місця обвалення порід в камери за простяганням рудного покладу, де рівень засмічення видобутих руд становив 2–8%. Для дослідження впливу геологічних факторів на порушення стійкості масиву висячого боку й засмічення руди прийняті поверхні 640–740 та 740–840 м. Запаси першого поверху відпрацьовані майже на 100%, другого – наближаються до завершальної стадії відпрацювання. Ширина досліджуваних камер, що контактували з породами висячого боку, становила 30 м, тобто площа похилого відслонення порід висячого боку була досить близька між собою, а їх висота – 100 м.

Викладення основного матеріалу. Південно-Білозерське родовище, з якого вилучається 90% запасів Білозерського залізорудного району гематито-мартитових руд, за гірничо-геологічними умовами залягання характеризується як складне, що пов'язане із обводненістю рудно-кристалічного масиву, частковою нестійкістю порід висячого боку, тріщинуватістю масиву [20–22]. Розмір головного покладу за простяганням на горизонті 740 м становить близько 1500 м, а за падінням

запаси руди розвідані до 1500 м. Падіння залізистих кварцитів, сланців і руд круте: північно-східне і східне в південній частині родовища та південно-східне – у північній. Кут падіння збільшується з півдня на північ – з 60–65 до 75–80°. Для ефективного планування розвитку гірничих робіт рудний поклад Південно-Білозерського родовища від центру до флангів умовно розділений через кожні 30 м на маркшейдерські осі з позначеннями «с» – північ, «0» – центр, «ю» – південь, відповідно, очисні камери мають також нумерацію в порядку номері, згідно з маркшейдерською віссю та черговістю розробки (наприклад, 1/7ю, 2/7ю).

Протягом терміну відпрацювання запасів руди в поверсі 640–740 м та 740–840 м неодноразово спостерігалися порушення контуру очисних камер на контакті з породами висячого боку з наступним їх обваленням в очисний простір. Ілюстрація порушення контуру очисних камер зі сторони висячого боку за даними плану гірничих робіт наведена на рис. 1, де зафіксовано перебільшення обсягів закладених камер (зелений колір) над контурами рудного покладу (синій колір). Зони вивалоутворення порід висячого боку спостерігалися при відпрацюванні очисних камер у

маркшейдерських осях (м.в.) 8с, 5с, 3с, 2с, 0, 1ю, 3ю, 5ю, 7ю, 8ю, 9ю, 13ю, 15ю.

Гірничо-геологічні умови залягання рудного покладу «Головний» характеризуються значною мінливістю за його простяганням [23; 24]. Північна, центральна й південна частини відрізняються за морфологічним складом руд і вміщуючих порід, складом заліза в руді, міцністю, тріщинуватістю, потужністю покладу та кутом його падіння. Далі розглядаються характерні геологічні ознаки для кожної частини родовища. Загальний вигляд продольного розрізу рудного покладу з нанесенням різних зон зі схожими гірничо-геологічними умовами наведено на рис. 2.

Північна частина покладу за морфологією рудних тіл і складом вміщуючих порід помітно відрізняється від південної й центральної частин покладу і простягається на 650 м від маркшейдерських осей 30с до 8с. Потужність рудного покладу змінюється з коливаннями від 20 до 60 м. Середня міцність руди становить $f = 9,5$. Рудний поклад північної частини розщеплюється на кілька жил, їх розділяють кварцити, переважно гематит-мартитового складу потужністю 7–20 м зі зниженим вмістом заліза. Вміщуючими породами лежачого



Рис. 1. Порушення контуру деяких очисних камер у формі обвалення порід висячого боку (дільниця покладу від 0 до 6ю)

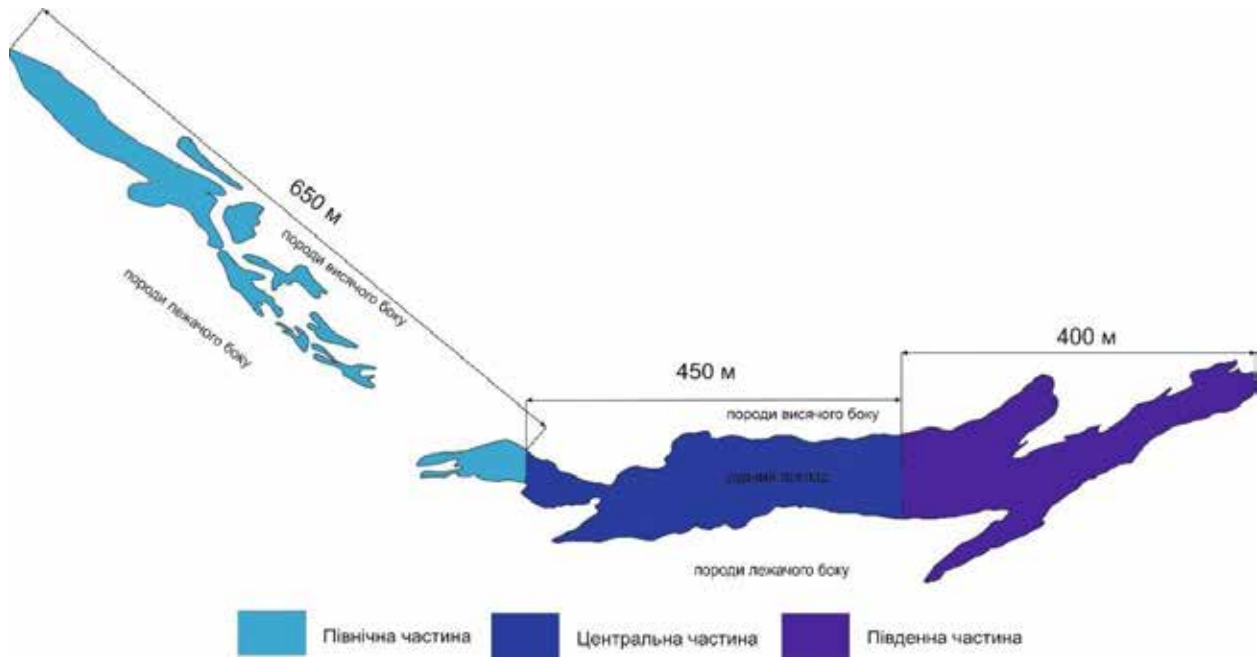


Рис. 2. Характерна зональність рудного покладу за схожими гірничо-геологічними умовами у поперсі 640–740 м (розріз по гор. 740 м)

боку є переважно кварцити гематит-мартитового складу міцністю $f = 14-15$. З висячого боку вміщуючими породами є також кварцити, переважно гематит-мартитового складу міцністю $f = 14-15$, середньої стійкості та тріщинуватості.

Центральна частина покладу простягається на 400 м і розташована між осями 8с і 5ю. Потужність рудного тіла в цій частині досить витримана й коливається в межах 100–120 м, середня міцність руди знижується і досягає $f = 7,0$. У висячому й лежачому боках залягають кварцити $f = 14-15$, які змінюються в міру наближення до південної частини сланцями кварц-серицит-хлоритового, кварц-хлорит-серицитового та кварц-гематит-хлоритового складу міцністю від $f = 7-9$ до $f = 8-10$ середньої стійкості й тріщинуватості. Також зустрічаються отальковані сланці міцністю $f = 3-4$.

Південна частина покладу простягається на 450 м і розташовується між осями 5ю і 20ю. Рудне тіло займає практично весь залізорудний горизонт, тут потужність покладу збільшується місцями від центра до півдня з 60 м і досягає 150 м, а міцність руди становить $f = 6,5$. Вміщуючими породами для нього як у висячому, так і у лежачому боках є сланці кварц-хлорит-серицитового, кварц-серицит-хлоритового та кварц-гематит-хлоритового складу, міцністю від $f = 7-9$ до $f = 8-10$ середньої стійкості та високої і середньої тріщинуватості. З глибиною залягання рудного тіла відзначається збільшення зони поширення слабостійких кварц-хлорит-серицитових сланців низь-

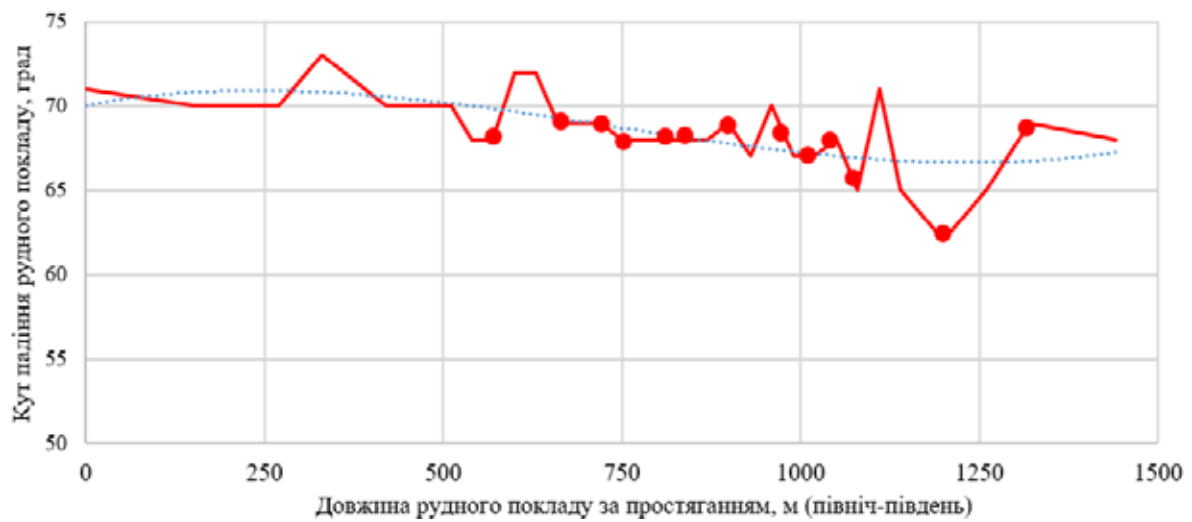
кої міцності $f = 6-9$ у породах висячого боку південної частини покладу, що становить на глибині 400 м – 60 м; 640 м – 150 м, 740 м – 330 м, 840 м – 600 м. Слід зазначити аномально високу й розвинену тріщинуватість, що зустрічається локально в ступені та південній частині родовища і формує ділянками низьку стійкість масиву, розбиваючи його на блоки. Контакт рудного покладу з вміщуючими породами місцями має складчасту форму, що також сприяє засміченню руди.

Відзначені суттєві зміни геологічної будови рудного покладу обумовлюють і зміни в технології ведення гірничих робіт. Так, наприклад, у північній частині родовища через незначну потужність покладу (30–50 м) вхрест простягання покладу за його потужністю розташовують одну очисну камеру, а в центральній і південній частинах, де потужність досягає більше 100 м, вхрест простягання розташовуються 2–3 камери. При відпрацьовуванні камер останньої черги це призводить до збільшення кількості контактів зі штучним масивом, що при засміченні завдає більшої шкоди якості видобутої руди.

У зв'язку з наявною інтенсивністю обвалень порід та руди проведено детальний аналіз зміни їх міцності, кута падіння, потужності рудного покладу по кожній маркшейдерській осі (через 30 м) за простяганням на довжину 1500 м. У результаті побудовано графіки зміни показників геологічних факторів (рис. 3, а–в) з відзначенням зон обвалень (червоні кола).



(а)



(б)



(в)

Рис. 3. Характер зміни геологічних характеристик за простяганням рудного покладу: міцності порід висячого боку (а), кута падіння (б) і потужності рудного покладу (в)

Можна відзначити, що за простяганням покладу виділяється характерний загальний тренд зменшення міцності порід висячого боку й кута падіння рудного покладу та збільшення потужності покладу з півночі на південь.

Аналіз графіку рис. 3 дозволяє встановити тенденції впливу геологічних факторів родовища на інтенсивність вивалоутворення в різних за геологічною будовою ділянках рудного покладу. Встановлено, що висока інтенсивність обвалень порід висячого боку в поверххах 640–840 м спостерігається в обширній зоні, яка охоплює практично всю центральну і половину південної частин рудного покладу довжиною 600 м, де інтенсивно змінюється морфологічний склад і властивості руди та форма залягання руди і порід. У цій зоні у висячому боці залягає 80% сланців, в основному кварц-хлорит-серицитового складу, середнього і грубого ступеня розсланцьованості, іноді з прошарками сірого кварцу і часто сформовані в складки. Цей вид порід має шарувату структуру і не витримує значних відслонень в часі.

Слід зазначити, що помітно підвищується інтенсивність у камерах зі збільшенням горизонтальної потужності покладу. Так, у північній частині вона змінюється від 20 до 60 м, становлячи в середньому 35–40 м. У таких випадках за потужністю покладу вхрест простягання розміщують одну очисну камеру. У південній частині потужність змінюється від 80 до 150 м, становлячи в середньому 100–120 м. У цьому разі за потужністю покладу розташовують 2, іноді 3 камери. В таких умовах доводиться збільшувати середню довжину камери, що спричиняє збільшення горизонтального прольоту камери, і це підвищує ймовірність обвалення і відшаровування порід висячого боку. Для північної частини характерні довжини очисних камер 25–40 м, для центральної і південної частин – 40–60 м.

Майже повна відсутність вивалів порід спостерігається у північній частині покладу (0 – 650 м) за наявності у висячому боці кварцитів переважно гематит-мартитового складу з рівномірною їхньою міцністю $f = 14$, при кутах падіння рудного покладу 68–70° і в 65% випадків наявності порівняно невеликої для родовища горизонтальної потужності покладу до 60 м. У центральній частині покладу знаходиться 60% зон вивалоутворення, де відбувається заміщення кварцитів гематит-мартитового складу при міцності $f = 12$ на кварц-хлорит-серицитові сланці зниженої міцності $f = 8–10$ і стійкості, зниженні кута падіння покладу до з 70–72 до 65–68° і при збільшенні

горизонтальної потужності рудного покладу з 50 до 80–100 м. У південній частині покладу знаходиться 40% зон вивалоутворення при заміщенні кварцитів гематит-мартитового складу міцністю $f = 14$ на кварц-хлорит-серицитові сланці зниженої міцності $f = 5–8$ і стійкості, зниженні кута падіння з 70 до 62° і зміні горизонтальної потужності рудного покладу до з 80 до 100–150 м.

Необхідно звернути увагу на важливу геологічну особливість, яка суттєво може впливати на стійкість порід висячого боку – нерівномірність кутів падіння рудного покладу та вміщуючих порід. Сланець як шарувата порода складається з окремих пластів з невеликим опором або без опору поділу по межах між її пластами. При відслоненні очисною камерою у висячому боці покладу може відбуватися його розшарування, викликане релаксацією [25]. Шаруватість, орієнтована паралельно похилому відслоненню камери, викликає менше проблем, ніж шаруватість, розташована під пологим ($< 20^\circ$) кутом до камери. Коли шаруватість порід «прорізає» похиле відслонення камери (рис. 4), в такому разі породи схильні до розповзання й обвалення в камеру [26].

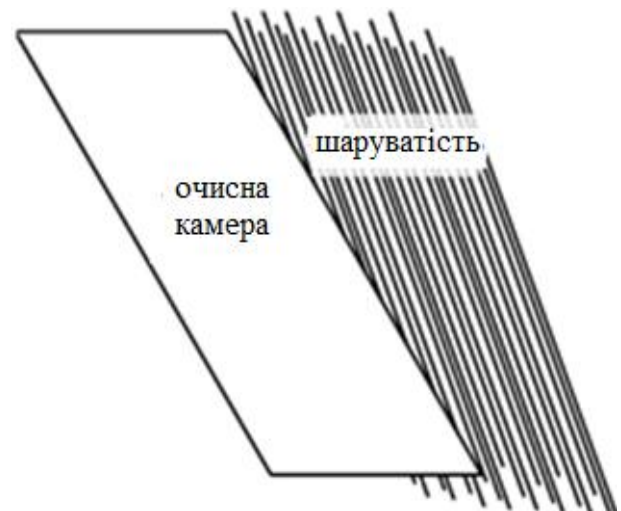


Рис. 4. Розбіжність кутів падіння рудного покладу та шаруватих порід висячого боку [26]

Характер зміни кутів падіння рудного покладу та порід висячого боку наведено на рис. 5. Нерівномірність кута падіння рудного покладу з падінням порід висячого боку, мабуть, набуває найбільш істотного впливу на явище обвалення сланців, оскільки відмінність в кутах падіння порід і руди значне і сягає значення до 7–10°. Часта складчаста форма сланців і нерівномірність кута падіння можуть слугувати концентратором підвищених напружень у висячому боці. У зонах



Рис. 5. Характер зміни кутів падіння рудного покладу та порід висячого боку за простяганням

рудного покладу, де відмічається розбіжність кута падіння рудного покладу (похилого відслонення камери) та сланців у висячому боці, фіксуються вивали порід в очисні камери.

Таким чином, виявлено тенденції і причини зниження стійкості очисних камер на контакті з вмшуючими породами в неоднорідному за геологічною будовою рудному покладі, які пов'язані із одночасним впливом комплексу геологічних факторів. Рекомендується пошук наукових рішень із підвищення стійкості масиву вести у напрямі зміни геометричних форм очисних камер, їх просторового розташування, вдосконалення порядку відпрацювання запасів за площею покладу, раціонального порядку відбійки запасів руди в камерах при змінних гірничо-геологічних умовах розробки родовищ.

Висновки. У результаті дослідження отримані такі результати:

- визначено зони вивалоутворення порід висячого боку (за маркшейдерськими осями) за простяганням рудного покладу під час відпрацювання очисних камер в поверхах 640–840 м;
- детально вивчена мінливість геологічного середовища за простяганням рудного покладу.

Північна, центральна й південна частини родовища відрізняються за морфологічним складом руд і вмшуючих порід, складом заліза в руді, міцністю, тріщинуватістю, потужністю і кутом падіння покладу;

– встановлено, що висока інтенсивність обвалень порід висячого боку спостерігається в обширній зоні, яка охоплює практично всю центральну і половину південної частин рудного покладу довжиною 600 м, де інтенсивно змінюється низка геологічних факторів: морфологічний склад порід, властивості порід і руди та їх форма залягання, і які комплексно впливають на стійкість масиву;

– встановлена нерівномірність кута падіння рудного покладу за падінням порід висячого боку, що чинить найбільш істотний вплив на явище обвалення порід, оскільки відмінність в кутах падіння порід і руди сягає до 7–10°.

– пошук наукових рішень із підвищення стійкості масиву слід вести у напрямі зміни геометричних форм очисних камер, їх просторового розташування, вдосконалення порядку відпрацювання запасів за площею рудного покладу, раціонального порядку відбійки запасів руди в камерах.

Список літератури:

1. Bazaluk O., Petlovanyi M., Lozynskyi V., Zubko S., Sai K., Saik P. Sustainable underground iron ore mining in ukraine with backfilling worked-out area. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, Is. 2. P. 834. <https://doi.org/10.3390/su13020834>
2. Khomenko O., Kononenko M., Myronova I. Ecological and technological aspects of iron-ore underground mining. *Mining of Mineral Deposits*. 2017. Vol. 11, Is. 2. P. 59-67. <https://doi.org/10.15407/mining11.02.059>
3. Azaryan A.A., Batareyev O.S., Karamanits F.I., Kolosov V.O., Morkun V.S. Ways to reduce ore losses and dilution in iron ore underground mining in Kryvbass. *Science and Innovation*. 2018. Vol. 14, Is. 4. P. 17–24. <https://doi.org/10.15407/scine14.03.017>

4. Kurilo M. Geological and economic evaluation of iron ore deposits of pravoberezhny area (Ukraine). *14th SGEM GeoConference on Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining*. 2014. <https://doi.org/10.5593/sgem2014/b11/s1.018>
5. Kuz'menko A., Furman A., Usaty V. Improvement of mining methods with consolidating stowing of iron-ore deposits on big depths. *New Techniques and Technologies in Mining*. 2010. P. 131–136. <https://doi.org/10.1201/b11329-22>
6. Petlovanyi M., Ruskykh V., Zubko S., Medianykh V. Dependence of the mined ores quality on the geological structure and properties of the hanging wall rocks. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 201. P. 01027. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101027>
7. Barba T.F.V., Nordlund E. Numerical analyses of the hangingwall failure due to sublevel caving: study case. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*. 2013. Vol. 4, Is. 3. P. 201. <https://doi.org/10.1504/ijmme.2013.053168>
8. Forster K., Milne D., Pop A. Mining and rock mass factors influencing hangingwall dilution. *Rock Mechanics: Meeting Society's Challenges and Demands*. 2007. P. 1361–1366. <https://doi.org/10.1201/noe0415444019-c169>
9. Грінюв В.Г., Хорольський А.О. Дослідження основ технології оптимального проектування раціонального користування родовищами цінних копалин. *Мінеральні ресурси України*. 2020. Вип. 2. С. 19–24. <https://doi.org/10.31996/mru.2020.2.19-24>
10. Hefni M.A., Abdellah W.R.E., Ahmed H.M. Factors influencing stope hanging wall stability and ore dilution in narrow-vein deposits: Part II. *Geotechnical and Geological Engineering*. 2020. Vol. 8, Is. 4. P. 3795–3813. <https://doi.org/10.1007/s10706-020-01259-9>
11. Chistyakov E., Ruskikh V., Zubko S. Investigation of the geomechanical processes while mining thick ore deposits by room systems with backfill of worked-out area. *Geomechanical Processes During Underground Mining*. 2012. P. 127–132. <https://doi.org/10.1201/b13157-23>
12. Хоменко О.Є., Кононенко М.М. Натурні дослідження поведінки масиву гірських порід навколо первинних очистних камер. *Науковий вісник НГУ*. 2010. № 8. С. 15–17.
13. Кузьменко А.М., Усатый В.Ю. Распределение напряжений в горном массиве вокруг высоких очистных камер при разработке рудных месторождений с твердеющей закладкой. *Сборник научных трудов НАН Украины*. 2010. Вып. 94, Том 1. С. 105–133.
14. Kononenko M., Petlovanyi M., Zubko S. Formation the stress fields in backfill massif around the chamber with mining depth increase. *Mining of Mineral Deposits*. 2015. Vol. 9, Is. 2. P. 207–215. <https://doi.org/10.15407/mining09.02.207>
15. Колосов В.О., Маланчук З.Р., Письменний С.В. Відпрацювання складноструктурних крутоспадних покладів залізних руд з нестійкими породами висячого боку. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки*. 2018. Вип. 4. С. 73–86.
16. Письменный С.В. Исследование формы очистного блока в неустойчивых рудах Криворожского железорудного бассейна. *Вісник Криворізького національного університету*. 2018. Вип. 47. С. 160–164.
17. Russkikh V., Yavors'kyu A., Chistyakov Y., Zubko S. Study of rock geomechanical processes while mining two-level interchamber pillars. *Mining of Mineral Deposits*. 2013. P. 149–153.
18. Цариковский В.В., Сиротюк С.В. Технология очистной выемки с самообрушением рудного массива. *Форум гірників*. 2012. Т. 1. С. 104–112.
19. Zhan F.L., Ye P. Construction techniques and mechanism of pre-anchoring fissured stope hangingwall by fully-grouted cable bolts. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 580–583. P. 283–286. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.580-583.283>
20. Kurylo M. Commercial significance of high-grade iron ore deposits on example of Belozersky area (Ukraine). *15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2015, Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining*. 2011. <https://doi.org/10.5593/sgem2015/b11/s1.011>
21. Petlovanyi M.V., Ruskykh V.V. Peculiarities of the underground mining of high-grade iron ores in anomalous geological conditions. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2019. Vol. 28, Is. 4. P. 706–716. <https://doi.org/10.15421/111966>
22. Кузьменко А.М., Петлёванный М.В. Влияние структуры горного массива и порядка отработки камерных запасов на разубоживание руды. *Геотехнічна механіка*. 2014. Вип. 118. С. 37–45.
23. Кузьменко А.М., Петлёванный М.В. Взаимосвязь структурных изменений окружающего массива с устойчивостью контура очистных камер при разработке крутых залежей железной руды. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2017. Т. 2, Вип. 41. С. 56–62.
24. Кузьменко А.М., Петлёванный М.В. Влияние природных и технологических факторов на устойчивость пород и закладочного массива при их обнажении в очистных камерах. *Геотехнічна механіка*. 2017. Вип. 132. С. 62–73.

25. Kaiser P.K., Yazici S., Maloney S. Mining-induced stress change and consequences of stress path on excavation stability – a case study. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2001. Vol. 38, Is. 2. P. 167–180.

26. Henning J.G. *Evaluation of long-hole mine design influences on unplanned ore dilution*. PhD. McGill University Montreal, Canada: Department of Mining, Metals and Materials Engineering, 2007.

Petlovanyi M.V., Sai K.S. COMPLEX INFLUENCE OF GEOLOGICAL FACTORS ON THE MASSIF STABILITY DURING UNDERGROUND MINING OF IRON ORES

The study establishes the heterogeneity of the geological structure, properties of the ore deposit and rocks along the strike, which significantly affects the stability and probability of failure of the rock mass in the process of extracting ore reserves from the stopes. A comprehensive analysis of the geological structure of the Pivdenno-Bilozirske deposit along its strike in the interval of the process of active extraction of iron ore reserves has been carried out. Areas of the ore deposit along the strike have been identified, where cases of rock collapse of the hanging side and clogging of the mined ore were recorded. The variability of the geological environment along the strike of the ore deposit and the characteristic zoning with similar mining and geological conditions – the northern, central and southern parts were found. These areas of the deposit differ in the morphological composition of ores and host rocks, strength, fracturing, thickness of the deposit and the angle of its dip. It has been established that a high intensity of rock failure of the hanging wall is observed in a vast zone covering almost the entire central and half of the southern parts of the ore deposit 600 m long. In this zone, the morphological composition of rocks, the properties of rocks and ore, their shape and occurrence elements are changing rapidly. The unevenness of the angle of incidence of the ore deposit with the fall of the rocks of the hanging side, which significantly affects the phenomenon of the failure of rocks, since the difference in the angles of incidence of rocks and ore reaches 7–10°. To increase the stability of the massif, research should be developed in the direction of optimizing the geometric shapes of the stopes, their spatial location, improving the order of mining reserves over the area of the ore deposit, the rational order of mining ore reserves in the stopes.

Key words: geological structure, strength, stability, rock failure, shale, ore clogging, hanging wall.

Слободянюк В.К.

Криворізький національний університет

Максимов І.І.

Криворізький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЦИКЛІЧНО-ПОТОКОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ В ГЛИБОКИХ КАР'ЄРАХ

Під час проектування схем розкриття глибоких кар'єрів на етапі попередніх досліджень потрібно визначати оптимальну кількість дробильно-перевантажувальних пунктів і порядок їх переміщення під час розвитку відкритих гірничих робіт. Це дає змогу знизити витрати на кар'єрний транспорт та зменшити потрібну кількість кар'єрних автосамоскидів.

Як критерій оптимізації автомобільно-конвеєрного транспорту використано економічний ефект, рівний різниці сумарних витрат на доставку гірничої маси до магістрального конвеєру при одному дробильно-перевантажувальному пункті та при їх оптимальній кількості. Установлено аналітичну залежність для визначення оптимальної кількості перевантажувальних пунктів при їх рівномірному розташуванні по висоті робочої зони кар'єру. Досліджено особливості зміни основних технологічних показників роботи кар'єрного автотранспорту залежно від кількості дробильно-перевантажувальних пунктів, розмірів і продуктивності кар'єру. Визначені умови одночасного використання декількох дробильно-перевантажувальних пунктів, їх оптимальна кількість і продуктивність, оцінена економічна ефективність використання технологічних схем із декількома перевантажувальними пунктами. Виконаними дослідженнями встановлено, що оптимізація кількості перевантажувальних пунктів приводить до зменшення кількості автосамоскидів на 50–60% порівняно з варіантом використання одного перевантажувального пункту. Збільшення кількості перевантажувальних пунктів з одночасним зниженням кількості автосамоскидів підвищує надійність роботи кар'єрного транспорту. Оптимізація кількості перевантажувальних пунктів знижує необхідну продуктивність кожної дробильно-перевантажувальної установки до 10–20 млн.т/рік. Зменшення необхідної продуктивності перевантажувального пункту дає змогу їх обладнати цюковими дробарками великого дроблення. Застосування мобільних дробильно-перевантажувальних пунктів не блокує запасів руди і не перешкоджає розвитку робочої зони.

Ключові слова: автомобільно-конвеєрний транспорт, концентраційний горизонт, дробильно-перевантажувальний пункт.

Постановка проблеми. Одним з основних напрямків розвитку техніки і технології відкритих гірничих робіт є вдосконалення циклічно-потоквої технології. В останні десятиліття у світовій гірничій промисловості реалізовані проекти, для яких були розроблені нові конструкції дробильно-перевантажувальних пунктів і впроваджені крутопохилі конвеєри. Зарубіжний досвід відкритої розробки підтверджує справедливність ключових підходів до оптимізації схем розкриття глибоких кар'єрів, обґрунтованих у теорії гірничої справи [1-6]. Одним з важливих концептуальних положень теорії розкриття глибоких кар'єрів є принцип переваги, при рівності інших умов, схем розкриття, в яких частка електричної енергії в транспортуванні гірничої маси максимальна. Тенденції розвитку світової економіки спонукають інженерів до вишу-

кування комбінованих транспортних схем, що забезпечують мінімізацію транспортної роботи кар'єрного автотранспорту. Обґрунтування принципів оптимального розміщення в глибокому кар'єрі концентраційних горизонтів циклічно-потоквої технології є важливою науково-практичною проблемою. Характерною особливістю глибоких залізрудних кар'єрів України є використання комбінованих транспортних схем на базі автомобільно-залізничного та автомобільно-конвеєрного транспорту. Місцезнаходження і конструкція перевантажувальних пунктів мають значний вплив на роботу кар'єрного автотранспорту і техніко-економічні показники відкритої розробки в цілому. У міру збільшення глибини кар'єрів збільшується відстань транспортування і витрати на кар'єрний транспорт. Для скорочення відстані транспортування гірничої маси

автосамоскидами і підтримки її на економічно доцільному рівні необхідно своєчасно перенести перевантажувальні пункти на більш глибокі горизонти.

Транспортні схеми українських залізрудних кар'єрів характеризуються великою питомою вагою технологічних схем ЦПТ з використанням підземних розкривних виробок і застосуванням стаціонарних дробильно-перевантажувальних пунктів, обладнаних конусними дробарками типу ККД. Підвищити ефективність гірничих робіт у глибоких кар'єрах може використання нестационарних перевантажувальних пунктів з автомобільного на конвеєрний транспорт та використання систем конвеєрного транспорту, здатних до швидкої адаптації до розвитку робочої зони кар'єру.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах багатьох дослідників [5-8] аналізуються і узагальнюються технічні рішення, прийняті в проектах зарубіжних глибоких кар'єрів зі складними гірничо-геологічними умовами. Відзначається тривалий і цілеспрямований розвиток систем розкривних виробок у міру розробки родовищ (рис. 1).

Існує багато прикладів ефективного зниження витрат на кар'єрний транспорт за рахунок застосування системи підземних конвеєрних виробок (рис. 1), що розміщуються за межею перспективного контуру відкритих гірничих робіт [6]. У роботах [1-5] обґрунтовується необхідність і крок періодичного перенесення по висоті концентраційного горизонту. У той же час невирішеним завданням є обґрунтування раціональної кількості горизонтів, що експлуатуються одночасно. Використання декількох концентраційних горизонтів дозволяє значно знизити витрати на автомобільний транспорт і робить актуальною задачу визначення їх оптимальної кількості.

Формулювання цілей. Метою роботи є обґрунтування раціональної конструкції перевантажувального пункту і схеми розкриття кар'єру з використанням штолень, які погашаються в процесі розвитку гірничих робіт; розробка методики визначення оптимальної кількості та положення перевантажувальних пунктів комплексу циклічно-потокової технології, при якому досягаються мінімальні витрати на автомобільно-конвеєрний транспорт. З метою мінімізації витрат на кар'єрний транспорт розглядається випадок розташування дробильно-перевантажувальних пунктів на робочому борту кар'єра. Система конвеєрного транспорту в цьому випадку складається з двох основних підсистем:

- доставки дробленої гірничої маси від дробильно-перевантажувальних пунктів до камери перевантаження на підйомний конвеєр;
- підйому і доставки гірничої маси до пункту розвантаження на денній поверхні (передбачається, що весь потік гірничої маси від декількох дробильно-перевантажувальних пунктів транспортується на поверхню одним підйомним конвеєром).

При виконанні роботи вирішували наступні завдання:

- розробка методики визначення сумарних витрат на автомобільно-конвеєрний транспорт;
- дослідження особливостей зміни сумарних витрат в залежності від параметрів робочої зони кар'єру і кількості обслуговуючих її дробильно-перевантажувальних пунктів;
- аналітичні дослідження і аналіз меж переходу від одного перевантажувального пункту до двох, від двох до трьох;
- встановлення аналітичної залежності для визначення оптимальної кількості перевантажувальних пунктів при їх рівномірному розташуванні по висоті робочої зони.

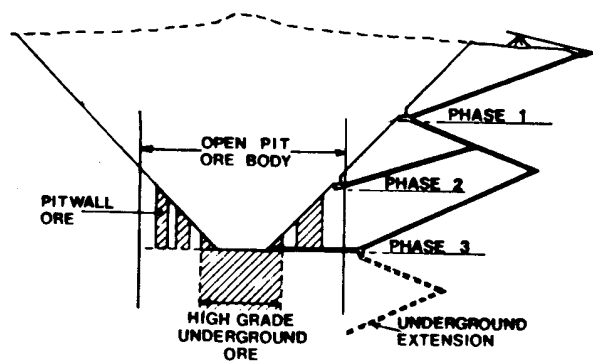
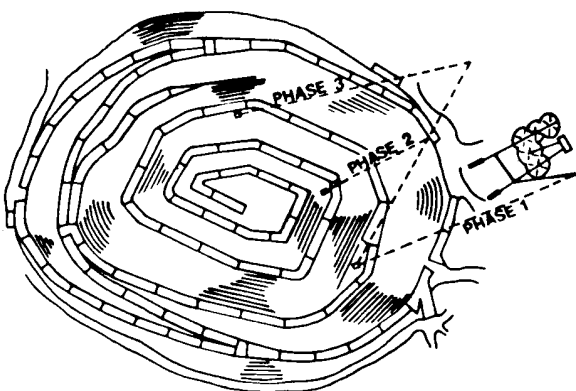


Рис. 1. Розвиток системи підземних розкривних виробок на кар'єрі Palabora [6]

Виклад основного матеріалу досліджень. Однією з особливостей схем розкриття глибоких кар'єрів, яка не знайшла належного відображення в теорії гірничої справи, є взаємна орієнтація в просторі системи підземних розкривних виробок і напряму розвитку робочої зони кар'єру. Аналіз схем розкриття глибоких кар'єрів дозволив виділити дві крайні особливості у взаємодії схем розкриття і напряму розвитку робочої зони кар'єру, які дозволяють умовно розділити схеми розкриття з використанням підземних гірничих виробок на попутні і зустрічні схеми розкриття.

У разі попутних схем розкриття, напрямки розвитку робочої зони кар'єру і транспортування гірничої маси по головним розкривним виробкам протилежні: капітальні розкривні виробки і перевантажувальні пункти знаходяться на неробочому або тимчасово неробочому борту кар'єру та їх положення не створює перешкод для розвитку гірничих робіт. В даному випадку проблема збільшення відстані транспортування гірничої маси автосамоскидами від екскаваторних вибоїв до перевантажувальних пунктів вирішується за рахунок наближення перевантажувальних пунктів до робочої зони кар'єру. Альтернативою використання стаціонарних перевантажувальних пунктів є застосування перевантажувальних пунктів, обладнаних напівстаціонарними (напівмобільними) дробильними установками.

У разі зустрічних схем розкриття, напрямки розвитку робочої зони кар'єру в плані збігається з напрямком транспортування гірничої маси по підземним конвеєрним виробкам, тобто капітальні виробки і перевантажувальні пункти знаходяться в робочій зоні кар'єру та їх поточне розташування створює або буде створювати перешкоди для розвитку гірничих робіт. Зустрічні схеми розкриття в теорії і практиці відкритих гірничих робіт зустрічаються значно рідше [4]. В даному випадку невід'ємним і характерним елементом системи розкривних виробок буде підземна гірничка виробка (штольня), що примикає до виробленого простору кар'єру і погашається (вкорочується) у міру розвитку гірничих робіт. При використанні даного варіанту розкриття ефективність транспортної схеми буде залежати від конструктивних особливостей пересувних перевантажувальних пунктів, які розташовані в робочій зоні кар'єру, і від конструктивних особливостей гірничих виробок, що погашаються, та конвеєрів, що в них розташовано.

З огляду на особливості схем розкриття низки українських залізрудних кар'єрів [2; 3; 7], є мож-

ливим розглянути варіант реконструкції транспортної системи кар'єра на основі використання існуючих капітальних підземних виробок і перевантажувальних пунктів на денній поверхні.

Розглянемо загальний випадок. Глибокі горизонти кар'єра розкрито системою підземних гірничих виробок (похилі і вертикальні стволи, штольня), обладнаних конвеєрними підйомниками і розташованими під робочим бортом кар'єру. На час прийняття рішення стаціонарний дробильно-перевантажувальний пункт перешкоджає розвитку гірничих робіт і консервує під собою запаси корисних копалин. Будівництво нового стаціонарного дробильно-перевантажувального пункту нераціональне, оскільки відсутня можливість створити майданчик необхідних розмірів з терміном існування, що виправдовує витрати на будівництво дробильно-перевантажувального пункту. Виникнення подібної гірничотехнічної ситуації часто обумовлено гірничо-геологічними особливостями родовища, відсутністю в будові родовища сприятливих топологічних особливостей, які при перспективному плануванні можуть бути використані для створення майданчиків, придатних для розміщення перевантажувальних пунктів з тривалим терміном експлуатації.

Таким чином, актуальним завданням є розробка раціональних технологічних схем розкриття робочих горизонтів підземними гірничими виробками, що погашаються і які обладнано конвеєрами, розробка раціональних і ефективних конструкцій мобільних і напівстаціонарних перевантажувальних пунктів, визначення оптимальної кількості, положення і продуктивності перевантажувальних пунктів.

Одним з варіантів розв'язання задачі може стати спільне використання системи конвеєрів, розташованих в штольнях, мобільних конвеєрів і мобільних (напівмобільних) дробарок [6; 8; 9; 10].

Раціональним варіантом є використання мобільних дробарок і системи мобільних конвеєрів, які забезпечують транспортування гірничої маси з перевантажувального пункту до конвеєра в штольні, яка усикається. Це рішення дозволяє продовжити експлуатацію існуючого обладнання і споруд ЦПТ і скоротити відстань транспортування самоскидами завдяки розміщенню дробарки в робочій зоні кар'єру.

Пропонується наступна технологічна схема: на новому концентраційному горизонті створюється екскаваторний перевантажувальний пункт (рис. 2). Як устаткування перевантажувального пункту приймаємо екскаватор (навантажувач)

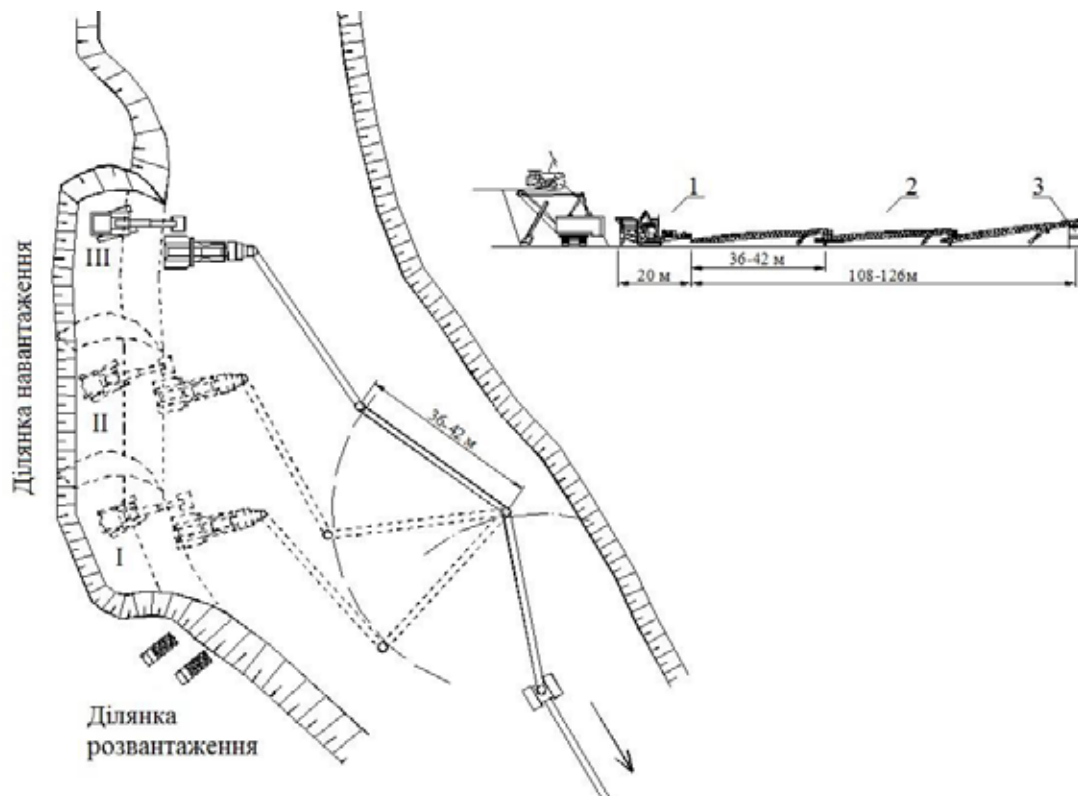


Рис. 2. Схема організації гірничих робіт на екскаваторному перевантажувальному майданчику: 1 мобільна дробарка; 2 мобільні конвеєри; 3 – полустационарний конвеєр, розташований на транспортній бермі; I, II, III – послідовні положення екскаватора, дробарки і системи конвеєрів в різні періоди роботи перевантажувального пункту. Стрілкою вказано напрям транспортування подрібненої скельної гірничої маси

з ємністю ковша 15-25^м³, мобільну дробильну установку Lokotrack LT-160 (LT-200) і три-чотири мобільних конвеєра Lokolink H12-36, які забезпечують рухливість мобільної дробарки щодо фронту гірничих робіт. По мірі переміщення екскаваторного вибою, переміщаємо мобільну дробарку і систему мобільних конвеєрів. При переході концентраційного горизонту на більш глибокі горизонти в технологічну ланку необхідно додати похилий конвеєр, що з'єднає мобільну групу і конвеєр в підземній гірничій виробці. Відмінними рисами цієї технології є: спільне використання системи мобільних і напівстационарних конвеєрів; використання перевантажувального пункту з мобільною дробильною установкою в робочій зоні глибокого кар'єру; скорочення довжини конвеєрної штольні в міру розвитку гірничих робіт.

Така конструкція перевантажувального пункту забезпечує незалежну роботу автомобільного та конвеєрного транспорту, дозволяє спростити організацію робіт по усіканню конвеєрної штольні. Недоліком схеми є додатковий екскаватор на перевантажувальному пункті. Але заміна екскаватора мобільним бункером з пластинчастим живильни-

ком зробить жорстким взаємозв'язок роботи автомобільного і конвеєрного транспорту.

Загальним недоліком конструкцій більшості перевантажувальних пунктів є необхідність перепідйому гірничої маси автосамоскидами на один уступ вище горизонту розміщення конвеєрного транспорту. Аналогічна проблема притаманна також для автомобільно-залізничного транспорту [9]. В роботі [10] наведено критичний аналіз конструкції дробильно-перевантажувального пункту з використанням приймального бункера для розвантаження самоскидів. Зазначено [10], що така конструкція зумовлює велику висоту дробильно-перевантажувального пункту і вимагає будівництва високих підпірних стінок для утримання навантажень від самоскидів. Це ускладнює і здорожує будівництво перевантажувального пункту. Крім того, велика висота перевантаження призводить до перепробігу автосамоскидів. Слепачом В.Й. [10] запропонована конструкція перевантажувального пристрою, яка характеризується експлуатаційною надійністю і відсутністю перепробігу автотранспорту. Приймальна ємність дробильно-перевантажувального пристрою виконана

у вигляді ковша. Задня стінка ковша відокремлена від нього і має форму циліндричної обичайки. Усередині циліндричної обичайки розташовується дробарка, над прийомним отвором дробарки в обичайці зроблено отвір. Ківш має можливість підніматися вгору, повертаючись навколо обичайки. Перевантажувальний пристрій може бути обладнано декількома ковшами. Запропоновано декілька конструкцій дробильно-перевантажувального пристрою, що відрізняються способом розвантаження самоскидом в ківш перевантажувального пристрою: без заїзду самоскида в ківш і з заїздом самоскида в ківш. Дробильно-перевантажувальний пристрій працює таким чином [10]: скельна гірнична маса кар'єрними автосамоскидами завантажується в ковші дробильно-перевантажувального пристрою, які за допомогою гідравлічного або канатного механізмів підйому, переміщують гірничу масу в приймальний отвір дробарки. З вихідного отвору дробарки гірнична маса завантажується на стрічковий конвеєр. До подібного рішення (рис. 3) також прийшли фахівці компанії FLSMIDTH и MAPLESOFT ENGINEERING [11].

Розглянемо можливі варіанти схеми розкриття з підземними гірничими виробками, що погашаються [12; 13]. Пропонований спосіб розкриття передбачає проходку похилих стовбурів і штولень, які оснащують конвеєрами. Штольні знаходяться під робочим бортом кар'єру. Поблизу устя штольні розташовують мобільний або напівстаціонарний перевантажувальний пункт (концентраційний горизонт). У міру розвитку гірничих робіт в кар'єрі довжина штولень буде зменшуватися, а перевантажувальний пункт переміщуватися.

Паралельно капітальній штольні розташовується штольня, яка періодично вкорочується.

Капітальна штольня обладнується стаціонарним конвеєром, штольня, що усікається, – пересувним конвеєром. Гірнична маса в камері перевантаження перевантажується з пересувного конвеєра на стаціонарний конвеєр.

Підземну гірничу виробку, яку погашають, обладнують одним перевантажним вузлом, а пересувний стрічковий конвеєр обладнують проміжним розвантажувальним пристроєм, який забезпечує перевантаження гірничої маси на стаціонарний конвеєр. Для зменшення обсягу прохідницьких і гірничо-капітальних робіт підземну гірничу виробку, яка буде погашатися, споруджують як продовження штольні зі стаціонарним конвеєром. На рис. 4.а показано фрагмент плану робочого борту кар'єру з гірничою виробкою, яка буде погашатися, яка обладнана одним перевантажним вузлом; на рис. 4.б – фрагмент плану робочого борту кар'єру з гірничою виробкою, яка буде погашатися, та яка є продовженням штольні зі стаціонарним конвеєром; на рис. 5 – поперечний розріз А А перевантажувального вузла.

Спосіб розкриття здійснюється наступним чином (рис. 4). При відпрацюванні крутопадаючого рудного тіла (1) проходять похилий стовбур (2), що переходить в штольню (3), обладнану стаціонарним конвеєром (4). Стовбур (2) і штольня (3) розташовані за межами проектного контуру кар'єра (11). З боку робочої зони кар'єру проходить штольню (5), яка погашається. Штольня (5) розташована паралельно штольні (3) і обладнана пересувним конвеєром (6). На концентраційному горизонті біля устя штольні (5) встановлюють мобільну дробильну установку (7). Перевантажувальний вузол (8) обладнують живильником (9), який встановлюють під кутом, що забезпечує

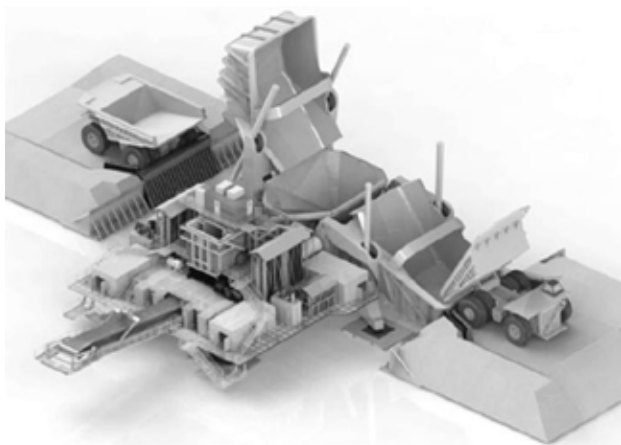


Рис. 3. Конструкція перевантажувального пункту (FLSmidth [11])

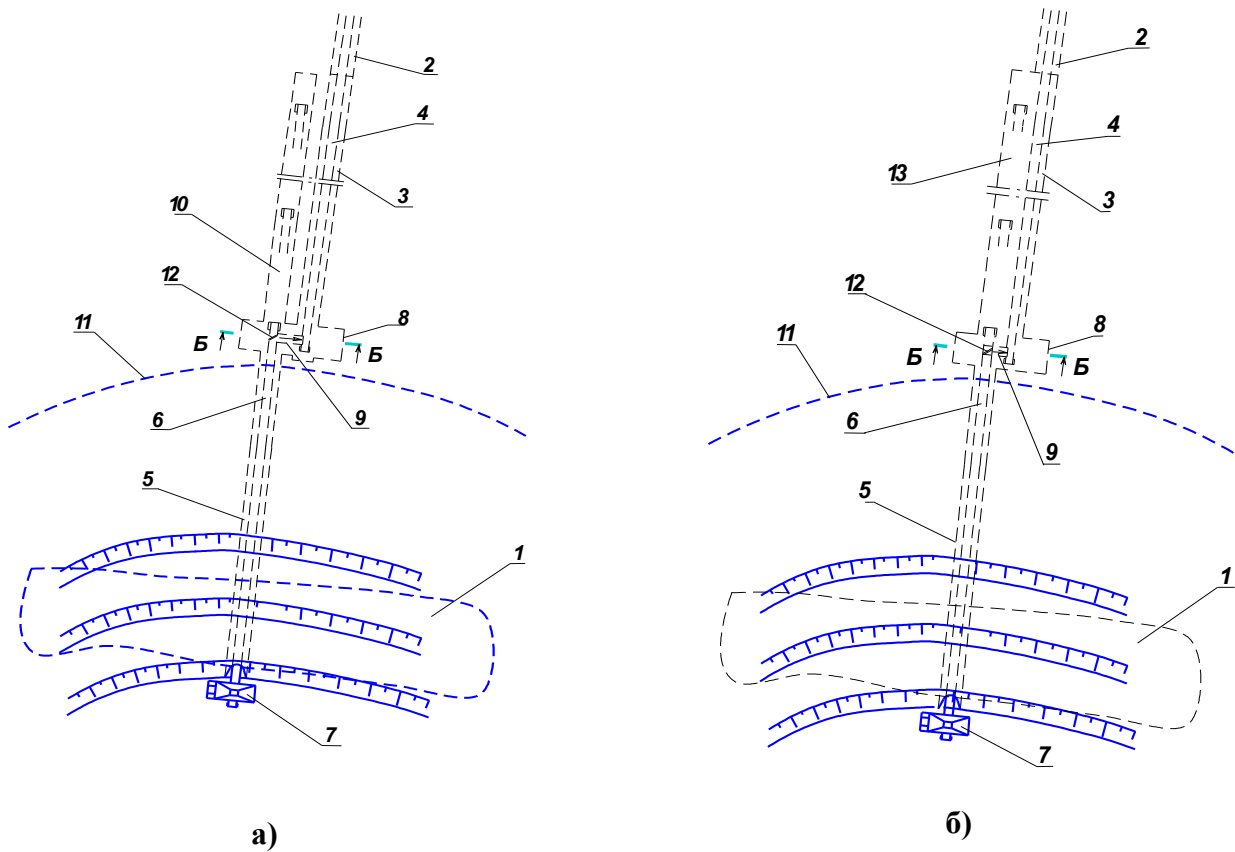


Рис. 4. Варіанти конструкції штольні, яка погашається [12; 13]

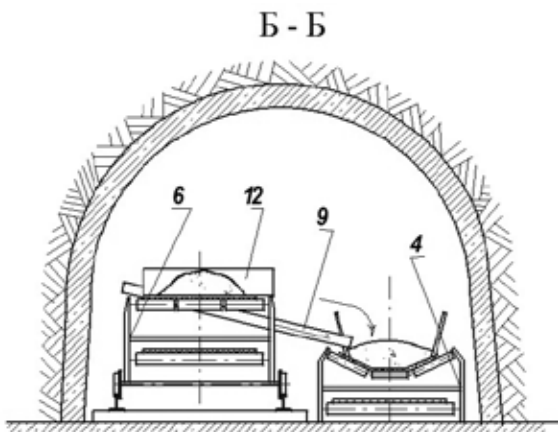


Рис. 5. Перевантажувальний вузол

перевантаження гірничої маси з пересувного конвеєра (6) на стаціонарний конвеєр (4). Перевантажувальний вузол (8) може бути обладнано проміжним розвантажувальним пристроєм, виконаним, наприклад, у вигляді плужкового зкидача 12 або двохбарабанного розвантажувального візка. У разі, коли гірничавиробка (5), яка погашається, є продовженням штольні (3) (фіг. 4б), проходять камеру (13), призначену для виведення пересувного конвеєра за межі робочої зони кар'єру.

Розкриття кар'єру здійснюється наступним чином. Гірничавиробка доставляється з робочих вибоїв на нестационарний перевантажувальний пункт. Гірничавиробка після дроблення надходить на пересувний конвеєр (6). Конвеєр (6) транспортує гірничавиробку до перевантажувального вузла (8) і перевантажує її за допомогою живильника (9) на стаціонарний конвеєр (4). При виробництві гірничавиробки в районі устя штольні (5) мобільний конвеєр (6) переміщують вглубь штольні, яка погашається (в тупик (10) або в камеру (13)), і здійснюють вибухові роботи і екскавацію гірничавиробки. Після зачистки і укріплення устя штольні (5) конвеєр (6) встановлюють у вихідне положення. Пересувний конвеєр (6) переміщують кожного разу після відпрацювання нової екскаваторної заходки в глибину штольні (5) на величину кроку її погашення (показано пунктиром). Але при цьому місце перевантаження гірничавиробки з пересувного конвеєра (6) на стаціонарний конвеєр залишається незмінним. При виробництві вибухових робіт в небезпечній близькості від конвеєра (6) його переміщують в штольню (5).

У порівнянні з традиційними для залізородних кар'єрів комплексами циклічно-потоккової техно-

логії на базі стаціонарних дробильно-перевантажувальних пунктів, транспортні схеми з використанням конвеєрних штолень, які погашаються, і мобільних перевантажувальних пунктів мають істотні технологічні переваги: можливість скорочення відстані транспортування автомобільним транспортом і, як наслідок, зниження собівартості розробки гірничої маси і потреби в автосамоскидах; висока гнучкість і мобільність технологічної схеми, що дозволяє її перебудовувати з мінімальними витратами коштів і часу; компактність обладнання; можливість використання на вузьких робочих майданчиках; незначні обмеження на виробництво вибухових робіт (контурне і щадне підривання в області штольні, яка погашається).

Розглянемо схеми комбінованого автомобільно-конвеєрного транспорту з одночасним використанням декількох концентраційних горизонтів. На прикладі одного і n концентраційних горизонтів виконаємо оптимізацію їх розміщення і визначимо сумарні витрати на автомобільно-конвеєрний транспорт. Витрати на доставку гірничої маси від перевантажувальних пунктів до основного конвеєра залежать від кількості концентраційних горизонтів, кута укосу борту кар'єра і робочих параметрів підйомного конвеєра (рис. 6).

Для всіх варіантів порівнюємо сумарні витрати на автомобільний транспорт від вибоїв до концентраційних горизонтів і на конвеєрний транспорт від перевантажувальних пунктів до підйомного конвеєра. Знаходимо сумарні витрати на автомобільний і конвеєрний транспорт (враховуємо

тільки витрати на переміщення гірничої маси автотранспортом на підйом).

Встановимо аналітичні залежності сумарної довжини конвеєрних штолень, що зв'язують концентраційні обрії кар'єра і підйомний конвеєр, який розташований в похилому стовбурі. Позначимо через H частину кар'єру по висоті, яку відпрацьовують на задану групу концентраційних горизонтів. Для спрощення завдання вважаємо, що у всіх розглянутих варіантах просторове положення осі похилого стовбура конвеєрного підйомника незмінне і мінімальна довжина штольні, яка з'єднує концентраційний горизонт і магістральний конвеєр дорівнює d , м (визначається інтенсивністю розвитку робочої зони і вимогами охорони праці).

З теорії гірничої справи [1-5; 14] відомо, що при заданій висоті робочої зони, що обслуговується одним концентраційним горизонтом, мінімальні витрати на автомобільно-конвеєрний транспорт досягаються при розташуванні перевантажувального пункту в центрі цієї зони по висоті.

Знаходимо сумарні витрати на автомобільний і конвеєрний транспорт для одного концентраційного горизонту (враховуємо тільки витрати на підйом гірничої маси):

$$Z_1 = 0,001Q \frac{H}{4i} \left(C_A + \frac{A}{q \cdot T_A} \right) + \left(0,001C_k \times Q + \frac{C_0}{T_k} \right) \times \left(d + \frac{H}{2} \left(\frac{1}{\text{tg}\alpha} - \frac{1}{\text{tg}\beta} \right) \right) + \frac{C_d}{T_d} \quad (1)$$

Розглянемо тепер m зон по вертикалі висотою H/m , обсяг автотранспортної роботи по вертикалі зменшується в m раз:

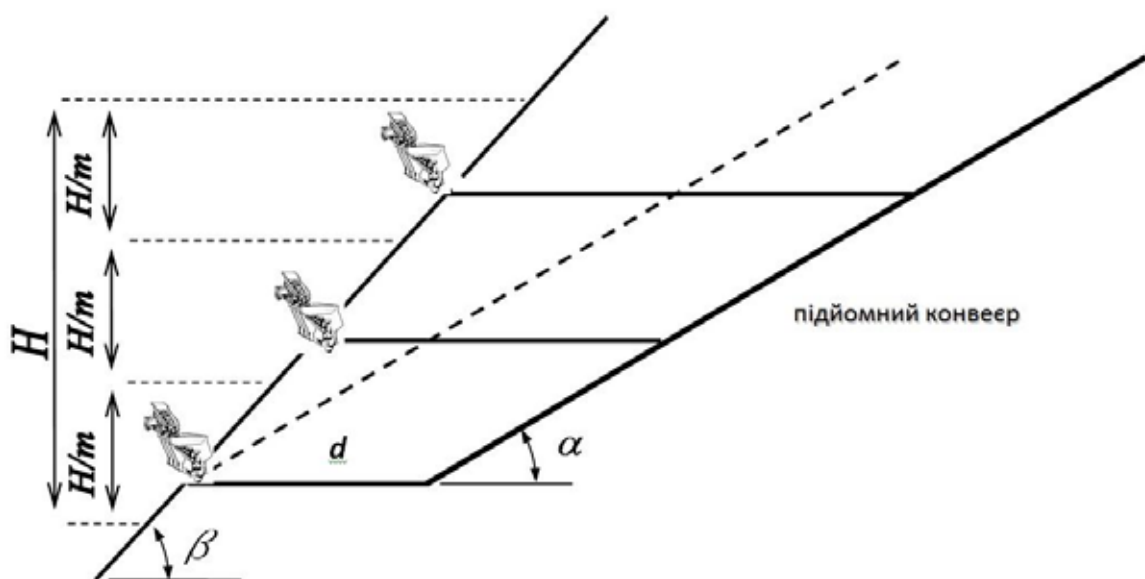


Рис. 6. Схема розкриття при використанні декількох концентраційних горизонтів (пунктирною лінією умовно відсікається мінімально допустима довжина конвеєрної штольні)

$$0,001m \frac{Q}{m} \frac{H}{4mi} = 0,001Q \frac{H}{4mi}, \text{ ткм.}$$

Довжини допоміжних конвеєрів утворюють арифметичну прогресію, їх загальна довжина становить:

$$\sum_{i=1}^m \ell_i = m \left[d + \frac{H}{2} \left(\frac{1}{\text{tg}\alpha} - \frac{1}{\text{tg}\beta} \right) \right], \text{ м.}$$

Загальна довжина конвеєрних штолень, які скорочуються, а значить і капітальні витрати на їх будівництво і оснащення конвеєрним обладнанням в m разів більше, ніж при одній точці зведення.

Загальні витрати складають:

$$Z_m = 0,001Q \frac{H}{4mi} \left(C_A + \frac{A}{q \cdot T_A} \right) + \left(0,001C_k \times Q + \frac{C_0}{T_k} m \right) \times \left(d + \frac{H}{2} \left(\frac{1}{\text{tg}\alpha} - \frac{1}{\text{tg}\beta} \right) \right) + m \frac{C_d}{T_d} \quad (2)$$

де Q – річна продуктивність області гірничих робіт, т/рік; C_A – собівартість транспортування гірничої маси автотранспортом, грн/ткм; A – вартість одного автосамоскиду, грн; q – річна продуктивність автосамоскиду, ткм/рік; T_A – нормативний термін експлуатації автосамосвала, років; H – висота області гірничих робіт, м; C_0 – капітальні витрати на один погонний метр додаткових конвеєрних виробок (враховує витрати на проходку, а також спорудження конвеєра), грн/м; T_k – період експлуатації допоміжних конвеєрних виробок, років; C_k – собівартість транспортування гірничої маси конвеєром, грн/ткм; d – довжина конвеєрної штольні, яка буде скорочуватися, м (визначається з урахуванням вимог безпеки та швидкості горизонтального посування борту кар'єру); T_d – період експлуатації дробильно-перевантажувального пункту, років; C_d – капітальні витрати на один дробильно-перевантажувальний пункт, грн; m – кількість дробильно-перевантажу-

вальних пунктів, шт; α – кут нахилу підйомного конвеєра, градус; β – кут нахилу робочого борту кар'єру, градус.

Як видно з формули 2, зі збільшенням кількості перевантажувальних пунктів витрати на автотранспорт зменшуються, а на конвеєрний транспорт збільшуються. Це свідчить про наявність оптимального значення параметра $m=m_0$, при якому сумарні витрати мінімальні.

Знаходимо оптимальну кількість концентраційних горизонтів, при якій мінімізуються загальні витрати (з рівняння $Z'_m=0$):

$$m_0 = \sqrt{\frac{0,001Q \frac{H}{4i} \left(C_A + \frac{A}{q \cdot T_A} \right)}{\frac{C_0}{T_k} \left(d + \frac{H}{2} \left(\frac{1}{\text{tg}\alpha} - \frac{1}{\text{tg}\beta} \right) \right) + \frac{C_d}{T_d}}}$$

Знаходимо сумарні витрати при оптимальній кількості концентраційних горизонтів $Z_m(m_0)$ і величину економічного ефекту:

$$F = Z_1 - Z_m(m_0) = \left[\sqrt{0,001Q \frac{H}{4i} \left(C_A + \frac{A}{q \cdot T_A} \right)} - \sqrt{\frac{C_0}{T_k} \left(d + \frac{H}{2} \left(\frac{1}{\text{tg}\alpha} - \frac{1}{\text{tg}\beta} \right) \right) + \frac{C_d}{T_d}} \right]^2$$

На рис. 7 наглядно показаний характер зміни сумарних витрат при збільшенні параметра m .

При $m=1$ сумарні витрати складають 21,4 млн.грн /рік, при $m=2$ сумарні витрати мінімальні і становлять 17,7 млн.грн /рік, а потім зростають і при $m>5$ стають більшими, ніж при одному концентраційному горизонті (зростання витрат на конвеєрний транспорт перевищує економію від зниження витрат на автотранспорт). Для продуктивності області гірничих робіт 20 млн.т/рік оптимальною буде схема з двома концентраційними горизонтами, при цьому сумарні витрати знижуються на 3,7 млн.грн / рік (17,3%). На рис. 8

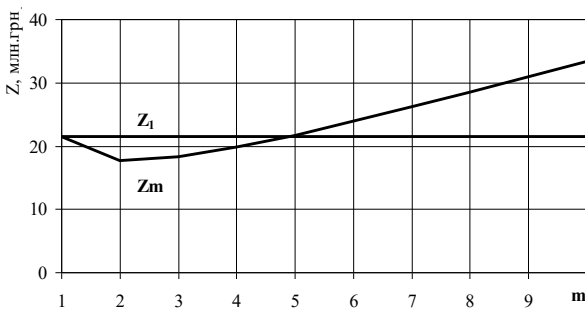


Рис. 7. Зміна сумарних витрат зі збільшенням кількості концентраційних горизонтів ($Q=20$ млн.т, $H=200$ м, $d=400$ м)

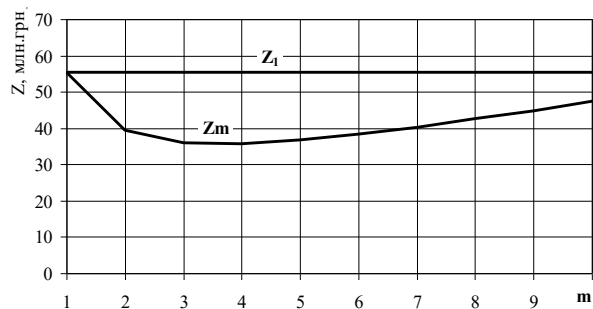


Рис. 8. Зміна сумарних витрат для різної кількості перевантажувальних пунктів ($Q=40$ млн.т, $H=300$ м, $d=400$ м)

наведено графік зміни сумарних витрат для продуктивності робочої зони 40 млн.т/рік. Мінімальні витрати досягаються при 3-5 концентраційних горизонтах і знижуються з 55,3 до 35,8 млн.грн/рік (на 19,6 млн.грн/рік, або 35%). При цьому слід зазначити, що основна частка витрат знижується при переході від одного до трьох концентраційних горизонтів, а подальше їх збільшення ($m = 4-5$) знижує сумарні витрати несуттєво (менше 1%).

Проаналізуємо характер зміни сумарних витрат (і оптимальної кількості перевантажувальних пунктів) при зміні основних параметрів робочої зони – її висоти і продуктивності. На рис. 9 показано характер зміни сумарних витрат при збільшенні висоти робочої зони і кількості концентраційних горизонтів і з рисунка наочно видно наявність оптимальної кількості перевантажувальних пунктів, при яких сумарні витрати мінімізуються. При висоті робочої зони до 70 м оптимальною буде схема з одним концентраційним горизонтом, при $H = 100-250$ м – схема з двома концентраційними горизонтами (висота ділянки, яку обслуговує один горизонт, становить 50-125 м), а при $H = 300-600$ м – $m_0 = 3$ (висота ділянки, яку обслуговує один горизонт, становить 100-200 м). Чим вище висота робочої зони (при однаковій продуктивності), тим більше відстань між концентраційними горизонтами. На рис. 10 показано характер зміни сумарних витрат при збільшенні продуктивності області гірничих робіт і кількості концентраційних горизонтів. Тут ми також бачимо

наявність оптимальної кількості перевантажувальних пунктів. При $Q < 8$ млн.т/рік оптимальною буде схема з одним концентраційним горизонтом, при $Q = 8-20$ млн.т/рік – з двома, а при $Q = 20-30$ млн.т/рік – з трьома.

Чим більше продуктивність області гірничих робіт, тим більше як абсолютна, так і відносна ефективність від використання схем з оптимальною кількістю концентраційних горизонтів (рис. 11).

При продуктивності $Q=8-20$ млн.т/рік ($m = 2$) сумарні витрати знижуються на 6,7-21,1%. А при продуктивності $Q = 20-30$ млн.т/рік ($m = 3$) сумарні витрати знижуються на 23,3-30,9%. При подальшому збільшенні продуктивності області гірничих робіт $Q = 40-60$ млн.т/рік ($m = 4$) сумарні витрати знижуються на 35,3-41,2%, $Q = 65-90$ млн.т / рік ($m = 5$) сумарні витрати знижуються на 42,4-46,3%. При продуктивності 40-90 млн.т / рік раціонально використовувати схеми з чотирма і п'ятьма концентраційними горизонтами, але основна частина витрат знижується при переході від одного до трьох концентраційних горизонтів, а подальше їх збільшення призводить до зниження витрат на 2-5% і може бути не виправдана через ускладнення технологічних схем транспортування.

Для широкого діапазону продуктивності робочої області $Q = 20-90$ млн.т / рік і оптимальної кількості концентраційних горизонтів оптимальна продуктивність одного дробильно-перевантажувального пункту становить 10-15 млн.т / рік (рис. 12).

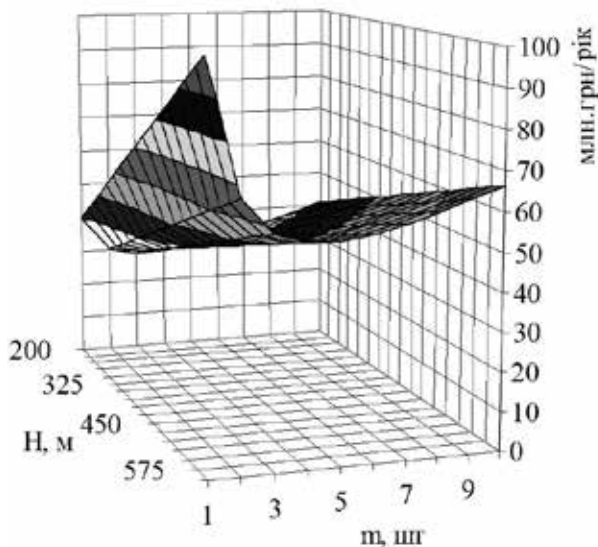


Рис. 9. Зміна сумарних витрат як функції двох змінних: висоти робочої зони (м) і кількості концентраційних горизонтів

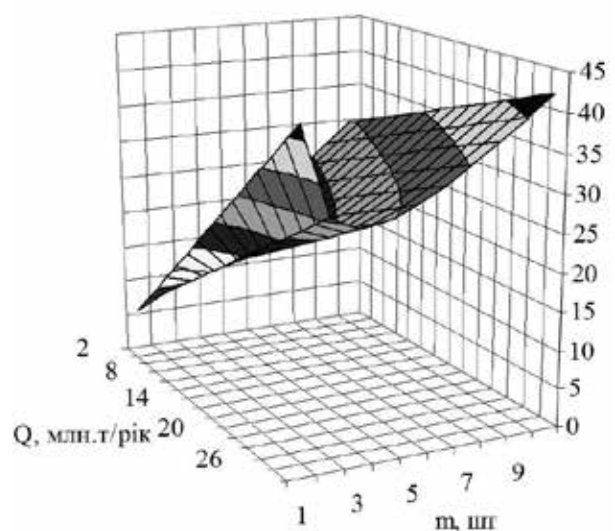


Рис. 10. Зміна сумарних витрат як функції двох змінних: продуктивності робочої зони (млн т / рік) і кількості концентраційних горизонтів (шт.)

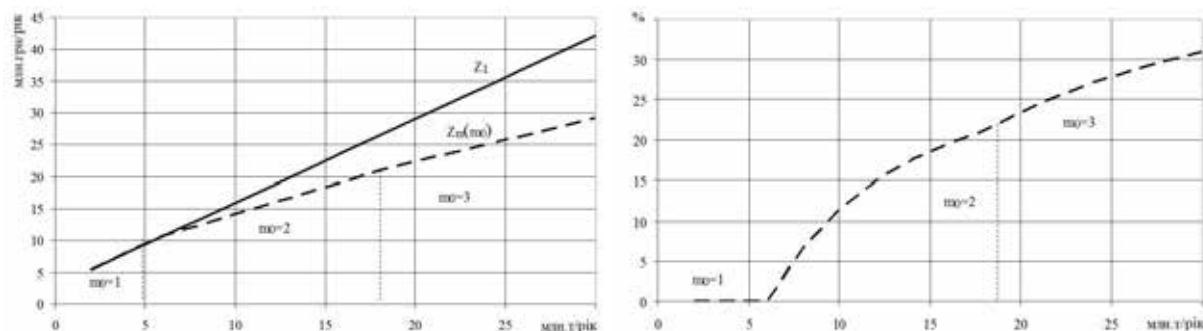


Рис. 11. Зміна абсолютних (млн.т /рік) та відносних (%) сумарних витрат для одного концентраційного горизонту (Z_1) і для оптимальної їх кількості

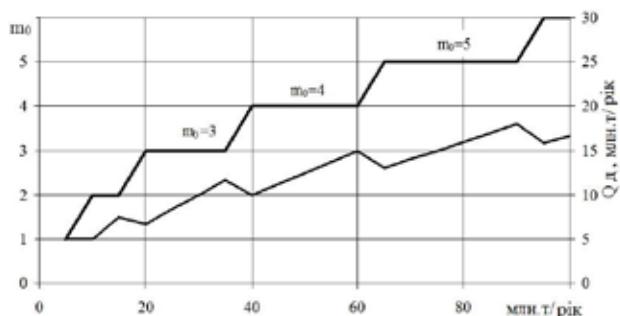


Рис. 12. Зміна оптимальної кількості концентраційних горизонтів (m_0) і продуктивності (QД) кожного з них в залежності від продуктивності робочої області

Висновки та напрямки подальших досліджень. Виконано аналіз раціональних варіантів

конструкції перевантажувального пункту і схем розкриття кар'єру з використанням штولень, які погашаються в процесі розвитку гірничих робіт.

Виконані дослідження показали можливість значного зниження витрат на автомобільно-конвеєрний транспорт при одночасному використанні оптимальної кількості концентраційних горизонтів. У подальших дослідженнях необхідно врахувати вплив на оптимальну кількість концентраційних горизонтів інших можливих варіантів розташування системи підйомних конвеєрів, конструкцій перевантажувальних пунктів, технології гірничих робіт і параметрів гірничотранспортного обладнання. Розроблена методика буде використана при економіко-математичному моделюванні розвитку схем розкриття глибоких кар'єрів.

Список літератури:

1. Технологические параметры глубоких карьеров / М.Г. Новожилов и др. М.: Недра, 1982. 175 с.
2. Циклично-поточная технология добычи руды на карьерах Кривбасса / Б.Н. Тартаковский и др. Киев: Техшкола, 1978. 175 с.
3. Дриженко А.Ю. Відкриті гірничі роботи: підручник. Д.:НГУ, 2014. 590 с.
4. Технология открытой разработки месторождений полезных ископаемых. Часть 2. Технология и комплексная механизация открытых разработок./ М.Г. Новожилов М.Г. и др. М.: Недра, 1972. 552 с.
5. Яковлев В.Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров. Новосибирск: Наука, 1989. 238 с.
6. Surface Mining (2nd edition), Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., Littleton, Colorado, 1990.
7. Дриженко А.Ю., Козенко Г.В., Рыкус А.А. Открытая разработка железных руд Украины: состояние и пути совершенствования. Полтава: Полтавский литератор, 2009. 454 с.
8. Перегрузочные пункты при автомобильно-конвейерном транспорте на рудных карьерах А.Г. Шапарь и др.; под ред. В.Т. Лашко. Днепропетровск: Поліграфіст, 2001. 138 с.
9. Слободянюк В.К. Аналіз і вдосконалення конструкцій перевантажувальних пунктів автомобільно-залізничного транспорту. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2019. Т. 30 (69), № 2 (2). С. 54-63.
10. Дробильно-перевантажувальний пристрій: пат. 18278 Україна: МПК E21C41/00. № 96062369; заявл. 17.06.96; опубл. 25.12.97, Бюл. № 6. 3 с.
11. Simulating a transfer station – Maplesoft Engineering solutions team helps FLSMIDTH develop revolutionary mining equipment. URL:<https://news.bulk-online.com/bulk-solids-handling-archive/simulating-a-transfer-station-maplesoft-engineering-solutions-team-helps-flsmidth-develop-revolutionary-mining-equipment.html> (дата звернення: 02.04.2021)

12. Спосіб розкриття при відкритій розробці родовищ корисних копалин: пат. 7187 Україна: МПК E21C41/26. № 2004108425; заявл. 18.10.04; опубл. 15.06.05, Бюл. № 6. 6 с.

13. Спосіб розкриття при відкритій розробці родовищ корисних копалин: пат. 7921 Україна: МПК E21C41/26. № 20041210358; заявл. 16.12.04; опубл. 15.07.05, Бюл. № 7. 8 с.

14. Vilkul Y., Slobodyanyuk V., Maximov I. Optimization of capacity and the number of crushing and transfer stations at the deep open pits. Metallurgical and Mining Industry. 2016. № 4. P. 116–120.

Slobodianiuk V.K., Maksymov I.I. DETERMINATION OF OPTIMAL PARAMETERS OF CYCLIC-FLOW TECHNOLOGY IN DEEP OPEN MINES

When designing the strip mining methods at the deep open pits at the stage of preliminary studies, it is necessary to determine the optimum number and succession of relocation of crushing and transfer stations while developing the open pit. This cuts the transport costs and reduces the number of dump trucks required.

As a criterion for optimization of truck and conveyor transport, an economic effect is used, being equal to the difference in the total costs of delivering the rock mass to the main conveyor with a single crushing plant and with the optimum number of crushing plants. An analytical dependence has been established to determine the optimum number of transfer points with their uniform location along the length and height of the open pit working area. The features of changes in the basic technological parameters of truck operation, depending on number of crushing and transfer stations, an open pit size and output are studied. The conditions for simultaneous use of several crushing and transfer stations, their optimum number and performance have been determined; the economic benefits of using the flowcharts with multiple transfer points have been estimated. The studies have shown that optimization of the number of transfer points results in the declining number of dump trucks by 50-60% compared to the option of using a single transfer point. An increase in number of transfer points, while saving in number of trucks enhances the reliability of transport operation in the open pit mines. Optimization of number of transfer points reduces the required capacity of each crushing and transfer plant up to 10-20 million tons / year. Reducing the required capacity of transfer points makes it possible to equip them with primary jaw crushers. The use of mobile crushing and transfer stations does not freeze the ore reserves and does not impede the development of the working area.

Key words: truck and conveyor transport, haulage level, crushing and transfer station.

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 541.18.02;546.57

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/15>

Воробйова В.І.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Васильєв Г.С.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Пилипенко І.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Скиба М.І.

Український державний хіміко-технологічний університет

КОМПОЗИТ НА ОСНОВІ КАОЛІНУ ТА НАНОЧАСТИНОК СРІБЛА, СИНТЕЗОВАНИХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВІДХОДІВ ПЕРЕРОБКИ ВИНОГРАДУ

*Представлено результати дослідження щодо синтезу нанодисперсії срібла з використанням екстракту жмиху винограду як відновника та стабілізатора. Згідно з аналізом даних рідинної хромато-мас-спектроскопії встановлено, що основними компонентами екстракту є поліфеноли та флавоноїди. Дослідження синтезованого колоїдного розчину наночастинок срібла з використанням методу динамічного та електрофоретичного світлорозсіяння показали, що система має досить високу агрегативну та седиментаційну стійкість, що підтверджується величиною електрокінетичного потенціалу $-25,31$ мВ. Водночас, згідно з аналізом, середній розмір частинок становить $50-90$ нм. Встановлено, що негативний заряд наночастинок срібла в системі зумовлений наявністю адсорбованих на їхній поверхні молекул флавоноїдів або інших сполук, які додатково виступають стабілізаторами та обумовлюють знак і величину заряду. Результати досліджень зміни загального вмісту фенольних сполук і флавоноїдів у зразку рослинного екстракту до і після відновлення іонів срібла показують, що фенольні сполуки відіграють роль відновників для іонів срібла, тоді як флавоноїди діють як стабілізуючий компонент. На основі одержаного колоїдного розчину наночастинок срібла синтезовано композит AgNPs – каолін із вмістом срібла $1,26$ % (від маси каоліну) та оцінено його антибактеріальну активність. Результати аналізу зображень скануючої електронної мікроскопії дали можливість оцінити морфологію синтезованого композиту. Встановлено, що наночастинок срібла рівномірно розподілено на поверхні багатогранних пластинок каолініту та в деяких випадках можуть утворювати агрегати. Антибактеріальний тест показав, що композит AgNPs – каолін має виражену антибактеріальну активність щодо штаму *Escherichia coli*. Показано, що синтезований композит може бути використаний як основа під час створення альтернативних функціональних матеріалів для застосування в системах знезараження води.*

Ключові слова: наночастинок срібла, зелена хімія, нанокомпозити, каолін, функціональні матеріали, антибактеріальні властивості

Постановка проблеми. Останніми роками спостерігається значний розвиток технологій синтезу функціональних матеріалів на основі наночастинок різних металів. Це підтверджується

збільшенням наукових публікацій щодо синтезу наноматеріалів і вивчення їхніх властивостей [1].

Серед сфер комерційного використання наночастинок металів можна виділити такі: функціо-

нальні покриття, електроніка, енергетика, медицина, фармацевтика, знезараження та очищення забруднених вод та багато інших напрямів. Окрім відомих методів синтезу з використанням як відновників чистих реагентів [2; 3], значний інтерес становлять методи зеленої хімії, які включають використання екстрактів рослин і мікроорганізмів, що є екологічно безпечними та нетоксичними. Сьогодні відомо багато різних методів синтезу наночастинок срібла (AgNPs) методами зеленої хімії [4].

Застосування рослин як джерел речовин-відновників для синтезу AgNPs привертає увагу завдяки швидкому, екологічному, та економічному процесу синтезу. Сьогодні досліджено велику кількість рослин для одержання екстрактів-відновників срібла на їхній основі. Відходи переробки плодівих та ягідних культур є перспективним джерелом речовин (аскорбінова кислота, поліфеноли, вуглеводи, амінокислоти, глікозиди та інші) для використання у процесах одержання наночастинок металів [5].

Використання розчинів наночастинок срібла як знезаражуючих та антибактеріальних реагентів для очищення забруднених вод стримується проблемою їх розділення після контактного методу використання. Для розв'язання такого завдання використовують іммобілізацію наночастинок на поверхні різних матеріалів, серед яких часто застосовують глинисті мінерали [6; 7]. Останні завдяки розвиненій питомій поверхні та здатності до іонного обміну є перспективними матеріалами для іммобілізації наночастинок різної природи та складу. Такий метод дає можливість отримувати матеріали (композити), які зберігають свої антибактеріальні властивості та в перспективі можуть бути використані в технологічних процесах водочищення та водопідготовки [8].

Для синтезу композитів на основі наночастинок срібла та мінералів найчастіше використовують глинисті мінерали групи монтморилоніту та каолініту. Численні роботи показують, що одним з основних факторів, який впливає на ефективність антимікробної дії, є масова частка срібла в композиті [9]. Крім того, на ефективність композиту впливають вид мінералу-носія та його характеристики (ємність обміну, тип структури), метод синтезу, концентрація та тип реагенту відновника [7; 8].

Постановка завдання. Поєднання методів зеленої хімії для синтезу наночастинок срібла з методом їх іммобілізації на поверхні шаруватих силікатів є, безумовно, актуальною проблемою.

Тому метою роботи є синтез нанокompозитів на основі AgNPs та каоліну з використанням екстракту з відходів переробки винограду та дослідження їхніх фізико-хімічних властивостей та антимікробної дії.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Для проведення досліджень було використано такі реагенти та матеріали: нітрат срібла (хч), каолін мокрою збагачення (Глуховецьке родовище, Вінницька обл., Україна) та подрібнений сухий жмих винограду сорту «Гарначя Тинта». Перед екстракцією жмих піддавали подрібненню до частинок розміром 0,5 мм для підвищення ефективності масового перенесення активних компонентів із рослинного матеріалу до розчинника.

Екстракцію проводили дистильованою водою, беручи на одну масову частку сухої сировини десять об'ємів розчинника. Для підвищення ефективності процесу екстракції використовували ультразвукову ванну з частотою 27 кГц потужністю 40 Вт, що призводить до виникнення ультразвукової кавітації в розчині та інтенсифікації процесу екстракції. Тривалість екстракції становила дві години, водночас розчин постійно продувався повітрям. Як було показано в попередніх роботах [10; 11], продування повітрям підвищує відновні властивості рослинного екстракту. У кінці екстракції температура піднімалася до 40 °С завдяки дії ультразвуку. Отриману суспензію фільтрували через паперовий фільтр.

Дослідження компонентного складу екстракту жмиху винограду (ЕЖВ) проводили методом рідинної хроматографії – маспектрометрії. Використовувався спектрометр Finnigan MAT (SanJose, CA, USA) SpectraSystemP4000 в поєднанні з діодним детектором UV6000LP. Аналіз було проведено на рідинній колонці 4 мкм (Macherey-Nagel, Germany) з картриджем RP-18, 125×2 мм. Аналізи проводили з використанням іонізаційного розпилення на електричному полі (ESI) в режимі позитивного іона з набором 12 і 50 еВ, напругою капіляра на 4 кВ, напругою джерела 4,9 кВ, напругою детектора за 650 В і температури зонда 400 °С. Елюент А та елюент В становили 2,5 % оцтової кислоти та метанолу відповідно. Швидкість потоку становила 0,33 мл/хв, а використовувана програма елюції: 0–5 хв, 0 % В; 5–30 хв, 100 % В; 30–35 хв, 100 % В.

Загальний вміст фенольних сполук та флавоноїдів (ЗВФС) визначали спектрофотометричним методом (за реактивом Фоліна–Чокальтеу) в перерахунку на галову кислоту [12]. До 0,1 мл екстракту зразка додавали 3,1 мл дистильованої води, після

чого додавали 0,2 мл реагенту Фоліна-Чокальтеу й витримували протягом 6 хвилин. Після цього додавали 0,6 мл 20 % розчину Na_2CO_3 та інкубували/витримували впродовж 1 години за кімнатної температури, до утворення насиченого синього кольору. Через 20 хв вимірювали оптичну густину за 760 нм, а результати виражали у мг еквіваленту галової кислоти. Моногідрат галової кислоти використовували як стандарт для калібрувальної кривої. Під час визначення загального вмісту флавоноїдів до 0,5 мл екстракту додавали 0,1 мл 10 % хлориду алюмінію, 0,1 мл 1 М ацетату калію ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{K}$) та 4,3 мл дистильованої води та інкубували протягом 30 хвилин, після чого вимірювали поглинання за 415 нм за допомогою спектрофотометра ультрафіолетового діапазону (спектрофотометр UV-5800PC, FRU, Китай). Кінцеві значення виражали в мг еквівалентах кверцетину.

Для синтезу наночастинок срібла (AgNPs) використовували 10–30 мл екстракту та відповідний об'єм розчину нітрату срібла з концентрацією 0,01 моль/л. Змішування проводили за 80 °С та витримували 30 хв, після чого охолоджували до кімнатної температури.

Для характеристики сформованих наночастинок срібла реакційну суміш після синтезу аналізували за допомогою спектрофотометрії. Спектри колоїдних розчинів аналізували на спектрофотометрі UV-1800 (корпорація Shimadzu, Токіо, Японія) з використанням кварцових кювет у діапазоні довжин хвиль $\lambda = 200\text{--}800$ нм. Піки за $\lambda = 260\text{--}335$ нм свідчать про формування кластерів

срібла різної структури, а пік за $\lambda = 400\text{--}440$ нм про формування AgNPs. Розподіл розмірів частинок визначали за допомогою аналізатора розмірів частинок Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments Ltd, United Kingdom). Морфологію та розмір частинок оцінювали за допомогою скануючого електронного мікроскопа (SEM) Tescan Mira 3 LM.

Для синтезу зразків композиту AgNPs – каолін готували суспензію каоліну з масовою часткою каоліну 10 %, яку додатково обробляли на ультразвуковому диспергаторі УЗДН-2Т протягом 10 хв. До отриманої суспензії додавали розчин AgNPs до досягнення співвідношення 2 ммоль Ag/1 г каоліну та витримували під час постійного перемішування протягом 2 годин. Після цього тверду фазу відділяли центрифугуванням, висушували за 80 С, подрібнювали та просіювали крізь сито 0,2 мм.

Згідно з отриманими даними хромато-мас-спектрального аналізу в складі водного екстракту жмиху винограду в індивідуальному стані виділено та ідентифіковано близько 32 сполук (таблиця 1), серед яких домінують фенольні кислоти, а саме: галова кислота (5,1 %), 3,4-дигідроксибензойна кислота (4,5 %), 4-гідроксибензойна кислота (3,2 %), 3,4-діоксикорична кислота (2,2 %), антоціани (34 %), що структурно являють собою глікозиди. Група флавоноїдів представлена кверцетином та його похідним кверцетин-3-О-глюкозидом. У значній кількості наявні: катехін (8,4 %), епікатехіни (7,8 %) та епікатехінгалат (4,2 %).

Таблиця 1

Компонентний склад водного екстракту жмиху винограду

Назва сполуки	Час утримання, хв	Відсотковий вміст, %
1	2	3
<i>Антоціани</i>		
Дельфінідин-3-О-глікозид	9,7	1,2
Ціанідин-3-О-глікозид	12,8	1,1
Петунідин-3-О-глікозид	13,2	1,5
Пеонідин-3-О-глікозид	15,6	0,7
Мальвідин-3-О-глікозид	16,8	1,2
Дельфінідин-3-О-(ацетил-глікозид)	18,2	1,4
Петунідин-3-О-(ацетил-глікозид)	22,3	1,5
Пеонідин-3-О-(ацетил-глікозид)	24,6	1,6
Мальвідин-3-О-(ацетил-глікозид)	25,8	1,3
<i>Фенольні кислоти</i>		
Галова кислота	5,9	5,1
Гідроксиметилфурфураль	7,7	4,7
3,4-дигідроксибензойна кислота	12,7	4,5
(2R,3R)-2-[(E)-3-(3,4-Дигідроксифеніл)про-2-енол]окси-3-гідроксибутандіонова кислота	13,8	2,3

1	2	3
4-Гідроксибензойна кислота	18,0	3,2
(2R,3R)-2-Гідрокси-3-(((E)-3-(4-гідроксифеніл)акроїл)окси)сукцинова кислота	20,8	4,1
3,4-диоксикорична кислота (кавова кислота)	23,4	2,2
2-гідрокси-3-(((2E)-3-(4-гідрокси-3-метоксифеніл)проп-2-еноїл)окси)бутандіонова кислота (фертарова кислота)	24,3	4,2
3-метокси-4-гідроксикорична кислота		2,3
4-гідрокси-3,5-діметоксибензойна кислота (бузкова кислота)	25,7	3,6
(2E)-3-(4-гідроксифеніл) проп-2-еноєва кислота (пара-кумарова кислота)	27,8	3,3
3,5-диметокси-4-гідроксикорична кислота (синапінова кислота)	27,1	2,4
3-метокси-4-гідроксикорична кислота (ферулова кислота)	27,5	1,8
<i>Антоксантини та стилбени</i>		
Процианідин В1	13,7	2,3
Катехін	17,5	8,4
Процианідин В2	21,4	2,9
Епікатехін	25,4	7,8
Епікатехінгалат	41,9	4,2
Кверцетин-3-О-глюкозид	50,4	1,6
Кемпферол 3-О-глюкозид	55,6	2,9
Транс-Резвератрол	59,2	4,2
Кверцетин	66,2	3,6
Кемпферол	71	3,6

Отримані результати компонентного складу свідчать, що рослинний екстракт містить значу кількість поліфенольних сполук, а отже потенційно є перспективним відновником для синтезу нанодисперсій срібла та стабілізатором для поліпшення їхньої агрегативної та седиментаційної стійкості.

Визначено загальний вміст фенольних сполук (ЗВФС) та флаваноїдів (ЗВФ) екстракту жмиху винограду (рис. 1). Отримані дані свідчать, що в екстракті загальний вміст фенольних сполук становить 64,2 мг/г еквівалента галоївої кислоти (ГК), а загальний вміст флаваноїдів – 48,9 мг/г еквівалента кверцетину. Кількості ЗВФС та ЗВФ в системі ЕЖВ – AgNPs після синтезу становлять 15,5 мг/г еквівалента галоївої кислоти і 31,8 мг/г еквівалента кверцетину, що відповідає 76 % і 35 % вмісту фенольних сполук і флаваноїдів в екстракті. Зміна співвідношення між ЗВФС і ЗВФ у вихідному екстракті та реакційній суміші ЕЖВ – AgNPs підтверджує роль поліфенольних сполук як відновників у процесі утворення наночастинок срібла з іонів Ag⁺.

Метод молекулярної абсорбційної спектроскопії у видимій і УФ ділянках дав змогу зареєструвати смугу поверхнево плазмонного резонансу, яка свідчить про наявність у розчині наночастинок срібла (рис. 2).

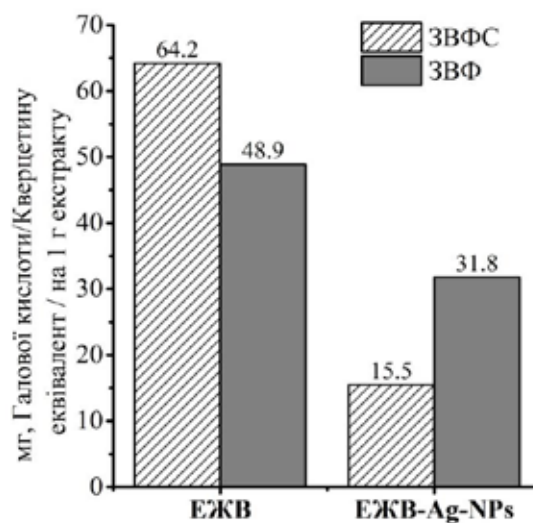


Рис. 1. Загальний вміст фенольних сполук (ЗВФС) та флаваноїдів (ЗВФ) водного екстракту жмиху винограду (ЕЖВ) та реакційної суміші ЕЖВ – AgNPs

Для отримання більш детальної інформації про стан поверхні наночастинок срібла в колоїдному розчині було визначено величину ζ потенціалу, яка становила -25,31 мВ. Негативний заряд наночастинок срібла зумовлений, імовірно, наявністю адсорбованих на їхній поверхні молекул флаваноїдів та інших сполук, які додатково висту-

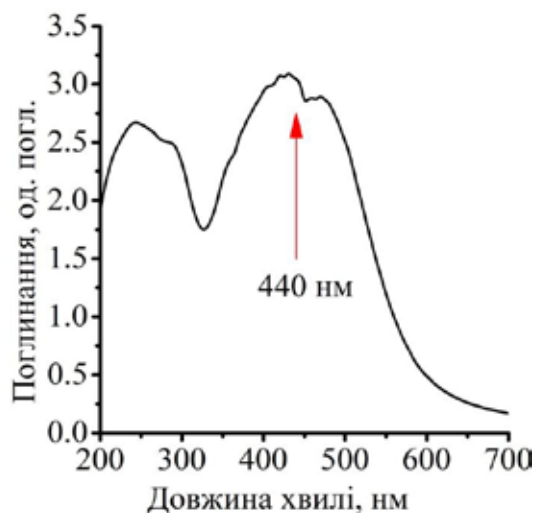


Рис. 2. Спектри поглинання ЕЖВ – AgNPs після 30 хв реакції, що показує характерну поверхнево-плазмонну резонансну смугу за 440 нм

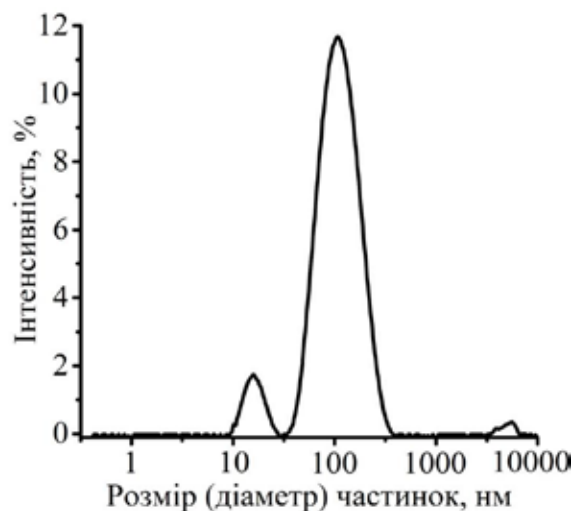


Рис. 3. Динамічний розподіл світлорозсіювання нанодисперсії ЕЖВ – AgNPs

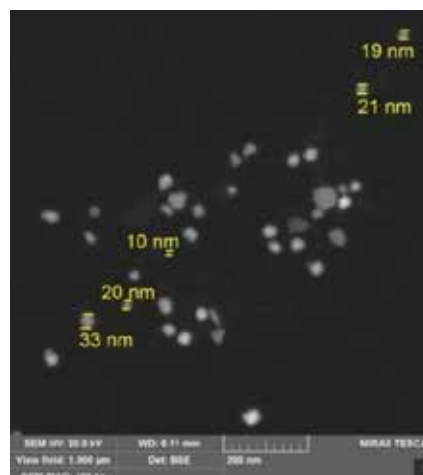
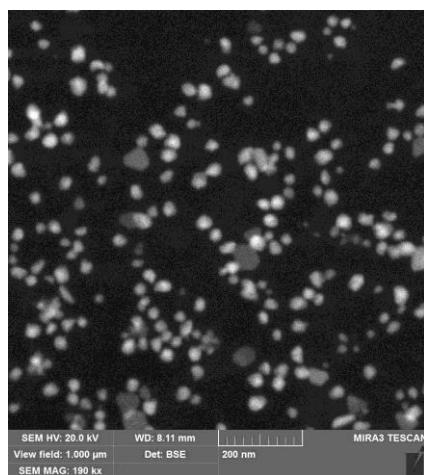


Рис. 4. SEM зображення нанодисперсії срібла ЕЖВ-AgNPs

пають стабілізаторами системи [13; 14]. Методом динамічного світлорозсіяння визначено середній розмір частинок, який становить $34,68 \pm 4,95$ нм. Загальний вигляд динамічного розподілу представлено на рисунку 3. Результати показали бімодальний розподіл, який має пікові інтенсивності приблизно на 15 і 100 нм.

Результати SEM-аналізу представлено на рисунку 4. SEM-аналіз надає додаткову інформацію про морфологію синтезованих AgNPs. Виявлено утворення окремих наночастинок срібла. Результати мікроскопічних досліджень щодо розміру наночастинок узгоджуються з даними, отриманими методом динамічного світлорозсіяння.

Показано, що наночастинок срібла, одержані шляхом відновлення екстрактом жмиху винограду, мають сферичну форму та розмір 50–90 нм,

що дає змогу запропонувати їх для створення композитів.

Методом скануючої електронної мікроскопії досліджено морфологію поверхні синтезованого композиту AgNPs – каолін (рис. 5). Встановлено, що композит має характерну морфологію поверхні, яка подібна до вихідного каоліну. Водночас спостерігаються характерні шари та угруповання елементарних структурних пакетів мінералу [15]. З аналізу SEM-знімків синтезованого композиту видно, що сферичні частинки нанорозмірного срібла відносно рівномірно розподілені у вигляді окремих скупчень (агломерації містяться на поверхні пластівців каоліну), що є закономірним для таких систем. Загалом із літературних даних відомо, що нанодисперсії срібла демонструють тенденцію до агломерації під час форму-

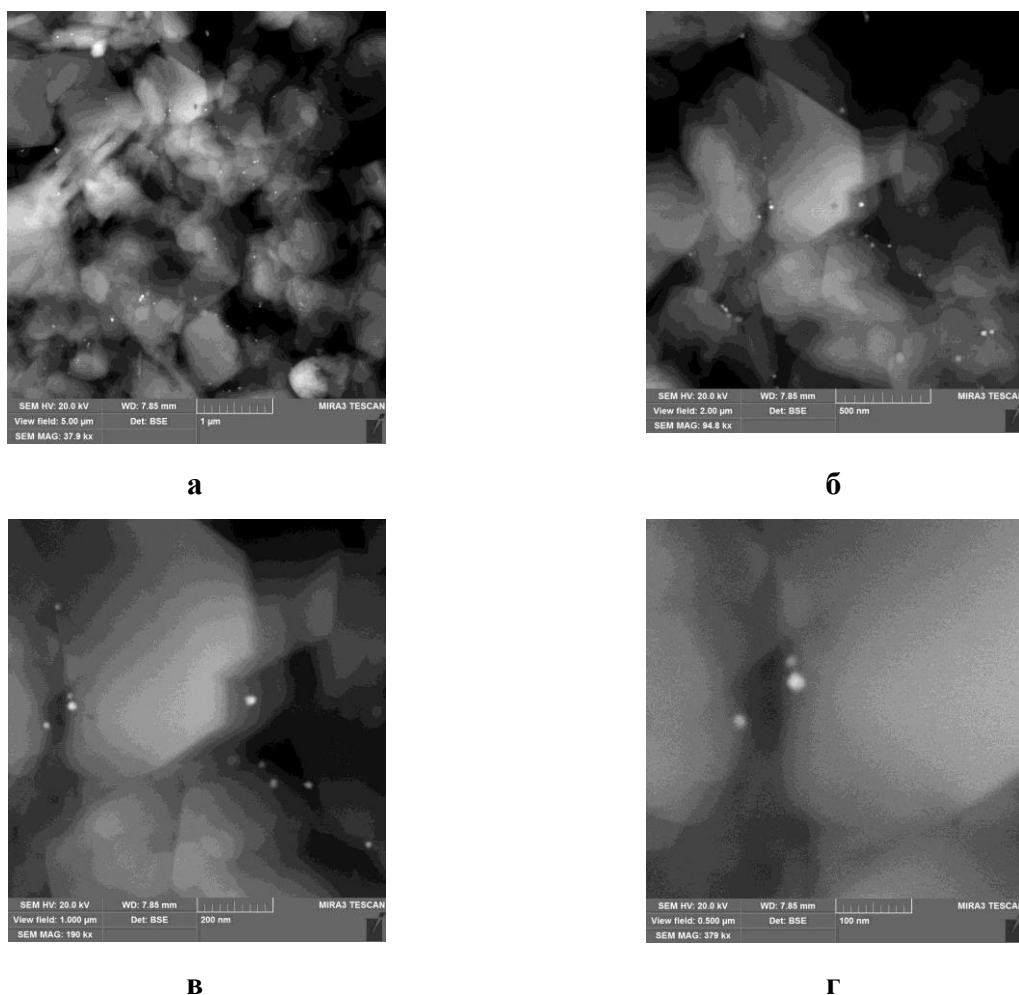


Рис. 5. SEM-зображення композиту AgNPs – каолін під час збільшення:
a – 1 мкм; *б* – 500 нм; *в* – 200 нм, *г* – 100 нм

вання композитних матеріалів через малі розміри та нерівномірне співвідношення поверхні каоліну до концентрації AgNPs.

Результати елементного аналізу поверхні (табл. 2) за допомогою енергодисперсійної спектроскопії свідчать про наявність срібла в досліджуваних зразках композиту (рис. 6).

Оцінка антибактеріальних властивостей синтезованого матеріалу із застосуванням стандартного диско-дифузійного методу вказує на досить високу ефективність антибактеріальної дії композиту AgNPs – каолін. На відміну від вихідного мінералу (рис. 7а), який не проявляє антимікробної дії, у випадку композиту (рис. 7б) спостерігається наявність зон пригнічення росту мікроорганізмів, що свідчить про його активну антибактеріальну дію.

Отже, поєднуючи високу ефективність сорбції каоліну та антибактеріальні властивості, синтезований композит може бути використаний у процесах очищення та знезараження забруднених вод [13].

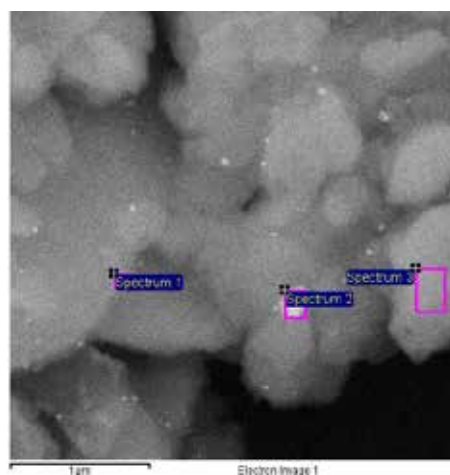
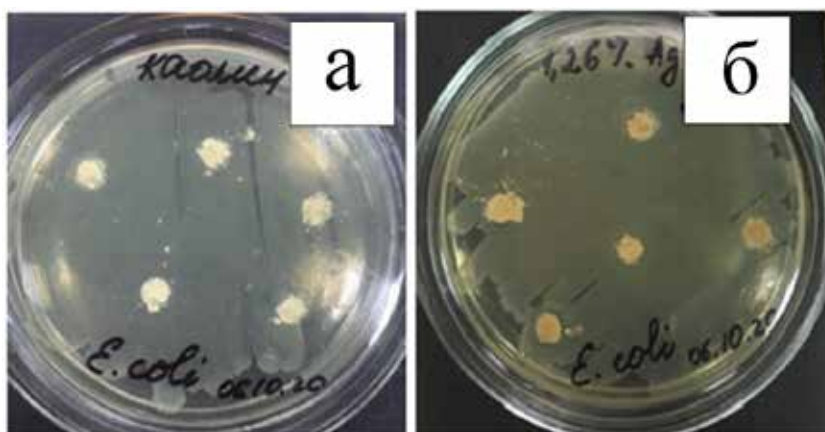


Рис. 6. SEM-зображення композиту AgNPs – каолін та елементний аналіз

Висновки. Отримано нанодисперсії срібла ЕЖВ – AgNPs під час використання екстракту жмиху винограду як відновника та стабілізатора. Згідно з аналізом рідинної хромато-маспектрос-

Відсоткова масова частка елементів у композиті AgNPs – каолін

Номер області спектру	O	Al	Si	P	Ag	Сума
Spectrum 1	59,08	17,03	17,73		6,16	100,00
Spectrum 2	61,74	18,45	16,30	2,61	0,90	100,00
Spectrum 3	62,41	18,17	19,42		0,00	100,00

Рис. 7. Результати визначення антибактеріальних властивостей каоліну (а) та композиту AgNPs – каолін (б) відносно *Escherichia coli*

копії основними компонентами екстракту є поліфеноли та флавоноїди. Методом динамічного та електрофоретичного світлорозсіяння визначено, що середній розмір частинок становить 50–90 нм. Колоїдний розчин нанодисперсії срібла є стабільним (електрокінетичний потенціал дорівнює -25,31 мВ). На основі результатів зміни загального вмісту фенольних сполук і флавоноїдів у зразка рослинного екстракту до і після відновлення іонів Ag^+ можна зробити висновок, що

фенольні сполуки сприяють відновленню іонів срібла, тоді як флавоноїди діють як стабілізуючий компонент. Отримано композит AgNPs – каолін із вмістом срібла 1,26 % та оцінено його антибактеріальну активність. Антибактеріальний тест показав, що композит AgNPs – каолін має антибактеріальну активність щодо штаму *Escherichia coli*. Синтезований композит може бути використано як перспективний матеріал у системах водопідготовки.

Список літератури:

1. Kumar H., Venkatesh N., Bhowmik H., Kuila A. Metallic nanoparticle: a review. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*. 2018. Vol. 4. № 2. P. 3765–3775.
2. Mavani K., Shah M. Synthesis of silver nanoparticles by using sodium borohydride as a reducing agent. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2013. Vol. 2. № 3. P. 1–5.
3. Tatarchuk V.V., Sergievskaya A.P., Korda T.M., Druzhinina I.A., Zaikovskiy V.I. Kinetic factors in the synthesis of silver nanoparticles by reduction of Ag^+ with hydrazine in reverse micelles of triton N-42. *Chemistry of Materials*. 2013. Vol. 25. № 18. P. 3570–3579.
4. Srikar S.K., Giri D.D., Pal D.B., Mishra P.K., Upadhyay S.N. Green synthesis of silver nanoparticles: a review. *Green and Sustainable Chemistry*. 2016. Vol. 6. № 1. P. 34–56.
5. Ahmed S., Ahmad M., Swami B.L., Ikram S. A review on plants extract mediated synthesis of silver nanoparticles for antimicrobial applications: a green expertise. *Journal of advanced research*. 2016. Vol. 7. № 1. P. 17–28.
6. Ozer L.Y., Yusuf A., Uratani J.M., Cabal B., Diaz L.A., Torrecillas R., Palmisano G. Water microbial disinfection via supported nAg/Kaolin in a fixed-bed reactor configuration. *Applied Clay Science*. 2020. Vol. 184. P. 105387.
7. Cabal B., Torrecillas R., Malpartida F., Moya J.S. Heterogeneous precipitation of silver nanoparticles on kaolinite plates. *Nanotechnology*. 2010. Vol. 21. № 47. P. 475705.
8. Roy A., Joshi M., Butola B.S., Malhotra S. Antimicrobial and toxicological behavior of montmorillonite immobilized metal nanoparticles. *Materials Science and Engineering: C*. 2018. Vol. 93. P. 704–715.

9. Liu J., Hwang Y.S., Lenhart J.J. Heteroaggregation of bare silver nanoparticles with clay minerals. *Environmental Science: Nano*. 2015. Vol. 2. № 5. С. 528–540.
10. Vasyliiev G., Vorobyova V., Skiba M., Khrokalo L. Green synthesis of silver nanoparticles using waste products (apricot and black currant pomace) aqueous extracts and their characterization. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 2020. P. 4505787.
11. Vorobyova V., Vasyliiev G., Skiba M. Eco-friendly “green” synthesis of silver nanoparticles with the black currant pomace extract and its antibacterial, electrochemical, and antioxidant activity. *Applied Nanoscience*. 2020. Vol. 10. № 12. P. 4523–4534.
12. Arvouet-Grand A., Vennat B.N., Pourrat A., Legret P. Standardization of propolis extract and identification of principal constituents. *Journal de pharmacie de Belgique*. 1994. Vol. 49. № 6. P. 462–468.
13. Guizellini F.C., Franzin B.T., Silva M.A., Abra L.M., Hojo O., Pastre I.A., Fertonani F.L. Thermal, morphostructural and spectrometric characterization of an antibacterial kaolinite-based filter modified with silver for water treatment. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2020. № 143. P. 47–60.
14. Alfuraydi A.A., Devanesan S., Al-Ansari M., AlSalhi M.S., Ranjitsingh A.J. Eco-friendly green synthesis of silver nanoparticles from the sesame oil cake and its potential anticancer and antimicrobial activities. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2019. № 192. P. 83–89.
15. Zhang Y., Liu Q., Xiang J., Zhang S., Frost R.L. Insight into morphology and structure of different particle sized kaolinites with same origin. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2014. Vol. 426. P. 99–106.

Vorobyova V.I., Vasyliiev G.S., Pylypenko I.V., Skiba M.I. COMPOSITE BASED ON KAOLIN AND SILVER NANOPARTICLES SYNTHESIZED USING GRAPE PROCESSING WASTE

*The results of research on the synthesis of nanodispersion of silver using grape pomace extract as a reducing agent and stabilizer are presented. According to the analysis of liquid chromatography-mass spectroscopy data, it was found that the main components of the extract are polyphenols and flavonoids. Studies of the synthesized colloidal solution of silver nanoparticles by using dynamic and electrophoretic light scattering methods showed that the system has a sufficiently high aggregative and sedimentation resistance, which is confirmed by the value of the electrokinetic potential -25.31 mV. In this case, according to the analysis, the average particle size is 50–90 nm. It was found that the negative charge of silver nanoparticles in the system is due to the presence of molecules of flavonoids or other compounds adsorbed on their surface, which additionally act as stabilizers and determine the sign and magnitude of the charge. The results of studies of changes in the total content of phenolic compounds and flavonoids in the sample of plant extract before and after the reduction of silver ions show that phenolic compounds play the role of reducing agents for silver ions, while flavonoids act as a stabilizing component. Based on the obtained colloidal solution of silver nanoparticles, a composite of AgNPs – kaolin with a silver content of 1.26 % (by weight of kaolin) was synthesized and its antibacterial activity was evaluated. The results of the analysis of microscopic images by the scanning electron method allowed us to evaluate the morphology of the synthesized composite. It has been established that silver nanoparticles are evenly distributed on the surface of multifaceted kaolinite plates and, in some cases, can form aggregates. Antibacterial test showed that the composite AgNPs – kaolin has a pronounced antibacterial activity against the *Escherichia coli* strain. It is shown that the synthesized composite can be used as a basis in the creation of alternative functional materials for use in water disinfection systems.*

Key words: silver nanoparticles, green chemistry, nanocomposites, kaolin, functional materials, antibacterial properties.

УДК 631.8

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/16>**Кричковська Л.В.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Лисак П.Ю.

Навчально-науковий інститут хімічних технологій та інженерії

Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Бобро М.А.

Харківський національний аграрний університет імені В.В. Докучаєва

Дубоносів В.Л.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

РОЗРОБКА РІСТСТИМУЛЮЮЧИХ ПРЕПАРАТІВ НА ОСНОВІ БІОТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИРОВИНИ

Робота присвячена розробці препаратів із біодобавками для підвищення врожайності зернових культур для харчового виробництва, розробці способів і технологій отримання ефективних препаратів, що містять мікроелементи (мідь, цинк, кобальт та ін.), фізіологічно активні речовини (наноструктури – фулерени, гумати), отриманню нових добрив на їх основі, розробці методу отримання малотоксичних, ефективних детоксикантів для насіння рослин. Важливу роль в оптимізації продукційного процесу відіграє своєчасна передпосівна обробка насінневого матеріалу препаратами, що забезпечують підвищення захисту насіння від шкідників і патогенів, а також збільшення конкурентоспроможності рослин на ранніх етапах розвитку шляхом постачання необхідними джерелами живлення і енергії.

Оскільки регулятори росту рослин позитивно впливають на збільшення врожайності сільськогосподарських культур і на якість сільськогосподарської продукції в процесі обробки рослин препаратами-регуляторами росту, збільшується вміст білка і клейковини в зерні, поліпшуються борошно-хлібопекарські властивості, збільшується вихід сухих речовин, олій з насіння, зростає вміст цукру, вітаміну С, каротину, крохмалю, знижується вміст нітратів. Робота в цьому напрямі є актуальною. Такий напрям сприяє розробці технологій нових продуктів мікробної біоконверсії рослинної сировини зі здатністю стимулювати ріст рослин. Таким чином, можна завершити формування концепції комплексного виробництва мікробних нутрієнтів, дослідити механізми стимулюючої дії відходів дріжджових продуктів на ріст рослин, розробити принципи отримання таких нутрієнтів та адаптувати їх до сучасних біотехнологічних виробництв.

У роботі було досліджено рістстимулюючу активність препаратів «Гумір-1» та «Гумір-2», створених на основі гідратованих фулеренів (HuFn); $(\text{C}_{60}(\text{H}_2\text{O})_n$), гуматів і відходів дріжджового виробництва штаму *Saccharomyces cerevisiae*. Введення цих компонентів у технологію рослинництва вимагає ретельного вивчення властивостей препаратів на їх основі в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах зони і на різних видах насіння. Це слугувало підставою для проведення наших досліджень. Об'єктом досліджень було вибрано насіння гірчиці сорту «Талісман».

Ключові слова: рістстимулюючі препарати, гідратовані фулерени, гумати, гірчиця, відходи дріжджового виробництва.

Постановка проблеми. Загальні принципи використання регуляторів росту в сільському господарстві вперше в досить повному вигляді сформульовані багатьма вченими. За одним із найбільш важливих із них, «необхідна правильна оцінка умов зростання, бо регулятори росту не можуть замінити необхідні фактори зовнішнього середовища, а лише допомагають рослині ефективніше їх використовувати».

На відміну від індивідуальних органічних сполук, гумінові речовини, а також продукти їх лужно-кислотної деструкції, являють собою суміш хімічних сполук. При цьому гумінові речовини в активній взаємодії, взаємозв'язку, можливо, взаємоперетворенні, а також взаємовідносинах із навколишнім середовищем створюють досить складну систему і мають функцію саморегуляції, самопідтримки і самовідновлення.

Гумінові речовини полегшують надходження і пересування поживних речовин у культурні рослини. Внаслідок цього у сільськогосподарських культурах оптимізується фотосинтез, рослини повніше використовують внесені в ґрунт добрива. Це дозволяє їм ефективно реалізувати потенційну продуктивність і підвищує стійкість до захворювань.

Численні дослідження підтвердили здатність гуматів до прямого збільшення врожайності практично всіх сільськогосподарських культур [1, с. 152; 2, с. 112].

Нині створено багато нових природних і хімічних сполук, що володіють рістрегулюючою активністю, до яких пред'являються підвищені вимоги. У них не має бути токсичних метаболітів і мутагенних властивостей, шкідливого впливу на ґрунтову мікрофлору і мешканців водойм, не має створюватися екологічного навантаження на навколишнє середовище.

Багаторічний досвід застосування гуматів свідчить, що їх присутність важлива для всіх стадій розвитку рослин, особливо на ранніх етапах [3, с. 51].

Наприклад, гумат «Родючість» справляв позитивний вплив на якість зерна ярої пшениці. Вміст білка в зерні зріс на 0,6–1,3%, клейковини – на 2,8–3,8%, маса 1000 зерен – на 2,1–3,9. Все вищевикладене узгоджується з даними інших авторів [4, с. 40].

Постановка завдання. Мета роботи – дослідити дію розроблених на основі гуматів, гідратованих фулеренів і відходів дріжджового виробництва як рістстимулюючих компонентів на прикладі насіння гірчиці сорту «Талісман».

Виклад основного матеріалу. На базі дослідного господарства ін-ту с/г ім. Докучаєва Харківської області гуматовміщуючі препарати під умовною назвою «Гумір-1» та «Гумір-2» застосовували для обробки насіння гірчиці перед посівом. До складу препарату, основою якого були гумати, вводили як рідку фазу відходи дріжджового

виробництва і гідратованих фулеренів у певній концентрації (0,01–1100 мг/л води).

Встановлено, що прямий ефект препаратів «Гумір» пов'язаний із впливом не тільки гумінових кислот, але і БАР, введених у препарат, на проникність клітинних мембран для біологічно активних речовин та синтезу білків.

Було проведено ряд експериментів із насінням гірчиці сорту «Талісман», що вирощувалась у чашках Петрі в лабораторних умовах (3 повтори в кожній серії с 20.04 по 26.04.2018 р). Як контроль було вибрано відомі рістстимулюючі препарати «Вимпел» та «Байкал», а також необроблене насіння. Крім того, проводили порівняння з насінням, обробленим тільки гідратованими фулеренами (H_yFn);(C₆₀(H₂O)_n) та розчином із відходів дріжджового виробництва (з використанням штаму *Saccharomyces cerevisiae* (Гумір-2).

Фулерени, за деякими літературними даними, володіють антимікробними та антиоксидантними властивостями. У середньому вони перевищують, за літературними даними, дію всіх відомих до них антиоксидантів в 100–1000 разів [5, с. 31; 6, с. 32].

Енергія проростання, схожість насіння, біометричні показники проростків визначалися за стандартними методиками (ГОСТ 12038-84, 1985; Показники зростання і розвитку рослин – за стандартними методами (Практикум ..., 1996).

Густина насіння, що зійшло в умовах обробки «Гумір-2», що містить відходи дріжджового виробництва, була майже на 12% вище, ніж у сухому контролі і вище, ніж в умовах обробки насіння препаратами «Вимпел» і «Байкал». Незначне, але збільшення кількості сходів у цьому експерименті було отримано і за обробки насіння розчином тільки з гідратованими фулеренами. Кількість насіння, що зійшло, відповідно, була вищою в умовах обробки насіння препаратом «Гумір-2», трохи нижчою була схожість у разі застосування препаратів «Вимпел» і «Байкал».

Пророщування насіння проводили в чашках Петрі під впливом різних препаратів та на відкрит-

Таблиця 1

Густина сходів гірчиці 2018 р., середні показники (350 шт. = 100%)

Варіант	Густина сходів, шт./м ²	Зійшло, %
Сухий контроль	232,6 ± 21,8	66,3
Фул. вода*	253,3 ± 25,9	72,4
Гумір-1	282,6 ± 30,0	80,76
Гумір-2	285 ± 26,9	82,65
Вимпел	269,3 ± 27,8	76,95
Байкал	248,8 ± 20,9	70,85

Примітка: * скорочене фул. – фулеренова вода, або гідратовані фулерени

тих ділянках на Судиславському ГСУ Харківської області. Визначення енергії проростання проводили за загальноприйнятою методикою [2, с. 123; 3, с. 52]. Схожість насіння визначали на 3-5 добу, підраховували кількість нормально пророслого, загнилого, набряклого і аномально пророслого насіння (табл. 2).

Порівняльний аналіз отриманих даних, наведених у таблиці 2, показав, що кращі показники за енергією проростання і сходження отримані в умовах обробки насіння гірчиці препаратами «Гумір-1» і «Гумір-2». На тлі збільшення енергії проростання і сходження було отримано зниження числа аномально пророслого насіння, більш вираженого в умовах обробки насіння цими препаратами. Обробка насіння тільки розчином із гідратованими фулеренами не позначилася позитивно на показниках, наведених у таблиці, число загнилого насіння виявилось навіть вище, ніж у контролі. Показники енергії проростання і схожості були вищі у разі обробки насіння препаратом «Гумір-1» і «Гумір-2» порівняно з препаратом порівняння «Вимпел».

Необхідно зазначити, що дані, отримані в різні роки, мають незначні відмінності. Так, дані експериментів, проведених у 2018 році за рівних умов досвіду, були вищими в разі обробки насіння розробленим препаратом, ніж у 2017 році.

Число аномально пророслого насіння за його обробки новими препаратами було більш ніж в 3 рази нижче, ніж у контролі, а кількість загнилих у контролі була майже в 4 рази вища. В той же час енергія проростання та схожість у 2018 році була вища в умовах застосування препарату «Гумір-2».

Визначення фотосинтетичної активності рослин у процесі обробки «Гуміром-2» показало збільшення цього показника порівняно з відомими препаратами на 13%, що відбилося на збільшенні вегетуючої частини гірчиці.

Отримані результати послужили підставою для введення розчину фулеренів, макро- і мікроелементів із біомасою відпрацьованих дріжджів до складу рістстимулюючих препаратів (табл. 5).

Таким чином, дослідженнями, проведеними в 2018 р. на Судиславському ГСУ Харківської області, показано суттєвий вплив препарату «Гумір-2» на врожайність гірчиці сорту «Талісман». У середньому за 2 роки обробка насіння забезпечила приривок врожаю в розмірі 6,7 ц/га, що на 31,2% більше ніж на контролі. Крім того, отримано позитивний ефект у разі обробки вегетуючих рослин у фазі кушіння на фоні обробки рослини в стадії вегетації. Збільшення кількості зерна становило 13,6 ц/га та на 63,2% перевищувало контроль.

Таблиця 2

Середні показники активності досліджених препаратів

Варіант обробки	Енергія проростання, %	Схожість, %	Вигляд насіння, %		
			розбухле	загниле	аномально проросле
Контроль	78,9	83,4	0	6,78	6,78
Фул. вода	78,95	83,5	0,75	4,51	7,28
Вимпел	79,8	88,6	1,26	4,57	7,32
Гумір-1	83,5	89,4	0,61	4,12	6,05
Гумір-2	84,9	92,2	0,78	4,23	5,91

Таблиця 3

Діапазони концентрацій фулеренів із різним ефектом дії на проростки гірчиці

Частина рослин	Фулерени, мг/л		
	Ефект дії на проростки рослин		
	Нема ефекту	Стимуляція росту	Гальмування росту
Коріння	0,01–1,0	5,0–10,0	≥100,0
Пагони	0,01–10,0	25,0–100,0	>500,0

Таблиця 4

Гірчиця сорту «Талісман», що вирощена в чашках Петрі (середні показники 3 серій дослідів)

Варіант обробки	Енергія проростання, %	Схожість, %	насіння, %		
			розбухле	загниле	аномально проросле
Контроль	76,4	83,6	0	4,7±0,30	11,7±1,01
Гумір-2	86,3	95,8	0	1,2±0,08	2,9±0,22

Біомаса листя гірчиці за позакореневої обробки водним розчином фулеренів та нанорозчином на його основі

Варіант некореневої обробки	Сира маса рослин	
	г	відхилення від контролю, %
Вода (контроль)	160,8±11,3	-
Водний розчин фулеренів	188,4±14,0*	+18±2,8*
Розчин відпрацьованої дріжджової маси	198,7±16,3*	+24±4,0*
Розчин фулерени + відпрацьовані дріжджі	240,3±15,4*	+49±3,9*

* – значення достовірно відрізняється від контрольного на 5% рівні значимості

Вміст основних елементів у надземній частині гірчиці за кореневої та некореневої підгодівлі нанопрепаратом на основі фулеренів

Варіанти дослідів	Вміст речовин						
	Азот, % а.с.в.	Фосфор, % а.с.в.	Калій, % а.с.в.	Азот небілковий, % а.с.в.	Азот білковий, % а.с.в.	Амонійний азот, % а.с.в.	Сира зола, % а.с.в.
Рослини (надземна частина) за кореневого підживлення							
Розчин макро- і мікроелементів (контроль)	1,75	0,25	4,84	0,205	1,55	0	14,18
Розчин на основі фулеренів та дріжджових відходів	2,0*	0,32*	5,01	0,224	1,78*	0	15,28
Рослини (надземна частина) при некореновому підживленні							
Розчин макро- і мікроелементів (контроль)	2,04	0,28	5,61	0,196	1,84	0	16,21
Розчин на основі фулеренів та дріжджових відходів	2,65*	0,40*	6,43*	0,317*	2,33*	0,049*	18,56*

За останні 2 роки середня прибавка врожаю зерна гірчиці теоретично могла скласти 2,52 ц/га, а практично в разі вирощування в польових умовах в 2018 р. становила на кілька відсотків більше. Рентабельність по роках у наших умовах коливалася від 128 до 150% (за рахунок збільшення вегетуючої складової частини рослини).

Крім того, в середньому за 2 роки підвищився вміст білка в зерні на 1,42% і маса 1000 зерен – на 1,3.

Введення до складу рістстимулюючих препаратів наноструктур (гідратованих фулеренів) [8, с. 91; 9, с. 250] та відходів дріжджового виробництва на базі штаму *Saccharomyces cerevisiae* приводило до збільшення врожаю гірчиці «Талісман».

У розробленому рістстимулюючому препараті було проведено дослідження вмісту основних мікроелементів, необхідних для росту рослин.

Результати досліджень у регульованих умовах показали здатність розчину з фулеренів і відходів дріжджової біомаси в певному діапазоні концентрацій справляти позитивний рістстимулюючий і антистресовий ефект на рослини. Причинами поліпшення фізіологічного стану рослин і підви-

щення їхньої стійкості до дії окисного стресу під впливом розробленого наноскладу є активізація процесів обміну, метаболізму і, як наслідок, збільшення надходження в рослини необхідних макро- і мікроелементів, котрі в достатній кількості містяться у відходах дріжджового виробництва. Отримані результати дають підставу розглядати нанорозчин гідратованих фулеренів у сукупності з відходами дріжджового виробництва як перспективне джерело створення сучасних високоефективних біологічно активних препаратів комплексної дії з метою використання їх у рослинництві.

Висновки. Досліджена біологічна активність комплексного препарату на основі гуматів, що містить як біологічно активні домішки водний розчин відходів дріжджового виробництва *Saccharomyces cerevisiae* і розчин гідратованих фулеренів («Гумір-2»), в лабораторних і польових умовах на насінні гірчиці сорту «Талісман».

Дослідження нових рістстимулюючих препаратів проведено в порівнянні з розчинами «Вимпел» та «Байкал». Кращі результати за рістстимулюючим ефектом встановлені в умовах дії на насіння гірчиці сорту «Талісман» препарату «Гумір-2».

Список літератури:

1. Белюченко И.С., Гукалов В.Н. Практические основы использования отходов промышленности и сельского хозяйства в качестве мелиоранта чернозема обыкновенного. *Тр. КубГАУ*. 2011. Т. 1. № 31. С. 152–153.
2. Кондратенко Е.П. и др. Биостимулирующие и физико-химические свойства гумата натрия. *Химия растительного сырья*. 2016. № 3. С. 109–118.
3. Szczepanek M., Wilczewski E. Effect of humic substances on germination of wheat and barley under laboratory conditions. *Acta Scientiarum Polonorum Agricultura*, 2011. Vol. 10(1).
4. Верников В.М., Арианова Е.А., Гмошинский И.В., Хотимченко С.А., Тутельян В.А. Нанотехнологии в пищевых производствах: перспективы и проблемы. *Вопросы питания*. 2009. № 2. С. 4–17.
5. Subramanian Kizhaeral S., Thirunavukkarasu M. Nano-fertilizers and Nutrient Transformations in Soil / Kizhaeral S. Subramanian. *Nanoscience and Plant-Soil Systems*. 2017. Vol. 48. Pp. 305–319.
6. Physiological Response of Wheat to Foliar Application of Zinc and Inoculation with some Bacterial Fertilizers. Ebrahim, Mohsen K. H.; Aly, Magda M. Botany Department, Faculty of Science, Tanta University, Tanta, Egypt. *Journal of Plant Nutrition* (2004), 27(10), 1859–1874.
7. Пиотровский Л.Б., Киселев О.И. Фуллерены в биологии. Санкт-Петербург. 2005. 256 с.
8. Андриевский Г.В., Клочков В.К. Гидратированные фуллерены как универсальные биоантиоксиданты и роль в этом особых упорядоченных структур воды. Сборник тезисов VII Междун. вимп. «Биологические механизмы старения». Харьков, 2006. С. 91–92.
9. Рамбиди Н.Г., Березкин А.В. Физические и химические основы нанотехнологий. Москва : Физматлит, 2008. 456 с.

Krychkovska L.V., Lysak P.Yu., Bobro M.A., Dubonosov V.L. DEVELOPMENT OF GROWTH STIMULANTS BASED ON BIOTECHNOLOGICAL RAW MATERIALS

The work is devoted to the development of preparations with bioadditives to increase the yield of cereals for food production, the development of methods and technologies for producing effective preparations containing trace elements (copper, zinc, cobalt, etc.), physiologically active substances (nanostructures – fullerenes, humates); obtaining new fertilizers based on them; development of a method for obtaining low-toxic, effective detoxifiers for plant seeds. An important role in optimizing the production process is played by timely pre-sowing treatment of seed material with drugs that increase the protection of seeds from pests and pathogens, as well as increase the competitiveness of plants in the early stages of development by providing the necessary food and energy sources.

Since plant growth regulators have a positive effect on increasing crop yields and the quality of agricultural products when treating plants with growth regulators, the content of protein and gluten in grains increases, flour and baking properties improve, dry matter and seed oil yields increase, and sugar content increases, vitamin C, carotene, starch, reduced nitrate content. Work in this direction is relevant. This direction contributes to the development of technology for new products of microbial bioconversion of plant raw materials, which can stimulate plant growth. Thus, it is possible to complete the formation of the concept of complex production of microbial nutrients, study the mechanisms of stimulating effect of yeast product waste on plant growth, develop principles for obtaining such nutrients and adapt them to modern biotechnological industries.

*The growth-stimulating activity of Humir-1 and Humir-2 preparations based on hydrated fullerenes (HyFn), (C60 (H2O) n), humates and wastes from yeast production of *Saccharomyces cerevisiae* strain was studied. The introduction of these components in crop technology requires careful study of the properties of drugs based on them in specific soil and climatic conditions of the zone and on different types of seeds. This was the basis for our research. The object of research was selected mustard seeds of the variety “Talisman”.*

Key words: Growth-stimulating drugs, hydrated fullerenes, humates, mustard, waste of yeast production.

Майзеліс А.О.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ФОРМУВАННЯ МУЛЬТИШАРОВИХ ПОКРИТТІВ $[(\text{Cu-Zn})_{\text{осад}}/(\text{Cu-Zn})_{\text{дод}}]_n$ ДВОІМПУЛЬСНИМ ПОТЕНЦІОСТАТИЧНИМ МЕТОДОМ

Покриття сплавом мідь-цинк використовують як функціональні, захисні та декоративні у різних галузях промисловості. Стаття присвячена електроосадженню сучасного типу гальванічних покриттів – мультишарових покриттів, які складаються з шарів сплаву різного складу нанорозмірної товщини, з метою підвищення властивостей порівняно зі складовими шарами. Об'єкт досліджень – електродні процеси в пірофосфатно-цитратному електроліті для осадження мультишарових покриттів $[(\text{Cu-Zn})_{\text{осад}}/(\text{Cu-Zn})_{\text{дод}}]_n$. Використані методи циклічної вольтамперометрії, хроноамперометрії та анодної стріпінг-вольтамперометрії за допомогою потенціостату Elins P-45X.

Виявлено, що при збільшенні концентрацій цитрату в електроліті гальмується реакція виділення міді, в катодному осаді зменшується частка вільних металів на користь інших фаз сплаву, знижується вихід за струмом. Наприклад, із 89,8% до 74,3% при потенціалі осадження $-1,15$ В. Показано, що всі плівки сплаву мають у своєму складі збагачену цинком ϵ -фазу і α -фазу твердого розчину цинку в міді. При потенціалі $-1,5$ В, який відповідає надграничному струму, осаджуються плівки сплаву, що містять додатково значну кількість γ -фази сплаву. Мультишарове покриття $[(\text{Cu-Zn})_{\text{осад}}/(\text{Cu-Zn})_{\text{дод}}]_n$ формували двоімпульсним потенціостатичним методом чергуванням електроосадження шарів $(\text{Cu-Zn})_1$ при потенціалі $-1,25$ В і шарів $(\text{Cu-Zn})_2$ при потенціалі $-1,5$ В.

Виявлено, що мікротвердість такого покриття у 1,35 рази вища за мікротвердість покриття сплавом Cu-Zn, що осаджене при потенціалі $-1,25$ В, і значно вища за мікротвердість товстого покриття, що осаджене при потенціалі $-1,5$ В і є пухким. Отримані дані свідчать про перевагу мультишарового покриття $[(\text{Cu-Zn})_{\text{осад}}/(\text{Cu-Zn})_{\text{дод}}]_n$ порівняно з монолітними покриттями сплавами, що осаджені з того ж електроліту.

Ключові слова: мідь, цинк, латунь, мікротвердість покриття, пірофосфат, фазовий склад.

Постановка проблеми. Покриття сплавами Cu-Zn широко використовуються у промисловості [1]. Ці сплави відомі як декоративні [2; 3], використовуються для підвищення захисту від агресивних середовищ [4], захисту сталі від корозії та як підшар перед осадженням металевих, керамічних або пластикових покриттів [5], а також для сприяння підвищенню зчеплення гуми зі сталевими шинами [2], як електроди для акумуляторів [1]. Інтерметалічний сплав CuZn_5 виявляє електрокаталітичну активність у реакції відновлення NO_3^- та реакції виділення водню [6]. Тонкі плівки сплаву з пам'яттю форми є перспективними для використання у мікроелектромеханічних системах та інших мікророзмірних застосуваннях [1; 4; 7; 8].

Через велику різницю стандартних потенціалів міді і цинку для отримання покриттів сплавом мідь-цинк застосовують тільки комплексні електроліти. Зазвичай електроліт на основі ціаніду використовується для електроосадження латуні [2]. Через високий ризик для навколишнього

середовища та небезпеку, пов'язану з ціанідними електролітами, розробляються інші електроліти. Більшість фізичних і хімічних властивостей гальванічних покриттів є структурно чутливими. Найбільш важливим параметром структури, що визначає основні функціональні властивості сплавів, є фазовий склад. Тому створення безціанідних електролітів з контролем фазового складу покриттів для можливості керування їх властивостями є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед електролітів, що не містять ціанідів, запропоновано електроліти на основі ЕДТА, тартрату, глюконату, гліцину [6], аміаку [3]. Найбільше використовуються пірофосфатний [4; 5] і цитратний [1] електроліти, а також полілігандні електроліти [9].

Крім твердого розчину цинку в міді (до 39 мас. % Zn, або 38,3 ат. % Zn), згідно діаграми стану, Cu і Zn утворюють β -фазу (інтерметалід CuZn , 50,0 ат. % Zn), γ -фазу (інтерметалід Cu_3Zn_8 , 61,5 ат. % Zn), ϵ -фазу (інтерметалід CuZn_5 ,

83,3 ат. % Zn), η -фази (твердий розчин міді у цинку, до 97,3 ат. % Zn). На рентгенограмах електроосаджених покриттів сплавом Cu-Zn, одержаних із різних електролітів, найчастіше виявляються одночасно кілька фаз. Наприклад, на рентгенограмах покриттів, одержаних у сульфатних електролітів [10], визначено піки, які відповідають β - та γ -фазам сплаву. У [4] досліджено утворення цих фаз у покриттях, осаджених із пірофосфатного електроліту, з метою використання електрохімічно осадженої β -латуні як сплаву з пам'яттю форми. З тією ж метою вивчені параметри осадження плівок сплаву Cu-Zn із цитратного [7] і ціанідного [11] електролітів.

Постановка завдання. Метою досліджень було визначення впливу складу пірофосфатно-цитратного електроліту і потенціалу осадження на вихід за струмом і склад тонких плівок сплаву Cu-Zn для формування мультишарового покриття з більшої, ніж складові шари, мікротвердістю.

Виклад основного матеріалу дослідження.
Методика. Циклічні поляризаційні залежності (далі – ЦВА), хроноамперограми та анодні поляризаційні залежності одержані з використанням потенціостату Elins P-45X у триелектродній комірці на електродах із платини площею 1 см². Використано насичений хлорид-срібний електрод порівняння, щодо якого наведені потенціали. Значення рН електролітів контролювали рН-метром СТ-6020А.

Мультишарові покриття $[(\text{Cu-Zn})_{\text{баз}}/(\text{Cu-Zn})_{\text{дод}}]_n$ осаджували двоімпульсним потенціостатичним методом із пірофосфатно-цитратних електролітів, що містять іони міді і цинку у співвідношенні 1:5 із сумарною концентрацією 0,22 моль/дм³ і різні співвідношення концентрацій лігандів при рН розчинів 8,5.

Результати досліджень. При збільшенні співвідношення концентрацій лігандів у бік концентрації цитрату знижується струм на початковій ділянці катодної гілки ЦВА (рис. 1, кр. 2), а також величина граничного струму виділення сплаву, що пов'язано з більшим гальмуванням реакції виділення міді у присутності більшої кількості цитрату. При зворотному ході катодні гілки ЦВА співпадають (кр. 1 і 2), тобто стабілізовані умови сплавоутворення вже менше залежать від співвідношення концентрацій лігандів. Зменшення висоти першого анодного піку ЦВА і збільшення лівого піку з подвійного третього піку у випадку збільшення частки цитрату в електроліті (кр. 2) свідчить про зменшення в осаді вільного цинку і вільної міді на користь інших фаз сплаву.

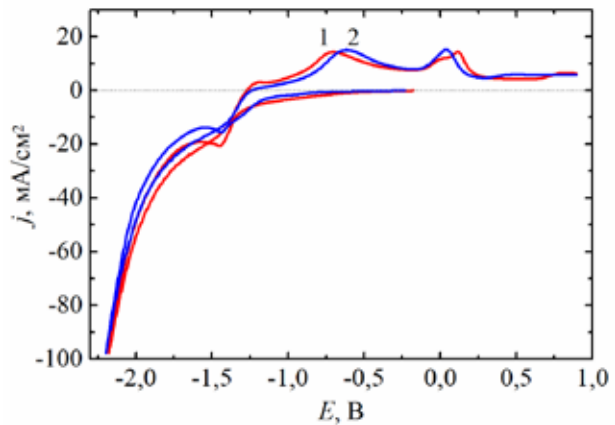


Рис. 1. ЦВА на Pt в електролітах із співвідношенням $[\text{Cu}^{2+}]:[\text{Zn}^{2+}]:[\text{Cit}^{3-}]:[\text{P}_2\text{O}_7^{4-}]$: 1 – (1:5):0,5:2; 2 – (1:5):1,5:1

Збільшення катодної межі сканування потенціалів до досягнення величини струму 100 мА/см² збільшує вміст вільного цинку в осаді у випадку більшої концентрації пірофосфату (кр. 1 рис. 2 а, перший анодний пік), а при більшій концентрації цитрату (кр. 1 рис. 2 б) – вміст збагаченої цинком фази, яка розчиняється у другому анодному піку.

В умовах потенціостатичного осаджування плівок сплаву при потенціалі $-1,15$ В струм стабілізується на однаковій величині в обох електролітах (рис. 3 а).

Обидві плівки містять однакові фази – збагачену цинком ε -фазу, пік розчинення якої (перший пік на анодній вольтамперограмі) співпадає в обох випадках, і α -фазу твердого розчину цинку у міді, кількість якої при збільшенні співвідношення концентрацій лігандів у бік цитрату зменшується (кр. 2 рис. 3 б) [12]. Однак при збільшенні концентрації цитрату вихід за струмом знижується з 90,0% до 74,3%.

При збільшенні катодної поляризації в електроліті з більшою концентрацією пірофосфату на 100 мВ (кр. 2 рис. 4 а) струм стабілізується на близькому значенні, якісний склад плівки не змінюється (кр. 2 рис. 4 б), однак знижується вихід сплаву за струмом з 90,0% до 89,9%.

Зменшення поляризації до $-1,1$ В (рис. 5 а, кр. 1) також не призводить до якісної зміни складу плівки сплаву (кр. 1 рис. 5 б), лише до незначного збільшення виходу за струмом із 74,3% до 75,6%. При значному підвищенні поляризації (рис. 5 а, кр. 3) вміст цинку у плівці сплаву значно збільшується (рис. 5 б, кр. 3), з'являється приблизно рівний піку розчинення α -фази пік розчинення γ -фази сплаву [12]. Вихід за струмом також значно збільшується до 82,5%.

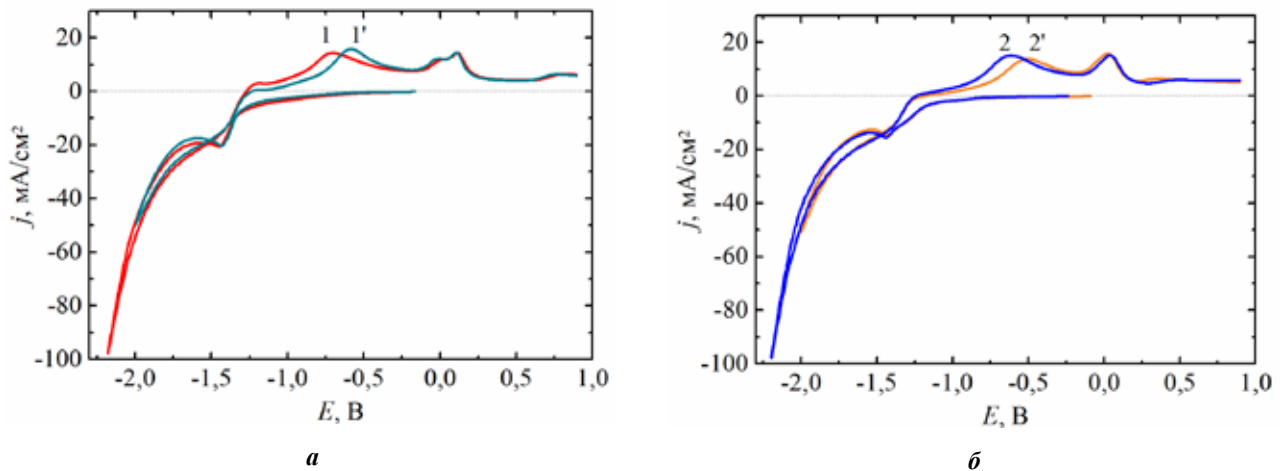


Рис. 2. ЦВА на Pt з катодною межею сканування потенціалів 100 мА (1) і -2,0 В (2) в електролітах складу зі співвідношенням $[Cu^{2+}]:[Zn^{2+}]:[Cit^{3-}]:P_2O_7^{4-}]$: а – (1:5):0,5:2; б – (1:5):1,5:1

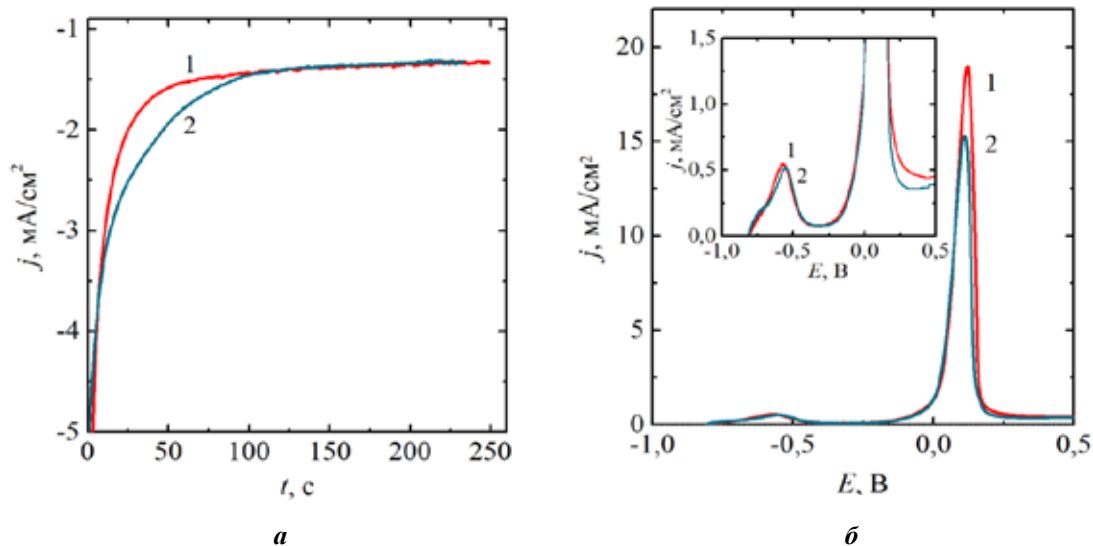


Рис. 3. Хроноамперограми (а) осадження плівок сплаву Cu-Zn при потенціалі -1,15 В до досягнення кількості електрики 0,4 Кл/см² в електролітах, що містять компоненти у співвідношенні концентрацій $[Cu^{2+}]:[Zn^{2+}]:[Cit^{3-}]:P_2O_7^{4-}] = (1:5):0,5:2$ (1) і $[Cu^{2+}]:[Zn^{2+}]:[Cit^{3-}]:P_2O_7^{4-}] = (1:5):1,5:1$ (2) та анодні вольтамперограми (б) їх розчинення в електроліті 0,3 моль/дм³ Na₂SO₄ при швидкості сканування потенціалів 5 мВ/с

Мультишарові покриття $[(Cu-Zn)_{баз}/(Cu-Zn)_{дод}]_n$ формували з шарів сплавів різного складу: шари $(Cu-Zn)_{баз}$ – при потенціалі -1,25 В до області потенціалів граничного струму, шари $(Cu-Zn)_{дод}$ – при потенціалі -1,5 В після граничного струму, коли у плівках з'являється збагачена цинком γ -фаза. При переключенні потенціалу з -1,5 В на -1,25 В (рис. 6) спостерігається анодний струм, пов'язаний із частковим розчиненням при потенціалі -1,25 В фази, збагаченої цинком, що має найбільш негативний потенціал.

Мікротвердість покриття $[(Cu-Zn)_{баз}/(Cu-Zn)_{дод}]_n$ – 304 HV. Це у 1,35 разів більше, ніж мікротвердість покриття сплавом, отриманим при -1,25 В,

потенціал осадження шарів $(Cu-Zn)_{баз}$ сплаву (225 HV).

Порівняння з мікротвердістю покриття сплавом, отриманим при потенціалі осадження шарів $(Cu-Zn)_{дод}$ -1,5 В, неможливе, оскільки при потенціалі -1,5 В осаджується пухке товсте покриття.

Висновки. При збільшенні співвідношення концентрацій лігандів у бік концентрації цитрату гальмується реакція виділення міді, в катодному осаді сплаву Cu-Zn зменшується частка вільного цинку і вільної міді на користь інших фаз сплаву. При збільшенні поляризації зростає вміст збагаченої цинком фази, тоді як у випадку більшого вмісту в електроліті пірофосфату збільшується вміст вільного цинку.

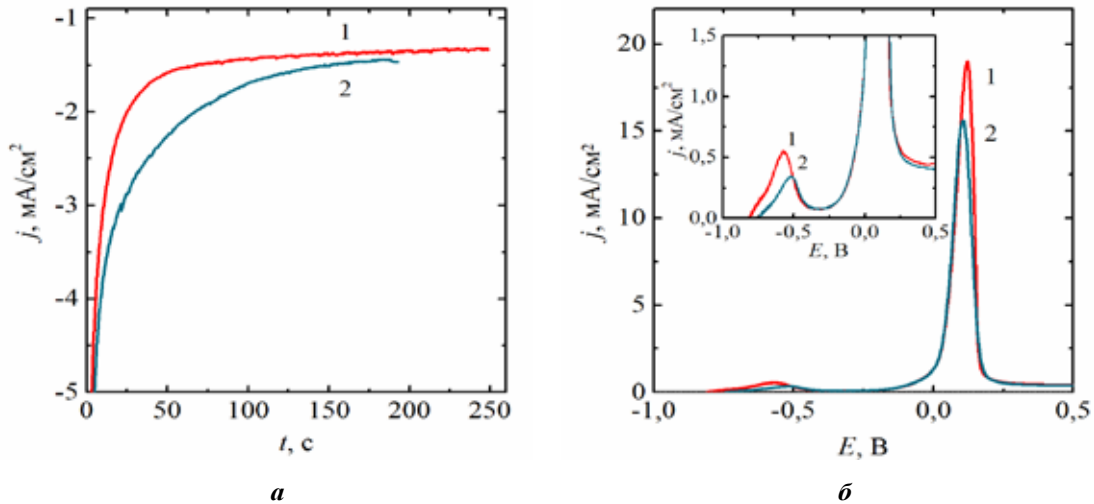


Рис. 4. Хроноамперограми (а) осадження плівок сплаву Cu-Zn при потенціалі $-1,15$ В (1) і $-1,25$ В (2) до досягнення кількості електрики $0,4$ Кл/см² в електроліті складу $[\text{Cu}^{2+}]:[\text{Zn}^{2+}]:[\text{Cit}^{3-}]:\text{P}_2\text{O}_7^{4-}] = (1:5):0,5:2$ і анодні вольтамперограми (б) їх розчинення в електроліті $0,3$ моль/дм³ Na_2SO_4 при швидкості сканування потенціалів 5 мВ/с

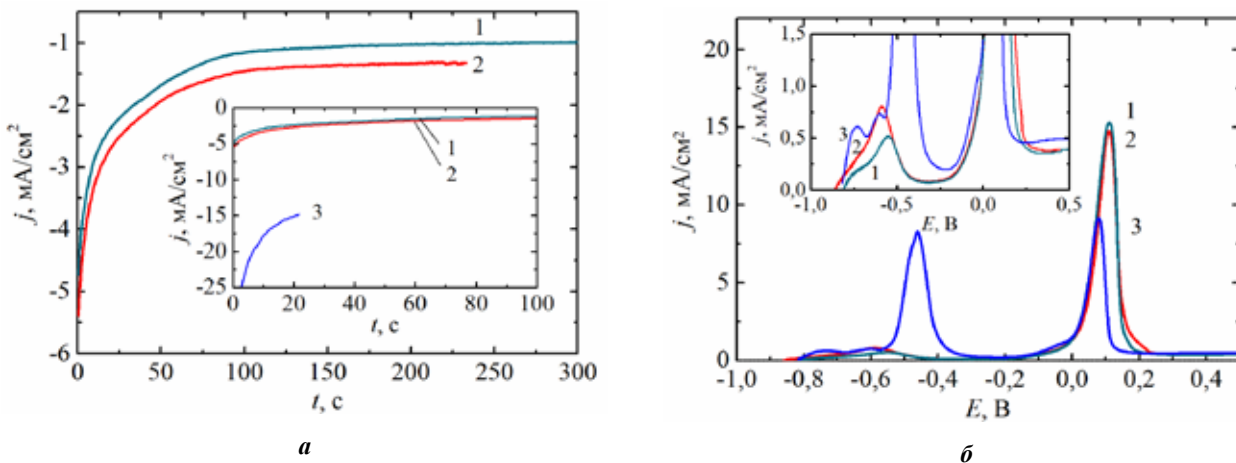


Рис. 5. Хроноамперограми (а) осадження плівок сплаву Cu-Zn при потенціалі $-1,1$ В (1), $-1,15$ В (2) і $-1,5$ В (3) до досягнення кількості електрики $0,4$ Кл/см² в електроліті складу зі співвідношенням $[\text{Cu}^{2+}]:[\text{Zn}^{2+}]:[\text{Cit}^{3-}]:\text{P}_2\text{O}_7^{4-}] = (1:5):1,5:1$ і анодні вольтамперограми (б) їх розчинення в електроліті $0,3$ моль/дм³ Na_2SO_4 при швидкості сканування потенціалів 5 мВ/с

В умовах потенціостатичного осадження плівок сплаву в обох електролітах струм стабілізується на однаковій величині, фазовий склад плівок близький, однак при збільшенні концентрації цитрату вихід за струмом BC знижується з $89,8\%$ до $74,3\%$ при $-1,15$ В. Він незначно підвищується при зменшенні поляризації осадження до $-1,1$ В ($BC = 75,6\%$) і її збільшенні до $-1,5$ В ($BC = 82,5\%$). При низькій поляризації плівки містять збагачену цинком ε -фазу і α -фазу твердого розчину цинку в міді. При $-1,5$ В осаджуються плівки сплаву, що містять додатково η -фазу і значну кількість γ -фази сплаву.

При електроосадженні покриття двоімпульсним потенціостатичним методом переключенням значення потенціалу з величини $-1,25$ В до $-1,5$ В формується мультишарове покриття $[(\text{Cu-Zn})_{\text{баз}}/(\text{Cu-Zn})_{\text{дод}}]_n$, яке складається з шарів різного фазового складу: шари $(\text{Cu-Zn})_{\text{дод}}$ мають значну кількість γ -фази, на відміну від шарів $(\text{Cu-Zn})_{\text{баз}}$. Мікротвердість такого покриття у $1,35$ рази вища за мікротвердість покриття сплавом Cu-Zn, що осаджене при потенціалі $-1,25$ В, тоді як при потенціалі осадження шарів $(\text{Cu-Zn})_{\text{дод}}$ $E = -1,5$ В осаджується пухке товсте покриття.

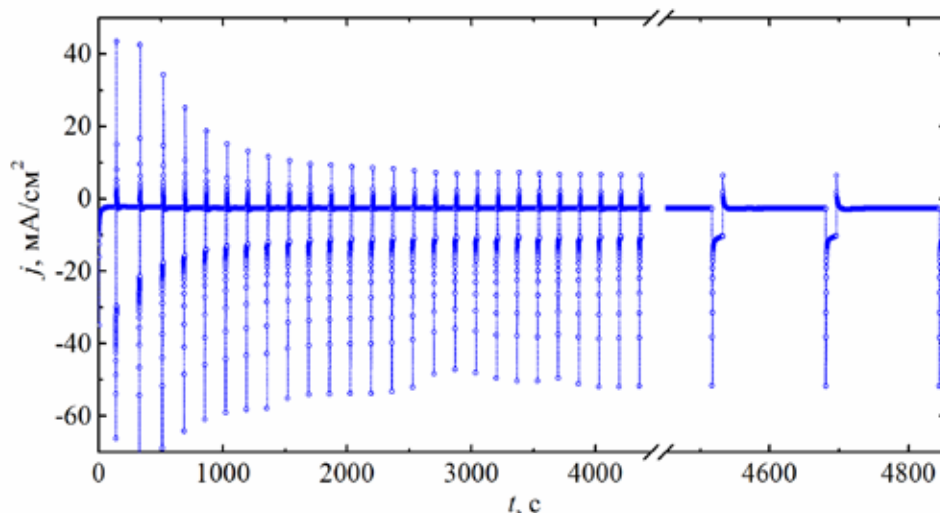


Рис. 6. Хроноамперограма осадження мультишарового покриття $[(\text{Cu-Zn})_{\text{баз}}/(\text{Cu-Zn})_{\text{дод}}]_n$ у такому режимі: шари $(\text{Cu-Zn})_{\text{баз}}$ при $E = -1,25$ В до $Q = 0,4$ Кл/см²; шари $(\text{Cu-Zn})_{\text{дод}}$ при $E = -1,5$ В до $Q = 0,2$ Кл/см²

Список літератури:

1. Özdemir R.A., Karahan İ.H., Karabulut O. Study on the electrodeposited Cu-Zn alloy thin films. *Metallurgical and Materials Transactions A*. 2016. Vol. 47. № 11. P. 5609–5617.
2. Fujiwara Y. Electrodeposition of β' -Brass from Cyanide Baths with Accumulative Underpotential Deposition of Zn / Y. Fujiwara, H. Enomoto // *Journal of the Electrochemical Society*. 2000. Vol. 147. № 5. P. 1840.
3. Ibrahim M.A., Bakdash R.S. New cyanide-free ammonia bath for brass alloy coatings on steel substrate by electrodeposition. *Int. J. Electrochem. Sci.* 2015. Vol. 10. № 2105. P. 9666.
4. Hacıbrahimoglu M., Yavuz A., Oztas M., Bedir M. Electrochemical and structural study of zinc-rich brass deposited from pyrophosphate electrolyte onto the carbon steel Dig. *J. Nanomater. Biostruct.* 2016. Vol. 11. P. 251–262.
5. Senna L.F., Díaz S.L., Sathler L. Hardness analysis and morphological characterization of copper-zinc alloys produced in pyrophosphate-based electrolytes. *Materials Research*. 2005. Vol. 8. № 3. P. 275–279.
6. Ballesteros J.C., Gómez-Solis C., Torres-Martínez L.M., Juárez-Ramírez I. Electrodeposition of Cu-Zn intermetallic compounds for its application as electrocatalyst in the hydrogen evolution reaction. *Int. J. Electrochem. Sci.* 2015. Vol. 10. P. 2892–2903.
7. Yurdal K., Karahan İ.H. Phase Formation in Electrodeposited Cu-Zn Alloy Films Produced from Ultrasonicated Solutions. *Acta Physica Polonica A*. 2017. Vol. 132. № 3. P. 1091–1094.
8. Page D., Roy S. Electrodeposition of thin film Cu-Zn shape memory alloys. *Le Journal de Physique IV*. 1997. Vol. 7. № C5. P. 269–274.
9. Майзеліс А.О. Електрохімічні функціональні покриття з мікро- і нанорозмірними Cu, Sn, Ni, Zn-вмісними шарами керованого фазового складу : дис. д-ра техн. наук: спец. 05.17.03; наук. консультант Байрачний Б.І.; Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». Харків, 2020. 508 с.
10. Kopeli N.I.Z.S. Electrodeposition and characterization of Cu-Zn alloy films obtained from a sulfate bat. *Materiali in tehnologije*. 2014. Vol. 48. № 2. P. 221–226.
11. Fujiwara Y., Enomoto H. Intermetallic phase formation in electrochemical alloy deposition. *Journal of Solid State Electrochemistry*. 2004. Vol. 8. № 3. P. 167–173.
12. Stevanović J., Skibina L.J., Stefanović M., Despić A., Jović V.D. Phase-structure analysis of brass by anodic linear-sweep voltammetry. *Journal of applied electrochemistry*. 1992. Vol. 22. № 2. P. 172–178.

Maizelis A.O. ELECTROCHEMICAL FORMATION OF $[(\text{Cu-Zn})_{\text{base}}/(\text{Cu-Zn})_{\text{add}}]_n$ MULTILAYER COATINGS BY TWO-PULSE POTENTIOSTATIC MODE

Copper-zinc alloy coatings are used as functional, protective and decorative in various industries. The article is devoted to electrodeposition of modern type of galvanic coatings, namely multilayer coatings, which consist of alloy layers of different composition of nanoscale thickness, in order to improve the properties in comparison with the sublayers. The object of study is electrode processes in pyrophosphate-citrate electrolyte for deposition of

multilayer coatings $[\text{Cu}(\text{Zn})_{\text{base}}/(\text{Cu}-\text{Zn})_{\text{add}}]_n$. The methods of cyclic voltammetry, chronoamperometry and anode stripping voltammetry (using the Elins P-45X potentiostat) were used.

It is found that with increasing concentrations of citrate in the electrolyte inhibits copper deposition, the cathode deposit decreases free metals content in favor of other phases of the alloy, reduces the current efficiency: e.g. it reduces from 89,8% to 74,3% at deposition potential of $-1,15$ V. It is shown that all alloy films contain zinc-enriched ϵ -phase and α -phase of a solid solution of zinc in copper. At a potential of $-1,5$ V, which corresponds to the over limit current, alloy films are deposited, which additionally contain a significant amount of γ -phase of the alloy. Multilayer $[\text{Cu}(\text{Zn})_{\text{base}}/(\text{Cu}-\text{Zn})_{\text{add}}]_n$ coating are formed by two-pulse potentiostatic method by alternating electrodeposition of sublayers $(\text{Cu}-\text{Zn})_{\text{base}}$ at a potential of $-1,25$ V and sublayers $(\text{Cu}-\text{Zn})_2$ at a potential $-1,5$ V.

It was found that the microhardness of such a coating is 1,35 times higher than the microhardness of the coating with Cu-Zn alloy deposited at a potential of $-1,25$ V and significantly higher than the microhardness of a thick coating deposited at a potential of $-1,5$ V which is loose. The obtained data indicate the advantage of a multilayer coating $[\text{Cu}(\text{Zn})_{\text{base}}/(\text{Cu}-\text{Zn})_{\text{add}}]_n$ compared to bulk alloy coatings deposited from the same electrolyte.

Key words: copper, zinc, brass, microhardness of the coating, pyrophosphate, phase composition.

УДК 620.1

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/18>

Ущановський Д.Ю.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Васильєв Г.С.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Воробйова В.І.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Ліночев О.Г.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ХІМІЧНЕ ТА ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ІМПРЕГНУВАННЯ ШОВНОГО МАТЕРІАЛУ НАНОЧАСТКАМИ СРІБЛА СИНТЕЗОВАНИМИ НА ОСНОВІ РОСЛИННОГО ЕКСТРАКТУ

Водний екстракт жмиха винограду було використано як відновник та стабілізатор у реакції синтезу наночастинок срібла. Аналіз утвореної дисперсії методом динамічного та електрофоретичного світлорозсіяння показав, що значення електрокінетичного потенціалу $\zeta = -25,31$ мВ, що обумовлений особливостями будови та наявністю на поверхні наночастинок Ag (НЧ) адсорбованих іонів флавоноїдів. Середній розмір досліджуваних НЧ варіюється в інтервалі 50-90 нм.

Дисперсію наночастинок срібла використано для обробки хірургічного шовного матеріалу – кетгуту. SEM-дослідження поверхні зразків обробленого матеріалу показали, що при хімічній обробці, у розчині наночастинок, срібло рівномірно вкриває усю поверхню шовного матеріалу у вигляді нанодисперсного шару. При електрохімічній анодній обробці спостерігається поверхнева агломерація колоїдних частинок срібла до угруповань із розмірами 100...500 нм.

Проведено EDX-дослідження поверхневого складу шовного матеріалу. На поверхні хімічно обробленого шовного матеріалу вдалось краще якісно визначити наявність срібла, через високий електричний опір матеріалу основи. За рахунок електрохімічної анодної обробки досягається найвищий ступінь імпрегнування (насичення) сріблом шовного матеріалу (вміст срібла у поверхневому шарі складає 81,3 мас.%). Це також призводить до надання основи – колагену певних провідних властивостей.

Інтенсивність гідролітичного розсмоктування шовного матеріалу оцінювали на основі визначення розривного навантаження зразків кетгуту, що експонували після обробки у фізіологічному розчині. Досить інтенсивно гідролітичному розсмоктуванню у фізіологічному розчині піддавались зразки вихідного матеріалу, при цьому спостерігалось також найбільш інтенсивне набухання. Хімічна та електрохімічна анодна обробка в розчині наночастинок срібла призводить до менш інтенсивного набухання зразків кетгуту, розривне навантаження таких зразків є майже у півтора рази більшим, ніж для необробленого кетгуту.

Ключові слова: наночастки срібла, флавоноїди, кетгут, електрохімічне імпрегнування, гідролітичне розсмоктування.

Постановка проблеми. Актуальним науково-практичним завданням є надання хірургічним шовним матеріалам специфічних властивостей. Зокрема, у деяких випадках хірургічного застосування необхідним є подовження терміну розсмоктування, а також надання шовним матеріалам специфічної бактерицидної дії. Із метою підвищення

терміну розсмоктування шовні матеріали піддають так званому імпрегнуванню. В основі процесу імпрегнування лежить насичення шовного або протезного матеріалу сполуками, що володіють явно вираженою бактерицидною дією. При цьому для саморозчинних шовних матеріалів можливим є також каркасне зшивання полімерних колаге-

нових волокон під дією сильних окисників або електричного струму (електрохімічне імпрегнування), що призводить до підвищення тривалості розсмоктування. На даний час одним із прикладів промислово використовуваних зразків таких шовних матеріалів є хромований кетгут [1]. Однак цей матеріал, як і звичайний необроблений кетгут, не володіє явно вираженою бактерицидною дією.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Із метою імпрегнування та надання бактерицидних властивостей була запропонована електрохімічна катодна обробка шовного матеріалу у розчині третинних амонієвих солей, що входять до групи антибіотиків [2]. Одним із перспективних варіантів надання шовним та протезним матеріалам бактерицидних властивостей є обробка в розчинах або гелях, що містять колоїдні наночастки (НЧ) срібла, які володіють підвищеною бактерицидною дією [3-6].

Аналіз літературних даних свідчить, що наразі виготовляють як порошки, так і суспензії НЧ срібла розміром до 250 нм. Такий попит на наносрібло обумовлено поліфункціональними властивостями НЧ Ag [7]. Достовірно встановлено, що НЧ Ag проявляють антимікробні, протигрибкові, антивірусні та інші властивості. Металеві наночастинки можна отримати двома шляхами. Перший – застосовуючи фізичні методи (випаровування, конденсація, лазерна абляція). Другий – заснований на хімічному відновленні, при якому іони металу з розчину відновлюються до невеликих металевих скупчень або агрегатів [8].

З урахуванням концепції «зелених» технологій актуальним є використання «зелених» органічних сполук, отриманих із рослинної сировини, для хімічного синтезу наночастинок срібла – фітохімічний синтез. Існують різні джерела відходів рослинної сировини, що можуть слугувати джерелом «зелених» відновників та стабілізаторів у процесі фітохімічного синтезу. Так, для України перспективним джерелом відходів є жмих/вичавки, насіння та інші відходи, що утворюються при переробці фруктів. Одним із багатотоннажних типів відходів є жмих винограду. Тому перспективним є отримання нанодисперсій срібла із використанням екстракту жмиха винограду (ЕЖВ) як відновника та стабілізатора для подальшого використання у модифікації або створенні матеріалів специфічної бактерицидної дії [8–9]. Тому актуальним є дослідження процесу імпрегнування шовного матеріалу нанодисперсіями срібла, отриманими фітохімічним методом.

Постановка завдання. Метою даної роботи є дослідження властивостей наночастинок срібла,

отриманих у результаті фітохімічного синтезу із використанням екстракту жмиха винограду, та дослідження впливу умов обробки шовного матеріалу «кетгуту» в розчині синтезованих колоїдних нанодисперсій срібла на тривалість гідролітичного розсмоктування.

Виклад основного матеріалу. Розчин колоїдних наночастинок срібла отримували за методикою описаною в роботах [10; 11]. Суть методу полягає в отриманні водного екстракту, очищенні розчину від твердої фази фільтруванням та проведенні фітохімічного синтезу із використанням нітрату срібла. Формування нанодисперсій срібла в розчині підтверджували вимірюванням спектрів поглинання світла в діапазоні довжин хвиль 200 – 1100 нм. У UV-Vis спектрі спостерігався одиничний, сильний і широкий поверхневий пік плазмонного резонансу при 440 нм, що підтверджувало утворення НЧ Ag (рис. 1).

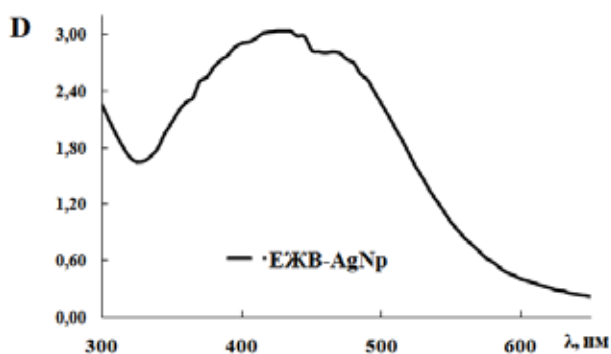


Рис. 1. Спектри поглинання ЕЖВ – AgNPs (НЧ) після 40 хв реакції, що відображає характерну поверхневу плазмонну резонансну смугу при 440 нм

Методом динамічного та електрофоретичного світлорозсіяння визначено середній розмір частинок та значення ζ -електрокінетичного потенціалу. Негативний заряд поверхні НЧ срібла ($-25,31$ мВ) обумовлений наявністю адсорбованих на поверхні НЧ іонів флавоноїдів, що виступають як стабілізатори, і будовою НЧ Ag. Середній розмір частинок варіюється в інтервалі 50-90 нм.

SEM-аналіз надає додаткову інформацію про морфологію синтезованих НЧ Ag. Зображення SEM виявили утворення окремих наночастинок срібла, а також кількох агрегатів (рис. 2). Методом інфрачервоної спектроскопії (ІЧ-спектроскопії) підтверджено окиснення основних функціональних ОН-груп поліфенольних сполук, що відповідають за відновлення катіонів Ag^+ до Ag^0 та формування НЧ Ag (рис. 3).

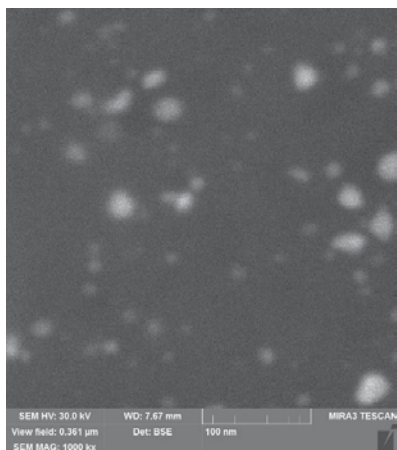


Рис. 2. SEM зображення наночастинок срібла

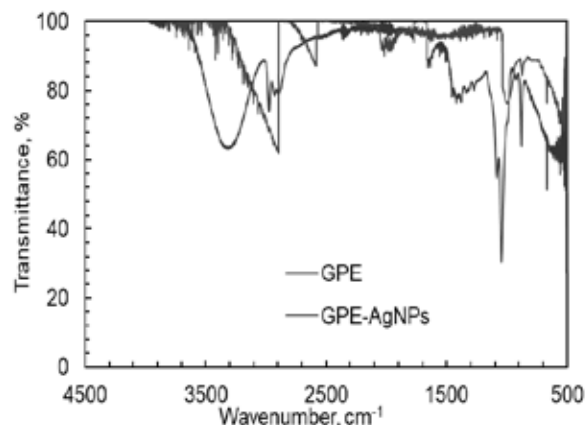


Рис. 3. ІЧ-спектри рослинного екстракту та нанодисперсії срібла

Імпрегнування шовного матеріалу. У даній роботі досліджували вплив обробки зразків шовного саморозчинного матеріалу кетгуту на його гідролітичне розсмоктування. Для досліджень використовували шовний матеріал кетгуту № 5 виробництва фірми Igar. Дослідженням піддавали зразки кетгуту довжиною 15 см. Використовували три способи обробки кетгуту. 1 – експонування кетгуту у розчині із колоїдними наночастинами срібла протягом 1 год. 2 – електрохімічне імпрегнування зразків кетгуту протягом 1 год у розчині колоїдних часток срібла. 3 – хімічне відновлення наночастинок срібла на поверхні кетгуту рослинними екстрактами.

Електрохімічне імпрегнування кетгуту здійснювали у розчині колоїдних наночастинок срібла. Визначення вольт-амперної характеристики та імпрегнування зразків кетгуту здійснювали на платинових електродах площею 2 та 5,6 см², між-електродна відстань складала 0,7 см (рис. 4).

Для підбору оптимального струмового режиму імпрегнування зразків кетгуту здійснювали на катоді та на аноді. Тривалість електрохімічної обробки становила одну годину. Як видно з рис. 4 в, г, у анодно обробленого зразка кетгуту інтенсивність забарвлення вища ніж у катодного. Це може бути пов'язано з наступним. Колоїдні частки срібла, як було встановлено в ході вимірювання ζ - потенціалу, мають негативний заряд і, відповідно, при пропусканні струму рухаються в електричному полі переважно до анода. До катода при цьому будуть рухатися катіони Ag^+ , що не відновились у процесі синтезу наночастинок. Більша інтенсивність забарвлення анодно обробленого кетгуту може свідчити про більш високу концентрацію наночастинок срібла імпрегнованих у кетгут. Відповідно, для досліджень впливу наночастинок

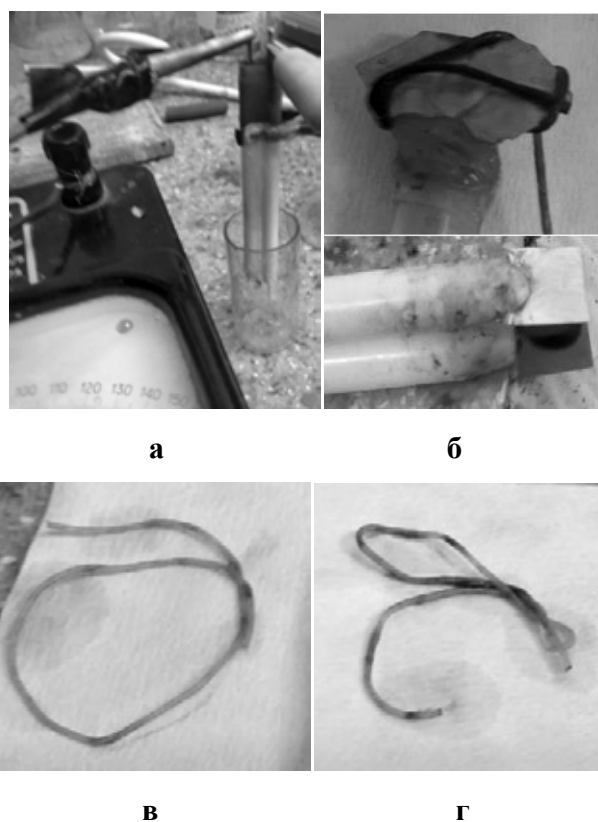


Рис. 4. Лабораторна комірка (а) платинові електроди (б). Зразки кетгуту оброблені електрохімічно: в) на катоді; б,г) на аноді

срібла на гідролітичне розсмоктування кетгуту була обрана саме анодна обробка. Вольт-амперна характеристика отримана наведена на рис. 5.

Отримана вольт-амперна залежність має стандартний вигляд для водних розчинів. Напряга розкладу розчину електроліту з колоїдними частинками срібла складає близько 2,6 В. Для електрохімічного імпрегнування кетгуту була обрана густина струму 10 мА/см² виходячи з умов енерго-

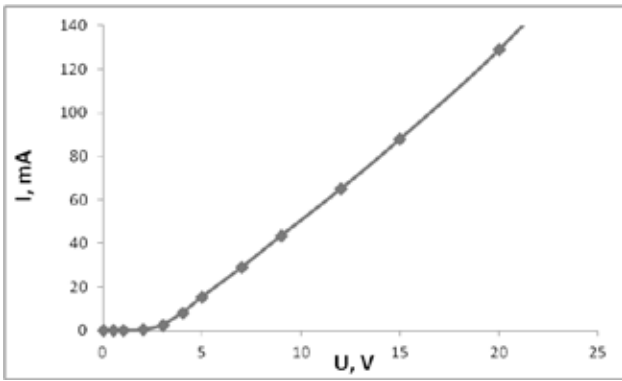


Рис. 5. Вольт амперна характеристика в розчині AgNPs синтезованих на основі екстракту винограду, отримана з використанням двох однакових платинових електродів площею 2 см², міжелектродна відстань 0,7 см

ефективності (рис. 5). Крім цього, згідно з [2] саме така густина струму використовується для електрохімічного імпрегнування шовних матеріалів.

SEM-дослідження поверхні зразків обробленого шовного матеріалу проводили за допомогою растрового електронного мікроскопа TESCAN VEGA3 оснащеного EDX аналізатором BRUKER QUANTAX EDS, результати досліджень наведені на рис. 6.

Як видно з рис. 6 б, при обробці кетгуту у розчині наночасток, срібло у вигляді нанодисперсного шару рівномірно вкриває усю поверхню шовного матеріалу. При електрохімічній анодній обробці (рис. 6. в) спостерігається поверхнева агломерація колоїдних часток срібла до угруповань із розмірами 100...500 нм. При хімічному

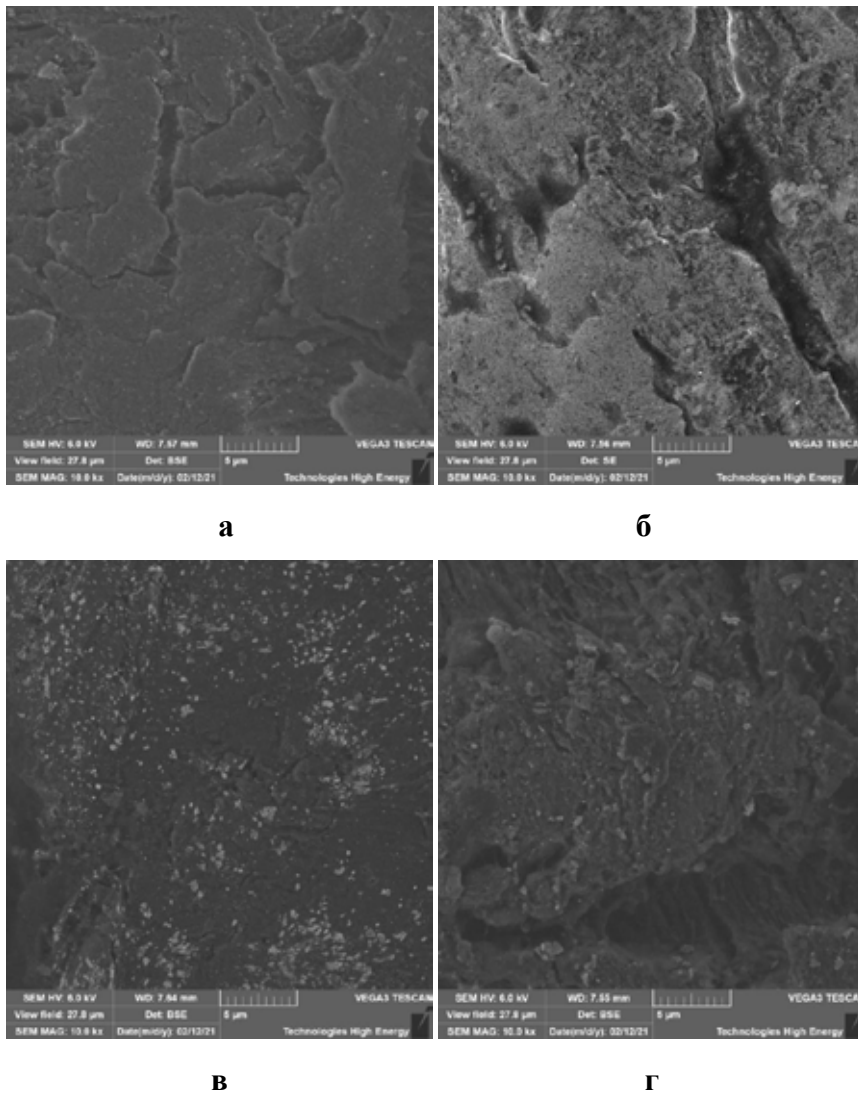


Рис. 6. SEM-зображення поверхні обробленого шовного матеріалу: а – вихідний необроблений кетгут; б – кетгут експонований у колоїдному розчині наночасток срібла; в – кетгут електрохімічно оброблений у розчині наночасток срібла; г – кетгут після відновлення на поверхні срібла рослинним екстрактом

відновленні наночасток срібла безпосередньо на поверхні шовного матеріалу, утворення останніх не спостерігається (рис. 6 в), однак чітко можна відслідкувати розрихлення поверхні шовного матеріалу.

EDX дослідження поверхневого складу шовного матеріалу показали наступне. На поверхні зразків хімічно обробленого шовного матеріалу (рис. 6 б, г) вдалось лише якісно визначити наявність срібла, через відсутність у основи (кетгуту) провідних властивостей. Кількісно оцінити склад поверхневого шару обробленого шовного матеріалу вдалось лише для зразка електрохімічно обробленого кетгуту (рис. 6 в). Результати визначення кількісного складу наведені на рис. 7.

З рис. 7 видно, що вміст срібла у поверхневому шарі є досить значним і складає близько 81,3 мас.%. Ідентифіковані елементи (вуглець, нітроген та сірка) входять до складу основи зразка – колагенових волокон. Отримані дані свідчать, що саме за рахунок електрохімічної анодної обробки досягається найвищий ступінь імпрегування (насичення) сріблом шовного матеріалу. Це також призводить до надання основі-колагену певних провідних властивостей.

Визначення розривного навантаження зразків шовного матеріалу. Одним із параметрів, що опосередковано може характеризувати здатність шовного саморозчинного матеріалу до біодеградації, що пов'язана також із його бактерицидними властивостями, є інтенсивність гідролітичного розсмоктування [6].

Дослідження впливу способу обробки шовного матеріалу на інтенсивність гідролітичного розсмоктування проводили на основі визначення

зусилля на розрив дослідних зразків. Визначення розривного зусилля проводили на зразках свіжого, щойно розпакованого кетгуту та зразках кетгуту, що пройшли обробку у колоїдних розчинах НЧ із подальшим експонування у фізіологічному розчині. Для цього використовували установку, що наведена на рис. 8.

Розривна установка, обладнана механічним приводом, давала можливість плавно створювати розривне навантаження на зразок кетгуту. Зразок кетгуту складався у двоє, на одній частині по середині зав'язували вузол. Кінці зразка нитки затискали у нижньому затискачі. У перегнутий



Рис. 8. Розривна установка: 1, 2 – затискачі; 3 – вимірювач розривного зусилля; 4 – корпус установки; 5 – дослідний зразок кетгуту

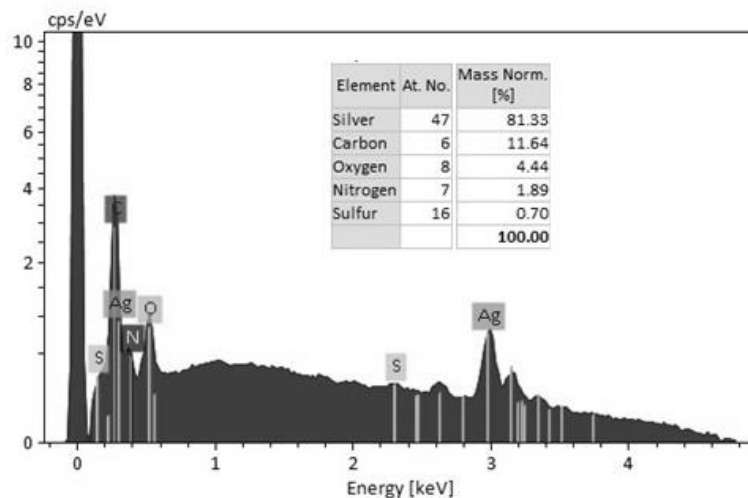


Рис. 7. EDX-спектри та хімічний склад поверхневого шару електрохімічно обробленого зразка кетгуту у колоїдному розчині наночасток срібла

кінець подвійного зразка розміщували гачок вимірювача розривного навантаження. Для визначення середнього розривного навантаження використовували не менше чотирьох зразків шовного матеріалу.

Інтенсивність гідролітичного розсмоктування зразків кетгуту встановлювали при експонуванні зразків матеріалу у колбі з фізіологічним розчином виробництва ARTERIUM. Об'єм фізіологічного розчину складав 200 мл. Температура експонування складала 27 °С, тривалість експонування – 7 діб. При експонуванні колбу закривали гумовим корком. Результати визначення розривного навантаження зразків кетгуту наведені у табл. 1.

У ході проведених досліджень було встановлено наступне. При експонуванні у фізрозчині зразків вихідного матеріалу (кетгуту) спостерігалось досить інтенсивне набухання та зменшення довжини зразків майже на 2 см. Розривне навантаження зразків стерильного кетгуту після експонування у фізіологічному розчині протягом 7 діб зменшилось у двічі, що відповідає стандарту [5]. Хімічна та електрохімічна анодна обробка в розчині наночастинок срібла призводить до менш інтенсивного набухання зразків кетгуту (зменшення довжини зразка не перевищує 1 см). При цьому розривне навантаження є майже у півтора рази більшим ніж для необробленого кетгуту, що свідчить про сповільнення гідролітичного розсмоктування. Зразки кетгуту, на поверхні якого відновлювали наночастки срібла, повністю розчинились після семи діб експонування в дослідному середовищі. Це пов'язано з тим, що температурний режим синтезу наночастинок срібла (температура 70 °С) виходить за межі стійкості колагенових волокон.

Отримані результати можуть свідчити про наступне. Хімічне осадження на поверхню шовного матеріалу колоїдних часток срібла пригнічує ріст патогенної мікрофлори, яка стимулює

біодеградацію колагенових волокон, що може паралельно відбуватись із процесом гідролітичного розсмоктування. Крім цього, електрохімічна обробка забезпечує більш високу поверхневу концентрацію срібла, що також призводить до зменшення швидкості деградації шовного матеріалу за рахунок підвищення бактерицидної дії. З іншого боку обробка кетгуту в полі анодного потенціалу може призводити до електрохімічного зшивання колагенових волокон кетгуту між собою. Як відомо, [1] імпрегнований, зокрема, хромований кетгут володіє більшою тривалістю гідролітичного розсмоктування ніж звичайний.

Висновки. Результати спектрального аналізу колоїдних дисперсій срібла, утворених відновленням нітрату срібла водним екстрактом жмиха винограду, свідчать про наявність інтенсивного і широкого поверхневого піку плазмонного резонансу при 440 нм, що підтверджує формування наночастинок срібла. Методом динамічного та електрофоретичного світлорозсіяння визначено, що середній розмір частинок складає 50-90 нм. Колоїдний розчин нанодисперсії срібла є стабільним (ζ – електрокінетичний потенціал становить -25,31 мВ).

У ході проведених досліджень показано, що хімічна та електрохімічна обробка саморозчинного шовного матеріалу (кетгут) у колоїдних розчинах наночастинок срібла синтезованих на основі екстрактів винограду, збільшує тривалість гідролітичного розсмоктування відповідного шовного матеріалу. Це пояснюється тим, що в ході анодної електрохімічної обробки може відбуватись просторове зшивання полімерних колагенових волокон. Крім цього, поверхнева агломерація наночастинок срібла, що призводить до підвищення бактерицидних властивостей та пригнічення росту патогенної мікрофлори, також може сприяти подовженню терміну гідролітичного розсмоктування шовного матеріалу.

Таблиця 1

Результати визначення розривного зусилля зразків кетгуту

№	Матеріал/обробка	Довжина після експонування у фізіологічному розчині, см	Розривне зусилля, кг
1	Кетгут стерильний	15*	6,3
2	Кетгут стерильний, після 7 діб експонування у фізрозчині	13	3,2
3	Кетгут оброблений 1 год в розчині з наночастинками срібла, після 7 діб експонування у фізрозчині	14,2	4,4
4	Кетгут оброблений анодно 1 год в розчині з наночастинками срібла, після 7 діб експонування у фізрозчині	14,4	4,9
5	Кетгут на якому відновлене срібло, після 7 діб експонування у фізрозчині	-	0

* вихідна довжина всіх типів зразків до експонування у фізрозчині

Список літератури:

1. Кетгут хромированный (ChromicGut) – хирургический шовный материал: URL : <https://www.techno-med.ru/sutures/absorbable/chromicgut/>.
2. Способ получения антимикробного шовного материала: пат. 1745266 SU: А61 М31/00, № 4842094/14; заяв. 22.06.1990; опубл. 07.07.1992; бюл. № 25. 3 с.
3. Wongpreecha J., Polpanich D., Suteewong T. et al. One-pot, large-scale green synthesis of silver nanoparticles-chitosan with enhanced antibacterial activity and low cytotoxicity. *Carbohydr Polym.* 2018. 199. P. 641–648.
4. Джимак С.С., Малышко В.В., Горячко А.И., и др. Адсорбция наночастиц серебра на моно- и полифиламентных волокнах. *Российские нанотехнологии.* 2019. Т. 14. № 1-2. С. 47–54.
5. Tra Thanh N., Ho Hieu M., Tran Minh Phuong N. et al. Optimization and characterization of electrospun polycaprolactone coated with gelatin-silver nanoparticles for wound healing application. *Mater. Sci. Eng. C. Mater. Biol. Appl.* 2018. V. 91. P. 318.
6. ГОСТ 31620-2012 Материалы хирургические шовные. Общие технические требования. Методы испытаний. Москва, 2013. 48 с.
7. Skiba M., Vorobyova V., Pivovarov A., et al. “Green” synthesis of nanoparticles of precious metals: antimicrobial and catalytic properties. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2018. V 5. № 6. P. 51–58.
8. Skiba M., Vorobyova V. Green synthesis of silver nanoparticles using grape pomace extract prepared by plasma-chemical assisted extraction method. *Molecular Crystals and Liquid Crystals.* 2018. V. 671. № 1. P. 142–151.
9. Skiba M., Vorobyova V., Shakun A., Jorndal Plasma-chemical prepared aqueous grape pomace extract as green reductant for the synthesis of silver nanoparticles: antimicrobial and antioxidant activity. *Chemical Technology and Metallurgy.* 2020. V 55. № 1. P. 52–59.
10. Vasyliiev G., Vorobyova V., Skiba M., and Khrokalo L. Green synthesis of silver nanoparticles using waste products (apricot and black currant pomace) aqueous extracts and their characterization. *Advances in Materials Science and Engineering.* 2020. № 3. P. 1–11.
11. Vorobyova V., Vasyliiev G., Skiba M. Eco-friendly “green” synthesis of silver nanoparticles with the black currant pomace extract and its antibacterial, electrochemical and antioxidant activity, applied nanoscience (APNA). 2020. P. 1–8.

Ushchapovskiy D.Yu., Vasyliiev G.S., Vorobyova V.I., Linyuchev O.G. CHEMICAL AND ELECTROCHEMICAL IMPREGNATION OF SUTURE MATERIAL WITH SILVER NANOPARTICLES SYNTHESIZED ON THE BASIS OF PLANT EXTRACTS

Aqueous extract of grape pomace was used as a reducing agent and stabilizer in the synthesis of silver nanoparticles. Analysis of the formed dispersion by dynamic and electrophoretic light scattering showed that the value of the electrokinetic potential $\zeta = -25.31$ mV, which is due to the presence of flavonoid ions adsorbed on the surface of Ag nanoparticles (NP) and the structure of nanoparticles. The average size of the studied particles varies in the range of 50–90 nm.

The dispersion of silver nanoparticles was used to treat surgical suture material – catgut. SEM-investigations of the surface of the samples of the treated suture material showed that silver evenly covers the entire surface of the suture material in the form of a nanodispersed layer after the chemical treatment of catgut in a solution of nanoparticles. During electrochemical anodic treatment, surface agglomeration of colloidal silver particles to groups with sizes of 100... 500 nm have been observed.

An EDX study of the surface composition of the suture material was performed. On the surface of the chemically treated suture material it was only possible to qualitatively determine the presence of silver, due to the lack of conductive properties in the base (catgut). The results of determining the quantitative composition of the electrochemically treated catgut indicate that it is due to electrochemical anodic treatment that the highest degree of silver impregnation (saturation) is achieved (silver content in the surface layer is 81.3 wt.%). This also leads to the acquisition of the base-collagen of conductive properties.

One of the parameters that can indirectly characterize the ability of suture self-soluble material to biodegrade, which is also associated with its bactericidal properties, is the intensity of hydrolytic resorption. The intensity of hydrolytic resorption was evaluated by determining the breaking load of catgut samples exposed after treatment in saline. Samples of catgut material were subjected to the intensive hydrolytic resorption in physiological solution, and the most intense swelling was also observed. Chemical and electrochemical anodic treatment in a solution of silver nanoparticles leads to less intense swelling of catgut samples, the breaking load is almost 1.5 times greater than for untreated catgut.

Key words: silver nanoparticles, flavonoids, catgut, electrochemical impregnation, hydrolytic resorption.

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 664.661:635.1

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/19>**Бажай-Жежерун С.А.**

Національний університет харчових технологій

Береза-Кіндзерська Л.В.

Національний університет харчових технологій

Тогачинська О.В.

Національний університет харчових технологій

ПІДВИЩЕННЯ ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ ХЛІБА ШЛЯХОМ ЗБАГАЧЕННЯ ЙОГО РОСЛИННОЮ БІЛКОВОВМІСНОЮ СИРОВИНОЮ

Проведено порівняльну оцінку хімічного складу цільнозернового та конопляного борошна. Досліджено кислотність сировини, вміст основних макронутрієнтів: білків, жирів, вуглеводів; вміст вітамінів С, Е, β-каротину, В₁, В₂, РР.

Нами досліджено вплив конопляного борошна на інтенсивність бродіння тіста. Тісто замішували безопарним способом з цільнозернового борошна з частковою його заміною на конопляне борошно у кількості 5, 7, 10%. Дріжджі додавали у кількості 2,5%, сіль – 1,5% від маси борошна. Відмічено позитивний вплив додавання збагачувача на процес газоутворення у тісті. Найвищі показники сумарного газоутворення мали зразки з вмістом збагачувача 7 та 10%. Встановлено, що кислотність тіста і, відповідно, готових виробів із добавкою конопляного борошна змінювалась незначно – у межах 0,1–0,5 град. Для підвищення харчової цінності та поліпшення органолептичних показників готових виробів напівфабрикати посипали обрушеним насінням конопель, вміст якого у рецептурі складав 1,0%.

Доведено, що збагачення цільнозернового пшеничного хліба конопляним борошном та насінням не погіршують структуру пористості виробів. За умови внесення борошна конопель у кількості 5–10% та насіння у кількості 1% до рецептури цільнозернового хліба смак та аромат залишаються прийнятними, а також набувають приємного легкого відтінку збагачувача.

Розраховано харчову та біологічну цінність хліба, збагаченого продуктами перероблення конопель. Встановлено, що кількість білка підвищилась на 27,58–50,58%, клітковини у 2–2,5 рази; ліпідів, які є джерелом поліненасичених жирних кислот, – у три рази порівняно з кількістю у цільнозерновому хлібі. Доведено збільшення кількості вітамінів у збагаченому хлібі, зокрема токоферолів з 0,5 мг% до 2,7–4,5 мг%, β-каротину з 0,1 мг% до 0,47–0,79 мг%; тіаміну з 0,18 мг% до 0,25–0,32 мг%, залежно від вмісту конопляного борошна у рецептурі. Підвищився вміст мінеральних сполук, зокрема Са, К, Mg, Р, Fe.

Встановлено, що ступінь забезпечення добової потреби в макро- та мікронутрієнтах дорослого населення першої групи інтенсивності за рахунок споживання 100 г хліба, збагаченого продуктами перероблення конопель, складає: білки – 18%, жири – 4,4%, вуглеводи – 15,6%, з них харчові волокна – 11%.

Ключові слова: цільнозернове пшеничне борошно, конопляне борошно, насіння, білок, харчова цінність, вітаміни.

Постановка проблеми. Наразі в усіх прогресивних країнах світу, а також в Україні актуальним питанням є розроблення нових видів харчових продуктів оздоровчого, функціонального та лікувально-профілактичного призна-

чення з використанням нетрадиційних видів рослинної сировини, багатих есенціальними компонентами: незамінними амінокислотами, вітамінами, мінеральними сполуками, харчовими волокнами тощо.

Хліб та хлібобулочні вироби користуються великим споживчим попитом у всіх соціальних верств населення та займають чільне місце у харчовому раціоні. Відомо, що у процесі виробництва сортові види борошна втрачають значну частку цінних мікронутрієнтів, які містяться у периферійних частинах зерна і видаляються під час помелу. Тому доцільним є більш широке використання цілнозернового борошна у технології хлібобулочних виробів, а також застосування перспективних збагачувачів природного походження, зокрема рослинної сировини, яка є джерелом необхідних нутрієнтів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Конопляне насіння – це джерело цінних фітонутрієнтів. Воно містить 30–35% ліпідів, 17–25% білка, 14–27% клітковини, 2,5–7,0% сирової золи, безазотистих екстрактивних речовин 14–27%. Продуктами перероблення конопель є обрушене конопляне насіння, конопляна олія, конопляне борошно, висівки конопляні (клітковина), конопляний протеїн [1, с. 17].

Науковцями досліджено, що насіння конопель включає від 26,6 до 37,8% ліпідів; вони містять 81% ПНЖК, з яких 59,6% складає лінолева кислота (ω -6), 3,4% – γ -ліноленова (ω -3) та 18% – α -ліноленова (ω -6) кислота [2, с. 404]; у більшості сортів конопель співвідношення есенціальних жирних кислот ω -6 : ω -3 варіюється від 2,1 до 4,9 [3, с. 10].

Збагаченням хлібних виробів продуктами перероблення конопель займаються як вітчизняні, так і закордонні науковці.

Л.А. Самофаловою та Н.А. Березіною доведена доцільність використання борошна конопляного в суміші з борошном житнім і пшеничним у виробництві хліба. Завдяки додаванню конопляного борошна (10% від вмісту пшеничного борошна) тривалість бродіння і випічки тіста скорочується на 30%, питомий об'єм хліба підвищується на 26,3%, пористість збільшується на 10,9%. Споживання рекомендованої фізіологічної норми такого хліба задовольняє добову потребу організму в білках, жирах, харчових волокнах на 45–85%, у магнії і залізі – повністю [4, с. 33].

О. Лукін також відмічає суттєве поліпшення харчової цінності хліба у разі додавання борошна конопель: вироби містять більшу кількість білків на 27,4%, жирів – на 200,8%; харчових волокон – на 497,2%, порівняно з контрольними зразками без добавки [5, с. 117].

Науковці пропонують для збагачення хліба ненасиченими жирними кислотами додавання

конопляної олії, яка містить оптимальне співвідношення Омега-3 та Омега-6 жирних кислот (1:3) порівняно з іншими оліями. Доведено, що заміна 10% пшеничного борошна першого сорту на конопляне борошно забезпечує найкращу якість хліба [6, с. 57].

Журавльова Л.А., Журавльов А.П. та Терехов М.Б. дослідили вплив конопляної олії на якість пшеничного хліба із борошна вищого сорту. Відмічено, що у разі додавання конопляної олії, яка є цінним продуктом і має оздоровчі властивості, в кількості 2% такі показники, як питомий об'єм хліба, пористість м'якушки, колір скоринки, покращуються. Додавання конопляної олії під час виробництва пшеничного хліба дозволяє отримати цінний продукт за рахунок вмісту поліненасичених жирних кислот [7, с. 52].

Досліджено вплив конопляного борошна на реологічні властивості пшеничного тіста та якість готових виробів за умови співвідношення конопляного / пшеничного борошна (0/100, 5/95, 10/90 та 20/80). Встановлено, що конопляне борошно впливало на поглинання води і час розробки тіста, питомий об'єм хліба, колір та структурно-текстурні властивості хлібної крихти залежно від рівня заміщення. Хліб, доповнений конопляним борошном, мав кращу поживність, підвищений вміст білків та макроелементи, особливо залізо, порівняно з традиційним [8, с. 338].

Відмічено, що додавання сирого конопляного борошна до пшеничного у кількості до 20% та смаженого конопляного борошна до 15% підвищує вміст мінеральних речовин, білка, жиру, фенольних сполук, а також значення антиоксидантної активності кондитерських виробів [9, с. 180].

Поєднання борошна конопель та ячмінного для збагачення пшеничного борошна сприяє збільшенню питомого об'єму та забезпечує високі сенсорні профілі печива [10, с. 554]. Конопляне борошно є перспективною добавкою у макаронному виробництві. Відмічено, що макаронні вироби, збагачені конопляним борошном у кількості 30–40%, мали підвищений вміст білка, жиру, мінеральних сполук, прийнятні сенсорні показники [11, с. 13].

Конопляне насіння та борошно є потенційним інгредієнтом для збагачення білками безглютенової сировини у виробництві хлібобулочних виробів. Додавання конопляного насіння до заквасок підвищує концентрацію протимікробних сполук, поліпшує харчову цінність та органолептику готового хліба [12, с. 160].

Узагальнена характеристика борошна

Показник	Зразок борошна	
	Конопляне	Цільнозернове пшеничне
Вологість, %	9,54	11,5
Кислотність	3,4 град	2,5 град
Кількість сирової клейковини, %	-	20 %
Білки, %	39,67 %	12,6 %
Жири, %	10,76	1,5
Крохмаль, %	5,25	68,04
Клітковина, %	13,81	2,42
Загальний вміст золи, %	8,42	2,5
Вітаміни, мг%:		
Е	44,8	0,5
β-каротин	6,24	0,15
С	5,84	2,6
В ₁	1,23	0,18
В ₂	0,11	0,15
РР	4,4	3,5

У літературі відсутні дані щодо збагачення цільнозернового пшеничного хліба конопляним борошном та насінням.

Постановка завдання. Розширення сировинної бази та використання нетрадиційних джерел біологічно активних сполук, які сприяють підвищенню харчової та біологічної цінності готової продукції, зокрема хлібобулочних виробів, є актуальним завданням технологів харчової промисловості.

Метою нашої роботи є обґрунтування доцільності застосування продуктів перероблення конопель – борошна та насіння, які є джерелом цінних нутрієнтів, для збагачення цільнозернового пшеничного хліба.

Виклад основного матеріалу. Цільнозернове пшеничне борошно, до складу якого входять оболонкові частини зерна, алейроновий шар та зародок, містить потужні антиоксиданти – вітамін Е, С, каротиноїди, холін, ряд вітамінів групи В, фенольні сполуки; кофактори антиокислювальних ферментів – мікроелементи Se, Cu, Mg, харчові сорбенти – клітковину, лігнін, лігнани. Однак вміст білкових речовин у зерновій сировині відносно не високий, а також білок не збалансований за амінокислотним складом. Тому доповнення пшеничного борошна високобілковою сировиною підвищить харчову цінність хлібобулочних виробів. Нами запропоновано збагачення цільнозернового борошна конопляним насінням та борошном з метою отримання хліба оздоровчого призначення.

Продукти перероблення конопель мають високу харчову і біологічну цінність. Ця сировина є джерелом протеїну, поліненасичених жирних кислот, харчових волокон, вітамінів Е, β-каротину, С, D і К, вітамінів групи В, вітаміноподібної речовини інозиту, мінеральних сполук.

Для порівняння харчової цінності ми дослідили зразки цільнозернового та конопляного борошна. Результати наведено у таблиці 1.

Відмічено, що конопляне борошно містить утричі більше білка, у сім разів більше жирів та у п'ять разів більше клітковини порівняно з пшеничним цільнозерновим борошном; кількість вітамінів, зокрема токоферолів, каротиноїдів, В₁, також значно вища у конопляному борошні.

Досліджено також вплив конопляного борошна на кількість та якість клейковини цільнозернового пшеничного борошна. Проаналізовано вплив додавання конопляного борошна у кількості 5, 7, 10% до загальної маси борошна. Маса сирової клейковини цільнозернового борошна складала 27,5%.

Відмічено, що вміст клейковини у суміші цільнозернового пшеничного борошна та конопляного був дещо нижчим (26,2–24,8%), залежно від кількості збагачувача. Це пов'язано насамперед з особливістю білкового комплексу конопляного борошна також з можливими складними біохімічними процесами утворення комплексів складниками збагачувача з клейковинними білками пшеничного борошна.

Нами досліджено вплив конопляного борошна на інтенсивність бродіння тіста. Тісто замішували безопарним способом з цільнозернового борошна з частковою його заміною на конопляне борошно у кількості 5, 7, 10%. Дріжджі додавали у кількості 2,5%, сіль – 1,5% від маси борошна. Відмічено позитивний вплив додавання збагачувача на процес газоутворення у тісті. Найвищі показники сумарного газоутворення мали зразки з вмістом збагачувача 7 та 10%. Це пояснюється поліпшенням поживного середовища тіста за рахунок збагачення білковими речовинами та мікронутрієнтами конопляного борошна.

Для підвищення харчової цінності та поліпшення органолептичних показників готових виробів напівфабрикати посипали обрушеним насінням конопель, вміст якого у рецептурі склав 1,0%.

Проведено пробне лабораторне випікання хліба з додаванням конопляного борошна та насіння. Фізико-хімічні показники якості тіста та хліба з продуктами перероблення конопель наведено у таблиці 2.

Показники якості тіста та хліба з цільнозернового пшеничного борошна, збагаченого конопляним борошном

Показник	Контроль	Внесення конопляного борошна, %		
		5	7	10
Тісто				
Масова частка вологи, %	44,0	43,8	43,5	42,9
Титрована кислотність, град				
початкова	2,2	2,4	2,6	3,0
кінцева	2,7	2,8	3,0	3,2
Хліб				
Масова частка вологи, %	43,3	42,9	42,6	42,8
Кислотність, град	2,7	2,8	3,0	3,2
Питомий об'єм, см ³ /г	2,76	2,72	2,70	2,66
Пористість, %	69	68	67	65

Органолептичні показники хліба, збагаченого продуктами перероблення конопель

Показники	Хліб пшеничний цільнозерновий	Хліб пшеничний з додаванням конопляного борошна, %		
		5	7	10
Колір скоринки	Сірувато-світло-коричневий	Світло-коричневий	Коричневий	Коричневий насичений
Стан поверхні	Гладка, рівна борошниста	Гладка, рівна борошниста		Рівна з незначними тріщинами
Стан м'якушки: структура пористості;	Еластична, рівномірна, розвинена, без пустот та ущільнень;	Еластична, середня, рівномірна, тонкостінна	Середня, рівномірна, тонкостінна	Дрібна, нерівномірна, тонкостінна
пропеченість	Пропечена без слідів непромісу не волога на дотик			
Колір м'якушки	Світло-сірий	Сірий з легким коричневим відтінком	Сірий із світло-коричневим відтінком	Сірий з коричневим відтінком, помітні крапління часток збагачувача
Запах хліба	Властивий пшеничному хлібу	Властивий пшеничному хлібу	Властивий хлібу, з ледь відчутним приємним ароматом конопляного насіння	Властивий хлібу з відчутним приємним ароматом конопляного насіння
Смак	Властивий пшеничному хлібу	Властивий пшеничному хлібу	Властивий хлібу, із ледь відчутним приємним смаком конопляного насіння	Властивий хлібу, із відчутним приємним смаком та ароматом конопляного насіння

Відмічено, що кислотність тіста і, відповідно, готових виробів із додавкою конопляного борошна змінювалась незначно – у межах 0,1–0,5 град. Встановлено, що у разі додавання конопляного борошна до рецептури цільнозернового пшеничного хліба питомий об'єм виробів дещо знижується (на 2,5–3,6%), залежно від внесення збагачувача; пористість хліба також зменшилась, найсуттєвіше – у зразку з максимальною кількістю конопляного борошна. Результати органолептичного аналізу показників якості готових виробів наведено у табл. 3.

Результати досліджень показали, що збагачення цільнозернового пшеничного хліба коно-

пляним борошном та насінням не погіршують структуру пористості виробів. За умови внесення борошна конопель у кількості 5–10%, та насіння у кількості 1% смак та аромат залишаються не тільки прийнятними, але й набувають приємного легкого відтінку збагачувача.

Аналізуючи розраховану харчову та біологічну цінність хліба, збагаченого продуктами перероблення конопель, відмічено загальне збільшення вмісту важливих макронутрієнтів: кількість білкових речовин підвищилась на 27,58–50,58%, клітковини у 2–2,5 рази; ліпідів, які є джерелом поліненасичених жирних кислот у три рази порів-

няно з кількістю у цільнозерновому хлібі. Суттєво збільшилась кількість вітамінів у збагаченому хлібі: токоферолів з 0,5 мг% до 2,7–4,5 мг%, β-каротину з 0,1 мг% до 0,47–0,79 мг%; тіаміну з 0,18 мг% до 0,25–0,32 мг%, залежно від вмісту конопляного борошна у рецептурі. Підвищився вміст мінеральних сполук, зокрема Ca, Mg, P, Fe.

Цільнозерновий хліб є функціональним харчовим продуктом. Встановлено, що ступінь забезпечення добової потреби в макро- та мікронутрієнтах, дорослого населення першої групи інтенсивності, за рахунок споживання 100 г цільнозернового хліба, збагаченого продуктами перероблення конопель складає: білки – 18%, жири – 4,4%, вуглеводи – 15,6%, з них харчові

волокна – 11%; вітаміни: E – 20%, β-каротин – 12%, B₁ – 19 %, B₂ – 6%.

Висновки. Отримані результати мають практичну значимість, оскільки доводять підвищення харчової цінності цільнозернового хліба шляхом збагачення його продуктами перероблення конопель – борошном та насінням. Внесення конопляного борошна у кількості 5–10% до рецептури забезпечує хороші органолептичні показники хліба та сприяє збільшенню вмісту білкових речовин, харчових волокон та вітамінного комплексу. Застосування продуктів перероблення конопель є перспективним напрямом для збагачення харчових продуктів на зерновій основі важливими біологічно активними сполуками.

Список літератури:

1. Сова Н.А. Насіння ненаркотичних конопель – перспективна біологічно активна сировина для харчової промисловості. *Хранение и переработка зерна*. 2017. Вип. 9 (217) С. 16–19.
2. Da Porto, Decorti C., Tubaro D. Fatty acid composition and oxidation stability of hemp (*Cannabis sativa* L.) seed oil extracted by supercritical carbon dioxide (English). *Industrial Crops and Products*. 2011. 36(1). P. 401–404.
3. Schultza C.J., Lima W.L., Khora Shi F., Neumanna K.A., Schulza J.M., Ansaric O., Skewesf M.A., Burtona R.A. Consumer and health-related traits of seed from selected commercial and breeding lines of industrial hemp, *Cannabis sativa* L. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2020. Т. 2. P. 10–23.
4. Самофалова Л.А., Березина Н.А. Повышение качества ржано-пшеничного хлеба путем внесения конопляной добавки. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2004. № 4. С. 31–33.
5. Lukin A., Vitiutskikh K. On potential use of hemp flour in bread production. *Agricultural Food Engineering*. 2017. Vol. 10 (59). No. 1. P. 113–118.
6. Фелендиш Н.О., Янюк Т.І., Бадрук Ю.В. Використання продуктів переробки конопляного насіння в хлібопеченні. *Хранение и переработка зерна*. 2016. № 12. С. 55–57.
7. Журавлева Л.А., Журавлев А.П., Терехов М.Б. Конопляное масло и его использование в хлебопечении. *Хранение и переработка зерна*. 2012. № 5. С. 51–53.
8. Bread supplementation with hemp seed cake: a by-product of hemp oil processing Pojic M., Dapc T., Hadnad E., Hadnad M., Rakita S., Brlek T. *Journal of Food Quality*. (2015). 38.(4). P. 431–440.
9. Ertaş, N., Aslan, M. Antioxidant and physicochemical properties of cookies containing raw and roasted hemp flour. *Acta Sci. Pol. Technol. Alimen*. (2020). 19(2), 177–184.
10. Cookie Making Potential of Composite Flour Containing Wheat, Barley and Hemp Hrušková M., Švec I. *Czech J. Food Sci*. 2015. 33 (6). P. 545–555.
11. Teterycz D., Sobota A., Przygodzka D., Łysakowska P. Hemp seed (*Cannabis sativa* L.) enriched pasta: Physicochemical properties and quality evaluation. *PLoS ONE*. 2021. 16(3). P. 1–14.
12. Nissen L., Bordoni A., Gianotti A. Shift of Volatile Organic Compounds (VOCs) in Gluten-Free Hemp-Enriched Sourdough Bread. *Nutrients*. 2020. 12. P. 150–169.

Bazhay-Zhezherun S.A., Bereza-Kindzerska L.V., Togachynska O.V. ENHANCEMENT OF BREAD NUTRITIONAL VALUE BY ITS ENRICHMENT WITH VEGETABLE PROTEIN-CONTAINING RAW MATERIALS

The chemical composition of whole grain and hemp flour was compared. The acidity of raw materials, the content of the main macronutrients were studied: proteins, fats, carbohydrates; content of vitamins C, E, β-carotene, B₁, B₂, PP.

We investigated the effect of hemp flour on the intensity of dough fermentation. The dough was kneaded in a steamless way from whole grain flour with its partial replacement by hemp flour in the amount of 5, 7, 10%. Yeast was added in an amount of 2.5%, salt – 1.5% by weight of flour. The positive effect of the addition of enrichment on the process of gas formation in the dough was noted. The highest indicators of total gas formation were samples with enrichment content of 7 and 10%. It was established that the acidity of the dough and, accordingly, finished products with the addition of hemp flour varied slightly – in the range of

0.1–0.5 deg. To increase nutritional value and improve organoleptic indicators of finished products, semi-products were sprinkled with collapsed hemp seeds, the content of which in the recipe was 1.0%. It has been proved that the enrichment of whole grain wheat bread with hemp flour and seeds does not worsen the porosity structure of the products. If hemp flour is added in an amount of 5-10%, and seeds in an amount of 1% to the recipe of whole grain bread, the taste and aroma remain not only acceptable, but also acquire a pleasant light tint of enrichment.

The nutritional and biological value of bread enriched with hemp processing products is calculated. It was found that the amount of protein increased by 27.58–50.58%, fiber by 2–2.5 times; lipids, which are a source of polyunsaturated fatty acids three times the amount in whole grain bread. There was an increase in the amount of vitamins in fortified bread, in particular tocopherols from 0.5 mg% to 2.7–4.5 mg%, β -carotene from 0.1mg% to 0.47–0.79 mg%; thiamine from 0.18 mg% to 0.25–0.32 mg%, depending on the content of hemp flour in the recipe. The content of mineral compounds, in particular Ca, K, Mg, P, Fe, has increased.

It was established that the degree of ensuring the daily need for macro- and micronutrients, the adult population of the first intensity group, due to the consumption of 100 g of bread enriched with hemp processing products, is: proteins – 18%, fats – 4.4%, carbohydrates – 15.6%, of which food fibers – 11%.

Key words: *whole wheat flour, hemp flour, seeds, protein, nutritional value, vitamins.*

УДК 637.146.344

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/20>**Геліх А.О.**

Сумський національний аграрний університет

Янь Жуй

Сумський національний аграрний університет

РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ У ПРОЦЕСІ ЗБЕРІГАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЙОГУРТУ З НАТУРАЛЬНИМ НАПОВНЮВАЧЕМ

Сучасні технології виробництва йогуртів передбачають використання різних добавок для поліпшення технологічних властивостей, а також якісних і текстурних характеристик. У роботі було розроблено нові технологічні рішення в рецептурах йогуртів без стабілізатора з харчовими волокнами, що містяться в порошку банана, й оцінено якість нових типів йогуртів. Розроблено рецептуру та технологію йогурту з наповнювачем – банановий порошок у кількостях 5, 7 та 10 %. Досліджено якісні показники розробленого йогурту (кислотність, мікробіологічні та токсикологічні показники) в процесі зберігання (15 діб). Проаналізовано залежність кислотності продукту від кількості внесення наповнювача – банановий порошок у процесі зберігання. Встановлено, що найменшу активну кислотність створював наповнювач – банановий порошок, який було внесено в кількості 10 %. Низькі показники активної кислотності зразка свідчить про його гірші органолептичні показники, ніж аналогічні показники дослідних зразків і контролю. Найкращими показниками активної кислотності володіє зразок йогурту з наповнювачем банановий порошок у кількості 5 %. Визначено вплив наповнювача – банановий порошок на мікробіологічні й токсикологічні показники йогурту в процесі зберігання. Дослідження мікробіологічних показників контрольного зразка йогурту класичного й дослідних зразків із банановим порошком у процесі зберігання (15 діб) свідчать про те, що умовно-патогенна і патогенна мікрофлора є в межах допустимих значень. Токсикологічні дослідження показали, що за показниками безпеки розроблено зразки йогуртів із наповнювачем – банановий порошок задовольняють токсикологічні вимоги, що висуваються до цього виду продукції. На підставі проведених досліджень доведено, що йогурт із натуральним наповнювачем – банановий порошок – зберігає високі показники якості протягом усього періоду зберігання.

Ключові слова: йогурт, технологія, натуральний наповнювач, банановий порошок, кислотність, мікробіологічні показники, токсикологічні показники.

Постановка проблеми. У роботі досліджується, як додавання бананового порошку в різних відсоткових кількостях внесення впливає на якісні показники (кислотність, мікробіологічні та токсикологічні показники) у процесі зберігання. Додавання бананового порошку дає можливість отримати йогурт із рівномірним кольором, унікальним і чистим ароматом банана, ніжним кисло-солодким смаком. Банан багатий на білок, вітаміни, мінерали, харчові волокна та інші функціональні компоненти для підтримки балансу кишкової флори, не містить холестерину, є здоровим харчовим продуктом. Додавання бананового порошку до технології йогурту допоможе збільшити харчову та біологічну цінність продукту. Порошок банану, зі свого боку, буде діяти як стабілізатор структури йогурту. Додавання порошку банана допоможе

нам отримати корисний харчовий продукт із низкою нових якісних властивостей [1].

Останнім часом зростає попит на натуральні кисломолочні продукти, що не містять у своєму складі штучних наповнювачів (стабілізаторів, ароматизаторів, барвників тощо), збагачених натуральними інгредієнтами, які виступають аналогами речовин хімічної природи. Підвищують резистентність організму людини до різних захворювань і благотворно впливають на фізіологічні процеси [2].

Пріоритетне місце серед натуральних і корисних продуктів належить кисломолочним виробам, особливо йогурту. Приємний смак, легкість засвоєння, знижений вміст лактози, збалансований хімічний склад роблять кисломолочні продукти незамінними в харчуванні всіх вікових груп. Кисломолочні продукти є дієтичними, оскільки сти-

мулюють секретні функції шлунка, підшлункової залози, кишечника [3].

Вміщені в йогурті молочнокислі бактерії зумовлюють для організму бактеріостатичний і антибіотичний ефекти, пригнічуючи розвиток патогенної і гнильної мікрофлори [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Йогурт – кисломолочний продукт, що має високу популярність у всьому світі й володіє високою поживною цінністю завдяки значній концентрації катіонів кальцію та біологічно активних природних компонентів [5]. Натуральний йогурт без добавок отримують додаванням у молоко молочнокислих бактерій, що викликають молочнокисле бродіння [6].

Важливими компонентами в харчуванні людини є овочі та фрукти – багаті джерела природних антиоксидантів, вітамінів, мінеральних речовин, органічних кислот, клітковини, вуглеводів, ефірних олій та інших БАР, що сприяють поліпшенню обміну речовин, підвищують імунний статус організму, секреторну й рухову діяльності шлунково-кишкового тракту, засвоюваність інших харчових речовин і т. д. [7].

Сучасні технології виробництва йогуртів передбачають використання різних добавок для поліпшення технологічних властивостей товарів, а також якісних і мікробіологічних характеристик [8]. Термін «гідроколоїди» у кисломолочних напоях передбачає полісахариди й білки, які широко використовуються в технології йогуртів, де вони виконують функції загущення, гелеутворення, емульгування, стабілізації тощо [9–10].

Постановка завдання. Метою статті є розроблення рецептури йогурту з наповнювачем банановий порошок і дослідження його якісних показників у процесі зберігання.

Для досягнення мети дослідження було потрібно розв'язати такі завдання:

1. Розробити рецептуру йогуртів із наповнювачем банановий порошок.
2. Проаналізувати зміну кислотності продукту в процесі зберігання.
3. Дослідити мікробіологічні та токсикологічні показники йогурту з наповнювачем банановий порошок.

Матеріали та методи. Контрольну та дослідні партії йогурту було виготовлено за термостатним способом в умовах кафедри технологій та безпечності харчових продуктів Сумського національного аграрного університету, згідно з вимогами чинної нормативно-технічної документації.

Активну кислотність продуктів визначали методом прямої потенціометрії (ГОСТ 26781) за допомогою рН-метра «рН–500».

Кількість бактерій групи кишкових паличок (коліформних бактерій) – за ДСТУ 9225. Кількість бактерій групи Salmonella – за ДСТУ IDF 93A. Кількість бактерій групи Listeria monocytogenes – за ДСТУ ISO 11290-1, ДСТУ ISO 11290-2. Кількість бактерій групи Staphylococcus aureus визначали відповідно до ДСТУ 30347.

Вміст токсичних елементів визначають за ДСТУ 30178 або свинець – згідно з ДСТУ 26932, кадмій – згідно з ДСТУ 26933, миш'як – згідно з ДСТУ 26930, ртуть – згідно з ДСТУ 26927, підготовка проб – згідно з ДСТУ 26929.11.14.

Побудову графіків і математичну обробку отриманих результатів проводили в програмі MS Excel 2010.

Виклад основного матеріалу дослідження. У пастеризоване за температури 90–95 °С, з витримкою 3 хв, коров'яче молоко вносили наповнювач у кількості 5, 7 та 10 кг на 10 л молока. Як наповнювач виступав банановий порошок. Суміш перемішували протягом 10 хв і охолоджували до температури 40–42 °С.

Після досягнення заданої температури в неї вносили закваску. Для приготування йогуртів використовували закваску бактеріальну “Good Food”, виготовлену згідно з ТУУ17.5-2830200036-001:2007.

Сквашування контрольного зразка без наповнювачів (К) та дослідних (Д1, Д2 та Д3) проводили у термостаті за температури 40–45 °С протягом 5 годин до утворення щільного згустку.

За зовнішнім виглядом усі отримані, контрольний та дослідні зразки мали однорідний, щільний згусток.

Рецептуру йогуртів підібрано за технологічною інструкцією для одержання готового продукту відповідно до вимог ДСТУ 4343:2004 «Йогурти. Загальні технічні умови» [11]. Як контрольний зразок обрано рецептуру йогурту з масовою часткою жиру 2,5 % [12]. Паралельно готували три зразки йогурту з різною кількістю наповнювача – бананового порошку (табл. 1).

Проводили визначення активної кислотності контрольного та дослідних зразків йогурту. Результати дослідження представлено на рис. 1.

Із графіка на рис. 1 видно, що контрольний (К), без наповнювача, але зі стабілізатором, та дослідний (Д1) зразки йогурту, із наповнювачем природного походження (порошком банана у кількості 5 %), характеризувалися майже однаковою високою активною кислотністю. На 5-ту добу зберігання

рівень кислотності рН контрольного зразка (К) становив 4,4, зразка із банановим порошком у кількості 5 % (Д1) – 4,8. На 10-ту добу значення рН зазначено на рівні 4,21 (для зразка К1) та 4,15 (для зразка Д1). На 15-ту добу дослідження рівень рН зразка зі стабілізатором був нижчим (3,8), порівняно зі зразком із банановим порошком (3,9), на 0,1.

Дещо меншою активною кислотністю відрізнявся зразок йогурту, до складу якого було введено 7 % бананового порошку, його рівень активної кислотності рН становив: на 5-ту добу – 4,25; на 10-ту добу – 3,9; на 15-ту – 3,5. Зразок (Д№)

із наповнювачем банановий порошок у кількості 10 % хоч і вирізнявся найнижчими показниками кислотності (рН=4,1; 3,6; 3,1 (відповідно на 5, 10 та 15-ту добу дослідження), проте всі ці показники були в межах допустимих значень.

Другим етапом досліджень стало визначення зміни кількості бактерій групи кишкової палички (коліформні бактерії) в 0,01 г йогурту, бактерій групи Salmonella, бактерій групи Listeria monocytogenes і Staphylococcus aureus в дослідних і контрольному зразках йогуртів із наповнювачем банановий порошок у процесі зберігання (табл. 2).

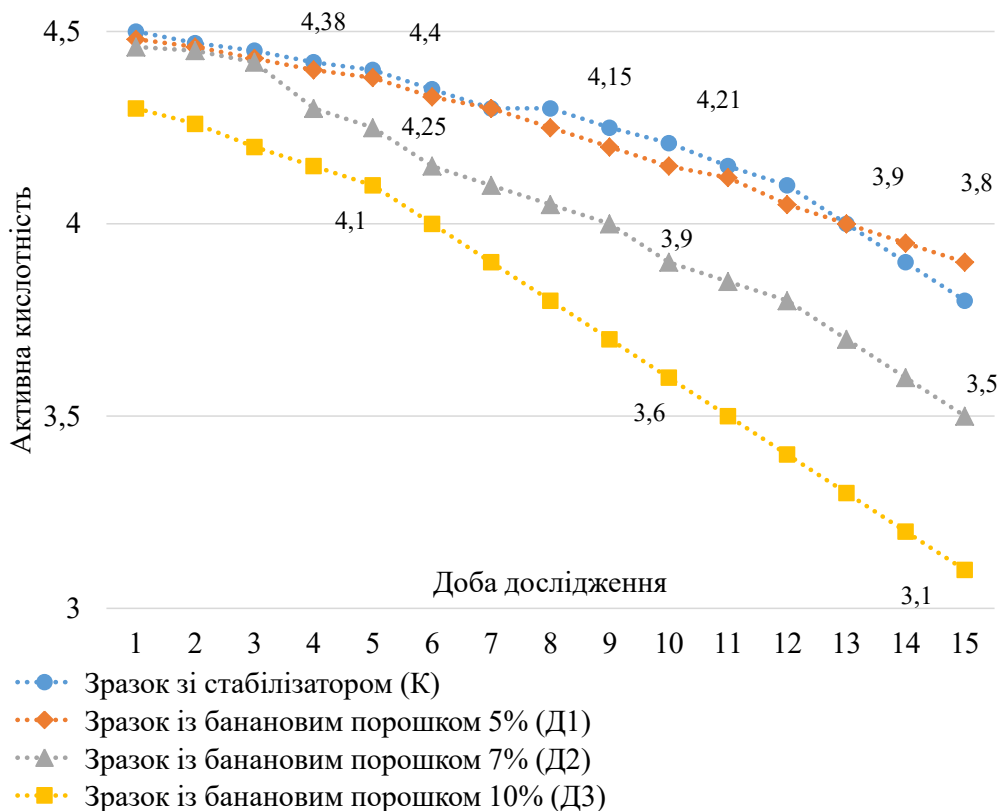


Рис. 1. Зміна активної кислотності йогуртів із банановим порошком у процесі зберігання

Таблиця 1

Рецептури йогурту з наповнювачами з масовою часткою жиру 2,5 % (у кг на 1000 кг продукту без врахування втрат)

Найменування інгредієнтів	Контрольний зразок	Йогурти з наповнювачами		
		Банановий порошок	Банановий порошок	Банановий порошок
	К	Д1	Д2	Д3
Молоко незбиране з масовою часткою жиру 2,5 %	950	900	880	850
Закваска на знежиреному молоці	50	50	50	50
Кількість наповнювача	0	50	70	100
Стабілізатор STABMILK-P	0,001	0	0	0
Усього	1000	1000	1000	1000

Зміна мікробіологічних показників у досліджуваних і контрольному зразках йогуртів із наповнювачем банановий порошок у процесі зберігання

Назва показника	Допустимий рівень	Зразок	Термін зберігання, діб			
			0	5	10	15
Бактерії групи кишкової палички (коліформи), в 0,01 г йогурту	Не допускається Згідно з ДСТУ 6003:2008	Контроль	–	–	–	–
		Дослідні зразки	–	–	–	–
Патогенні мікроорганізми, зокрема бактерії роду <i>Salmonella</i> , в 25 г йогурту	Не допускається	Контроль	–	–	–	–
		Дослідні зразки	–	–	–	–
<i>Staphylococcus aureus</i> , в 1 г йогурту, не більш ніж	5,0×10 ²	Контроль	2,5×10 ²	2,5×10 ²	2,5×10 ²	2,6×10 ²
		Дослідні зразки	2,5×10 ²	2,5×10 ²	2,5×10 ²	2,7×10 ²
<i>Listeria monocytogenes</i> , в 25 г йогурту	Не допускається	Контроль	–	–	–	–
		Дослідні зразки	–	–	–	–

Таблиця 3

Токсикологічні показники в досліджуваних і контрольному зразках йогуртів із наповнювачем банановий порошок у процесі зберігання

Назва показника	Допустимий рівень, не більше	Зразок	Термін зберігання, діб			
			0	7	14	30
Свинець	0,3	Контроль	0,1	0,1	0,1	0,1
		Дослідні зразки	0,1	0,1	0,1	0,1
Кадмій	0,2	Контроль	0,14	0,14	0,14	0,14
		Дослідні зразки	0,14	0,14	0,14	0,14
Миш'як	0,2	Контроль	0,01	0,01	0,01	0,01
		Дослідні зразки	0,01	0,01	0,01	0,01
Ртуть	0,02	Контроль	–	–	–	–
		Дослідні зразки	–	–	–	–

Дослідження мікробіологічних показників контрольного зразка класичного йогурту без наповнювачів зі стабілізатором і дослідних зразків із банановим порошком у процесі зберігання (15 діб) свідчать про те, що умовно-патогенна і патогенна мікрофлора є в межах допустимих значень. Визначення БГКП в 0,01 г дослідних і контрольного зразків йогурту свідчать про їх брак у досліджуваних продуктах. Однак є кількісні відмінності за показниками зростання *Staphylococcus aureus* в процесі зберігання. Кількість бактерій групи *Staphylococcus aureus* в зразках із банановим порошком і контрольному зразках протягом перших 7 діб зберігання однакова і становить $2,5 \times 10^2$. Але починаючи з 14-го дня зберігання зразків біфідобактерії поступово відмирають.

З огляду на несприятливу екологічну ситуацію істотної уваги заслуговує дослідження показників безпеки, які характеризуються наявністю в харчових продуктах токсичних елементів (табл. 3).

Можна зазначити, що за всіма найменуваннями токсикологічних показників у контрольному і дослідних зразків йогурту з наповнювачем

банановий порошок задовольняють токсикологічні вимоги, що висуваються до цього виду продукції [11].

Висновки. Під час дослідження було досягнуто мету, а саме розроблено рецептуру та описано технологію виготовлення йогуртів із натуральним порошкоподібним наповнювачем банановий порошок у кількості 5, 7 та 10 %.

Проаналізовано залежність кислотності продукту від кількості внесення наповнювача банановий порошок у процесі зберігання. Найменшу активну кислотність створював наповнювач банановий порошок (10 %). Показники активної кислотності зразка (Д3) становили рН=4,1; 3,6; 3,1 (відповідно на 5, 10 та 15-ту добу дослідження). Дещо меншою активною кислотністю вирізнявся зразок йогурту, до складу якого було введено 5 % бананового порошку, його рівень активної кислотності рН становив: на 5-ту добу – 4,25; на 10-ту добу – 3,9; на 15-ту – 3,5. Низькі показники активної кислотності зразка йогурту (Д3) свідчать про його гірші органолептичні показники, ніж аналогічні показники дослідних зразків Д1, Д2 та контролю. Отже, йогурт із наповнювачем у кіль-

кості 10 % банановий порошок володіє гіршими показниками кислотності, ніж йогурт із наповнювачем банановий порошок у кількості 5 та 7 %.

Визначено вплив наповнювача банановий порошок на мікробіологічні і токсикологічні показники йогурту в процесі зберігання. Дослідження мікробіологічних показників контрольного зразка йогурту класичного і дослідних зразків із банановим порошком у процесі зберігання (15 діб) свідчать про те, що умовно-патогенна й патогенна мікрофлора є в межах допустимих значень. Кількість бактерій групи *Staphylococcus aureus* в дослідних і контрольному зразках протягом перших 7 діб зберігання однакова і становить $2,5 \times 10^2$. Але починаючи з 14-го дня зберігання

зразків біфідобактерії поступово відмирають. Це пояснюється більш високими показниками рН у контрольному зразку йогурту, завдяки чому йде активне накопичення бактерій групи *Staphylococcus aureus* до $2,7 \times 10^2$ на 15-ту добу зберігання.

Токсикологічні дослідження показали, що за показниками безпеки розроблені зразки йогуртів із наповнювачем банановий порошок задовольняють токсикологічні вимоги, що висуваються до цього виду продукції [11].

На підставі проведених досліджень доведено, що йогурт із натуральним наповнювачем банановий порошок зберігає високі показники якості протягом усього періоду зберігання.

Список літератури:

1. Urban Feguš, Uroš Žigon, Marcus Petermann Effect of drying parameters on physiochemical and sensory properties of fruit powders and its adding to the yougurt technology processed by PGSS-, Vacuum- and Spray-drying / Urban Feguš, Uroš Žigon, Marcus Petermann. *Acta Chimica Slovenica*. 2015. № 62 (2). P. 479–487. DOI: 10.17344/acsi.2014.969.
2. Betts Nancy M., Simmons Brandi, Penugonda Kavitha, Wilkinson Marci, Basu Arpita Freeze-dried strawberry powder improves lipid profile and lipid peroxidation in women with metabolic syndrome: baseline and post intervention effects / Betts Nancy M., Simmons Brandi, Penugonda Kavitha, Wilkinson Marci, Basu Arpita. *Nutrition Journal*. 2009. № 8 (1). P. 43. DOI: 10.1186/1475-2891-8-43.
3. Zhiqing Gong, Manman Yu, Xianquan Shi Functionality of spray-dried strawberry powder: effects of whey protein isolate and maltodextrin / Zhiqing Gong, Manman Yu, Xianquan Shi. *International Journal of Food Properties*. 2018. № 21(1). P. 2229–2238. DOI: 10.1080/10942912.2018.1506477.
4. Sasikala SHANMUGAM, Nilam ROY, Swamy Gabriela JOHN Effect of antioxidants and dietary fiber from apple and strawberries on value addition into mutton patties / Sasikala SHANMUGAM, Nilam ROY, Swamy Gabriela JOHN. *Annals of the University Dunarea de Jos of Galati. Fascicle VI: Food Technology*. 2017. № 41 (1). P. 95–105.
5. Elane Schwinden Prudêncio, Honório Domingos Benedet Physico-chemical, microbiological and rheological evaluation of dairy beverage and fermented milk added of probiotics / Elane Schwinden Prudêncio, Honório Domingos Benedet. *Semina: Ciências Agrárias*. 2008. № 29 (1). P. 103–116. DOI: 10.5433/1679-0359.2008v29n1p103.
6. Zhang Yanli, Tang Xiumin. Nutritional value and health function of yoghurt. *Nutrition research*. 2020. № 9. P. 40–42.
7. Yi Bing. The immune effect of yogurt. *Journal of Medical Hygiene*. 2019. № 2. P. 111–116. DOI: 10.1186/1475-25678-8-489.
8. Zhao Guojian, et al. Nutritional and health value and comprehensive utilization of banana. *Food Research & Development*. 2015. № 6. P. 175–178.
9. Li Hongyun, Nutrition and health of banana. *China Science and Technology Information*. 2015. № 7. P. 105.
10. Dong Kaifa, Xu Mingsheng. Nutrition and health care effect of yoghurt. *Food and Nutrition in China*. 2020. № 2. P. 34. DOI: 165.11656/1875-2891-9-675.
11. DSTU 4343: 2004. Yogurti. Mention the technical know-how [official copy 01.01.2010]. K.: DP “UkrNDNTS”, 2015, 9 pp.
12. Polischuk G.Ye. The impact of active acidity on the effective viscosity of thermally-cured apple puree / G.Ye. Polischuk, L.M. Matsko, O.V. Goncharuk, G.P. Kalinina. *Science and Technology of the National University of Technology*. 2013. No 53. S. 55–62. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2013_53_9.

Helikh A.O., Yang Rui. DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY AND RESEARCH IN THE PROCESS OF PRESERVATION OF QUALITY INDICATORS OF YOGHURT WITH NATURAL FILLER

Modern technologies of yogurt production include the use of various additives to improve the technological properties, as well as quality and texture characteristics. In this work, new technological solutions were developed in the formulations of yogurts without stabilizer with dietary fiber contained in banana powder and evaluated the acceptability of new types of yogurts. Developed recipe and technology of yogurt with filler – banana powder in quantities of 5, 7 and 10 %. The qualitative indicators of the developed yogurt (acidity, microbiological and toxicological indicators) during storage (15 days) were investigated. The dependence of product acidity on the amount of filler application – banana powder during storage was analyzed. It was found that the lowest active acidity was created by the filler – banana powder, which was added in the amount of 10 %. Low values of active acidity of the sample indicate its worse organoleptic characteristics than similar indicators of experimental samples and control. The best indicators of active acidity has a sample of yogurt with banana powder filler in the amount of 5 %. The influence of the filler – banana powder on the microbiological and toxicological parameters of yogurt during storage was determined. Studies of microbiological parameters of the control sample of yogurt classic and experimental samples with banana powder during storage (15 days), indicate that the opportunistic and pathogenic microflora are within acceptable values. Toxicological studies have shown that safety indicators developed samples of yogurt with filler – banana powder meet the toxicological requirements type of product. Based on the research, it is proved that yogurt with a natural filling – banana powder retains high quality throughout the storage period.

Key words: yogurt, technology, natural filler, banana powder, acidity, microbiological indicators, toxicological indicators.

Любич В.В.

Уманський національний університет садівництва

Желєзна В.В.

Уманський національний університет садівництва

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕРНА ТРИТИКАЛЕ У ТЕХНОЛОГІЇ КОМБІКОРМІВ ДЛЯ ГОДІВЛІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТВАРИН

У статті наведено результати аналітичного огляду щодо переваг зерна тритикале у технології комбікормів. Тритикале – перспективна сировина для виробництва комбікормів порівняно з іншими зерновими культурами. Має низку переваг під час вирощування цієї культури і біохімічний вміст складників зерна. Встановлено, що частка зерна тритикале у комбікормах змінюється від 15-20 до 30% залежно від виду тварини, її віку, напрямку використання.

Встановлено, що зерно цієї культури накопичує на 1,5% вищий вміст білка, ніж пшениця, і на 4,0% більше, ніж жито, а за протеїновою поживністю переважає зерно пшениці на 9,5%, ячмінь і кукурудзу – на 40,0%. Вміст мінеральних речовин у тритикале вищий, ніж у пшениці. Зафіксовано значно вищий вміст калію, фосфору й магнію порівняно з житом. Вітамінний склад тритикале, за винятком ніацину, знаходиться на однаковому з пшеницею рівні.

Проаналізовано агротехнологічні переваги виробництва тритикале, а також застосування у технології комбікормів для годівлі курей, свиней і риби. Визначено раціональні рівні включення тритикале до складу збалансованого повнораціонного комбікорму (15-20% залежно від сорту тритикале, терміну його згодовування, віку та породи птиці), що позитивно впливає на процеси метаболізму в організмі курчат, їх збереженість, ріст і розвиток. У технології виробництва комбікормів для свиней – до 30%, а для корова – 20%.

Перспективним є напрям зниження шкідливого впливу зерна тритикале на життєдіяльність тварин різними методами (екструдуванням у сумішах з олійними культурами). Поряд із підвищенням показників продуктивності тварин використання комбікорму з тритикале сприяє зниженню витрат на одиницю приросту живої маси у період відлучення з 4,15 до 3,92 корм. од., а в період відгодівлі – із 6,59 до 5,21 корм. од. Для підвищення ефективності використання раціонів з високим (понад 30%) вмістом тритикале у годівлі племінних курей розроблено спосіб, в основі якого лежить приготування та включення до складу комбікорму змішаних екструдатів тритикале з соєю або соняшником із додатковим додаванням понад норму вітамінів А (5 г/т) та Е (20 г/т).

Ключові слова: тритикале, комбікорм, годівля, сільськогосподарські тварини.

Постановка проблеми. Створення раціонально організованої кормової бази, що задовольняє потреби сільськогосподарських тварин у всіх поживних речовинах, є обов'язковою умовою для виробництва комбікормів [1]. Потреба продовольчого ринку в органічній та екологічно безпечній продукції вимагає замість дорогих кормових засобів тваринного походження більше використовувати рослинні складники для комбікормів, насамперед зернові корми місцевого виробництва [2]. Сучасний етап розвитку сільськогосподарських тварин вимагає не тільки вдосконалення технології утримання тварин, встановлення резистентності у районованих і завезених порід, а й організації повноцінної збалансованої годівлі [3; 4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Зміна співвідношення різних зернових складників і білкових добавок у раціоні не дозволяє знизити частку неперетравних поживних речовин. Різні спроби здешевити раціон за допомогою заміни частини зерна і дорогих високобілкових добавок на супутні продукти харчових виробництв зумовлюють збільшення вмісту неперетравлюваних поживних речовин. У результаті здешевлення комбікормів сприяє зниженню ефективності його використання і зростання витрат кормів на одиницю приросту живої маси [5; 6].

Резервом зміцнення кормової бази та організації раціональної і повноцінної годівлі сільськогосподарських тварин може бути зерно тритикале. Висока адаптивна здатність його стабільно давати

високі урожаї зерна й агротехнічне значення в сівозміні характеризують тритикале як культуру зниженого економічного ризику.

В Україні строк збирання пізніший порівняно з пшеницею, що дозволяє отримувати якісне зерно з мінімальними втратами [7]. Крім цього, це високобілкова зернова культура, що перевищує інші злакові за есенційними амінокислотам – лізин і триптофан із низьким вмістом клітковини. Нині тритикале вирощують у багатьох господарствах. Проте ця культура не отримала такого поширення в комбікормовому виробництві, якого цілком заслуговує за своїми кормовими якостями. Багато сучасних сортів тритикале можна вирощувати без фунгіцидів. У результаті виходить екологічно чиста продукція (зерно, зелена маса). Генотип тритикале також постійно розширюється, селекційні сорти стають продуктивнішими, стійкими до стресів і кращими за якістю зерна, мають високий потенціал урожайності [8].

Зерно цієї культури накопичує на 1,5% вищий вміст білка, ніж пшениця, і на 4,0% більше, ніж жито, а за протеїновою поживністю переважає зерно пшениці на 9,5%, ячмінь і кукурудзу – на 40,0% (табл. 1). Важливе значення мають мінеральний і вітамінний складники зерна тритикале. Дослідженнями встановлено, що вміст мінеральних речовин у тритикале вищий, ніж у пшениці. Зафіксовано значно вищий вміст калію, фосфору й магнію порівняно з житом. Вітамінний склад тритикале, за винятком ніацину, знаходиться на однаковому з пшеницею рівні [9].

В.В. Семенов та ін. [10] встановили, що зерно тритикале сорту Валентин 90 порівняно з пшеницею вирізняється високим вмістом обмінної енергії – на 2,4%, білка – на 21,4%, жиру – на 10,0%, а вміст клітковини був на 12,0% нижчим.

Низка авторів [11] зазначають, що вміст токсичних речовин, а саме 5-алкінолрезорцинолів набагато нижчий у зерні тритикале порівняно з житом. Цього факту працівники галузі зазвичай не знають і тому до практичного застосування тритикале ставляться обережно.

Нині недоцільно використовувати на зернофураж і зелений корм посіви пшениці озимої сильних і цінних сортів. На заміну пшениці озимої, що йде в зеленому конвеєрі за житом озимим, використовують тритикале озиме. Урожайність тритикале може становити понад 10 т/га зерна. Численними дослідженнями встановлено необхідність використання зерна тритикале і в раціонах сільськогосподарських тварин. За кордоном зерно тритикале використовується у свинарстві [12].

Постановка завдання. Мета статті – обґрунтування використання зерна тритикале у технології комбікормів для годівлі сільськогосподарських тварин.

Виклад основного матеріалу дослідження. Нині проводяться дослідження щодо застосування зерна тритикале для годівлі багатьох тварин, проте найвищу перспективу воно має у технології комбікормів для птиці, свиней і риби. У Державній дослідній станції птахівництва НААН розроблено технологію ефективного використання тритикале в годівлі молодняка птиці [13].

Н.І. Братишко [14] встановлено оптимальні рівні включення тритикале до складу комбікорму – до 15% для курчат і до 20% для курей, що негативно не впливало на обмін речовин в організмі птиці й забезпечувало витрати корму на рівні контролю (4,99 кг), підвищення його збереженості на 1,4%, а при утриманні племінних курей зумовлювало поліпшення їх продуктивних показників: несучості на 2,5%, виходу яєчної маси – на 4,6, інкубаційних якостей – на 2,4%.

О.В. Гавілей [15] встановлено оптимальні рівні включення тритикале до складу комбікорму (до 15-20%), що сприяє збереженню виходу кондиційної молодки, збільшенню приросту живої маси і зменшенню витрат корму при вирощуванні ремонтного молодняка. При утриманні племінних курей відбувається підвищення несучості (на 1,5-2%), зафіксована висока збереженість (96,7-100%) та однорідність поголів'я.

Максимальні рівні включення екструдатів до складу повнораціональних збалансованих комбікормів

Таблиця 1

Біохімічний складник зерна різних культур

Показник	Культура				
	Пшениця	Ячмінь	Жито	Кукурудза	Тритикале
Протеїн, %	9,2–13,3	9,0–11,0	10,0–10,8	8,9–10,0	15,0–18,0
Жир, %	1,8–2,2	2,1–2,4	3,8–4,2	3,6–4,3	3,0–5,0
Клітковина, %	2,0–3,0	4,9–8,0	9,7–12,0	3,0–4,0	2,0–3,0
Лізин, %	0,31–0,41	0,36–0,41	0,4–0,44	0,2–0,3	0,23–0,41
Обмінна енергія, мДж	13,0–13,4	12,5–12,7	10,2–10,7	13,7–15,7	13,2–14,5

мів знаходяться в межах 40-50% (відповідно для тритикале-соняшникового і тритикале-соевого екструдатів) [16]. Використання комбікормів з таким рівнем екструдатів сприяє нормалізації обмінних процесів в організмі птиці та позитивно впливає на продуктивність курей (підвищення продуктивності курей на 3-5%, а виводимість яєць – на 1,86-2,11%. При цьому економічна ефективність у розрахунку на 1 голову порівняно з раціоном із пшеницею складає 1,9 грн, із нативним тритикале – 3,24 грн [17].

Проте застосування зерна тритикале для годівлі курей не завжди має позитивний ефект. З'ясовано напрями негативного впливу підвищеного вмісту тритикале у комбікормі (понад 35%) на зниження продуктивності (зниження несучості на 3-8%, зростання витрат корму на 3-12%), підвищення її чутливості до дії стрес-факторів (погіршення вітамінного статусу, зниження рівня фосфору, активація ліпідного синтезу). Встановлено, що зерно тритикале озимого спричиняє більш глибокі зміни обмінних процесів в організмі курей порівняно з яриєм [18].

Для підвищення ефективності використання раціонів із високим (більше 30%) вмістом тритикале в годівлі племінних курей розроблено спосіб, в основі якого лежить приготування та включення до складу комбікорму змішаних екструдатів тритикале із соєю або соняшником з додатковим добавлянням понад норму вітамінів А (5 млн. ІО/т) та Е (20 г/т) [19].

Р.Б. Максимова [20] у відгодівлі свиней частку введення зерна тритикале до складу комбікорму збільшила до 30,0% за масою. Було встановлено, що згодовування звичайного комбікорму, в якому проведена часткова заміна ячменю зерном тритикале (до 30,0%), позитивно впливала на продуктивність молодняка свиней. До кінця експерименту жива маса тварин дослідної групи перевищила показники контрольної групи на 11,48 кг, або на 10,7% ($p < 0,95$). Поряд із підвищенням показників продуктивності використання такого комбікорму сприяло зниженню витрат на одиницю приросту живої маси у період відлучення із 4,15 до 3,92 корм. од., а в період відгодівлі – із 6,59 до 5,21 корм. од. Зниження витрат корму сприяло зменшенню собівартості 1 кг приросту живої маси поросят на 5,6%.

С.В. Мартинова і Ю.А. Соколова [21] стверджують, що заміна тритикале і житом пшениці кількістю 24,4% від маси або 30% від зернової частини комбікорму позитивно впливає на приріст маси тіла свиней.

Дослідженнями В. Ізместева та ін. [22] встановлено, що при заміні ячменю кількістю 30,0% на зерно тритикале при відгодівлі поголів'я свиней збільшується приріст живої маси і поліпшується конверсія корму. Важливими ознаками, що характеризують м'ясо туш, є лінійні проміри: довжина напівтуші, площа «м'язового вічка». Результати контрольного забою тварин показали, що свині дослідної групи вирізнялися вищою забійною масою – 114,5 кг, що на 9,7% більше, ніж у контрольній групі. Також у дослідній групі забійний вихід становив 69,65%, що на 3,2% більше, порівняно з показниками, отриманими у контрольній групі. У дослідній групі середня напівтуша мала розмір 103,4 см і була довшою контрольної на 6,1 см ($P < 0,95$). Площа «м'язового вічка» в тушці з дослідної групи склала 32,1 см² і була більшою на 3,55 см², ніж у контрольній групі [6].

Авторами [23] виявлено оптимальну кількість використання зерна тритикале сорту Немчинівський-56 у складі ростового комбікорму, що становить 20,0% за поєднання з пшеницею у відношенні 1:1. Доцільність такого обмеження підтверджена результатами вирощування молодняка коропа у ставках, де, крім застосування нового комбікорму з тритикале, проводилися заходи щодо стимулювання розвитку природної кормової бази. У результаті було досягнуто рибопродуктивності на рівні 29 ц/га (проти 20-23 ц/га у контролі на стандартному комбікормі) та високе виживання личинок (60,0%), витрати корму були 1,3 кг на 1 кг приросту маси риби. У зв'язку з цим вивчення питання про можливість і ефективність використання зерна тритикале у раціонах годівлі сільськогосподарських тварин є актуальним.

Зернові злаки є джерелом клітковини. Добре відомо, що перетравність корму знаходиться в оберненій залежності з вмістом клітковини, багатой лігніном, який не перетравлюється у шлунково-кишковому тракті [24]. Для поліпшення перетравності та засвоєння основних поживних речовин раціону і підвищення відкладення їх в організмі при виробництві комбікормів використовують різні способи обробки зерна, ферментні препарати і пробіотики [25].

О.В. Хіміч та ін. [26] встановлено, що ефективна норма введення екструдованого та не екструдованого зерна тритикале у раціони свиней масою 20-40 кг складає 40%. Коефіцієнти перетравності, отримані для цієї групи, становлять для сухих речовин 84-85%, органічної речовини 87-89%, протеїну 82-83%. Зафіксовано підвищення перетравності жиру на 10 %, а клітковини –

на 7%. Згодовування зерна тритикале та екструдованого зерна тритикале у складі комбікорму для молодняка свиней на відгодівлі забезпечує високі середньодобові прирости – 357-385 г.

Отже, великий інтерес до зерна тритикале у технології комбікормів зумовлює необхідність подальшого вивчення цієї культури. Вказане вимагає розроблення інноваційних технологічних прийомів і способів його підготовки для згодовування різним видам сільськогосподарських тварин і, особливо, птиці. Застосування тритикале для годівлі тварин знижує вартість комбікорму та поліпшує його кормову цінність.

Висновки. Тритикале – перспективна сировина для виробництва комбікормів порівняно з іншими зерновими культурами. Має низку переваг під час вирощування цієї культури і біохімічний вміст складників зерна. Встановлено, що частка зерна тритикале у комбікормах змінюється від 15-20 до 30% залежно від виду тварини, її

віку, напряму використання. Так, для курей оптимально замінювати 15-20% зерна пшениці на тритикале. У технології виробництва комбікормів для свиней – до 30%, а для коропа – 20%. Поряд із підвищенням показників продуктивності тварин використання комбікорму з тритикале сприяє зниженню витрат на одиницю приросту живої маси у період відлучення із 4,15 до 3,92 корм. од., а в період відгодівлі – із 6,59 до 5,21 корм. од.

Перспективним є напрям зниження шкідливого впливу зерна тритикале на життєдіяльність тварин різними методами (екструдуванням у сумішах з олійними культурами). Для підвищення ефективності використання раціонів з високим (понад 30%) вмістом тритикале у годівлі племінних курей розроблено спосіб, в основі якого лежить приготування та включення до складу комбікорму змішаних екструдатів тритикале із соєю або соняшником з додатковим додаванням понад норму вітамінів А (5 млн ІО/т) та Е (20 г/т).

Список літератури:

1. Глецерук І.Р., Кононенко С.І., Булацева С.В. Организация рационального кормления животных. *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2012. Т. 49. №. 4. С. 92–96.
2. Якість зерна тритикале та продуктів його перероблення : моногр. / Г.М. Господаренко, В.В. Любич, В.В. Новіков, В.В. Железна; за заг. ред. Г.М. Господаренка. Київ : ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2019. 176 с.
3. Федоров А.К. Тритикале – ценная зернокармальная культура. *Кормопроизводство*. 1997. № 5–6. С. 41–42.
4. Глецерук І.Р., Чиков А.Е., Кононенко С.І. Комбикорма с нетрадиционными компонентами. *Новые технологии*. 2012. № 2. С. 109–111.
5. Білітюк А.П. Цінний корм для тваринництва. *Корми і кормовиробництво*. 2005. Вип. 55. С. 114–120.
6. Изместьев В., Шмакова Г., Максимова Р. Тритикале в комбикормах для молодняка свиней. *Комбикорма*. № 3. 2010. С. 69.
7. Любич В.В., Железна В.В., Стратуца Я.С. Урожайність та якість зерна тритикале і пшениці залежно від сорту. The 2nd International scientific and practical conference “Eurasian scientific congress” (February 24-25, 2020). Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain. 2020. С. 23–27.
8. Овсієнко С.М. Зерно тритикале як фактор стимулювання обмінних процесів у годівлі свиней. *Аграрна наука та харчові технології*. 2018. Вип. 4(103). С. 30–40.
9. Кононенко С.І., Гулиць А.Ф. Экструдирование тритикале как фактор повышения эффективности гусеводства. *Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства*. 2014. Т. 2. № 7. С. 130–133.
10. Семенов В.В., Лозовой В.И., Ворсина Л.В. и др. Влияние разных уровней ввода тритикале в комбикорма на продуктивность молодняка гусей. *Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства*. 2014. Т. 1. № 7(1). С. 120–125.
11. Темираев Р.Б., Темираев В.В., Тедтова Г.К. и др. Эффективный способ повышения свинины. *Мясная индустрия*. 2015. № 10. С. 42–43.
12. Liubych V., Novikov V., Zheliezna V. Improving the process of water-heat treatment and peeling of different fractions of grain triticale during the production of cereals. *Easten-european journal of enterprise technologies*. 2020. Vol. 3, № 11(99). P. 40–51.
13. Братишко Н.І. Ефективний спосіб використання тритикале у складі комбікормів для молодняка курей. *Птахівництво України і світу*. Режим доступу: <http://market.avianua.com/?p=3977>.
14. Братишко Н.І., Гавилей Е.В., Притуленко О.В., Терещенко А.В. Тритикале в комбикормах для племенных кур. *Птицеводство*. 2008. № 9. С. 30–32.
15. Гавілей О.В., Катеринич О.О. Технологічні прийоми оптимізації годівлі курей батьківського стада з використанням нетрадиційних зернових культур. *Сучасне птахівництво*. 2016. № 11–12. С. 24–26.

16. Братишко Н.І., Гавілей О.В., Терещенко О.В., Притуленко О.В. Вплив тритикале на вітамінну забезпеченість яєць курей різних порід. *Птахівництво*. 2010. Вип. 65. Харків. С. 93–100.
17. Братишко Н.І., Притуленко О.В., Гавілей Е.В. Продуктивність кур при різних рівнях амінокислот в комбикормах с тритикале. *Птахівництво*. 2010. Вип. 66. Харків. С. 168–177.
18. Братишко Н.І., Притуленко О.В., Гавілей О.В. Особливості впливу озимого і ярого тритикале на обмін речовин в організмі курчат. *Біологія тварин*. 2008. Т. 10, № 1–2. С. 196–201.
19. Братишко Н.І., Гавілей О.В., Притуленко О.В. та інш. Спосіб підвищення ефективності використання тритикале у годівлі курей-несучок. *Птахівництво*. 2009. Вип. 63. С. 101–109.
20. Максимова Р.Б., Измestьев В.М., Лапшин Ю.А., Максимов В.А. Эффективность использования зерна тритикале при доразивании и откорме молодняка свиней. *Кормопроизводство*. 2010. № 5. С. 39–41.
21. Мартынов С.В., Соколов Ю.А. Влияние разного количества зерна тритикале и способов его подготовки на продуктивность, рост и откорм свиней. *Бюл. ВНИИФУБ*. 1982. Вып. 2. С. 27–30.
22. Измestьев В., Шмакова Г., Максимова Р. Тритикале в комбикормах для молодняка свиней. *Комбикорма*. 2010. № 3. С. 69.
23. Щербина М., Бондаренко О., Салькова И., Сазонова Т. Тритикале – новый компонент комбикормов для рыб. *Комбикорма*. 2016. № 2. С. 58–62.
24. Кононенко С.И., Гулиц А.Ф. Влияние экструдирования тритикале на развитие внутренних органов гусей птицы. *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2015. Т. 52, № 1. С. 78–82.
25. Гапонова Р., Машківський М. Сумісність компонентів. *Наше птахівництво*. 2014. Вип. 4(34). С. 62–64.
26. Хіміч О.В., Здор Л.П., Лаптєєв О.О., Семенова О.І. Ефективність норм введення зерна тритикале у раціонах молодняку свиней. *Корми і кормовиробництво*. 2018. Вип. 85. С. 125–131.

Liubych V.V., Zheliezna V.V. RATIONALE FOR THE USE OF TRITICALE GRAIN IN COMPOUND FOOD TECHNOLOGY FOR AGRICULTURAL ANIMALS FEEDING

The article presents the results of an analytical review of the advantages of triticale grain in compound feed technology. Triticale is a promising raw material for compound feed production compared to other cereals. It has a number of advantages during its cultivation and the biochemical content of grain components. It is established that the share of triticale grain in compound feeds varies from 15-20 to 30% depending on animal species, their age, direction of use.

It was found that the grain of this crop accumulates 1,5% higher protein content than wheat and 4,0% more than rye. The protein nutrient is dominated by wheat grain by 9,5%, barley and corn – by 40,0%. The minerals content in triticale is higher than in wheat. Significantly higher content of potassium, phosphorus and magnesium is outlined compared to rye. The vitamin composition of triticale, with the exception of niacin, is at the same level as wheat.

The agrotechnological advantages of triticale production, as well as the use of compound feed technology for chickens, pigs and fish feeding are analyzed. Rational levels of triticale inclusion in the composition of balanced complete feed (15-20% depending on the triticale variety, feeding period, age and poultry breed). It has a positive effect on metabolic processes in chickens, their preservation, growth and development. In the technology of compound feed production for pigs – up to 30% and for carp – 20%.

Promising is the direction of reducing the harmful effects of triticale grain on the lives of animals by various methods (extrusion in mixtures with oilseeds). Along with the increase in animal productivity, the use of triticale compound feed will reduce the cost per unit of liveweight gain during weaning from 4,15 to 3,92 feed units and during fattening – from 6,59 to 5,21 feed units. To increase the efficiency of rations with the high (more than 30%) triticale content in the breeding chickens feeding, a method was developed, which is based on the preparation and inclusion in the compound feed of mixed extrudates of triticale with soy or sunflower with addition of A (5 g/t) and E (20g/t) vitamins.

Key words: triticale, compound feed, feeding, agricultural animals.

UDC 664.38

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/22>

Nan Haijuan

Sumy National Agrarian University

Li Bo

Henan Institute of Science and Technology

Stepanova T.M.

Sumy National Agrarian University

RELEVANCE OF CULTIVATED MUSHROOMS USAGE IN FOOD AND PERSPECTIVES IN SAUSAGE PROCESSING

The article is devoted to the study of the relevance and prospects of the use of cultivated mushrooms in food in general and sausage production in particular. The mushroom production in China is growing fast. Due to the rich nutrition and health functions, mushrooms are favored by many consumers.

The article draws attention, that functional ingredients of mushrooms, as protein, polysaccharides, polypeptide, amino acids and triterpenes can be made into nutraceuticals. The abundant protein in mushrooms has good antioxidant, antitumor and immunomodulatory activities. There are many studies on the extraction, structure and functional characteristics of mushroom polysaccharides, peptides and protein, some of them have been commercialized as health products.

Mushrooms have been widely used in food because of their unique taste, flavor, high nutritional value and health benefits. The most common processed products of mushrooms are dry products and canned, pickled, sugar products.

Mushrooms are rich in nutrients and are known as “plant meats” and have become a trend food. In can be also introduced “vegan steak”. It was made entirely of mushrooms, has no meat and very popular locally. In China the eating mushrooms daily are considered a healthy diet.

Adding mushrooms to sausages can replace meat proteins and fats and has antioxidant effects. Thanks to a rich polysaccharides and polyphenols content, mushrooms can increase sausage oxidation stability. Mushrooms are a good and economical alternative to meat protein in sausage. Mushrooms can also make into a variety of beverage and seasoning. Adding mushrooms to foods to increase the flavor and nutritional value of the food is also one of the usage of mushrooms. Sausages using mushrooms as the main raw material will be an important application for mushroom in the future and have a good perspective.

Key words: cultivated mushrooms, nutritional value, nutraceuticals, functional polysaccharides, sausage.

Formulation of the problem. China is the country with the fastest growth in mushroom production in the world. The growth rate is far higher than the world average, accounting for a quarter of the world's mushroom production and the total mushroom production in 2019 reach 39 691 million tons. However, the current level of mushroom processing technology is relatively backward, more primary products, less product varieties and fewer high value-added products, which leads to increasingly prominent contradictions in production and sales [1].

Edible fungus commonly known as mushroom refers to a large fungus whose fruiting body is larger and edible. There are two types of mushrooms: edible and medicinal [2]. Common edible mushrooms include *Pleurotus ostreatus*, Shiitake mushroom, *Flammulina velutipes*, *Pleurotus eryngii*, *Agaricus bisporus*, *Coprinus comatus*, Straw mushroom, *Tre-*

mella fuciformis, Agaric. Mushrooms are delicious and contain many flavor substances [3]. They are rich in proteins, amino acids, polysaccharides, dietary fiber, unsaturated fatty acids, nucleosides, mineral elements, and a variety of physiologically active substances, such as antioxidants ergothioneine, glutathione and β -glucan.

Mushrooms have important antioxidant effects [4]. The water extract and alcohol extract of *Coprinus comatus* have certain clear ability to 2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl-hydrate (DPPH) radical, superoxide anion, hydroxyl radical, etc. [5] and also have hypoglycemic [6], antitumor and immunomodulatory effects [7], protective effects on the cardiovascular system [8], antibacterial, anti-inflammatory, weight loss and other medical care functions [9].

The incidence of obesity, diabetes, coronary heart disease and malignant tumors has remained high with

the development of modern material civilization. So, concepts of people nutrition and health care are undergoing significant changes. People's pursuit of nutrition and health food is growing stronger. Due to the rich nutrition and health functions, mushrooms are favored by many consumers. Much research has focused on the development of mushroom products. Nowadays mushrooms are widely used in food industry, and consumers can purchase their favorite mushroom products from the market [4].

Analysis of recent research and publications. Mushrooms have the high moisture content and short storage period, in order to achieve long-term preservation, edible fungi are often made into dry products by simple different drying methods [10] and are often processed simply into canned, pickled, sugar products. So, simple processing is currently the main form of mushroom processing. These methods can better maintain the original shape and flavor of the mushrooms, meanwhile increase the visibility of the product. The simple form of processing makes mushrooms safer, convenient and hygienic to eat [11].

Functional ingredients such as protein, polysaccharides, polypeptide, amino acids and triterpenes in mushrooms can be made into nutraceuticals. There are many studies on the extraction, structure and functional characteristics of mushroom polysaccharides, peptides and protein, some of them have been commercialized as health products [12].

Mushrooms are rich in polysaccharides. They have the function of anti-tumor and enhancing immunity. Nowadays, the biological effect of immune polysaccharides in mushrooms are getting more and more attention. Most of the polysaccharides in mushrooms were extracted and separated by water solution and alcohol extraction, which greatly improved the value of mushrooms and was the hotspot of current research [12–13]. *Flammulina velutipes* polysaccharide nanoparticles have great application potential in the food industry, such as emulsifiers, enhancers and bioactive carriers [14]. The stem of *Pleurotus ostreatus* contains more insoluble dietary fiber than the cap and is a valuable source of cell wall glucan, which can be used to prepare food additives.

Mushrooms are rich in amino acids. Various amino acids will form unique flavor polypeptides. These are the unique flavor substances of various mushrooms [15].

The abundant protein in mushrooms has good antioxidant, antitumor and immunomodulatory activities. So mushroom proteins have good product development potential. Protein in mushrooms can be extracted enzymatically. The essential amino acids of the obtained *Pleurotus eryngii* protein accounted

for 40% of the total amino acid content of *Pleurotus eryngii* protein powder. The ratio of essential amino acids to non-essential amino acids is 0,65. *Pleurotus eryngii* protein is an ideal protein. The amino acid ratio coefficient of the protein product is 75,02, which is significantly higher than that of soybean protein 61,22. The obtained protein has high quality and can be used for industrial production of *Pleurotus eryngii* protein products [16].

Setting objectives. Sausages are traditional meat products. They are very popular in many countries. However, meat contains cholesterol and a higher proportion of saturated fatty acids than polyunsaturated fatty acids (PUFAs). It has been found that reducing the intake of red meat and meat products will reduce the incidence of cancers such as rectal and breast cancer [17]. Obviously, from a health point of view, excessive intake of meat products is not advisable, especially for some people with high fat content. On the other hand, meat is usually more expensive than vegetables. Therefore, more and more people are inclined to low-fat meat or vegetarian [18].

Presentation of the main research material. As a ready-to-eat product sausages are very popular with consumers due to its convenient consumption and long shelf life and its consumption is huge every year. Traditional sausages use meat as the main raw material and contain additives such as nitrite and phosphate. Long-term consumption will bring hidden dangers to human health. Vegetarian foods are becoming more and more popular with consumers. Mushrooms are rich in nutrients and are known as “plant meats” and have become a trend food in the United States. In United Kingdom was introduced “vegan steak”. It was made entirely of mushrooms, has no meat and very popular locally. In China the eating mushrooms daily are considered a healthy diet.

However, fat plays an important role in the quality of sausages. By stabilizing meat emulsions, fats can reduce the cooking loss of sausages, improve water retention capacity, provide juiciness and hardness, and affect the quality and acceptability of sausages (flavor, texture, taste, etc.). Generally, low fat sausage production have problems with poor texture, bad taste and mouthfeel. So, the way to find a suitable fat substitute has become a hot spot for researchers. At present, there are many studies about dietary fiber, isolated soybean protein, carrageenan, β -glucan, starch, oat maltodextrin and konjac as fat and meat substitutes, that improve the rheological properties and stability of low-fat meat products and attempts to eliminate product quality issues caused by fat and meat reduced [19].

Dietary fiber has gel properties. Adding of dietary fiber to meat will reduce cooking losses, change pH, and increase emulsion stability, thereby improving the cooking yield of emulsion-based meat products. Therefore, dietary fiber-rich raw materials can replace fats in sausages [20].

Chia and oat emulsion gels used as animal fat replacers in reduced-fat fresh sausages can lower cooking loss, significantly affect the microbial count in the sausage [21]. Konjac gel as pork back-fat replacer in dry fermented sausages can increase hardness and chewiness and decrease cohesiveness of sausages [22]. Response surface methodology can be used to optimize the process conditions for making low-fat sausages with oat flour instead of fat [23]. Furthermore, oat flour and carrageenan can be used in low-fat Frankfurters formulated [24], grain and fruit fiber can be used in low-fat dry fermented sausages, adding 1,5% fruit fiber can achieve a sensory quality similar to traditional high-fat products [25].

Replacing pork with 25% hydrated oats or 25% tofu can improve the acceptability of low-fat pork sausage [26], bulgur as meat replacement can be used in dry-fermented formulation [27].

It is possible to replace animal fats with plant oils, flaxseed oil is healthier than animal fat and can be used as an alternative to animal oils. Different ways of adding flaxseed oil will affect the basic properties of sausages, and affect how water and fat are bound, encapsulated flaxseed oil has the most significant effect on the physical properties of chicken sausage [28].

The main functions of proteins in meat sausages are gelling and related properties (e.g. meat particle binding and adhesion), emulsification and water retention. Vegetable protein also has this property, but the price of vegetable protein is lower than that of muscle protein. It can reduce the cost of sausage products. Moreover, many underdeveloped countries lack animal protein, which makes people increasingly accept lower-priced vegetable protein. Meat protein substitutes have also become research hotspots.

Protein rich in mushrooms is a high-quality protein containing all essential amino acids. The protein digestibility-corrected amino acid score is 0,91. The nutritional value is equivalent to that of meat. Meanwhile, mushrooms are rich in polysaccharides and polyphenols content. It can increase sausage oxidation stability, so mushrooms are a good and economical alternative to meat protein in sausage [29].

Oyster mushroom and glutinous rice was used to replace the pork of traditional Thai fermented sausage. The resulting sausage is superior to traditional

fermented sausage in terms of calorific value and microbial standards when the ratio of mushroom to glutinous rice is 40:60 [30]. Partial replacement of meat in sausages with boiled mushrooms or fried mushroom powder can reduce the amount of soy protein in sausages and the calories in sausages [31].

Adding mushrooms to sausages improves the physical properties, nutritional value and antioxidant capacity of sausages. *Straw* mushroom can improve the physical properties of meat sausage, reduce its peroxide value, increase the content of protein and essential amino acids, and the P/S ratio of fatty acids in sausage [32]. Shiitake added to the sausage as a substitute for some lean meat can increase the moisture, total dietary fiber, methionine, glutamic acid, cysteine and total phenol content and the antioxidant activity of sausage [33]. Adding Shiitake mushroom powder to the low-salt chicken sausage can increase the pH of the meat paste, suppress fat oxidation, and not destroy the color and sensory properties of the sausage. The Shiitake mushroom powder can be used as a natural raw material to improve the quality of low-salt chicken sausage [34]. Adding sun mushroom powder can increase the oxidative stability of pork sausages [35], 2,0% sun mushroom ethanol extract significantly improved the oxidative stability of pork sausages, which can be stored at 4 °C for 21 days [36].

The application of mushrooms in sausages discussed above is only using mushrooms as auxiliary ingredients. The addition of mushrooms is only a quality improver for traditional sausages, and meat is still the main ingredient. Compared with ordinary sausages, sausages with fresh mushrooms as the main material have many advantages in terms of nutrition, safety, cost and processing as mushrooms do not contain cholesterol and have low saturated fat content and high protein content [37].

Some literature reported on mushroom sausage, but most of the relevant studies were using meat as the main raw material. The purpose of adding mushrooms to sausage was to improve the flavor, the nutritional value and health function of the sausage. Mushroom tissue is brittle and tender, rich in polysaccharides, proteins and other biological macromolecules, so it is easier to crush and process into sausage-like gelatinous foods. In order to make efficient use of mushrooms, it is a good way to using mushrooms as the main raw material to make a new type of vegetarian sausage with the appearance and texture similar to that of traditional meat sausage. The new mushroom sausages have high additional value, nutrition and health care functions and will have a good development prospect.

Conclusions. Deep processing of mushrooms and increasing the additional value of mushrooms have become the focus of domestic and foreign market competition. The future development of mushroom deep processing should focus on the research and development of mushroom functional foods and ready-to-eat foods.

At present, the main product forms of mushrooms in China are dried and canned. The largest export volume of Chinese mushroom products is also canned mush-

rooms. The ready-to-eat product market has a single product category and few well-known brands, the market for mushroom ready-to-eat food is huge in the future.

Development of mushroom instant food like mushroom sausage will increase the variety of mushroom deep-processing products, increase the additional value of mushrooms, and help to solve the contradiction between production and marketing of mushrooms, so the development of mushroom sausage has great economic and social value.

References:

1. Yaoqi Zhang, Wei Geng & Yueqin Shen. Edible Mushroom Cultivation for Food Security and Rural Development in China. *Bio-Innovation, Technological Dissemination and Marketing. Sustainability*. 2014. № 6. P. 2961–2973. doi: 10.3390/su6052961.
2. Himanshi Rathore, Shalinee Prasad & Satyawati Sharma. Mushroom nutraceuticals for improved nutrition and better human health: A review. *Pharma Nutrition*. 2017. № 5(2). P. 35–46. Doi: org/10.1016/j.phanu.2017.02.001.
3. Hans-Peter Hanssen. Determination of some Important Flavour Compounds in Commercial Mushroom Concentrates. *Z Lebensm Unters Forsch*. 2003. № 177. P. 333–335. Doi: org/10.1007/BF01042191.
4. Szabó A., Geösel A., Kókai Z., Orbán C., Töreki K. & Szőke A. Antioxidant activity as indicator of UV radiation and other abiotic stress factors on *Agaricus bisporus* (Lange/Imbach) and *Sedum hybridum* (L.). *Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria*. 2016. № 9(1). P. 90–100. Doi: 10.1515/ausal-2016-0009.
5. Li B., Lu F., Suo X., Nan H. Antioxidant properties of cap and stipe from *Coprinus comatus*. *Molecules*. 2010. № 15(3). P. 1473–1486. Doi: 10.3390/molecules15031473.
6. Van Doan H., Doolgindachbaporn S. & Suksri A. Effects of *Eryngii* mushroom (*Pleurotus eryngii*) and *Lactobacillus plantarum* on growth performance, immunity and disease resistance of *Pangasius catfish* (*Pangasius bocourti*, Sauvage 1880). *Fish physiology and biochemistry*. 2016. № 42(5). P. 1427–1440. Doi:10.1007/s10695-016-0230-6.
7. Guillamon E., Garcia-Lafuente A., Lozano M., D'Arrigo M., Rostagno M., Villares A. & Martinez J.A. Edible mushrooms: role in the prevention of cardiovascular diseases. *Fitoterapia*. 2010. № 81(7). P. 715–723. Doi: 10.1016/j.fitote.2010.06.005.
8. Ren Z., Li J., Song X., Zhang J., Wang W. & Jia L. The regulation of inflammation and oxidative status against lung injury of residue polysaccharides by *Lentinula edodes*. *International journal of biological macromolecules*. 2018. № 106. P. 185–192. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.08.008.
9. Gunawardena D., Shanmugam K., Low M. & Munch G. Determination of anti-inflammatory activities of standardised preparations of plant- and mushroom-based foods, *European journal of nutrition* 2014; 53(1): 335-343. Doi: 10.1007/s00394-013-0531-9.
10. Doymaz I. Infrared drying of button mushroom slices. *Food Science and Biotechnology*. 2014. № 23(3). P. 723–729. Doi: 10.1007/s10068-014-0098-0.
11. Kantrong H., Tansakul A. & Mittal G.S. Drying characteristics and quality of shiitake mushroom undergoing microwave-vacuum drying and microwave-vacuum combined with infrared drying. *Journal of food science and technology*. 2014. № 51(12). P. 3594–3608. Doi: 10.1007/s13197-012-0888-4.
12. Giavasis I. Bioactive fungal polysaccharides as potential functional ingredients in food and nutraceuticals. *Current opinion in biotechnology*. 2014. № 26. P. 162–173. Doi: 10.1016/j.copbio.2014.01.010.
13. Synytsya A., Jablonsky I., Slukova M. & Čopikova J. Mushrooms of Genus *Pleurotus* as a Source of Dietary Fibres. *Czech J Food Sci*. 2008. № 26(6). P. 441–446. Doi: 10.17221/1361-CJFS.
14. Wenhong Wang, Guanhua Du, Xiuling Zhang & Hongjie Zhang. Characteristics and Rheological Properties of Polysaccharide Nanoparticles from Edible Mushrooms (*Flammulina velutipes*). *Journal of food science*. 2017. № 82(3). P. 687–693. Doi: 10.1111/1750-3841.13626.
15. Kalaras M.D., Richie J.P., Calcagnotto A, Beelman RB. Mushrooms: A rich source of the antioxidants ergothioneine and glutathione. *Food chemistry*. 2017. № 233. P. 429–433. Doi: 10.1016/j.foodchem.2017.04.109.
16. Zhang Mengtian, Pei Fei, Zhao Liyan & Qihui H.U. Optimization of Enzymatic Hydrolysis for Preparing *Pleurotus eryngii* Protein by Response Surface Methodology and Nutritional Evaluation. *Food Science*. 2015. № 36(13). P. 125–130.

17. Diallo A., Deschasaux M., Latino-Martel P. & Touvier M. Red and processed meat intake and cancer risk: Results from the prospective Nutr iNet-Santé cohort study. *International Journal of Cancer*. 2018. № 142(2). P. 230–237. Doi: 10.1002/ijc.31046.
18. Haverstock K. & Forgyas D.K. To eat or not to eat. A comparison of current and former animal product limiters. *Appetite*. 2012. № 58(3). P. 1030–1036.
19. Tahmasebi M., Labbafi M., Emam-Djomeh Z. & Yarmand M.S. Manufacturing the novel sausages with reduced quantity of meat and fat: The product development, formulation optimization, emulsion stability and textural characterization. *LWT – Food Science and Technology*. 2016. № 68. P. 76–84.
20. Verma A.K. & Banerjee R. Dietary fibre as functional ingredient in meat products: a novel approach for healthy living – a review. *Journal of food science and technology*. 2010. 47(3). P. 247–257.
21. Pintado T., Herrero A.M., Jimenez-Colmenero F., Pasqualin Cavalheiro C. & Ruiz-Capillas C. Chia and oat emulsion gels as new animal fat replacers and healthy bioactive sources in fresh sausage formulation. *Meat science*. 2018. № 135. P. 6–13. Doi: 10.1016/j.meatsci.2017.08.004.
22. Ruiz-Capillas C., Triki M., Herrero A.M., Rodriguez-Salas L. & Jimenez-Colmenero F. Konjac gel as pork backfat replacer in dry fermented sausages: processing and quality characteristics. *Meat science*. 2012. № 92(2). P. 144–150.
23. Choi J-W., Kim S-H., Mun S., Lee S-J. & Kim Y-R. Optimizing the replacement of pork fat with fractionated barley flour paste in reduced-fat sausage. *Food Science and Biotechnology*. 2011. № 20(3). P. 687–694.
24. Troy Scehdj. Effects of oat fibre and carrageenan on the texture of frankfurters formulated with low and high fat. *Eur Food Res Technol*. 2000. № 211. P. 19–26.
25. Garcia M.L., Galvez M.D., Casas C. & Selgas M.D. Utilization of cereal and fruit fibres in low fat dry fermented sausages. *Meat science*. 2002. № 60(3). P. 227–236. Doi: 10.1016/S0309-1740(01)00125-5.
26. Yang H.S., Choi S.G., Jeon J.T., Park G.B. & Joo S.T. Textural and sensory properties of low fat pork sausages with added hydrated oatmeal and tofu as texture-modifying agents. *Meat science*. 2007. 75(2). P. 283–289.
27. Bayram M. & Bozkurt H. The use of bulgur as a meat replacement: bulgur-sucuk (a vegetarian dry-fermented sausage). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2007. № 87(3). P. 411–419.
28. Bolger Z., Brunton N.P. & Monahan F.J. Impact of inclusion of flaxseed oil (pre-emulsified or encapsulated) on the physical characteristics of chicken sausages. *Journal of Food Engineering*. 2018. № 230. P. 39–48.
29. Asgar M.A., Fazilah A., Huda N., Bhat R. & Karim A.A. Nonmeat Protein Alternatives as Meat Extenders and Meat Analogs. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2010. № 9(5). P. 513–529.
30. Suwimol Chockchaisawasdee S., Singdong Pochana & Costas E. Stathopoulos. Development of fermented oyster-mushroom sausage. *As J Food Ag-Ind*. 2010. № 3(1). P. 35–43.
31. Stepanova T., Kondratjuk N., Haijuan N. & Suprunenko K. Prospects of cultivated mushrooms use in technology of sausages. *Bulletin of the National Technical University “KhPI” Series: New solutions in modern technologies*. 2019. 10(2). P. 75–80. Doi: org/10.20998/2413-4295.2019.02.11.
32. Wang X., Zhou P., Cheng J., Chen Z. & Liu X. Use of straw mushrooms (*Volvariella volvacea*) for the enhancement of physicochemical, nutritional and sensory profiles of Cantonese sausages. *Meat science*. 2018. № 146. P. 18–25.
33. Wang L., Guo H., Liu X. & Li Y. Roles of *Lentinula edodes* as the pork lean meat replacer in production of the sausage. *Meat science*. 2019. № 156. P. 44–51.
34. Kyung Jo J.L. & Samooel Jung. Quality Characteristics of Low-salt Chicken Sausage Supplemented with a Winter Mushroom Powder. *Korean journal for food science of animal resources*. 2018. № 38(4). P. 768–779.
35. Flavia Santi Stefanello & Ernesto Hashime Kubota. Oxidative and microbiological stability of fresh pork sausage with added sun mushroom powder. *Cienc Agrotec, Lavras*. 2015. № 39(4). P. 381–389.
36. Stefanello F.S., Cavalheiro C.P., Ludtke F.L. & Kubota E.H. Effect of sun mushroom extract in pork sausage and evaluation of the oxidative and microbiological stability of the product. *Semina: Ciências Agrárias*. 2015. № 36(1). P. 171–185.
37. Fei Lu, Xinxue Li & Bo Li. Effect of Edible Gums on the Qualities of Sausage of *Pleurotus eryngii*. *Advance Journal of Food Science and Technology*. 2014. № 6(8). P. 973–980.

Нан Хайцзюнь, Лі Бо, Степанова Т.М. АКТУАЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ КУЛЬТИВОВАНИХ ГРИБІВ У ХАРЧУВАННІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ В КОВБАСНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Стаття присвячена дослідженню перспектив використання культивованих грибів у харчових продуктах загалом і ковбасному виробництві зокрема. Звертається увага на швидке зростання виробництва грибів у Китаї. Зазначається, що завдяки багатій харчовій цінності та функціональним властивостям гриби стають все більш популярними серед споживачів.

У статті звертається увага на те, що через функціональні складники грибів, такі як протеїни, полісахариди, поліпептиди, тритерпени, можна віднести їх до нутрацевтиків. Багаті на білки гриби можуть бути гарними антиоксидантами та володіти протипухлинними та імуномодуючими властивостями. Численні дослідження щодо структури та функціональних властивостей білків, полісахаридів грибів вказують на те, що це перспективний комерційний продукт для здорового харчування.

Гриби широко використовувалися у харчуванні завдяки унікальному смаку, аромату, високій харчовій цінності та корисності для здоров'я. Найпоширенішими продуктами переробки грибів є сухі продукти та консерви.

Гриби багаті нутрієнтами, через які їх ще називають «рослинним м'ясом», і можуть бути досить популярними. Їх також можна представити як «веганські стейки», що виготовлені повністю з грибів і не містять у своєму складі м'яса. Щоденне вживання грибів, зокрема в Китаї, вважається здоровим харчуванням.

Додавання грибів у ковбасні вироби може замінити м'ясні білки та жири й матиме антиоксидантну дію. Крім того, одним із перспективних шляхів використання грибів є їх додавання у харчові продукти для збільшення смаку та харчової цінності. Ковбасна продукція з використанням грибів як основної сировини є одним із перспективних напрямів переробки цієї цінної сировини. Це дозволить збільшити різноманітність продуктів глибокої переробки грибів, надасть додаткової цінності грибам і допоможе вирішити протиріччя між виробництвом і збутом грибів, тому це має значне економічне та соціальне значення.

Ключові слова: культивовані гриби, харчова цінність, нутрацевтики, функціональні полісахариди, ковбасна продукція.

ТРАНСПОРТ

UDC 656.7

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/23>

Akmaldinova V.Ye.

orcid.org/0000-0002-7087-2088

National Aviation University

Volkovska G.G.

orcid.org/0000-00019674-3770

National Aviation University

AIRCRAFT FLEET OPERATION EFFICIENCY: COMPARATIVE ANALYSIS

The article is devoted to the problems of aircraft fleet functioning in the present economic situation, the issues of strategic air traffic management based on modern information technologies and intelligent services using advanced achievements in analysing, forecasting optimization, aviation modeling for operational information processing and decision making in the field under analysis. Air transport development long-term and current planning, being a multifaceted problem, includes the task of forecasting the demand for transport services, routing passenger flows, formation of airlines network and the optimal distribution of aircraft routes. Rationalization of passenger services plays an important role in improving the organization of airlines operation, meeting the demand of the population for air transportation, development of international relations and integration of the state economy into the world economic system. It is determined that in order to increase the efficiency of aircraft fleet planning, management and operation it is necessary to analyze information concerning alternative ways of air transportation development in view of the complexity of formalized assessment of further growth prospects of air transportation depending on many different factors of political, economic, technical, organizational, social and environmental nature. Investigation of air transport performance indicators allows to identify the main problematic issues of the development and prospects for the air passenger transport market in Ukraine. The key factors for formation of an effective route network and a system of internal air transportation have been determined: regular (non-charter flights); higher frequency of flights for network development at the expense of economically active population; the quality of aircraft fleet with the capacity corresponding to the volume of demand for air transportation; affordable fares for passengers by subsidizing airline revenues.

Key words: air carrier, aircraft model, aircraft fleet, route network, optimization, demand, domestic air transportation, operation efficiency, airline strategy.

Introduction. The necessity of effective solutions while meeting the flight safety requirements makes the task of reforming the civil aviation and creating the legal field of its operation in accordance with advanced technologies constantly relevant.

The way to solve this problem in medium terms could be the maintaining of the air transport competitiveness by optimizing costs, upgrading the aircraft fleet with most economical aircraft. Given the lack of competitive Ukrainian-made technique for flights on international routes foreign models of long-haul and medium-haul aircraft are currently used. In this regard, the national industry can be supported by supplying machines for domestic airlines.

Therefore, defining the strategy for the domestic passenger air transport market development through the aircraft fleet optimal use is one of the main tasks. Its solution will lead to the development of the aviation industry and creation of a Flag Air Carrier, as Ukraine is considered to be an aviation state with developed infrastructure.

Solving the problem of fleet management by reducing its operating costs as an economic lever of profit growth will increase the airline efficiency and achieve a certain profitability level, helping the carrier to survive in difficult economic crisis. In this regard, to solve the problem of improving the aircraft fleet efficiency in regular domestic passenger traffic it is extremely important [1].

The existing domestic airlines route network reflects the situational model of socio-economic development of Ukraine and Kyiv as the main economic center.

At the same time, many economists note that the further development of the country requires increasing the role of regions in the economy and creation of new centers of active growth. To solve this problem it is necessary to increase the mobility of the population and the formation of sustainable interregional transport links. The current model of transportation hinders not only the civil aviation development, but the economy of many regions as well.

The recent reduction in the number of domestic airlines has led to the destruction of the single economic space within the country, which has led to:

- the destruction of the system of intra- and inter-regional economic ties;
- slowing down the growth rate of gross regional product of state entities;
- difficult financial situation of regional airlines and airports having not enough workload in conditions of low effective demand for transportation.

Thus, the creation of a single transport space within Ukraine and its constituent regions, given the important role of air transport, requires the formation of effective domestic air traffic route network models, development and implementation of efficient state support mechanisms.

In international practice, there exists a state support for regional aviation in almost every economically developed or developing country.

The most typical example of the best international practice from the countries of North, Central and South America is the implementation of regional flights subsidizing program in the United States. The countries of the European Union, each individually and within the single economic space of the Union, have a rich history of air transportation state regulation.

The experience of domestic air transportation state regulation is of great interest due to the fact that in order to make a single decision as to the state regulation within the European Union, common principles and approaches, a lot of preliminary work is carried out to study and agree the views of many participants, with practices and interests of all EU member states taken into account.

Literature review. In the international practice of economically developed countries, there are mechanisms of competition state regulation, aimed at creating favorable conditions for the development of regional air carriers. States regulate market access for new players with low demand on a particular airline

to avoid negative consequences for existing airlines and to prevent unjustified "destructive" competition. It is advisable to regulate the access of new players to an air route when the demand for air transportation along a particular air route is sufficient to load the flights of one air carrier to perform economically viable flights [2].

Regulation of air carriers access to low-loaded air routes is economically justified not only in terms of subsidizing air transportation, but also with a low airline profitability level, if this ensures stability and regularity of air transportation, reduces the risk of airline closure due to so-called "destructive competition" with a new airline entering the route. An important aspect in unprofitable regional destinations is to maintain the necessary level of costs to provide aircraft airworthiness, staff training and other aspects of ensuring flight safety. Competitive pressure with unjustified destructive competition is forcing regional airlines to reduce flight safety costs. Practice shows that in the first place there are savings on the maintenance and personnel training costs which directly affects flight safety. Thus, taking into account the advanced world experience, the issues of a reasonable approach to market regulation in order to avoid "destructive" competition on many regional routes should be taken into account by the aviation authorities when implementing the route network of domestic flights [3].

Problem statement. To form variants of the route network models for domestic air transportation, it is reasonable to apply the following algorithm:

1. Formation of databases on the demand for air transportation by means of specialized software packages and the demand forecast within the region.
2. Analysing alternate modes of transport on routes and forecasting possible redistribution of passenger flows between the transport modes.
3. Analysing the demand and forecasting domestic air transportation.
4. Formation of a route network project for internal air transportations.
5. Analysing and forecasting air transportation tariffs taking into account alternative transport modes.
6. Forecasting revenues, costs and profitability of routes, taking into account alternative modes of transport in the region.
7. Assessment of the need for subsidizing domestic air routes.

It is necessary to solve a number of additional problems with interested state and local authorities, to determine the institutional scheme of the project implementation, possibilities of budget funding at the

expense of budget funds of different levels, to find out preliminary interest in the project of air carriers and other tasks.

Taking into account the world experience, the main criteria for selecting new domestic air routes should be the following:

- 1) the route length – not less than 300 km;
- 2) average percentage of aircraft payload – at the level of 75%;
- 3) average monthly flight operation period – 150 hours per an aircraft.

An important task in the formation of projects for creation and development of regional air carriers is to define the optimal types of aircraft for the primary route promotion stage and secondary stages when the routes reach the planned load values each year of the project [4].

Materials and methods. The need in aircraft for air transportation is calculated on the basis of the domestic air transportation route network model variants formed, including economically justified proposals for the route list, flight frequencies and aircraft classes.

Current domestic airlines require, as a rule, a larger capacity aircraft each subsequent year. This must also be taken into account in the projects.

In general, the algorithm tested for practical application by airlines, large leasing companies, aircraft manufacturers should contain the following blocks:

- 1) formation of appropriate databases on the demand for air transportation and transportation by alternative modes of transport;
- 2) distribution of air traffic volumes in the desired regions (or to other segments in case the segmentation is not geographical) in terms of flight areas;
- 3) determination of the parameters influencing air transportation growth rates on the basis of macroeconomic indicators of the analyzed regions and forecasting the growth rates;
- 4) some substages of econometric analysis and airlines operation economic modeling;
- 5) defining the conditions of redistribution of passenger flow growth by flights and passenger capacity intervals;
- 6) distribution of flows by the estimated passenger capacity intervals;
- 7) calculation of the required number of aircraft by the specified economic indicators [5].

In order to successfully implement projects, to achieve a quality result, it is necessary to analyze the demand for air transportation and other modes of transport, forecast and optimize the aircraft fleet in the Ukraine regions, in the short, medium and long term.

Before launching the projects, it is also necessary to analyze the airport infrastructure for the possibility of servicing the proposed route network of domestic air transportation in terms of the technical and operational condition of airports and landing sites. In complex projects mechanisms of financing their development are developed.

An important aspect in the implementation of regional air transport development projects is to maintain an optimal level of airport charges and the cost of ground servicing.

About 35% of the domestic air transportation cost is the cost of airport fees and tariffs for aircraft ground maintenance, passengers, mail and cargo handling. If the airport is included into the state regulated list or regulation is transferred to the regional level, the airport fee must be agreed with the regulator. In this case, the maximum discounts may be 60% of the amount of airport charges. As for ground handling services, due to the fact that they are not regulated, there is a much greater opportunity to provide discounts. It is necessary to take into account best practices and recommendations on the most rational approaches to reducing the airport services cost in terms of regulated and unregulated services.

The long-awaited reduction in the airport services cost is due to the simplified certification requirements for regional and local airports with low flight intensity.

It should be borne in mind that cost reduction does not always lead to lower costs for the consumer. To solve this problem it is recommended to use the state ownership of airports and landing pads of infrastructure, as regional aviation, with existing economic realities and solvent public demand, remains socially significant but unattractive business that requires the government support [6].

The planning and achievement of the airline's competitiveness is based on the solution of such specific intra-industry tasks as planning and optimization of the route network and aircraft fleet, which should be solved in close cooperation with each other.

However, given the restrictions on the airline budget to optimize the aircraft fleet, the priority is the problem of the route network optimizing, which requires analysing and forecasting the air transportation market. The airline production and economic performance indicators: the number of flights and landings, flight hours and kilometers, aircraft layout, exhibited capacity, seat-kilometers offered, passenger flows and passenger turnover (passenger/km), income and expense rates calculated by the technical feasibility of their provision and route network is the basis for preparing the airline budget for future periods.

The solution of the problem of route network optimization includes a systemic analysis of many air transportation market indicators, such as:

- 1) structure, condition and possibilities of own aircraft fleet optimization;
- 2) planned costs for keeping representative offices;
- 3) all types of operating costs;
- 4) the size of markets in the directions of flights;
- 5) opportunities to capture the share of these markets;
- 6) the possibility of obtaining convenient slots for scheduling to ensure potential demand for transfer at hub airports, etc.

However, the main role in substantiating the flight feasibility is played by profitability indicators and its impact on the network effect as a whole. In addition to minimizing costs, the flight profitability is affected by the level of prices and commercial load, expressed in the seat occupancy rate for passenger air transport.

The methodological basis for solving the problems of forecasting demand and prices in the air transportation market is the availability of information systems monitoring market parameters.

To determine the optimal structure of the aircraft fleet, it is necessary to analyze a significant number of factors arising both in the field of aircraft production and in the field of operation affecting the formation of the aircraft fleet and its efficiency. It is also necessary to analyze the process of passenger traffic, taking into account the requirements for various parameters characterizing the aircraft tactical and technical capabilities. At the same time it is necessary to take into account external factors, such as climatic and geographical ones.

Comprehensive accounting of the aircraft operation factors allows to reduce the cost of fuel and energy resources, with downtime taken into account, and to choose the most optimal aircraft option to achieve this goal. This process is iterative, and it can be divided into two stages:

Stage 1. The optimization of the aircraft fleet is carried out taking into account the whole complex of a certain aircraft type maintenance, routes, degree of loading, production costs;

Stage 2. Based on the results of the preliminary study, the aircraft type is chosen and an optimal area of its use is determined according to economic criteria.

In operating aircraft and striving to reduce their cost, there is a need for maximum unification, i.e. to lower the number of aircraft options operated. Therefore, to make the right decision when choosing aircraft options for the formation of the fleet it is necessary to carefully compare both aircraft complex

parameters and numerous requirements for the process of passenger traffic to achieve maximum effect at minimum cost [7].

When considering the choice of the optimal aircraft fleet, it is necessary to take a systemic approach to goal planning, determining the prospects for goal development, as well as finding a comprehensive solution to the problem using most relationships both within the air transport system and outside it. Thus, the system approach allows to solve three main hierarchical tasks:

- 1) achieving the maximum efficiency of the aircraft fleet in the process of passenger transportation;
- 2) solving the economic and mathematical problem of optimizing the passenger traffic performance;
- 3) determining the required number of each aircraft option for each route in order to form an optimal aircraft fleet [ibid].

The optimization processes described above form the planned production indicators for forecasting revenues from flights, namely: total sales revenues for airline flights; total sales revenue for Interline flights; total sales revenues on the territory of Ukraine; total income from sales abroad; expected revenues from sales for domestic flights; expected revenues from sales for international flights; total sales revenue through various channels; expected sales revenues at some points; the amount of the commission; planned expenses for the keeping the representative offices; efficiency of sales channels, agency network and individual agents.

Determining the planned production indicators allows to assess the physical feasibility of the chosen air transportation strategy by means of the aircraft fleet, transportation capacity and the airline economic potential, which ensure sticking to the schedule and the planned revenues [8].

Conclusions. Further development of the country requires increasing the role of regions in the economy and the creation of new centers of active growth. To solve this problem it is necessary to increase the population mobility and to form sustainable interregional transport links. The current transportation model hinders the development not only of civil aviation, but the economy of many regions as well.

The key factors for the formation of an efficient route network and domestic air transportation system are identified: regular (non-charter flights); high flight frequency for network development due to economically active population; aircraft fleet corresponding to the demand for air transportation; affordable fares for passengers (due to subsidizing revenues of operating airlines), the use of transfer schemes in the route

network formation to reduce subsidies, ensuring the required safety level and a preset level of comfort for passengers.

The current instability in the Ukraine air market will affect the long-term airlines strategy in forming their aircraft fleet. Airlines are now focusing on pre-

paring for further growth with minimal operational efficiency risks.

Narrow-body aircraft will continue to be the largest market segment. Demand for them will recover faster due to the fact that such aircraft are used on short-haul routes and in the domestic market.

References:

1. Підсумки діяльності авіаційної галузі України. Розділ "Новини". Київ, 2021. URL: <http://avia.gov.ua/> (дата звернення: 10.03.2021)
2. Транспорт і зв'язок України: статист. збірник / Державний комітет статистики України. Київ, 2005. 263 с.
3. Висоцька І.І. Стан та перспективи розвитку пасажирських авіаційних перевезень на внутрішніх лініях України. *Економіка: проблеми теорії та практики*: зб. наук. праць. Вип. 192, т. II. Дніпропетровськ, 2004. С. 569–575.
4. Козлюк І.О. Моделювання процесів функціонування авіаційного транспорту з метою прогнозування показників його діяльності : дис. ... доктора техн. Наук : 05.13.06. Київ, 2007. 332 с.
5. Леонтьев Р.Г. Прогнозирование авиапотоков и оптимизация управления воздушной транспортной системой. Москва, 1984. 184 с.
6. Методичні рекомендації з формування собівартості перевезень (робіт, послуг) на транспорті, затверджені наказом Міністерства транспорту України від 05.02.2001 № 65. URL: <http://zakon.nau.ua/doc/?uid=1040.644.1&pobreak=1#st2>. (дата звернення: 15.03.2021).
7. Висоцька І.І. Імітаційна модель функціонування підсистеми обслуговування пасажирів в аеропорту. *Формування ринкових відносин в Україні*: зб. наук. праць. За ред. І.К. Бондар. Київ, 2007. Вип. 5 (72). С. 79–83.
8. Юн Г. Н. Задача эффективного базирования воздушных судов. Киев : КМУГА, 1998. Вип. 2. С. 109–113.

Акмаддінова В.Є., Волковська Г.Г. ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН: ПОРВІНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ

Стаття присвячена проблемам функціонування парку повітряних суден в умовах економічної кризи, питанням стратегічного управління авіаційним транспортом на основі сучасних інформаційних технологій та інтелектуальних послуг з використанням передових досягнень в сфері аналізу, оптимізації, прогнозування, моделювання в авіаційній галузі для обробки оперативної інформації та прийняття рішень в сфері, що аналізується. Перспективне і поточне планування розвитку авіатранспорту, як багатогранна проблема, включає завдання щодо прогнозування попиту на транспортні послуги, маршрутизації пасажирських потоків, формування мережі авіаліній та оптимального розподілу маршрутів руху повітряних суден. Раціоналізація пасажирських сполучень відіграє важливу роль в удосконаленні організації роботи авіапідприємств, у задоволенні попиту населення на авіап перевезення, розвитку міжнародних зв'язків та інтеграції економіки держави до світової економічної системи. Визначено, що для підвищення ефективності планування, управління та експлуатації парку повітряних суден необхідно проаналізувати інформацію щодо альтернативних шляхів розвитку повітряного транспорту у зв'язку зі складністю формалізованої оцінки подальшої перспективи зростання авіаційних перевезень, що залежить від багатьох різних чинників політичного, економічного, технічного, організаційного, соціального і екологічного характеру. Дослідження показників функціонування повітряного транспорту дозволяють визначити основні проблемні питання та перспективи розвитку ринку авіаційних пасажирських перевезень в Україні. Визначено ключові фактори формування ефективної маршрутної мережі та системи внутрішніх авіаційних перевезень: регулярні (не чартерні рейси); більш висока частота польотів для розвитку мережі за рахунок економічно активного населення; якість парку повітряних суден, що за місткістю відповідає обсягу попиту на авіап перевезення; доступні тарифи для пасажирів за рахунок субсидування доходів авіакомпаній.

Ключові слова: авіап перевізник, модель повітряного судна, парк повітряних суден, мережа авіаліній, оптимізація, попит, внутрішні авіап перевезення, ефективність експлуатації, стратегія авіакомпаній.

UDC 656.7.025

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/24>**Valko A.M.**

orcid.org/0000-0003-0394-6304

National Aviation University

Suvorova N.O.

orcid.org/0000-0001-6110-4864

National Aviation University

RESEARCH OF THE ROLE OF HANDLING COMPANIES IN PROVIDING SERVICES AT THE AIRPORT

The structure of the competitive field of the air transportation market consists of three main types of air transport companies: airlines, airports and ground handling operators.

A comparative analysis of domestic and foreign experience shows that there are significant differences in the principles of organization of airports. In the West, three organizations are clearly divided: airport operators (usually airports owned by government agencies), ground companies and airlines. In this case, the company providing groundhandling services may be independent or owned by the airport operator or airline. Strict rules for the division of airport management and ground handling activities have been formulated for ground employees belonging to airport operators.

At the same time, the ground industry is an independent part of the air transport industry, creating an independent competitive market. Therefore, stimulating the competitive environment of the emerging ground handling market should be a priority for the development of Ukraine's air transport industry.

According to the forecast of the International Civil Aviation Organization (ICAO), from 2000 to 2020 the total demand for air transportation will grow at an average annual rate of 4.5%. With this in mind, the world's aviation fleet has almost doubled. This means that by 2020 the planned volume of passengers will increase almost 2.7 times, and the volume of freight traffic will exceed this figure. However, the COVID-19 pandemic had a significant impact on aviation and air transport. Therefore, the main problems during the COVID-19 crisis and the resumption of the aviation industry require organized ground handling, which depends on flight safety, frequency of departures and airport capacity.

The article defines and formulates the essence of the concept of air handling, analyzes the services of ground handling of aircraft.

Key words: airport, ground service, aircraft service, air handling, vendor, airline.

Formulation of the problem. The organization of ground handling of the airport is an integral part of any international and domestic flights. Strict adherence to aircraft schedules and transportation costs are directly dependent on well-organized ground services.

In the world of aviation, there are organizations that consider technology and ground handling in places that consider the transition to aviation technology.

The airport usually serves many airlines that operate a certain distance from their technical base. Therefore, service companies provide ground services to airlines [1].

Due to the huge population, large cities and an ideal geographical location, so its air transport market is very high. The growing demand of the population for air transportation, as well as the restoration of space after the flood, will make it possible to use this

potential as a connection with the increase in passenger traffic at the airport.

This indicates the need to develop the activities of transport companies that provide a full range of ground handling services in the Ukrainian market [7].

As there are many airlines in the world, the choice of specialized aviation services requires healthy competition between processing and service companies. The right choice will help develop competition at airports, thereby improving the quality of services provided to passengers and airlines.

Analysis of recent research and publications. The methodological basis of the study were the works of domestic: Yu. F. Kulaiev, V.P. Iniushyn, O.M. Andronov, I.P. Sadlovskaaya and foreign scientists: O.N. Lee, E.L. Pin, H. Stanton, T. Saati instructive and normative documents of authorities, international conventions and directives in the field of airport activity.

Setting objectives. The aim of the scientific article is to analyze the approach to improving the quality of groundhandling services at airports, through the method of analysis of hierarchies reflected in the process of interaction between groundhandling service providers and airlines.

Presentation of the main research material. Ground handling at airports is one of the few activities in air transport in which airport services, airline divisions, and independent contractors jointly participate.

We do not have an official definition of the term "ground handling". It is a set of aircraft equipment and services for the commercial maintenance of aircraft, passengers and cargo, which we provide to airport operators, with the exception of managing the centralized infrastructure of the airport.

The structure of the types of works and services that create this complex of ground handling also does not have a single classification in the world industry.

Groundhandling service providers are organizations that directly support the platform. They are contractors and combine the experience and materials needed for ground operations at the airport.

As in any airport in the world, a handling company is engaged in passenger service. Each airport has its own, depending on which company the airport has signed a contract with.

As you know, ground handling services at Ukrainian airports are usually provided by handling companies. The activities of these companies directly affect the level of flight safety. This is due to a number of reasons related to the regulatory and organizational activities of these companies [2].

These companies are engaged in passenger service, as well as the service of the aircraft themselves.

Passenger services include: check-in procedures for passengers and luggage, transportation between the plane and the airport building, boarding / disembarking and escorting of passengers to the plane, passenger services with special needs (category UM, WH, etc.), ticket reservations related to registration of travel documents lost luggage, lost, discovered or damaged property of passengers, transport luggage left by passengers, and other services.

Aircraft services include: calculation of aircraft load centering and control, communication between

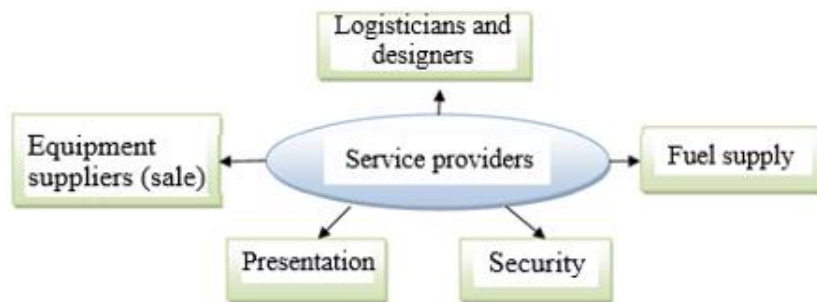


Fig. 1. List of ground handling services

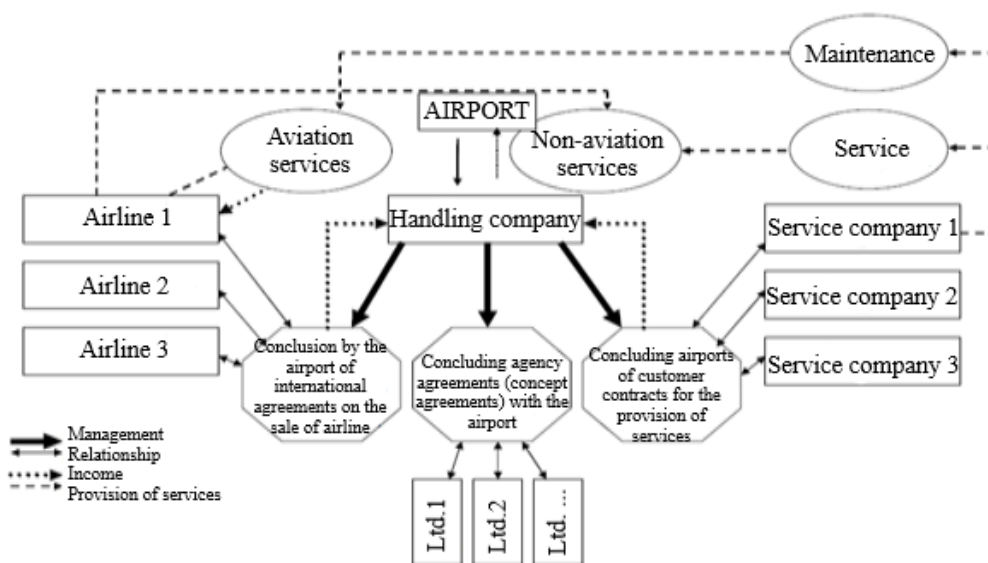


Fig. 2. The scheme of interaction of the handling company with the airline

aircraft berth and cabin, loading and unloading of aircraft baggage at the airport, transportation of cargo and mail, transportation of special ground equipment, internal cleaning of the aircraft and use of water supply services and aircraft maintenance for special ground equipment, aircraft towing, surface icing of aircraft, services using passenger ladders, ground power and transmitters, ground cooling and heating systems. Some service providers also provide line maintenance services that include system maintenance and line maintenance elements, such as tire and brake replacement, window replacement, and other ongoing aircraft maintenance.

It should be noted that aircraft ground maintenance (AIR) is a series of works performed by accepting an aircraft for parking in preparation for departure and departure.

Aircraft maintenance on the ground (ground service) is one of the important elements of safety and regular air transportation. Ground handling covers all types of services provided by aircraft at the aerodrome, in particular:

- meeting and post-flight inspection of the aircraft;
- provision of aircraft with ground power supply;
- loading and unloading of luggage by means of special transport and means;
- refueling with fuel and water;
- loading of onboard food;
- pre-flight inspection of the aircraft;
- ice removal and anti-ice treatment of aircraft;
- aircraft storage;
- towing of aircraft, etc.

In the process of ground handling of aircraft, non-compliance with safety requirements usually leads to incidents classified as aviation accidents, crashes or damage to ground aircraft. Such cases usually cause flight delays, cause serious inconvenience to passengers and companies, cause damage to airlines, and in some cases cause injury or even death.

At first glance, small accidents that occur during ground maintenance can seriously affect the safety of aircraft. For example, improper handling of aircraft against ice can result in ice getting into the engine and a fire in flight. Improper loading of the aircraft can lead to its overturning on the “tail”, and in other cases, even to the loss of control by the pilot over the aircraft.

According to the National Accident and Incident Investigation Agency (NBRCA), the number of accidents and damage to ground-related aircraft accounted for approximately 18% of all civil aircraft incidents in Ukraine.

According to the results of NBRCA investigations, most often events at ground handling occurs during

the loading and unloading of luggage, boarding and disembarking passengers and towing the aircraft.

The events taking place at the airports of Ukraine, as a rule, indicate shortcomings in the organization of handling companies. Investigations of events on the ground often reveal shortcomings in the training and experience of drivers, operators of special equipment and other specialists in ground maintenance of aircraft on the platform.

There are cases of damage to the aircraft due to non-compliance by ground personnel with the requirements of the governing documents, which regulate the procedure for carrying out specific work, insufficient level of standardization of handling companies and inconsistencies between ground handling personnel and aircraft crews.

It is worth noting that most often human and organizational factors contribute to the occurrence of aircraft damage and incidents during ground handling.

Many companies do not pay due attention to the assessment of the safety risk that may occur during ground handling. In 2013-2019, out of 31 events that occurred at airfields, 6 were not investigated at all. The investigation of one incident delegated to an airport entity has not been completed.

According to statistics, aviation accidents are rare during ground handling. Most of the incidents and damage to aircraft on the ground – the so-called low-level events. But such “minor” events can create a serious risk of airworthiness of the aircraft and should not be “unnoticed” or unregistered [1].

Nowadays, composite materials are widely used in the manufacture of aircraft, and although they have significant advantages, they still perform certain functions. Usually after the impact, the surface of the composite material returns to its original shape, and under it there is no visible visual damage. After an aircraft collides with another aircraft, equipment or airport equipment, routine roadworthiness tests may make it impossible to detect complex detachment at an early, hard-to-reach or “inconvenient” glider location. Therefore, even events such as “dents” or “paint damage” require the full attention of ground personnel.

Ground personnel must clearly understand that it is so important to report to the crew all incidents that occur during ground handling, even in the absence of obvious signs of damage to the aircraft. This applies to both the notification of the pilot-in-command and the notification of the national aviation accident investigation authority.

According to paragraph 1 of Article 119 of the Law of Ukraine on Aviation, all cases and damage

to aircraft must be subject to mandatory investigation in order to take measures to prevent future incidents.

Proper maintenance of the aircraft is a major factor in flight safety.

We believe that aircraft maintenance needs to be analyzed in more detail, as this is very important in ground-based aircraft maintenance.

Maintenance of commercial aircraft includes regular inspections of the technical condition of the aircraft, which must be conducted by the airline (maintenance organization) after a certain time or a certain hour (specified in the maintenance plan of the airline) [4].

There are the following types of checks: transit check, daily check, weekly check, A-check, B-check, C-check, D-check and SV (Shop visit). A-check and B-check [8]. Is a simple (easy) check, while C and D-check are a difficult form of maintenance. For some types of aircraft, the composition of the work included in the forms of maintenance is determined by the maintenance regulations, which are developed by the manufacturer in conjunction with representatives of the aviation authorities and representatives of operators. They all together they form working groups.

Transit check – the simplest form of maintenance performed before each departure of the aircraft, if the time after landing is less than three hours. If the next flight is scheduled more than three hours after landing, the Daily check is performed.

Daily Check – a daily check of the technical condition of the aircraft, which must be performed every 24 hours. In some cases, it can be performed after 36 hours. It is usually performed at night.

Weekly Check – performed approximately once a week. Can be performed both day and night. Does not require a room (hangar). It is usually performed in 3-4 hours [8].

A-check – this check is performed approximately once a month or every five hundred hours of flight: A1, A2, A4, A8. The higher the figure, the greater the amount of work. A-check is usually done at night in the airport hangar. The content of this test depends on the type of aircraft, the number of cycles or the number of flight hours since the last test. The inspection may be postponed by the airline depending on certain conditions [8].

B-check – this check is performed approximately every three months. It is also usually done at night in the airport hangar [8].

C-check – this form of maintenance is more complex than the previous ones and is performed every 15 – 24 months or 7500 hours of flight. Divided into

C1, C2, C4, C6 and C8. This test requires the aircraft to be decommissioned for a while (about two weeks) and requires a lot of space – usually in a large airport hangar. The timing of this inspection depends on many factors, including the type of aircraft. [8].

D-check is the most difficult form of aircraft maintenance. This test takes place approximately once every 12 years and lasts 30–40 days. During it all plane, all its knots and details are checked. Nodes that have produced a resource or have not been tested are subject to replacement. [8]. This inspection of the aircraft requires even more space and time than all the others, and is performed on the appropriate technical basis.

SV (Shop visit) – a difficult form of maintenance of the main engines of the aircraft. Frequency (average) – 12000 hours of flight.

Note that for more modern types of aircraft there is no single regulation, respectively, for a particular aircraft, the operator must develop a maintenance program based on guidelines, plant recommendations and instructions of the authorities (directives, bulletins, etc.).

The formation of forms of maintenance in this case should be engaged in the operator in accordance with their policies. Maintenance at night will be relevant when airlines operate only day flights. Night forms can be redistributed and medium-weight forms can be excluded (A-check). Since many plants have abandoned the letter numbering of forms, the name of the forms of maintenance is left to the discretion of operators (for example, LMV – line maintenance visit), but usually use the common [3].

There are additional services which include: performance of representative functions on serviced flights, service of postal and cargo air transportation, service of business aviation flights.

Some handling companies only service business aviation. These companies accompany and regulate the service of aircraft and passengers, taking into account the level of business class aircraft and VIP-flights performed on them. In the operation of regular flights and VIP-charters are governed by common to all rules of civil aviation. Aircraft ground service at airports provides: loading of onboard food, refueling the aircraft with water, fuel, parking in the hangar, cleaning the cabin. For passengers it is passport control and customs control, registration.

When servicing flights, business aviation companies that provide handling services take into account the specifics of the VIP-charter sector and private transportation. As business aircraft are not tied to the schedule, the handling agents provide opera-

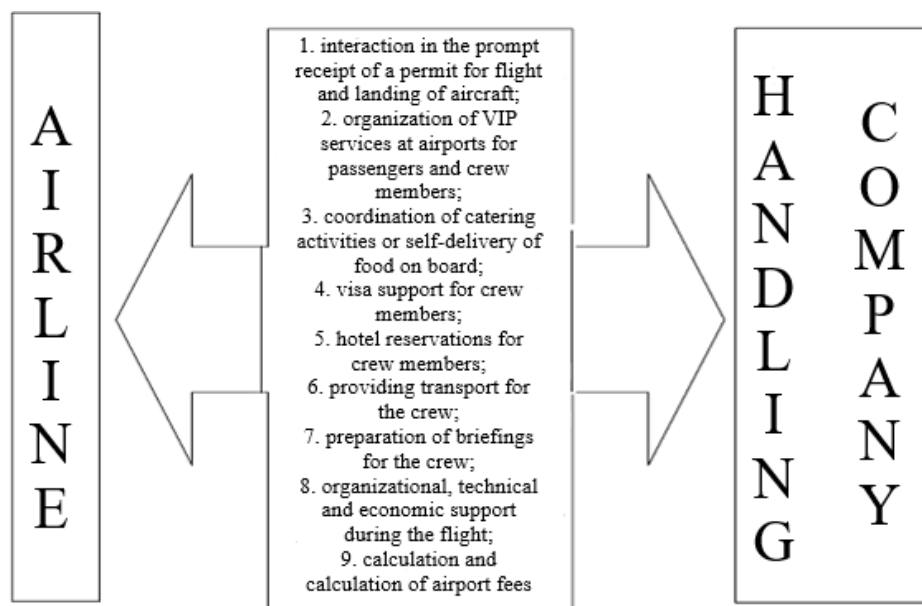


Fig. 3. Scheme of services of a handling company with an airline

tional training of aircraft, corresponding to possible changes in arrival / departure time, unexpected changes in the route.

The companies are also working to make operational changes to the aircraft maintenance schedule, to resolve the difficulties of communication between airport staff and English-speaking aircraft crews.

Agents offering handling services for business aviation control and coordinate almost all stages of aircraft and passenger service. The supervisor accompanies the flight at the stage of obtaining permits from Ukraine and foreign countries for the flight and landing of the aircraft along the route. The responsibilities of the handling agent include the prompt resolution of any issues and the organization of the necessary procedures to change the route and obtain the necessary permits.

In these handling companies there is an additional range of services. Handling companies can be contacted when it is necessary to book a hotel for crew members and to provide transportation for the crew or passengers of business flights. Catering coordination services are also provided or food delivery is offered on board.

The general requirements to the provider (evaluation criteria) of handling services are:

1. Ensuring aviation safety in accordance with the requirements of ICAO international standards.
2. Certification according to the activities of IATA, ISAGO (IATA Safety Audit for Ground Operations – IATA ground safety audit).
3. Certification by international industry certificates.
4. Certification of personnel by areas.

5. Certification of technological and technical means for providing services.

6. Certification according to ISO (International Organization for Standardization – International Organization for Standardization).

7. Experience with these types of aircraft.

The basis for making a decision at the “supplier selection” stage should be based on the audit report with conclusions and recommendations. On this basis, the final expert opinion is formed.

Expert assessment methods are widely used in decision-making under uncertain conditions or when comparing all the multiple attributes of the object without establishing a single selection criterion.

For the purposes of expert evaluation, as a rule, the 9-point scale (Fig. 4) proposed by Thomas Saati is considered [5].

According to the method of hierarchy analysis, the choice of service provider is substantiated:

1. Comparison of criteria (pairwise).
2. Comparison according to the selected criteria of service providers (pairwise).
3. Bringing the results to the general formula.

Example of comparison results according to selected criteria of service providers (pairwise) (Fig. 5).

The matrix of pairwise comparison of alternative vendors for ground handling at the airport contains the following task for expert evaluation:

1. Vendor A.
2. Vendor B.

Subsequently, a comparison of alternative vendors (suppliers) A and B of compliance with the require-

Intensity of relative importance, score	Definition	Explanation
1	Equal importance	The importance of objects (factors) A_i and A_j is the same
3	Moderate advantage of one over the other	Experience and judgment give a slight advantage of one object (factor) over another
5	Significant or strong advantage	The available data indicate a significant advantage of A_i over A_j
7	A very strong advantage is the advantage of the object (factor) A_i over A_j	Obviously
9	An absolute advantage	The obvious advantage of A_i over A_j is confirmed by all available features
2, 4, 6, 8	Interim decisions	Used in compromise cases

Fig. 4. Scale of ranking of the choice of vendors in air handling for service of flights at the airport by the method of expert evaluation

Criteria	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	w^*	$w^* \text{ norms}$
№ 1	1	5	3	3	1/4	5	1/7	1,34	0,125
№ 2	1/5	1	1/3	1/3	1/6	1/3	1/7	0,29	0,027
№ 3	1/3	3	1	1	1/4	3	1/7	0,72	0,067
№ 4	1/3	3	1	1	1/5	2	1/7	0,68	0,063
№ 5	4	6	4	5	1	8	2	3,58	0,334
№ 6	1/5	3	1/3	1/2	1/8	1	1/8	0,40	0,037
№ 7	7	7	7	7	1/2	8	1	3,70	0,345
The sum of the elements in the columns	13,06	28	16,67	17,83	2,49	27,33	3,69	10,71	

Fig. 5. Matrix of comparison according to the selected criteria of air handling vendors for service of flights at the airport by the method of expert evaluation

w^* – components of the personal vector of T. Saati's own matrix, according to the maximum values;
 $w^* \text{ norms}$ – criteria for normalization of the considered factors, reduced to one.

Service providers	Supplier A	Supplier B	$w^*(1)$	$w^* \text{ norms}(1)$
Supplier A	1	1/9	0,33	0,029
Supplier B	9	1	3	0,270
The sum of the elements in the columns	10	1,11	11,11	

Fig. 6. Matrix of pairwise comparisons of alternative vendors for aviation security

ments of international standards to the service provider at the airport. Consider the example of aviation security (Fig. 6).

Similar standards are set for other groundhandling service providers.

Next, it is necessary to synthesize the final solution. Among them, the last step is the operation of weighing the normalized eigenvectors of standard alternatives, which are obtained using priority tasks

and included in the personal vector of the standard matrix.

Decision support systems (DSS) are used for decision-making tasks.

Conclusions. Handling companies play a very important role in the life of any airport.

We believe that an example of the most complete classification is Directive 96/67 / EC – the main document of the jurisdictional rules of the European Union,

which contains 11 activities that create this complex. These are the following activities: supervision and control; passenger services; baggage handling by freight and postal services; platform services; commercial maintenance of aircraft; refueling aircraft; aircraft maintenance; crew management; transportation from the airport; food for landing [6].

As a rule, groundhandling operators, mainly airlines, airports and specialized companies, have not completed the full list of tasks, mainly due to their diversity and various organizational forms, with a focus on general functions. Business process.

Thanks to these companies, the airport receives income from the aviation segment and receives stable and well-established operations in its terminals and on the platform.

DSS “Choice” – an analytical system based on the method of analysis of hierarchies.

The conducted researches allowed to draw the following conclusions:

1. The use of this method allows in the first stage to consider seven key criteria without the influence of the weights of specific service providers. The most important criteria for decision making are criteria № 5 and № 7 (Fig. 5).

2. It helps auditors to apply weighting factors not only in making specific decisions, but also in the future to address shortcomings in certain indicators, in particular, in the formation of recommendations. In our case, the supplier B by criterion № 5 (Fig. 5).

3. This approach is transparent and significantly simplifies the tender procedure among vendors for ground handling of aircraft, which allows to form objective decision-making criteria and increase the objectivity of the assessment.

References:

1. Кулаев Ю.Ф. Экономика гражданской авиации Украины: монография. Киев : Издательство «Феникс», 2004. 667 с.
2. Кучеренко А.І. Розвиток хендлінгових компаній на українському ринку авіаційних послуг. Київ, 2012. URL: <http://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/12422>.
3. Павелко В.Ю. Забезпечення підвищення ефективності управління аеропортовим комплексом на основі концепції якості : монографія. Запоріжжя : ЗНТУ, 2014. 320 с.
4. Повітряний кодекс України: Кодекс від 19 травня 2011р. № 3393-VI/Верховна Рада України. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3393-17/page>.
5. Saaty T.L. Prinjatiereshenij. Metod analiza ierarhij. Moscow : Radio&svyaz. 1993. (In Russian)
6. Про доступ до ринку наземного обслуговування в аеропортах Співтовариства: Директива Ради ЄС від 15 жовтня 1996 № 96/67/ЄС.URL: <http://old.minjust.gov.ua/file/31565>.
7. Криворучко О.В. Перспективи розвитку хендлінгових компаній на українському ринку авіаційних послуг. *Проблеми системного підходу в економіці*. 2009. № 30. С. 159–163.
8. Технічне обслуговування та ремонт повітряних суден в Україні: статус, потенціал та можливості для розвитку. *Аналітичний звіт*. URL: http://www.expert.kiev.ua/trial/MRO_report.pdf.

Валько А.М., Суворова Н.О. ДОСЛІДЖЕННЯ РОЛІ ХЕНДЛІНГОВИХ КОМПАНІЙ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ПРОЦЕСІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ В АЕРОПОРТУ

Структура конкурентного сегменту авіатранспортного ринку утворюється трьома основними типами підприємств повітряного транспорту – авіакомпаніями, аеропортами і операторами з наземного обслуговування авіап перевезень.

Порівняльний аналіз зарубіжного і вітчизняного досвіду показав істотні відмінності в принципах організації діяльності аеропорту. На заході досить чітко розділено три суб'єкта: оператор аеропорту (зазвичай аеропорт належить державним структурам) компанії, надаючи послуги з наземного обслуговування і авіакомпанії. При цьому компанії, надаючи послуги з наземного обслуговування, можуть бути як незалежними, так і належати операторові аеропорту або авіакомпанії. В разі приналежності агента з наземного обслуговування операторові аеропорту встановлені строгі правила розділення бізнесу з управління аеропортом і діяльністю по наземному обслуговуванню.

При цьому галузь наземного обслуговування авіап перевезень є самостійним компонентом галузі повітряного транспорту, який створює окремий конкурентний ринок. Відповідно, стимулювання конкурентного середовища на ринку наземного обслуговування, що формується, має бути пріоритетним напрямом розвитку галузі повітряного транспорту України.

Згідно з прогнозом Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО) у період з 2000 по 2020 рік загальний попит на повітряні перевезення в середньому щороку мав би зростати на 4,5 відсотка. З урахуванням цього світовий парк повітряних суден майже вдвічі мав збільшитися. Це означало, що у період до 2020 року обсяг пасажирських повітряних перевезень планувався збільшитися майже

в 2,7 рази, а обсяг вантажних перевезень – перевищити цей показник. Але пандемія COVID-19 має великий вплив на авіацію та авіаперевезення. Таким чином, головною проблемою під час кризи COVID-19 і перезапуску галузі потрібно організоване наземне обслуговування, від якого залежить безпека польотів, частота відправлень ПС і пропускна здатність аеропортів.

У статті визначено та сформульовано сутність поняття авіахендлінг, проведено аналіз послуг з наземного обслуговування повітряних суден.

Ключові слова: аеропорт, наземне обслуговування, обслуговування повітряних суден, авіахендлінг, вендор, авіакомпанія.

UDC 656.7.025

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/25>**Volkovska G.G.**

orcid.org/0000-0001-9674-3770

National Aviation University

Akmaldinova V.Ye.

orcid.org/0000-0002-7087-2088

National Aviation University

METHODICAL PRINCIPLES OF FORECASTING AIR CARGO FLOWS

Most of the planning transport systems tasks have become operational, they are solved on the basis of large amounts of available information. The use of traditional methods, including transport tasks, has also changed significantly. In practice, transport companies are not subject to the freight flows formation, so they accept ready-made information about them. The amount of initial data for each specific carrier is a random variable. Parameters of their distribution depend on period to which information relates. Based on it, transport companies distribute rolling stock to known orders. In each case, using its expected characteristics, they need a differentiated approach to assessing production situation. Usually, there is such method of evaluation. Carrier predicts future transport tasks with accuracy that satisfies its ability to quickly situation change, and then plans routes and distributes existing fleet to them.

Air cargo forecasting is characterized by significant complexity due to extensive airlines network, presence of a large clientele, small consignments and other factors that are difficult to forecast (e.g., one-time shipments). Therefore at cargo transportations forecasting the statistical methods based on transportations dynamics analysis for a number of years, studying of factors defining growth rates, account of perspective directions to air transport development and economy of serviced gravity areas. At deep enough analysis of transportations dynamics and revealing of steady tendencies it is possible to use extrapolation methods with subsequent correction of results on possible transportations conditions change. For example, when changing preferential conditions of transportation, forecast results should be adjusted. It is also necessary to take into account changes in airlines structure, cargo flows, aircraft-helicopter fleet, etc. Since extrapolation results are influenced by past trends, forecast should focus on analyzing and taking into account factors that determine transportations volume in order to exclude unusual deviations and identify stable trends that will persist in future.

Therefore, the article investigates principles of forecasting cargo flows for airlines. Main methods and models of forecasting are considered. Their advantages and disadvantages are identified.

Key words: forecasting, cargo flow, air transportation, transportation volumes, model of forecasting.

Formulation of the problem. Implementation of effective cargo flow management for the network air carrier is impossible without high-quality air cargo flows forecasting. In the conditions of dynamic external competitive environment change, fluctuations of demand in target markets, considerable internal risks for carrier, creation of universal forecasting bases for air cargo flows is simply vital.

Analysis of recent research and publications. Problems of cargo flow management have been widely studied by Ukrainian leading scientists and foreign countries. Main scientific researches concern cargo flows management at multimodal transportations, researches of forecasting methods applied at passengers and cargoes transportation on international transport corridors, etc. Thus, in the work of P.G. Tregubova [6], based on theory of managed

networks and queuing networks, developed number of cargo flow management models, aimed at solving optimization problems of multimodal transportation system. In the work of A.A. Zenkin [3] made an analysis of forecasting methods used in passengers and goods transportation on international transport corridors. It is noted that when forecasting freight transportations volume can be used known methods of regression analysis, where total transportation volume is determined depending on forecast volumes of exports and imports in value terms, as well as on the basis of time series analysis of accepted goods range. Researchers did not ignore problems of transportation management in air transport. In particular, in the work of V.Yu. Ivannikova, P.O. Yanovsky, S.Yu. Girich [4] when determining volumes of different cargo categories in airport cargo flow, it is proposed to use discrete

function values of posteriori probability distribution of these volumes from the moments of receipt for each observation year. A. Koren's article [5] considers two forecasting models: forecasting volume of air transportations on airlines taking into account macroeconomic indicators of the region and forecasting volume of air transportations on airlines taking into account macroeconomic indicators of the region and other similar airports. Regression analysis method is used to predict passenger air transportation. As accompanying variables (factors) are used: data on demand for air transportation, gross regional product, index of average tariff of transportation and average per capita population income, growth rate of indicators. Second model introduces additional variables, in particular taking into account number of people served by airport who live in area covered by airport.

As noted earlier, V.S. Wojciechowski, T.Yu. Gabriellova and M.Yu. Grigorak in [2] forecasting is based on market analysis and historical indicators of cargo flows. Forecasting itself is one of the block diagram initial components of phased management of network carrier's flight loading. Authors continue scientific research and define principles of forecasting cargo flows on airline network.

Formulation of article goals. The main article goal is to substantiate methods and models of forecasting cargo flows in air connection delivery.

Presenting main material. Volumes and directions substantiation of cargo transportations is carried out at all stages of forecasting: perspective, current (annual), operative.

As noted L.A. Yaschenko in [1], when forecasting cargo transportations on individual airlines, data on transportation of each correspondence for a number of years are studied and summarized. Forecast of cargo shipments from airport can be obtained as the sum of projected shipments by individual airlines. However, study of airline transportations dynamics does not always reveal stable trends in the context of each individual correspondence. Therefore, group or general models are used to forecast transportations volume from the airport as a whole, distinguishing between primary, transfer (regular) and charter transportations. In this case, total amount of cargo shipments from airport

$$\sum W_c = W_{pr} + W_{tr} + W_{ch} \quad (1)$$

where W_{pr} – volume of primary shipments; W_{tr} – volume of transfer shipments; W_{ch} – volume of charter shipments.

For air cargo transportations are characterized by the fact that most of them are performed on passenger aircraft in reloading order. Knowing ratio of passen-

ger and cargo load and prospective passenger shipments volume, you can forecast cargo shipments volume for settlement period. This method of forecasting will give more reliable results than extrapolation of time series, as it assumes availability of data on passenger transportations volume.

Calculation of possible cargo shipments from airport, where most of them are performed in passenger fleet, can be done by formula

$$\sum W_c = \sum W_p k_{c.p} k_{st} \quad (2)$$

where $\sum W_p$ – tonnage of shipments in passenger fleet; $k_{c.p}$ – coefficient that takes into account ratio of cargo shipments and passenger tonnage; k_{st} – coefficient that takes into account changes in aircraft fleet structure.

Volume of primary cargo shipments

$$W_{pr} = \gamma_{pr} \sum W_c \quad (3)$$

where γ_{pr} – share of primary shipments in total and cargo shipments from airport.

Volume of transfer shipments

$$W_{tr} = \sum W_c (1 - \gamma_{pr}) \quad (4)$$

Equation can be used to determine cargo shipments volume

$$\sum W_c = a_0 + a_1 W_p \quad (5)$$

where W_p – tonnage of passenger shipments; a_1, a_2 – equation parameters.

Volume of primary and transfer cargo shipments is calculated by their share in total shipments. Ratio between primary and transfer shipments depends on the amount of arrived transfer cargo and carrying capacity of the fleet. At fixed value of carrying capacity, increase in arrival of transfer cargo leads to decrease in primary shipments. Therefore, when forecasting ratio between shipments types, it is necessary to analyze dynamics of arrival of transfer cargo and identify reasons for increase or decrease of this indicator.

If cargo transportations are carried out on passenger and freight fleets, then

$$\sum W_c = W_{p.sh} + W_{c.sh} \quad (6)$$

where $W_{p.sh}, W_{c.sh}$ – volume of shipments in passenger and freight fleets.

$$\sum W_c = \sum N_{p.sh} G_{pr.p} + \sum N_{c.sh} G_{pr.c} + \sum N_{p.sh} G_{tr.p} + \sum N_{c.sh} G_{tr.c} \quad (7)$$

where $N_{p.sh}, N_{c.sh}$ – air flights of passenger and cargo aircraft; $G_{pr.p}, G_{pr.c}$ – average loading of passenger and cargo aircrafts with primary cargoes; $G_{tr.p},$

$G_{tr.c}$ – average loading of passenger and cargo aircrafts by transfer cargoes.

All forecasting methods, which are based on reported data, have one common disadvantage: they do not allow identifying the real demand for air cargo transportations.

To establish the needs of air transportation, it is necessary to analyze dynamics of presenting cargo by stable clientele and to conduct research on new shippers. Possible volumes of transportations can be established by developing transport and economic balances and justifying rational air transportations routes. Since the entire large clientele of air transport can not be covered by balance and route calculations, then choose the largest and most stable companies-senders and cargo flows of some homogeneous cargo (e.g., perishable). The rest of entire clientele can be grouped by departmental basis and forecast can be obtained according to relevant departments. According to clientele, which cannot be covered by justifications, forecast is made by various statistical methods. Model of forecasting cargo shipments by clientele

$$\sum W_c = W_b + W_{new} + W_{another} + W_{tr} \quad (8)$$

where W_b – volume of shipments by clientele of base period; W_{new} – volume of shipments for new clientele, identified in the economic research process; $W_{another}$ – volume of shipments for another clientele; W_{tr} – volume of transfer cargoes shipments.

Taking into account technical and economic features of air transport, scheme of cargo transportations forecasting includes following stages:

– detailed analysis of cargo transportations development by directions and types of shipments (primary and transfer), development method (passenger and cargo fleet), regularity of cargoes arrival (year-round, seasonal), degree of stability (contractual, one-time), cargo types;

– economic research organization of air transporting cargoes in the airports gravity areas and individual airlines;

– development of transport and economic balances for certain cargo types and sending enterprises with justification of rational air transportation directions;

– substantiation of forecasts variants of air transportations volumes and directions with their further estimation;

– working-out proposals for air cargo transportations development.

Structural scheme of economic research and substantiation of cargo transportations volumes and directions is given in figure 1.

When forecasting cargo flows, main initial information is reporting data on transportation and materials of enterprises (organizations) inspection in order to identify air transporting goods and their delivery routes. To more fully account for air cargo transportations demand, in addition, it is necessary to establish number of unsatisfied applications for cargo delivery by air. Therefore, at airports and agencies should be established accounting of shippers who were denied transportation, indicating reasons for refusal.

Work on attracting cargo for air transport begins with drawing up plan-schedule of enterprises inspec-

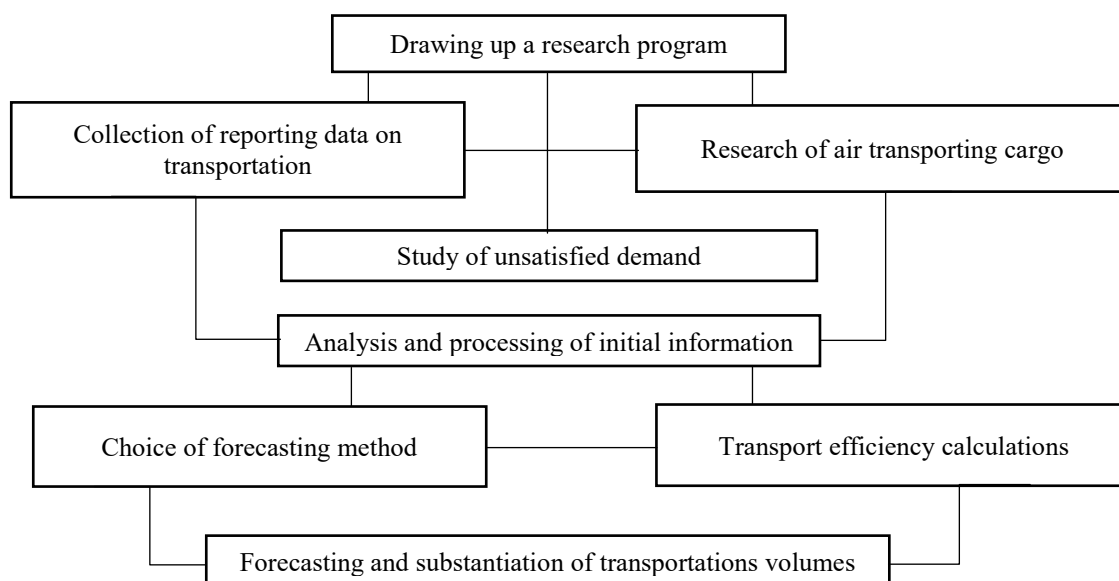


Fig. 1. Scheme of economic research and forecasting of cargo flows

tion and preparation of working documentation: letters, forms, advertising materials, rules of transportation and tariffs, preferential terms, forms of contracts, etc. Products nomenclature is studied directly at the enterprises, its conformity to air transportation conditions is defined: physical and chemical properties, tare, dimensions and weight of separate places, delivery conditions, etc. Directions and cargo consignment are analyzed, actual transportations by other transport modes are established. Particular attention is paid to the routes of mixed transportation with transshipment on the transportation way. In the process of inspection the terms of production delivery (with involvement of transport organizations data) and data on production losses in transportation process are analyzed.

The survey of enterprises is not limited to local airport gravity area. Transfer cargo flows and consignees are subject to study in order to obtain their consent to air transportation. Analysis and processing of received materials for inspection of enterprises and statistical data on departures and arrival of cargoes with subsequent performance of necessary technical and economic calculations is basis for forecast development of possible air cargo transportations volumes and directions.

On the basis of general theory of economic cycles, researchers [2] have built factor effects table for different types of forecasting (table 1). Thus, long-term forecasting will be characterized by general long-term trends of studied series, which are determined by technological changes, as well as factors that affect economic activity, overall market development and individual carriers. Medium-term forecasting will be dominated by cyclical factors and seasonal changes. In short-term forecasting, decisive role should be given to rapid and adequate response to unpredictable or difficult-to-predict events in long or medium term.

In the long-term forecast, moving average methods, trend estimation, statistical data, vector autoregression should be used. In medium-term forecast, methods of averages, seasonal approach, and concept of Ansoff gaps should be used. At short-term forecast Delphi method, construction of scenarios, forecast by analogy, composite forecasts should be used.

First of all, when forecasting cargo flows on airlines, principles of sliding forecasting should be implemented, which consist in the use of continuous revision of previous plan, as well as principles of flexible forecasting, which take into account possibility of ambiguous conditions and appropriate revision of plan.

Here are examples of forecasting own transportation volumes with general positive, as well as with general negative forecast in market. Let existing airline volume in market – 1 000 t/year, total market volume – 10 000 t/year, i.e. airline owns 10 % of market. With overall positive forecast of market development and growth of its volumes by 10 %, the growth of carrier’s volumes will be $1\,000 \times 1.1 = 1\,100$ tons. With forecast to increase airline’s market share by 2 %, we determine that overall growth of airline transportation due to the increase in market share will be $1\,100 \times 1.2 = 1\,320$ tons. It also determines change in airline transportation with negative market forecast, when market falls by 10 %, airline’s transportation will decrease by 900 kg/year, but by increasing market share by 2 % airline will be able to compensate for market 1 080 t/year.

Nowadays, during the economic downturn, air carriers focused on improving their operational efficiency in an effort to stem losses in a very tough market. Despite all that uncertainty, airlines are lining up to invest in new aircraft. This level of investment suggests that carriers will soon encounter some economic turbulence, as the rate of aircraft delivery is outpacing projections for near-term growth in the airfreight market.

COVID-19 pandemic has affected almost all sectors of economy, but air transport has suffered the most in 2020. However, situation will not improve soon: International Air Transport Association predicts that next year the global aviation industry will suffer multibillion-dollar losses, and will begin to recover no earlier than the end of 2021.

According to results of 2020, volume of cargo transportation and mail by air transport of Ukraine amounted to 88.3 thousand tons (in 2019 – 92.6 thousand tons). Leaders of cargo transportation are ZetA-

Table 1

Factor influence in different forecasting types

Type of forecast	Characteristic	Forecasting methods
Long-term	Long-term trends in technological support, factors influencing economic activity	Moving average method, trend estimation, statistical data, vector autoregression
Medium-term	Dominance of cyclical factors and seasonal changes	Method of averages, seasonal approach, concept of Ansoff gaps
Short-term	Significant impact of unpredictable or difficult-to-predict events in the long or medium term	Delphi method, construction of scenarios, forecast by analogy, composite forecasts

via Airlines, Antonov State Enterprise, Maximus Airlines, Ukraine International Airlines, Constanta and Skype. These airlines performed almost 90 percent of the total cargo and mail transportations. It should be noted that most of cargo transportations has traditionally been charter flights to other countries under UN humanitarian and peace programs, as well as under contracts and agreements with other customers.

IATA suggests that only in the fourth quarter of 2021 can we talk about restoring profitability of industry: when aggressive reduction of costs in airlines stops, countries will begin to actively open borders and the flow of cargo will increase significantly.

Ukrainian air industry lost up to 90 traffic during first decade of corona crisis. When air traffic was partially restored, cargo transportations feels much better – their fall was about 20 %, and freight traffic partially offset the loss of passenger traffic. It is difficult to predict in what condition Ukrainian aviation will enter next year.

Conclusions. Thus, it was determined that the conditions of dynamic change of external competitive environment, fluctuations in demand in target markets, significant internal risks for carrier to create universal basis for forecasting cargo flows on airlines is simply vital necessity.

It was established that the process of synthesis of quantitative and qualitative forecasting methods should be carried out by implementing universal algorithms and schemes for forecasting cargo flows.

Basic methods and models of air transportation volumes are substantiated. On the basis of general theory of economic cycles table of factor influence at various forecasting types is resulted. General scheme of economic researches and forecasting of cargo flows is realized. As an illustration, examples of forecasting of own transportations volumes at general positive and negative forecasts in market, and also statistical data on situation in Ukrainian cargo air transportations market are resulted.

References:

1. Яценко Л.А., Шаповал Н.С., Мержвінська А.Н. Техніко-економічні вишукування та прогнозування розвитку галузі: навч. посібник. Київ: Центр учбової літератури, 2006. 240 с.
2. Войцеховський В.С. Реалізація системи управління звантаженням мережевим авіаперевізником. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля*. 2017. Вип. 4(234). С. 69-75.
3. Зенкин А.А. Методы прогнозирования перевозок по международным коридорам. *Соискатель – приложение к журналу «Мир транспорта»*. 2015. Вип. 1(9). С. 68-72.
4. Иванникова В.Ю. *Моделирование объемов грузовых перевозок в аэропорту* : матеріали міжн. наук.-практ. інтернет-конф. «Комп'ютерні технології в міському та регіональному господарстві», м. Харків, 23–28 листопада 2015 р. Харків, 2015. URL: <http://ojs.kname.edu.ua/index.php/area/article/view/534>.
5. Корень А. Стратегический подход к развитию региональных авиаперевозок. URL: <https://www.aex.ru/docs/8/2013/10/3/1891>.
6. Трегубов П.Г. Повышение эффективности управления системой ускоренных мультимодальных перевозок путем моделирования грузопотоков на основе управляемых сетей : автореф. дисс. ... канд. техн. Наук : 05.22.01. Москва, 2015. 23 с.

Волковська Г.Г., Акмалдінова В.Є. МЕТОДОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ ПРОГНОЗУВАННЯ АВІАЦІЙНИХ ВАНТАЖОПОТОКІВ

Більшість завдань планування транспортних систем набули оперативного характеру, вони розв'язуються на основі великої кількості доступної інформації. Застосування традиційних методів, зокрема транспортних завдань, також суттєво змінилося. На практиці транспортні компанії не є суб'єктами формування вантажних потоків, тому приймають готову інформацію про них. Кількість вихідних даних для кожного конкретного перевізника є випадковою величиною. Параметри їх розподілу залежать від періоду, до якого належить інформація. На його основі транспортні компанії розподіляють рухомий склад за відомими замовленнями. У кожному випадку, використовуючи очікувані характеристики, їм потрібно диференційовано підходити до оцінки виробничої ситуації. Зазвичай є такий метод оцінки. Перевізник передбачає майбутні транспортні завдання з точністю, яка задовольняє його здатність швидко змінювати ситуацію, а потім планує маршрути та розподіляє наявний парк.

Прогнозування вантажних авіаперевезень вирізняється значною складністю, зумовленою розгалуженою мережею авіаліній, наявністю численної клієнтури, дрібними партіями відправок та іншими факторами, які важко піддаються прогнозуванню (наприклад, разові відправки). Тому під час прогнозування вантажних перевезень знаходять застосування статистичні методи, основані на аналізі динаміки перевезень за низку років, вивченні факторів, що визначають темпи зростання, обліку перспективних напрямів розвитку повітряного транспорту й економіки обслуговуваних районів

тяжіння. За досить глибокого аналізу динаміки перевезень і виявлення стійких тенденцій можна використовувати методи екстраполяції з подальшою корекцією результатів на можливу зміну умов перевезень. Наприклад, під час зміни пільгових умов перевезень варто скоректувати результати прогнозу. Необхідно також враховувати зміни в структурі авіаліній, вантажо потоків, літако-вертолітного парку та ін. Оскільки на отримані екстраполяцією результати впливають минулі тенденції, то основну увагу під час прогнозування повинно бути приділено аналізу та врахуванню факторів, що визначають обсяги перевезень із метою вилучення нехарактерних відхилень і встановлення стійких тенденцій, які зберігатимуться в майбутньому.

Тому стаття досліджує принципи прогнозування вантажо потоків для авіаліній. Розглянуто основні методи та моделі прогнозування. Визначено їхні переваги та хиби.

Ключові слова: прогнозування, вантажо потік, авіаційні перевезення, обсяги перевезень, модель прогнозування.

УДК 656.07:338
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/26>

Дакі О.А.

Державний університет інфраструктури та технологій

Урум Н.С.

Державний університет інфраструктури та технологій

Рященко О.І.

Державний університет інфраструктури та технологій

Бабере О.С.

Державний університет інфраструктури та технологій

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОСЕРНИСТИХ ПАЛИВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

Міжнародна морська організація (ІМО) на світовому рівні ввела регулюючий режим, що обмежує вміст сірки в морському паливі. Найбільшу увагу в останні роки було звернено на основний міжнародний інструмент, що регламентує викиди в атмосферу із суден – на Додаток VI Міжнародної конвенції МАРПОЛ 73/78. Водночас значно посилилися вимоги щодо обмеження шкідливих викидів із суден, зокрема й окислів сірки (SOx), насамперед у призначених районах контролю викидів SECA (SOx Emission control areas). Викиди цих оксидів забруднюють повітряне середовище, негативно впливають на здоров'я людей, спричиняють ризик виникнення серцево-легеневих захворювань, хронічні респіраторні захворювання.

ІМО постійно працює над удосконаленням нормативного інструмента забезпечення екологічності, приймаючи обмеження щодо викидів оксидів сірки і, як наслідок, – необхідності зменшення вмісту сірки в паливі.

Однак дистилатні палива є змащувальним матеріалом для рухомих деталей паливної апаратури. Експерименти та результати експлуатації двигунів з використанням низькосірчастих дистилатних палив виявили високу інтенсивність зношування прецизійних пар паливної апаратури. Зниження вмісту сірки в паливі призводить до погіршення їхніх протизносних властивостей, унаслідок чого відбувається збільшення зносу деталей тертя паливної апаратури двигунів. Окрім того, видалення сірки з палива в процесі гідроочищення призводить до видалення поверхнево-активних речовин, які сприяють утворенню захисних плівок на поверхнях металу деталей тертя.

У статті визначено, що одним з основних способів зменшення викидів оксидів сірки є зменшення її вмісту в паливі. Штучне видалення сірки з дизельного палива призводить до значного погіршення змащувальних властивостей палива та передчасного зносу деталей тертя. Розв'язанням цієї проблеми є насичення низькосірчастого дизельного палива біодизелем, з одного боку, це зменшить шкідливі викиди оксиду сірки, з іншого – підвищить змащувальні властивості палива.

Ключові слова: біодизель, дистилат, екологічність, змащування, оксид сірки.

Постановка проблеми. Паливна апаратура суднового дизеля є його найбільш складним і вартісним складником. Вона впливає на надійність і економічність роботи всього двигуна. Знос деталей тертя є однією з основних причин зниження ресурсу суднових дизелів. Сьогодні потрібне рішення двох протилежних за своєю сутністю завдань: підвищення екологічності судового дизеля завдяки зменшенню вмісту сірки в паливі – з одного боку, та підвищення надійності судового дизеля завдяки ефективному змащуванню деталей тертя – з іншого.

Міжнародна морська організація (ІМО) на світовому рівні ввела регулюючий режим, що обмежує вміст сірки в морському паливі [1]. Конвенція МАРПОЛ є основним міжнародним конвенційним документом щодо запобігання забруднення морського середовища із суден [2]. Найбільшу увагу в останні роки було звернено на основний міжнародний інструмент, що регламентує викиди в атмосферу із суден – на Додаток VI Міжнародної конвенції МАРПОЛ 73/78. Водночас значно посилилися вимоги щодо обмеження шкідливих викидів із суден, зокрема й окислів сірки (SOx), насамперед

у призначених районах контролю викидів SECA (SOx Emission control areas). Це пов'язано з тим, що за дослідженнями ІМО викиди SOx та NOx із морських суден сприяють підвищенню фонових концентрацій забруднення повітряного середовища в містах і прибережних районах у світі. Викиди цих оксидів забруднюють повітряне середовище, негативно впливають на здоров'я людей, спричиняють ризик виникнення серцево-легеневих захворювань, хронічні респіраторні захворювання.

ІМО постійно працює над удосконаленням нормативного інструмента забезпечення екологічності, приймаючи обмеження щодо викидів оксидів сірки і, як наслідок, – необхідності зменшення вмісту сірки в паливі. Однак дистильовані палива є змащувальним матеріалом для рухомих деталей паливної апаратури. Експерименти та результати експлуатації двигунів із використанням низькосірчастих дистильованих палив виявили високу інтенсивність зношування прецизійних пар паливної апаратури. Зниження вмісту сірки в паливі призводить до погіршення їхніх протизносних властивостей [3; 4], унаслідок чого відбувається збільшення зносу деталей тертя паливної апаратури двигунів. Окрім того, видалення сірки з палива в процесі гідроочищення призводить до видалення поверхнево-активних речовин, які сприяють утворенню захисних плівок на поверхнях металу деталей тертя. Під час експлуатації дизелів на таких паливах протікає інтенсивне зношування як плунжера, так і втулки паливного насоса високого тиску. Знос цих деталей приводить до збільшення зазорів у з'єднаннях, що впливає на процеси подачі палива. Водночас погіршується якість розпилування, порушується регулювання паливного насоса, виникають перебої в роботі двигуна. Отже, розкриття особливостей використання низькосірчастих палив для підвищення екологічності судових дизелів і пошук раціональних шляхів зменшення зношування деталей тертя є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Звертаючись до аналізу останніх публікацій із дослідженої теми, зазначимо, що найбільш актуальним завданням зниження сірки в паливі є забезпечення екологічності дизеля, що наголошується в роботах [3; 4]. Водночас наголошено, що підвищення екологічності веде до проблем із надійністю елементів судових дизелів, що зазначено в джерелах [5–9]. Окремо можливі шляхи подолання цього протиріччя наведено в працях [10; 11]. Варто зауважити, що проблема екологічності дизелів і паливopідготовки знайшла свій розвиток в останні 20–30 років, що пов'язано з жорсткими вимогами міжнародних організацій [1; 2].

Постановка завдання. Дослідження спрямовано на розкриття особливостей використання низькосірчастих палив для підвищення судових дизелів та обґрунтування раціональних шляхів зменшення зношування деталей тертя судового дизеля.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Як уже зазначалося раніше, відповідно до вимог [2] відбувається планомірна жорсткість вимог до вмісту SOx у відпрацьованих газах судових енергетичних установок (СЕУ). Найбільш жорсткі вимоги висунуто для районів контролю шкідливих викидів SECA: Балтійське та Північні моря, прибережні води США та Канади, Середземне море, узбережжя Японії та низка інших акваторій. Для підвищення екологічності судових дизелів (за викидами SOx) можна використовувати два методи (рис. 1).

У табл. 1 представлено кількість шкідливих викидів під час згоряння палива за досвідом середньоморських дизельних двигунів, випущених у ХХІ ст. З наведених даних можна зробити висновок, що під час експлуатації судових дизелів на традиційних паливах виконати вимоги [2] неможливо без використання додаткових методів.

Метод доочищення випускних газів за допомогою скрубера.

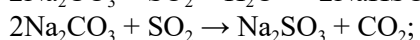
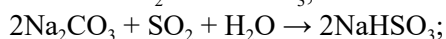
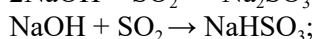
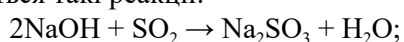


Рис. 1. Основні методи підвищення екологічності судового дизеля за викидами SOx випускних газів

Обсяги викидів під час згоряння різних видів палив

Тип палива	SO _x г/(кВт год)	NO _x г/(кВт год)	CO ₂ г/(кВт год)	Тверді частки
Мазут (3,5 % сірки)	13,0	9–12	580–630	1,50
Морське дизельне паливо (0,5 % сірки)	2,0	8–11	580–630	0,25–0,50
Очищене дизельне паливо (0,1 % сірки)	0,4	8–11	580–630	0,15–0,25

Скрубер функціонує так: газ, який надходить на очищення, подається по похилому газоходу в нижню частину скрубера та піднімається по корпусу нагору. У верхній частині скрубера розташовані три яруси зрошення, що складаються з відцентрових форсунок. Розчин NaOH, який подається під тиском, розпорошується. Краплі розчину, які при цьому утворюються, падають під дією сили ваги назустріч запиленому газу й потрапляють на дірчасті провальні тарілки, на яких утворюється піна та відбувається взаємодія газу з розчином. Очищення газу від оксидів сірки (SO₂) виконується за абсорбційною технологією. Під час контакту розчину NaOH із газом відбуваються такі реакції:



Відпрацьований розчин і виловлений пил збираються в нижній частині скрубера. Очищений газ відходить через газоходи, що розміщені у верхній частині апарату.

Перевагами скруберів є можливість використання на судах традиційних високосірчастих палив за низькою ціною, інфраструктура постачання суден бункерним паливом не змінюється. Однак саму технологію використання скруберів у суднових енергетичних установках до кінця не відпрацьовано. Потрібно тримати на судні значний запас 50 %-го розчину каустичної соди для роботи скрубера. Після роботи пристрою потрібно скидати за борт досить велику кількість відпрацьованих розчинів солей. Тому необхідно контролювати за чотирма параметрами викиди розчину солі за борт. Окрім того, поряд із високою вартістю переобладнання судна скрубери мають значні масо-габаритні показники. Основна маса цього обладнання впливає на остійність судна, тому для деяких типів суден, особливо для пасажирського флоту, установка скрубера неможлива.

Використання низькосірчастого палива.

Варіантом для досягнення встановлених норм викиду SO_x є використання важких палив із низьким вмістом сірки. За вимогою стандартів на суд-

нові бункерні палива ISO 8217-2017 [12] визначає три різних дистиляти (DM) та низка залишкових марок (RM). А відповідно до ліміту концентрації сірки в суднових паливах, які використовуються в зонах контролю за викидами SO_x (SECA), на ринок було випущено марки палива (RM) із вмістом сірки менш 0,1 %. Такі типи палива, звичайно, називають ультранизькосірчастими паливами (ULSFO). Вони не є традиційними дистилятами, а являють собою суміш продуктів, які отримуються на нафтопереробних заводах, що раніше не використовувалися широко для морських енергетичних установок.

Під час застосування низьких-сірчастих мазутів у суднових енергетичних установках може виникати низка проблем, таких як підвищений вміст алюмосилікатів у паливі, несумісність з іншими паливами, а також стресова корозія.

У важкому паливі з вмістом сірки менш 0,1 % можуть міститися абразивні частки алюмосилікатів (Al + Si). Алюмосилікати використовуються на ділянках каталітичного крекінгу як каталізатори. Розмір гранул каталізатора становить близько 40–60 мкм, але в процесі крекінгу утворюються частки з розміром 10–20 мкм, що осідають у залишкових фракціях. Ці частки у процесі синтезу залишкових палив у низці випадків підмішуються до них. Потрапляння таких домішок у паливо призводить до збільшення швидкості зносу в десятки разів (див. рис. 2).

Тому потрібно використовувати систему очищення та кондиціонування палива для його очищення палива та видалення алюмосилікатів. Системи очищення повинні бути розраховані на роботу за більш високих температур і більш низької рекомендованої витрати. Занадто низька температура та занадто високий потік палива через сепаратори під час очищення призведуть до недостатнього видалення води, алюмосилікатів, шламу та інших забруднень. Проблеми сумісності виникають, коли компоненти в паливі погано змішуються, наприклад під час змішування палива з високим вмістом ароматичних вуглеводнів (асфальтенів палива HFO) із паливами аліфатичного (парафінового) типу (дистилятами) або

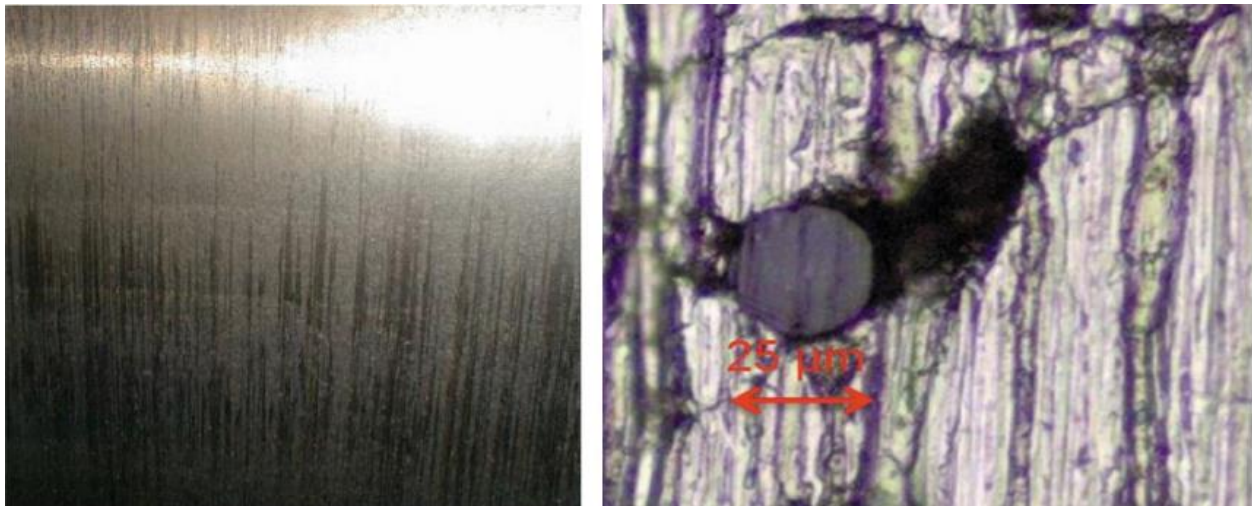


Рис. 2. Абразивне зношування гільзи та частка алюмосилікатів на поверхні поршневого кільця

з новими видами палива з вмістом сірки 0,1 %. Асфальтени можуть випасти із суспензії, і результатом може бути значна кількість осаду в баках, фільтрах і сепараторах.

Природна нестабільність палива з низьким вмістом сірки створює чотири критичних загрози для безпечної роботи суднових двигунів:

- погіршення якості запалення;
- надмірні відкладення на двигуні;
- збільшення видимих викидів твердих часток;
- значне утворення шламу забрудненням паливної системи.

Зниження стабільності палива також може призвести до збільшення викидів. Низькосірчасті морські палива часто утворюють велику кількість незгорілих вуглеводів і викликають видимі викиди твердих часток (непрозорість диму). Погана стабільність палив сприяє утворенню смоли та шламу під час збереження, а також викликає відкладення на форсунках та прогорання клапанів.

Відомо [5; 11], що дистилатні палива в суднових дизелях є мастильним матеріалом для рухомих деталей паливної апаратури.

Залежність протизносних властивостей палива від вмісту сірки зумовлена її здатністю утворювати на поверхнях тертя нові хімічні з'єднання у вигляді твердих плівок з оксидів і сульфідів металу. Ці тверді плівки відіграють величезну роль у процесах тертя й зносу – збільшують зносостійкість і зменшують силу тертя. У низькосірчастих паливах у міру збільшення глибини очищення відбувається зміна не тільки кількості, але й складу сірчистих з'єднань. Насамперед видаляються сірчасті з'єднання з найбільшою реакційною здатністю (сульфіди), а залишаються відносно стабільні речовини, пере-

важно тіофени. Бензо- та дібензтіофени мають недостатню хемосорбційну активність для утворення поверхневих плівок, які перешкоджають зносу металу. Видалення з'єднання сірки в процесі виробництва низькосірчастих дизельних палив призведе до погіршення їхніх протизносних властивостей (рис. 3).

На рис. 4 наведено поле кореляції між вмістом у паливі сірки (%) та розмірів плями зношення на деталі (мкм).

Є низка способів для регулювання протизносних властивостей палив відповідно до сучасних вимог. Перший – це застосування спеціальних протизносних присадок. Другим є поліпшення триботехнічних характеристик палив шляхом додавання в дизельне паливо олії рослинного походження (рапсова, соєва, соняшникова, пальмова), біопалива або мінеральної олії у визначених пропорціях. Принцип дії протизносних присадок полягає в утворенні міцної плівки на поверхні деталей тертя. Плівка складається з продуктів механіко-хімічних перетворень присадки на поверхні металу. Спосіб її формування залежить від режиму тертя. Під час рідинного режиму цілком досить ефективною адсорбції (фізична адсорбція, хемосорбція) присадки, що поліпшує властивості змащувального палива. У режимі граничного тертя шар змащувальної рідини між деталями тертя постійно порушується та виникає погроза схоплювання поверхонь. Під час мікросхоплювання оголюється так звана ювенільна поверхня, що володіє високою вільною енергією та, відповідно, каталітичною активністю. На цій поверхні змащувальний матеріал має істотні хімічні зміни та утворює шар принципово нової речовини, яка складається з продуктів перетво-

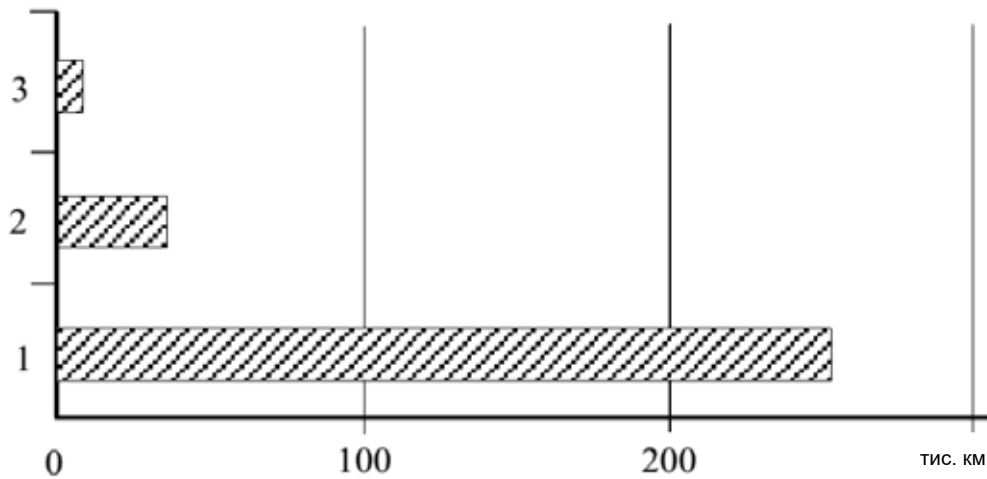


Рис. 3. Вплив вмісту сірки в паливі на надійність роботи паливного насоса високого тиску:

1 – вміст сірки до 0,2 %; 2 – вміст сірки до 0,005 %; 3 – вміст сірки до 0,001 %

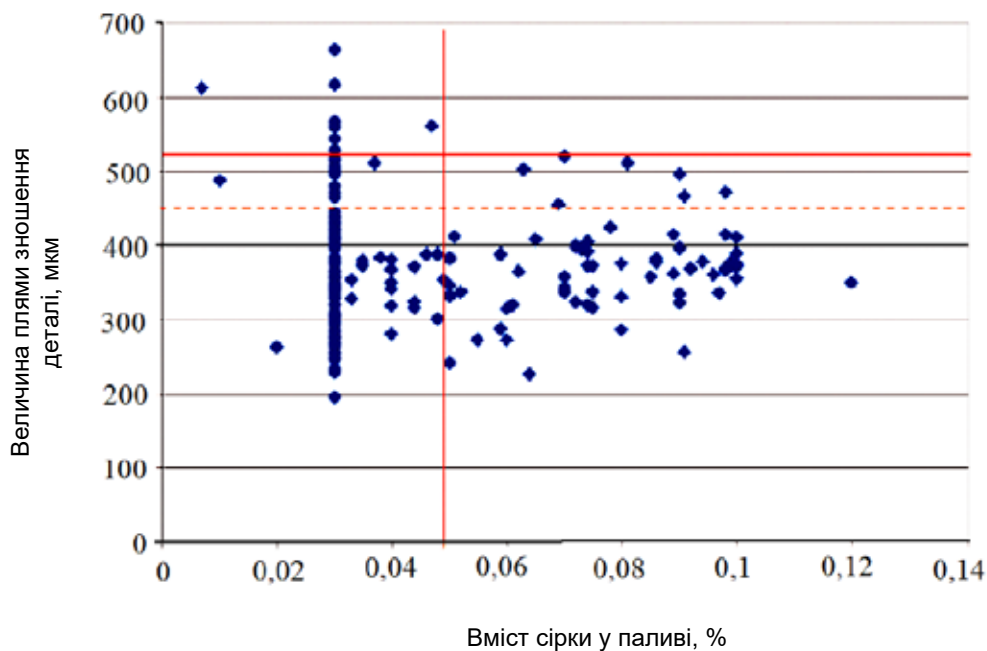


Рис. 4. Кореляція між вмістом сірки і змащувальною здатністю палива

рення палива, присадки та металу деталі, що володіє високою механічною стійкістю, а під час стирання постійно відновлюється. У цьому випадку найбільш ефективні присадки, що містять активні полярні групи. Значення діаметра плями зносу значно зменшується від 20 до 45 % під час використання присадок із концентрацією $0,015 \div 0,02$ % маси палива [5; 6]. Вадою зазначеного способу є значна вартість присадок до палива.

Важливою властивістю рослинних олій є їхня здатність змішуватися в будь-яких пропорціях із нафтопродуктами. Ця особливість рослинних олій дає можливість отримувати моторні палива

із заданими фізико-хімічними властивостями змішуванням різних компонентів у необхідних пропорціях. Жирні кислоти, що є основним компонентом рослинних олій, являють собою високомолекулярні кисневмісні з'єднання з вуглеводною основою. За своєю хімічною структурою вони схожі на вуглеводні, які входять до складу нафтового дизельного палива. Зі свого боку, структурні формули метилових ефірів жирних кислот і самих жирних кислот також досить близькі до них.

Поверхнево активні речовини в рослинних оліях завдяки прояву фізичної адсорбції та хемо-



Рис. 5. Вплив вмісту метилових ефірів пальмової олії в суміші низькосірчастого палива на силу тертя

сорбції на поверхнях тертя знижують швидкість зносу та втрати на тертя. Взаємодія поверхнево активних речовин із поверхнею тертя змінює деформаційні характеристики матеріалів трибосистеми, зменшуючи надлишкову вільну енергію поверхні тертя. Отже, рапсова олія широка застосовується для підвищення змащувальної здатності палива. Використання біодизельного палива як компонента для змішування з нафтовим дизельним паливом не вимагає модернізації звичайного дизельного двигуна, на відміну від таких альтернативних палив, як природний газ, зріджений природний газ та етанольні суміші. Ефіри рослинних олій добре змішуються з нафтовими дизельними паливами й не розшаровуються навіть за наявності розчиненої води.

На рис. 5 наведено дослідження протизносних властивостей сумішей, які мають 1, 2, 5, 10 та 20 % метилових ефірів пальмової олії. Протягом одного місяця не було виявлено виділення осаду або помутніння за температури 30°C.

З рис. 5 видно, що мінімальна сила тертя досягається за 10 % вмісту біодизеля. Найзначніша сила тертя знижується в інтервалі концентрацій у 1–5 %.

Висновки. У результаті дослідження з'ясовано:

1. Вимога екологічності суднових дизелів є вимогою сучасності. Жорсткі міжнародні норми щодо викидів оксидів сірки SO_x вимагають розроблення нових методів паливопідготовки та фільтрації (очищення).

2. Одним з основних способів зменшення викидів оксидів сірки є зменшення її вмісту в паливі.

3. Штучне видалення сірки з дизельного палива призводить до значного погіршення змащувальних властивостей палива та передчасного зносу деталей тертя.

4. Розв'язанням цієї проблеми є насичення низькосірчастого дизельного палива біодизелем. З одного боку, це зменшить шкідливі викиди оксиду сірки, з іншого – підвищить змащувальні властивості палива.

Список літератури:

1. International Maritime Organization. Офіційний сайт. URL: <https://www.imo.org/> (дата звернення: 12.03.2021).
2. Міжнародна конвенція по запобіганню забрудненню з суден 1973 року. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/896_009#Text (дата звернення: 12.03.2021).
3. Данилов А.М. Применение присадок в топливах: справочник. Санкт-Петербург : Химиздат, 2010. 368 с.
4. Ian Crutchley. Low sulphur diesel can lead to extensive wear. *Ship & Offshore*. 2010. № 4. P. 14–17.
5. Солодовников В.Г. Использование в судовых дизелях топлив различного фракционного и структурного состава. *Судовые энергетические установки*. 2014. № 33. С. 110–117.
6. Горелик Г.Б. Топливная аппаратура дизелей: история, исследование процессов, расширение диапазона стабильных от цикла к циклу подач, вопросы моделирования и расчета. Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. 246 с.

7. Крылов И.Ф., Емельянов В.Е., Никитина Е.А., Вижгородский Б.Н., Рудяк К.Б. Малосернистые дизельные топлива: плюсы и минусы. *Химия и технология топлив и масел*. 2005. № 6. С. 3–6.
8. Добровольский В.В., Ханмамедов С.А. Подготовка вязких топлив судовых малооборотных дизелей. *Судовые энергетические установки*. 2010. № 26. С. 46–54.
9. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В., Перунов Р.В. Технология использования и результаты испытаний присадок к топливам для судовых дизелей. *Проблемы техники*. 2012. № 3. С. 84–103.
10. Горб С.И. Новые правила энергоэффективности для судов. *Порты Украины*. № 01 (123). 2013. С. 37–39.
11. Горелик Г.Б. Основы теории надежности судовых энергетических установок. Хабаровск : Изд-во ТОГУ, 2007. 137 с.

Daki O.A., Urum N.S., Riashchenko O.I., Babere O.S. FEATURES OF USING LOW-SULFUR FUELS TO IMPROVE THE ENVIRONMENTALITY OF MARINE DIESELS

The International Maritime Organization (IMO) has introduced a global regulatory regime that limits the sulfur content of marine fuels. In recent years, the greatest attention has been paid to the main international instrument regulating emissions from ships – Annex VI of the International Convention MARPOL 73/78. At the same time, the requirements for limiting harmful emissions from ships, including sulfur oxides (SOx), have significantly increased, especially in designated emission control areas SECA (SOx Emission control areas). Emissions of these oxides pollute the air, adversely affect human health, including the risk of cardiopulmonary disease, chronic respiratory diseases. IMO is constantly working to improve the regulatory tool for environmental friendliness, adopting restrictions on sulfur oxide emissions and, as a result, the need to reduce the sulfur content of fuels. However, distillate fuels are a lubricant for moving parts of fuel equipment. Experiments and results of operation of engines using low-sulfur distillate fuels revealed a high wear rate of precision pairs of fuel equipment. The decrease in the sulfur content in the fuel leads to a deterioration of their anti-wear properties, resulting in an increase in wear of the friction parts of the fuel equipment of the engines. In addition, the removal of sulfur from the fuel in the process of hydrotreating leads to the removal of surfactants that contribute to the formation of protective films on the metal surfaces of the friction parts. The article identifies that one of the main ways to reduce emissions of sulfur oxides is to reduce its content in the fuel. Artificial removal of sulfur from diesel fuel leads to a significant deterioration of lubricating properties of fuel and premature wear of friction parts. The solution is to saturate low-sulfur diesel fuel with biodiesel, on the one hand it will reduce harmful emissions of sulfur oxide, on the other – increase lubricating properties.

Key words: *biodiesel, distillate, environmental friendliness, lubrication, sulfur oxide.*

Кириченко Г.І.

Державний університет інфраструктури та технологій

Бердніченко Ю.А.

Державний університет інфраструктури та технологій

Стрелко О.Г.

Державний університет інфраструктури та технологій

Белінський Д.І.

Державний університет інфраструктури та технологій

ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ПІД ЧАС ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ

Необхідність створення системи якісного обслуговування вантажовласників зумовлена проведенням реформування на залізничному транспорті України. Метою реформування є забезпечення стійкого функціонування залізничного транспорту на ринку транспортних послуг, підвищення комерційної ефективності та якості транспортної продукції. Робота має практичний напрям і присвячена визначенню джерел отримання додаткових доходів АТ «Укрзалізниця» від надання послуг щодо користування вагонами за межами України. Для вирішення задач такого класу в роботі запропоновано застосовувати системний підхід, методи раціонального вирішення проблем та стратегічне планування за певним сценарієм. Відповідно до досліджених основ формування доходів філій АТ «Укрзалізниця» від плати за користування вагонами за межами України встановлено фактори впливу на доходи, які належать регіональним філіям, та доходи, які належать філіям, що наділені вагонами. На підставі науково-методичного підходу та фактичних досліджень нормативно-правової бази щодо використання вантажних вагонів під час перевезення вантажів у міжнародному сполученні за межами країн, де зареєстровані залізничні підприємства – власники вагонів, вперше встановлені додаткові джерела доходів від вантажних перевезень. На підставі проведених досліджень є можливим для АТ «Укрзалізниця» запроваджувати відповідні зміни в багатосторонніх та двосторонніх договорах щодо використання вагонів за межами України з перевізниками інших країн або вантажовласниками, що є надзвичайно актуальним у період реформування залізничного транспорту та утворення вертикально інтегрованих структур управлінням господарствами.

Ключові слова: плата за користування вагонами, доходи, розподіл, залізничний транспорт, логістичні послуги.

Постановка проблеми. АТ «Укрзалізниця» розпочало господарську діяльність у грудні 2015 року [1; 2]. Однак у найбільш привабливому сегменті залізничного транспорту – вантажних перевезеннях – значних змін, пов'язаних із реформуванням, донині не відбулося. Також створення методологічної бази АТ «Укрзалізниця» щодо формування та обліку доходних надходжень від вантажних перевезень у нових умовах господарювання відбувається повільними кроками. Відсутня нова сучасна нормативна база щодо доходів АТ «Укрзалізниця», отриманих від використання вантажних вагонів під час перевезення вантажів у міжнародному сполученні за межами країн, від-

повідно, застосовується чинна, яка потребує перегляду та удосконалення з огляду на нові умови господарювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах таких українських вчених та практиків, як М.В. Макаренко, Н.М. Колесникова, Н.І. Богомолова, Г.П. Сенник, В.В. Чорний та інших, досліджуються різні теоретико-методологічні аспекти щодо загальних принципів формування доходів залізничного транспорту в умовах реформування [3–9]. Ці автори приділили значну увагу порушеній проблемі, і в низці робіт запропоновані науково-методичні підходи до її розв'язання. Тому є передумови зміни базових підходів формування

доходів філій АТ «Укрзалізниця», пошуку джерела збільшення доходів від послуги щодо використання вагонів у внутрішньому і міжнародному сполученнях.

Постановка завдання. Метою цієї статті є дослідження практичних аспектів щодо використання вантажних вагонів під час перевезення вантажів у міжнародному сполученні за межами країн, де зареєстровані залізничні підприємства – власники вагонів, із метою збільшення доходів АТ «Укрзалізниця» від послуги щодо використання вагонів у міжнародному сполученнях, оскільки в рамках наявної нормативно-правової бази створені умови справедливого отримання доходу учасниками надання зазначеної послуги.

Виклад основного матеріалу дослідження. Відповідно до Закону України «Про залізничний транспорт» на залізничний транспорт покладено обов'язок щодо забезпечення потреб суспільного виробництва і населення країни в перевезеннях у внутрішньому і міжнародному сполученнях та надання інших транспортних послуг усім споживачам без обмежень за ознаками форми власності та видів діяльності [10]. Виконання цих функцій залізницями України по вантажних перевезеннях ускладнюється через скорочення парку вантажних вагонів перевізників інших країн, причиною чого є старіння вагонного парку та повільне його оновлення, однакові системні проблеми залізничних галузей у різних країнах. Оновлення парку вантажних вагонів у необхідній кількості обмежене через дефіцит власних фінансових ресурсів залізничних компаній та відсутність державної підтримки у вирішенні цього питання. Тобто скорочення парку вантажних вагонів, що перебувають на балансі АТ «Укрзалізниця», відбувалось через їх інтенсивне старіння та виключення зі складу робочого парку. Тому перевізники різних країн для забезпечення замовлень вантажовласників вишуковують різні варіанти співпраці з перевізниками інших країн у вантажних перевезеннях у міжнародному сполученні. Безумовно, кожен вид діяльності спрямований на отримання економічних вигід і отримання доходу від такої фінансово-господарської діяльності.

Дохід – багатогранне економічне поняття, яке застосовується в різних значеннях. У широкому розумінні слова дохід розглядається як грошові та натуральні надходження до суб'єктів господарського життя. У вузькому значенні дохід – це потік грошових надходжень за одиницю часу (годину, тиждень, місяць, рік). На відміну від багатства,

яке втілюється в запасах активів, дохід передбачає приплив грошей [11; 12].

У цій статті буде досліджено один із напрямів отримання доходу від надання послуги з використання вантажних вагонів під час перевезення вантажів у міжнародному сполученні за межами країн, де зареєстровані залізничні підприємства – власники вагонів у рамках виконання Договору про використання вантажних вагонів у міжнародному сполученні (Договір про ПГВ) [13].

Використання вагонів будь-якого виду власності (державна чи приватна (приватна) в міжнародному сполученні між залізничними підприємствами – учасниками Договору про ПГВ здійснюється на платній основі. Залізничними підприємствами, які є учасниками Договору про ПГВ, є Білоруська залізниця, АТ «Холдинг Болгарські державні залізниці», ЗАТ «Угорські державні залізниці», Залізниця Ісламської Республіки Іран, АТ «Національна компанія «Казакстан темір жолы» (КЗХ), Китайські залізниці, залізниця Кореїської Народно-Демократичної Республіки, ДП «Національна компанія «Кыргыз темир жолу», ДАТ «Латвіяс дзелзцельш», АТ «Литовські залізниці» (ЛГ), ДП «Залізниця Молдови», Монгольська залізниця, АТ «Польські державні залізниці», ВАТ «Російські залізниці», Національне товариство вантажних перевезень Румунії, АТ «Залізничне товариство» Карго Словачія), Державне унітарне підприємство «Рохи охани Точикістон», Державна акціонерна залізнична компанія «Узбекистон темир йуллары», АТ «Укрзалізниця», АТ «Естонська залізниця».

Різниця між використанням приватного вагона або вагона, переданого в спільне використання, полягає в тому, хто є безпосереднім платником. У процесі організації перевезення вантажів в основному є два варіанти розрахунків за використання вагонів: платником є залізнична компанія-користувачка або вантажоодержувач/вантажовідправник/експедитор, що представлено на рисунку 1.

За умов першого варіанта перевезень вантажів у вагонах спільного використання, які належать іншим залізничним компаніям або власникам вагонів, залізнична компанія-користувачка оплачує плату за використання цих вагонів, а розрахунки здійснюються:

- між Сторонами Договору про ПГВ за ставками, розцінками і на умовах, встановлених цими правилами;

- між Стороною Договору про ПГВ і залізничною компанією-користувачкою, яка не є Стороною Договору про ПГВ, за ставками та на умовах двосторонніх договорів.



Рис. 1. Варіант 1: Вагон спільного використання

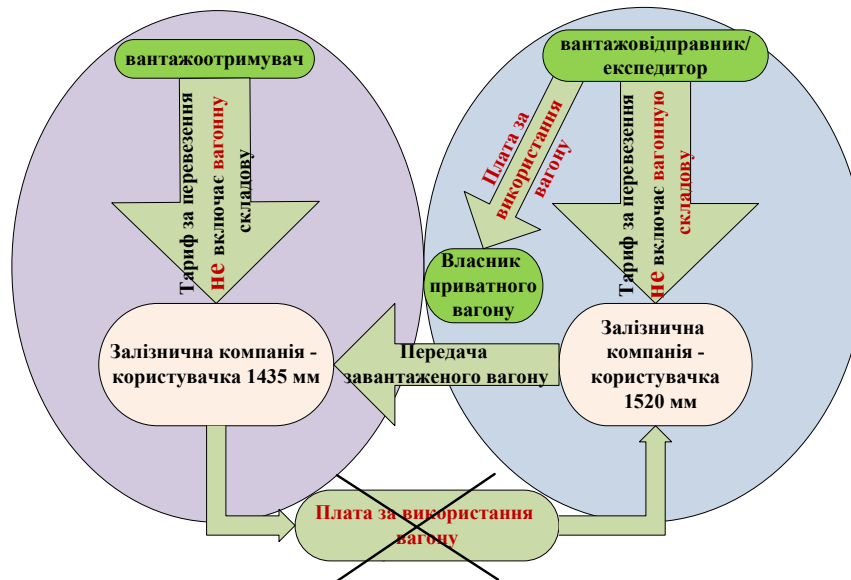


Рис. 2. Варіант 2: Приватний вагон

Умовами двосторонніх договорів встановлені інші рівні ставок плати і розцінки на ремонт, переважно вони є вищими, ніж встановлено Договором про ПГВ. Також з окремими компаніями може бути скорочений і період використання вагонів, коли ставка плати за користування не підвищується.

За другим варіантом використання вагонів, що наведений на рисунку 2, вагони належать приватним компаніям та розрахунки здійснюються між одержувачами або вантажовідправниками, іноді за участю експедитора і власником вагона. Розмір оплати за використання приватного вагона визначається як складова частина тарифу за наван-

тажену перевезення (вагонна складова), на яку впливає комерційна привабливість типу вагона. Тому на розмір оплати за використання не впливає період перебування такого вагона в користуванні. Однак у розмірі вагонної складової частини враховується плата за порожній пробіг вагона після вивантаження.

Нині приватні компанії не беруть участі в Договорі про ПГВ і здійснюють розрахунки за використання своїх вагонів самостійно. Однак залізничні компанії-користувачки, винні у втраті або пошкодженні приватного вагона, на основі Договору про ПГВ зобов'язані здійснити розрахунки і відшкодувати збиток власникові вагона.

Відповідно до першого варіанту, який наведено на рисунку 1, основні фінансові аспекти Договору про ПГВ полягають у проведенні розрахунків за:

- використання вагонів спільного користування;
- використання вагонів власності інших європейських компаній, які не є Сторонами Договору про ПГВ;
- пошкодження або втрату вагонів;
- доставку запасних частин і повернення несправних частин.

При цьому в Договорі про ПГВ є положення, за якими Сторони звільняються від плати за користування вагоном:

- форс-мажорні обставини на період не більше 10 діб;
- затримки вагона з вини власника на весь час затримки;
- затримки вагона з вини приймаючої залізничної компанії на весь час затримки;
- з моменту повідомлення про втрату вагона;
- під час передачі вагонів, спрямованих як вагонна допомога, раніше необхідного терміну;
- пошкодження вагона з вини власника на період не більше 5 діб – у разі ремонту без затримування запасних частин; на період не більше 2 діб – із моменту прибуття запасних частин.

Досліджено згідно з Договором про ПГВ фактори, які впливають на розмір оплати, що не залежить від стану вагона (завантажений або порожній), а залежить від періоду (часу) знаходження в користуванні, який закінчується в момент здачі вагона із залізниці-користувачки. Факт початку і закінчення використання вагона фіксується у

вагонній відомості, за якою вагон передається між Сторонами Договору про ПГВ.

Відповідно до додатків до Договору про ПГВ виконано моніторинг розміру плати за використання двовісного, чотиривісних вагонів. Зазначимо, як відрізняється рівень ставок плати для європейських залізниць від умов, встановлених для залізниць Китайської Народної Республіки, Корейської Народно-Демократичної Республіки, Монголії (далі – КЖД, ЗЧ, МТЗ). Для європейських залізниць – 1,23 шв. фр. на годину або 29 шв. фр. на добу за використання чотиривісного вагона в перший період користування з підвищенням ставки на 15% після 15 діб використання вагона. Для залізниць КЖД, ЗЧ, МТЗ ставки нижчі на 60% і становлять 0,48 шв. фр. на годину або 11,5 шв. фр. на добу за використання двовісного вагона в перший період користування з підвищенням на 50% після 7 діб використання в другий період користування і підвищенням на 50% у третій період користування після 15 діб, що представлено на рисунку 4. Таким чином, після 15 діб ставки плати за користування вагонами на зазначених залізницях перевищують рівень ставок плати на європейських залізницях на 2%.

Для визначення ставок плати за користування вагонами застосовується Методика розрахунку ставок плати за користування вантажними вагонами в міжнародному сполученні, яка є складовою частиною ПГВ. Схематично порядок дій Сторін Договору про ПГВ щодо визначення ставок плати за користування представлено на рисунку 5.

Рівень ставки плати обґрунтовується величиною витрат на утримання і ремонт вагонів і не залежить

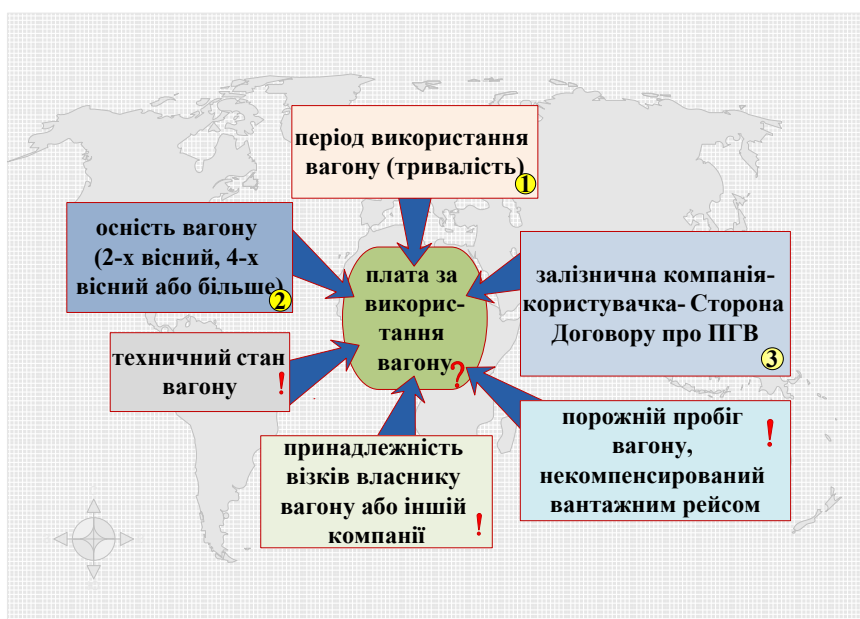


Рис. 3. Фактори, які впливають на величину платежів за використання вагонів

№№ п/п	НАЗВА СТАВКИ	шт. франки доба (година)
1	2	3
1	Ставка за використання 2-вісних вагонів за кожні доба/година З 1 до 15 діб/360 год Понад 15 діб/360 год	18,72 (0,78) 21,84 (0,91)
2	Ставка за використання 4-вісних вагонів між КЖД, ЗЧ, МТЗ і БЧ, ГР, КЗХ, КРГ, ЛДЗ, ЛГ, ЧФМ, РЖД, ТДЖ, УТИ, УЗ, ЭВР за кожні добу/годину З 1 до 7 діб/168 годин З 8 до 15 діб/ з 169 до 360 годин Понад 15 діб/360 годин	11,50/0,48 17,25/0,72 34,50/1,44
3	Ставка за використання 4-вісних вагонів за кожні добу/годину між БЧ, ГР, КЗХ, КРГ, ЛДЗ, ЛГ, ЧФМ, РЖД, ТДЖ, УТИ, УЗ, ЭВР і БДЖ, МАВ, ПКП, ЧФР, ЗССК З 1 до 15 діб/360 годин Понад 15 діб/360 годин	29,52/1,23 33,84/1,41
4	Ставка за використання 2-вісних візків вантажного вагону за кожні доба/година З 1 до 15 діб/360 годин Понад 15 діб/360 годин	4,32/0,18 5,28/0,22

Рис. 4. Ставки плати за використання вагонів різними залізничними підприємствами інших країн



Рис. 5. Ставки плати за використання вагонів різними залізничними підприємствами інших країн

від комерційної привабливості типу вагона. Розрахунок ставок плати ПГВ здійснюється шляхом встановлення середньозваженої ставки плати на основі даних всіх Сторін Договору про ПГВ. Встановлено, що рівень ставок плати за користування вагонами залишається незмінним протягом кількох десятиліть для усіх Сторін Договору про ПГВ.

Висновки. З огляду на те, що подальші кроки щодо реформування залізничного транспорту через старіння та технічний стан вагонного парку невідворотно призведуть до необхідності зміни підходу до формування доходів філій АТ «Укрзалізниця» на принципах справедливості, прозорості та з урахуванням набутого міжнародного досвіду, виконані дослідження практичних аспектів щодо використання вантажних вагонів під час

перевезення вантажів у міжнародному сполученні за межами країн, де зареєстровані залізничні підприємства – власники вагонів, є актуальними та мають практичне спрямування. Таким чином, проблемне питання щодо збільшення отриманого доходу в процесі забезпечення перевезення вантажів у вагонах АТ «Укрзалізниця» за межі України може бути вирішене шляхом удосконалення Договору про ПРВ за такими напрямками:

- методику розрахунку ставок плати за користування вантажними вагонами в міжнародному сполученні необхідно доповнити показником «комерційна привабливість вагона»;
- ставки плати за користування вагонами мають прийматися у двосторонньому порядку сторонами Договору про ПГВ;

– встановлення єдиного рівня ставок плати для європейських залізниць і залізниць КЖД, ЗЧ, МТЗ залежно від вісності вагона і періоду використання;

– розрахунок відшкодування за втрачений вагон і візки, які належать різним Сторонам Договору про ПГВ у сполученні з перестановкою вагонів за умов різної ширини колії.

Список літератури:

1. Закон України «Про особливості утворення публічного акціонерного товариства залізничного транспорту загального користування». *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*. 2012. № 49. С. 553.
2. Постанова Кабінету Міністрів України від 25.06.2014 № 200 «Про утворення публічного акціонерного товариства «Українська залізниця». URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/200-2014-%D0%BF>
3. Колесникова Н.М. Теорія адаптивно-гармонізаційного механізму ціноутворення на залізничному транспорті. Київ : КУЕТТ, 2007. 349 с.
4. Колесникова Н.М., Бакаєва І.Г., Чорний В.В. Формування доходів від залізничних перевезень в умовах вертикально-інтегрованої системи управління. *Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Економіка і управління»*. 2011. Вип. 18. С. 54–57.
5. Макаренко М.В. Гончарок Н.Е., Соколовская Н.С. Методические подходы к учету различных факторов при распределении доходов от грузовых перевозок. *Транспортный комплекс Украины: экономика, организация, развитие*. 1997. Вып.4. С. 103-117.
6. Богомолова Н., Сенник Г. Особливості формування доходів залізничного транспорту в сучасних економічних умовах. *Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Економіка і управління»*. 2011. Вип.18. С. 41–50.
7. Сенник Г. Зміст механізму управління доходами від вантажних перевезень підприємств залізничного транспорту. *Збірник наукових праць ДЕТУТ*. 2013. Вип. 26. С. 119–127.
8. Чорний В.В., Колесникова Н.М. Науково-практичні підходи до визначення ставок плати за користування вантажними вагонами. *Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Економіка і управління»*. 2011. Вип. 17. С. 1183.
9. Чорний В.В., Колесникова Н.М., Бакаєва І.Г. Формування доходів від залізничних перевезень в умовах вертикально-інтегрованої системи управління. *Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Економіка і управління»*. 2012. Вип. 19. С. 54–57.
10. Kyrychenko H.I., Strelko O.H., Berdnychenko Yu.A., Hurinchuk S.V. Automation of Work Processes at Ukrainian Sorting Stations. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. № 7 (2.23). P. 516–518. doi: 10.14419/ijet.v7i2.23.15346
11. Базилевич В.Д. Економічна теорія: Політекономія. Київ : Знання-Прес, 2004. 615 с.
12. Стрелко О.Г., Кириченко Г.І., Бердніченко Ю.А., Лиман А.С. Удосконалення системи обслуговування клієнтів на залізницях України з огляду на досвід інших держав. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. 2019. Том 30 (69) Ч. 2. № 4. С. 141–145. DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.4-2/23>
13. Договор о пользовании грузовыми вагонами в международном сообщении (Договор о ПГВ), с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 января 2019 года. Официальное издание. Варшава : Комитет ОСЖД. 2019. 15 с.

Kyrychenko H.I., Berdnychenko Yu.A., Strelko O.H., Belinskyi D.I. PRACTICAL ASPECTS OF THE USE OF FREIGHT CARS FOR TRANSPORTATION OF GOODS IN THE INTERNATIONAL TRANSPORTATION

The need to create a quality service system for cargo owners is due to the reformation of Ukraine's rail transport. The goal of the reforming is to ensure sustainable functioning of railway transport in the transport services market, increase of commercial efficiency and quality of transport services. The robot is practical and straightforward and is assigned to the purpose of rejecting additional incomes of Ukrzaliznytsia from the service provided by carriages beyond the borders of Ukraine. Methodology. For the resolution of tasks of such a class in robots, the systematic approach, methods of rationalization of problems and strategic planning for the singing scenario are projected. Results. According to the pre-existing basis of the formation of income in the branches of Ukrzaliznytsia from the payment for carriage of wagons behind the borders of Ukraine, a factor has been established in pouring into portions of income, in order to locate the regional branches, which portions are available, Science novelty. At the beginning of the scientific-methodical approach to the actual income of the current legal basis for the transfer of the vantage carriages during the transport of the vantages from the international ones, after the registration of the government. Practical value. Based on the research carried out by Ukrzaliznytsia, it is possible to introduce appropriate changes in multilateral and bilateral agreements on the use of wagons outside Ukraine with carriers from other countries or cargo owners, which is extremely important during the period of reforming railway transport and the formation of vertically integrated structures for managing farms.

Key words: payment for carriage of cars, come on, private transport, logistic services.

Kozminykh M.A.

National University “Odesa Maritime Academy”

Zadorozhnyi V.A.

National University “Odesa Maritime Academy”

FEATURES OF LNG VAPOR TREATMENT ON A GAS CARRIER

The article considers the use of liquefied natural gas (LNG) as a fuel for low-speed marine engines. The environmental aspect of the transition to LNG use is crucial when choosing a specific way to comply with the requirements of MARPOL 73/78. The result of the operation of an internal combustion engine on natural gas is low emissions of exhaust gases into the environment due to the absence of pollutants in the fuel. Methane, the main component of natural gas, is a highly efficient hydrocarbon fuel. In addition to environmental aspects in this case are very important and economic. The number of gas vessels in the world will reach about 200 units, and the consumption of LNG as fuel in ship power plants will increase rapidly. The transition to gas fuel on ships reduces operating costs due to low gas costs, lower maintenance costs. To date, two technologies for the use of PGI have been implemented. Gas supply at high pressure is carried out at the position of the piston near the top dead centre (BMT) and is implemented in MAN B & W engines of the ME-GI series. That low-pressure gas supply technology is based on the combustion of depleted gas-air mixtures and is implemented in Winterthur Gas & Diesel Ltd (WinGD) DF and RT-flexDF engines. Existing technologies for the use of natural gas in marine low-speed engines are fundamentally different. In terms of dynamic and powerful indicators has obvious advantages of high-pressure gas supply technology. However, environmentally friendly performance, capital investment and operating costs are much better in engines with low gas supply pressure. The technology of combustion of gas fuel in the DG does not affect the choice of LNG storage tanks but fundamentally determines the fuel preparation system. Various designs are used to store liquefied gases tanks. For engines with low gas supply pressure enough centrifugal cryogenic pump, and low-pressure evaporator, whereas for the engine with high pressure requires a high-pressure pump (HPP) plunger type and suitable evaporator. It is necessary to find the most efficient and economical options treatment of excess LNG generated when the vessel is parked, which cannot be used as fuel in marine boilers and engines internal combustion.

Key words: liquefied, natural gas, ecological aspect, membrane tanks, exhaust gases, ship systems, naturally evaporated gas (NEG). Gas combustion unit (GCU).

Introduction. The use of liquefied natural gas (LNG) as a fuel for the main ship's engines, as well as for the production of electricity to meet the needs of ships during berthing in ports can curb the growth of pollution and comply with strict environmental restrictions. The environmental aspect of the transition to LNG use is crucial when choosing a specific way to comply with the requirements of MARPOL 73/78. The economic advantages of liquefied gas allow to recoup in a reasonable time the cost of adapting the vessel to work on LNG, technological equipment and the cost of bunkering.

According to the latest data, by 2019 the number of gas vessels in the world will reach about 200 units, and the consumption of LNG as fuel in ship power plants will reach 1 million tons by 2020 and will increase rapidly to 8.5 million tons of 2025.

The result of the operation of an internal combustion engine on natural gas is low emissions of exhaust gases into the environment due to the

absence of pollutants in the fuel. Methane, the main component of natural gas, is a highly efficient hydrocarbon fuel. Thus, in the mode of operation of the engine on gas CO₂ emissions are reduced by 20% in comparison with the operation of the engine on residual grades of fuel. Accordingly, NO_x emissions are reduced by 85–90%, while SO_x emissions are virtually eliminated. Moreover, there is no visible smoke, sludge, lead emissions, benzene emissions are reduced by 97%.

In addition to environmental aspects in this case are very important and economic. The transition to gas fuel on ships provides a reduction in operating costs due to low gas costs, lower maintenance costs, etc.

The power plant of a dual-fuel container ship

Today, two gas combustion technologies have been implemented fuels in marine low-speed engines, which are conveniently classified by gas supply pressure to the cylinder [1].

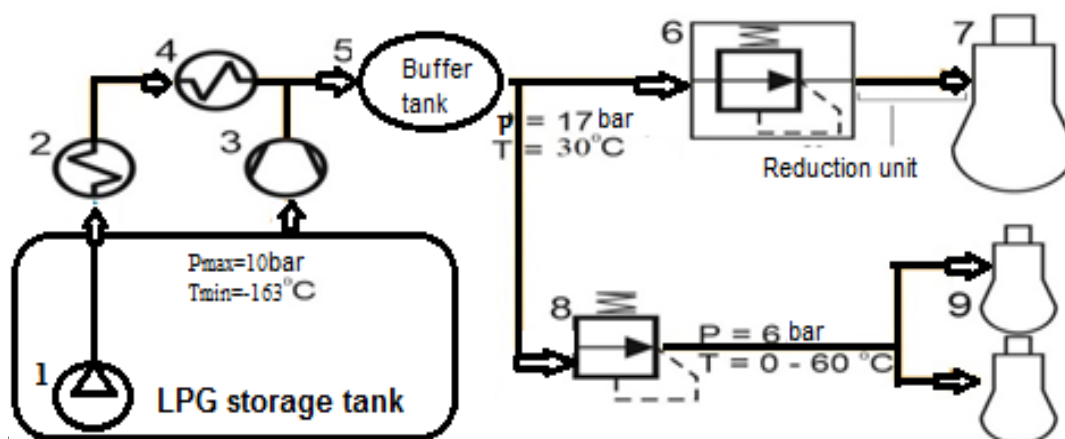


Fig. 1. Schematic gas supply diagram to the WinGD-DF engine

1 – pump; 2 – evaporator; 3 – compressor; 4 – heater; 5 – buffer tank; 6 – Gas valve unit (GVU); 7 – main engine; 8 – pressure reduction valve; 9 – auxiliary engines

Gas supply at high pressure is carried out at the position of the piston near the top dead centre (TDC) and implemented in MAN B&W ME-GI series. Low-pressure gas supply technology is based on combustion of depleted gas-air mixtures and implemented in engines Winterthur Gas & Diesel Ltd (WinGD) DF and RT-flexDF.

An important feature of WinGD engines is that they run on depleted gas mixtures, the air in the cylinder is oriented twice as much than required for complete combustion, so a lot of heat is spent to heat the air, which contributes to a significant reduction in peak values combustion temperatures and a sharp decrease in NO_x formation. Efficiency increases engine and power, at the same time the detonation disappears. The excess ratio of the air is maintained in the range of 2.0–2.2.

Before the engine the gas is filtered, the pressure in the pipeline is regulated in depending on the engine load (8 kg/cm^2 at full load). Next, the gas is directed to the main inlet valve installed in the cylinder head. Control pulses to the valves are supplied electronically the control unit, which in turn receives information from the sensors speed, load, pressure and temperature of the charge air and the sensor combustion control in each cylinder [1].

From the LNG storage tank with a multistage centrifugal pump regulated LNG capacity is fed to the evaporator, where it completely evaporates. After the evaporator, the gas enters the heater, in which the temperature rises to 30°C . From the heater, the gas enters the buffer tank. Stabilization of gas pressure in the LNG tank occurs with the help selection of “warm” vapors by the compressor. From the buffer tank that plays a role battery, gas at a temperature of 30°C and a pressure of 18 bar is supplied to the GVU

main engine. Gas enters the fuel system of auxiliary engines through a pressure reduction valve, which reduces the pressure to 6 bar. GVU regulates the gas pressure in gas-fuel ramp depending on engine load [1]. The combustion process in a low-pressure gas engine is characterized uniform temperature distribution in the short circuit, resulting in the number produced NO_x does not exceed $4 \text{ g} / (\text{kW} \cdot \text{year})$, which completely meets the requirements of the third stage of the Program VI of the MARPOL 73/78 Convention [1].

In MAN B&W ME-GI series, a gas supplied to the cylinders under high pressure. This engine uses the idea of achievement required pressure due to LNG compression and then gasification [3] (Fig. 2). Compression of LNG to the required pressure occurs in the three-plunger high-pressure pumps (HPP). Liquefied natural gas is supplied to the HPP by the feed pump. In this case, the LNG from the gas tank is fed into the evaporator low-capacity high-pressure compressor. Flow and pressure in the system regulated by the speed of the pump from the drive motor that allows reaching necessary pressure at variable loading of GD. Although the flow rate changes, the pressure in the system is maintained constant by the means of a rather difficult system of regulation [8].

Gas supply to the engine is carried out through two separate gas injectors, located in the cylinder head. To achieve a critical pressure drop on the gas nozzle and in the combustion chamber, the pressure in the gas pipeline should be $150\text{--}300 \text{ kgf/cm}^2$ (depending on the load). The temperature of the end of the cycle compression is $500\text{--}600^\circ \text{C}$, which is insufficient for reliable inflammation methane, given its high auto-ignition temperature (600°C), therefore a small dose

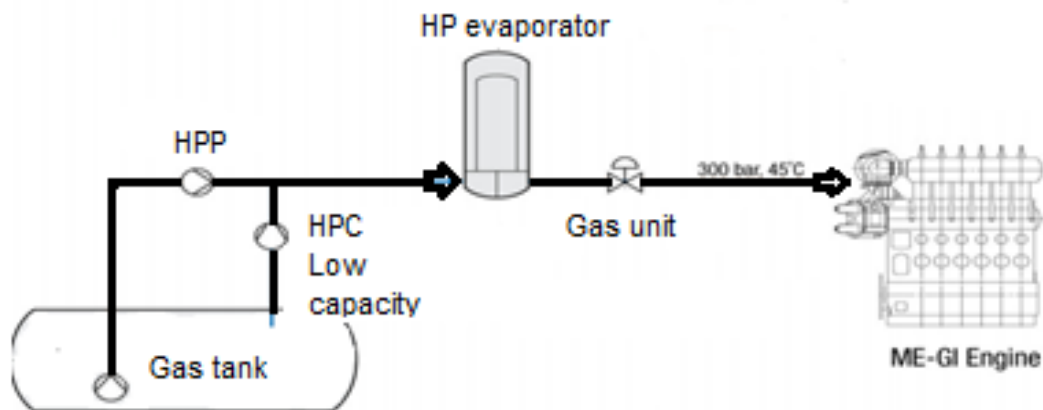


Fig. 2. General schematic gas preparation and supply diagram for MAN B&W ME-GI

of flammable fuel is supplied before the gas fuel is supplied [3].

The intake of engines with high gas supply pressure is comparable to diesels running on liquid fuel, given more widely allowable range of excess air ratio.

The technology of combustion of gas fuel in the DG does not affect the choice of LNG storage tanks but fundamentally determines the fuel preparation system. For engines with low gas supply pressure enough centrifugal cryogenic pump, and low-pressure evaporator, whereas for the engine with high pressure requires a high-pressure pump (HPP) plunger type and suitable evaporator [1].

The advantage of a low-pressure gas supply system, in this case, is at lower energy costs for LNG vapor compression, while for engines with high gas supply pressure require a multistage high-pressure pump [1].

In the process of combustion of gas in the engine with high supply pressure in the short circuit, there are local high-temperature zones where the reaction takes place NO_x formation. NO_x emissions correspond to stage II only Program VI MARPOL, and for compliance with the III stage requires further exhaust gas purification by selective catalytic neutralization [1].

Analysis of possible options for the selection of LNG storage tanks. Though the use of LNG as a fuel in marine power plants has many advantages and disadvantages. LNG storage tanks take 3-4 ship space than conventional fuel tanks. So free cargo space is becoming one of the main issues to discuss. Increasing the duration of the planned flight necessitates an increase of volume of LNG tanks [10]. Therefore, one of the main goals in the design ships – to optimize the size of stock tanks depending on the free space [9].

Various designs are used to store liquefied gases tanks. This takes into account such parameters as:

- maximum working pressure;

- maximum LNG temperature;

- tank configuration;

- material used in tank construction [9].

Today, there are several possible options for installing tanks stock of LNG carriers [9]. The use of such tanks is permissible in accordance with IMO requirements. Such tanks include independent tanks of type A, B and C, as well as membrane tanks [8].

Membrane tanks are not self-supporting, consist of a thin membrane, laid on insulation. The insulation is located directly on the hull so that the pressure in the tank is directly transmitted to the structure housing. The hull is the main supporting element of such tanks. Membrane tank is designed so that thermal and other types of expansion or compression was compensated without its excessive stress [8]. Calculated the vapor pressure P in such tanks should not exceed 0.07 MPa [6]. For this type of tank requires a secondary barrier.

Independent tanks – self-supporting, are not part of the hull and do not participate in ensuring the overall strength of the case. Such tanks are attached to the hull only through special calipers, allowing them to compress and expand independently of the hull. LNG is stored in storage tanks in the form of cryogenic tanks without any means of external cooling. So, a significant part of the LNG volume evaporates during the flight [4]. This evaporated gas commonly referred to as naturally evaporated gas (NEG). Formed NEG can be used as fuel.

Although when installing type C tanks much more used useful space on ships, this option remains the most attractive in terms of financial savings that it is necessary to spend on the utilization of NEG from more compact membrane tanks.

For example, in a cylindrical tank type C with a volume of 200 m³ with working pressure from 0.6 bar to 4 bar and with elastic polyurethane foam in quality

of insulation with a thickness of 200 mm – the maximum allowable pressure in the tank will be achieved after about 25 days [9].

Thus, for ships with a small deadweight – optimal option is to install type C tanks, which are available on the market in different volumes with a maximum allowable operating pressure of up to 10 bar [9]. They are the most attractive for use on ships with low gas consumption, or on those that frequently call at ports where it is possible to bunker the vessel. Type C tanks are already used on many ferries and offshore vessels [9].

However, for large vessels, it is advisable to use membrane tanks due to the fact that the installation of such tanks is more profitable in terms of optimal use of free space.

An example of such vessels can be built on Chinese shipyards 9 container vessels, SMA SGM with a capacity of 22,000 containers. It is reported that these vehicles will go between Europe and the Far East with bunkering in European countries. It is planned that the capacity of cargo tanks will reach 18,600 m³. Capacity such stock tanks can be correlated with a small capacity gas carrier. Thus, it is obvious that it is advisable to use only tanks membrane type.

Recent orders for large ships using as LNG fuels show a significant increase in demand and demand for more advanced and efficient technological solutions for LNG processing that formed by the inevitable transfer of heat through cryogenic insulation the tank [11].

NEG processing methods

LNG is stored in storage tanks at a pressure close to atmospheric and a temperature of -163 – -159° C [2]. The most acceptable option for large container vessels with a dual-fuel installation is the use of membrane tanks. So, for example, on the mentioned container vessels on 22 000 containers, GTT designs membrane LNG fuel tanks, type Mark III, which will allow the most efficient use of cargo space on these vessels. Such tanks are designed for a working overpressure of 7 kPa. At 25 kPa the safety valve works [2]. The company CMA CGM states that on the mentioned construction 12-cylinder, two-stroke internal combustion engines will be installed in container vessels WinGD 12X92DF with a piston D=92 cm and low-pressure gas supply system. Maximum power will be reached 63,840 kW at 80 rpm. The volume of LNG tanks will be 18,600 m³. It is planned that the container ship will operate on the line Europe – the Far East with one-time bunkering in Europe. Obviously, the running of operating modes of the vessel formed by the LNG will be completely ignited in cylinders of the main engine. However, suppose LNG

tanks fully filled and the vessel is at anchor or drifting. In this case, the power consumption of the vessel will be much lower and the entire LNG will be impossible to dispose of in diesel generators or boilers. To estimate the quantity excess LNG can calculate the imbalance between the required heat combustion and heat of NEG.

The required amount of heat is proportional to the power and specific consumption gas fuel at a certain engine load

$$Q_{\text{необ}} = N_e \cdot g_e \cdot 24$$

Power varies depending on the mode of operation of the vessel. Power, consuming a container ship in the parking lot depends on the number of consumers, necessary to secure the vessel. Suppose for a future flight the ship was not scheduled to carry refrigerated containers. Then the power consumption of such a container ship is approximately 500 kW.

$$Q_{\text{необ}} = \frac{500 \text{ kwt} \cdot 7091 \frac{\text{kJ}}{\text{kwt} / \text{h}} \cdot 24}{1000} = 85092 \frac{\text{MJ}}{\text{day}}$$

The amount of heat of NEG is characterized as the daily volume of evaporated cargo and its calorific value. The amount of NEG heat is possible to calculate by the formula:

$$Q_{\text{ПБГ}} = e \cdot V \cdot l \cdot \rho \cdot H$$

Where: e – is the daily evaporation coefficient of LNG; V – a volume of cargo tanks; l – tank filling factor; ρ – is the density of LNG; H – is the mass lower heat gas combustion. Manufacturers of cargo systems claim that the daily cargo evaporation coefficient for membrane tanks of cargo systems Mark III is equal to 0.0015. Also, assume that the cargo pair will contain only methane. Then the mass lower heat of combustion will be 50,041 MJ / kg [1].

So:

$$Q_{\text{ПБГ}} = 0,0015 \text{ day}^{-1} \cdot 18600 \text{ m}^3 \cdot 0,98 \cdot 459,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 50,041 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 628560,73$$

The imbalance of evaporated and the required amount of heat will be equal to their differences

$$\Delta Q = Q_{\text{ПБГ}} - Q_{\text{необ}}$$

$$\Delta Q = 628560 - 85092 = 543468 \frac{\text{MJ}}{\text{day}}$$

Necessary to re-liquefy LNG in different re-liquefaction plants.

To date, several types are used for processing NEG gas re-liquefaction plants. The most common are installations running on the Brighton cycle, produced by several manufacturers in a different layout.

However, the use of installations that operate on a cycle Brighton is impractical with a small daily volume of LNG.

Cyclic natural gas liquefaction systems Brighton have a dual-circuit system with a common heat exchanger. How working fluid they use N_2 (nitrogen).

The gas is compressed isothermally in a three-stage compressor with an intermediate cooling (Fig. 3). Then the gas passes through the heat exchanger at constant pressure in which energy is exchanged with the waste stream low pressure. From point 3 to point 4 is an isentropic expansion in the expander. From point 4 to point 1, the cold gas is heated to initial temperature, removing energy at constant pressure from high-pressure inlet flow [5].

Mini LNG can be an alternative to such settings installations operating on the principle of mixed cooling. Such installations were developed and tested in laboratories scientifically – Sintef Research Institute in Trondheim. At the moment they are being installed on small vessels – gas carriers, such as the company's gas carrier I.M. Skaugen SE with a capacity of LNG of 20 tons/day. In installations of this type of LNG compressed in the compressor to 18 bar, cooled by seawater and propylene to a temperature of $-35^\circ C$ in the pre-cooling circuit in special heat exchangers. The gas is then liquefied and supercooled in the mixed cooling circuit. Then the supercooled liquid throttles to the required pressure [13].

Installations of this type are produced by many companies productivity from 5 to 50 tons of LNG per day. Average energy consumption in such installations is equal to 0.47 kW / kg of LNG. Another alternative to the liquefaction setting may be the installation of StirLNG that operates on the reverse Stirling

cycle based on compression and expansion of helium in a closed cycle.

For a clear explanation, the process can be divided into 4 main ones the position of the piston shown in Fig. 3. In position 1, helium is in space D at ambient temperature. In position 2 this the gas is compressed by the piston B with a subsequent increase in temperature to $80^\circ C$. When the plunger C moves down from position 2 to position 3, the gas is displaced from space D into space E, passing through the cooler H with further heat transfer of cooling water and lowering the temperature gas up to $15^\circ C$. Next, helium passes through the regenerator G into the space EV the regenerator gas is cooled almost to the liquefaction temperature. During the last and main action of the gas expands with the movement of the plunger and piston provision 4.

In the process of expanding the necessary refrigeration capacity is created, liquefied methane in heat exchanger J. To start a new cycle, the plunger moves to position 1, returning helium to space D.

For the first time on ships, the StirLNG installation will be used on bunkering vessel with a volume of cargo tanks of $2200 m^3$ in the company's project Tote. This vessel will be equipped with 6 StirLNGs with a capacity of 900 kg/day and power consumption of 38 kW each.

Conclusions. Taking into account modern environmental requirements and constant growth prices for residual fuels, Propulsive complex with two-stroke gas diesel is another evolutionary solution.

Existing technologies for the use of natural gas in marine low-speed engines are fundamentally different. In terms of dynamic and powerful indicators has obvious advantages of high-pressure gas supply

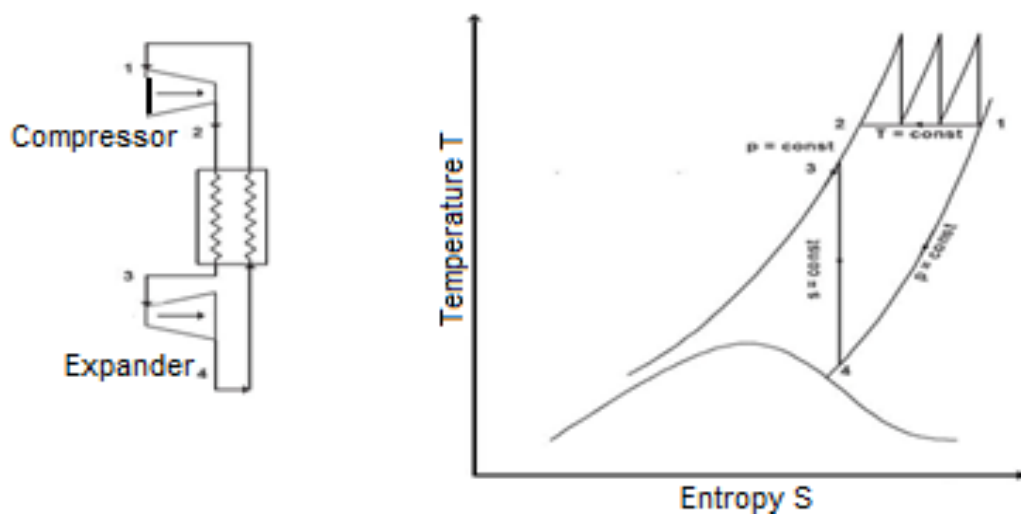


Fig. 3. Brighton reverse cycle

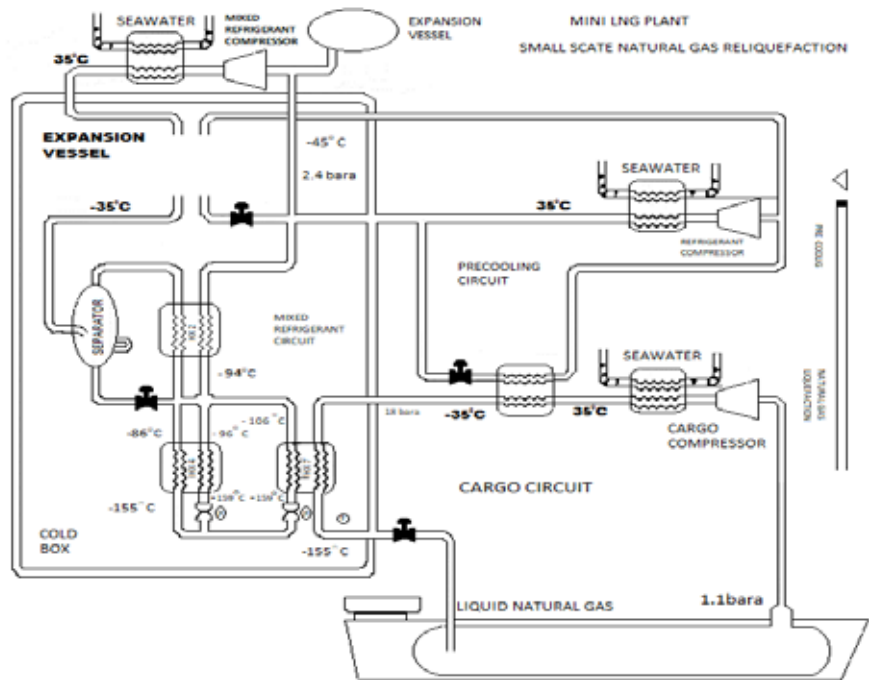


Fig. 4. Plant Sintef's institute

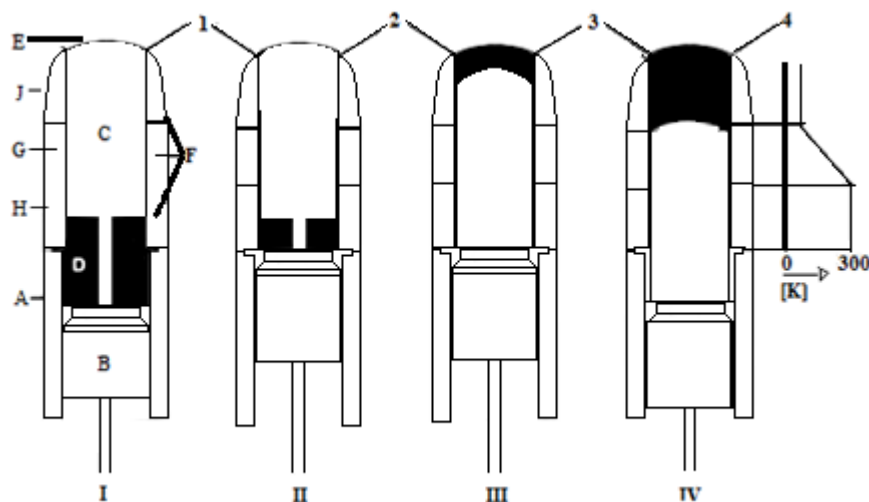


Fig. 5. StirLNG plant

technology. However, environmentally friendly performance, capital investment and operating costs are much better in engines with low gas supply pressure.

For small ships – the best option is to install tanks type C, which does not require additional installations for the processing of LNG. While, as for large ships, the most attractive option would be to install tanks

stock membrane type, allowing the most efficient use of the cargo space of the vessel.

It is necessary to find the most efficient and economical options treatment of excess LNG generated when the vessel is parked, which cannot be used as fuel in marine boilers and engines internal combustion.

References:

1. Чепалис И.В. Проблемы устойчивой работы газодизеля при использовании естественно испарившегося груза в качестве топлива. *Вестник ГУМРФ*. 2015. № 1 (29). С. 68–75.
2. Чепалис И.В. Анализ систем подачи природного газа в двухтактные газодизеля на судах-метановозах. *Технические газы*. 2016. № 3. С. 3–44.

3. Костылев И.И., Коняев Д.В. Бункеровка как фактор сдерживания использования газового топлива на судах. *Вестник ГУМРФ*. 2016. № 1(30). С. 134–143.
4. Christos Frangopoulos George Dimopoulos. A dynamic model for liquefied natural gas evaporation during marine transportation. *International Journal of Thermodynamics*, 2008.
5. Barron R.F. Cryogenics systems Oxford University Press, 1985. 406 p.
6. International Code of Safety for Ships Using Gases or other Low-Flashpoint Fuels (IGF Code).
7. Project Guide & quote; ME-GI Dual Fuel MAN B & amp; W Engines & quote;. URL: <https://marine.mandieselturbo.com>
8. Baskakov S.P. Transportation of liquefied gases by sea, 2002.
9. Herve Irvoas. LNG containment systems – retrofitting options. *8th Gasfuelled ships conference*, 2017. P. 135.
10. Jo Ann Cantu. Training and competence of personnel for gas-fuelled ships and bunkering. *8th Gasfuelled ships conference*, 2017. P. 125
11. Arrigo Battistelli. Boil off gas handling on LNG fueled vessels with high-pressure gas injected engines, 2015.
12. Geir Skaugen. Liquefaction of natural gas. How can fundamental rd help the industry? *6th Annual LNG TECH Global Summit*. SINTEF Energy Research, 2011.
13. Neksa P., Brendenga E., Dreschera M. and Norberg B. Development and analysis of a natural gas reliquefaction plant for small gas carriers. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2010.

Козьмін М.А., Задорожний В.А. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЗРІДЖЕНОГО ПРИРОДНОГО ГАЗУ НА ГАЗОВОЗІ

У статті розглядається використання зрідженого природного газу (ЗПГ) як палива в судових малооберткових двигунах. Екологічний аспект переходу на використання ЗПГ є визначальним при виборі конкретного шляху виконання вимог конвенції МАРПОЛ 73/78. Результатом роботи двигуна внутрішнього згорання на природному газі є низькі викиди вихлопних газів у навколишнє середовище через відсутність у паливі забруднювачів. Метан, головний компонент природного газу, є високоефективним вуглеводневим паливом. Крім екологічних аспектів, у цьому випадку дуже важливі і економічні. За останніми даними, до 2019 року кількість судів газоходів у світі досягне приблизно 200 одиниць, а споживання ЗПГ як палива в судових енергетичних установках досягне 1 мільйона тонн до 2020 року і стрімко зростає. Перехід на газове паливо на судах забезпечує зниження експлуатаційних витрат за рахунок низької вартості газу, менших витрат на технічне обслуговування.

Нині реалізовані дві технології використання ЗПГ. Подача газу при високому тиску здійснюється при положенні поршня поблизу верхньої мертвої точки (ВМТ) і реалізована у двигунах MAN B & W серії ME-GI. Та технологія подачі газу при низькому тиску заснована на спалюванні збіднених газоповітряних сумішей і реалізована в двигунах Winterthur Gas & Diesel Ltd (WinGD) DF і RT-flexDF. Сучасні технології використання природного газу в судових малооберткових двигунах принципово різні. З позиції динамічних і потужних показників очевидними перевагами володіє технологія подачі газу під високим тиском. Однак екологічні характеристики, капіталовкладення та експлуатаційні витрати значно кращі у двигунів із низьким тиском подачі газу. Технологія спалювання газового палива в ГД не впливає на вибір танків запасу ЗПГ, проте принципово визначає систему паливopідготовки.

Можливі різноманітні варіанти вибору конструкції танків запасу ЗПГ залежно від типу та характеристик судна. Для двигунів із низьким тиском подачі газу досить відцентрового криогенного насоса і випарника низького тиску, тоді як для двигуна з високим тиском необхідний насос високого тиску (НВТ) плунжерного типу і відповідний випарник. Необхідний пошук найбільш ефективних і економічних варіантів обробки надлишкового ПВГ, що утворюється в процесі стоянки судна, який неможливо використовувати як палива в судових котлах і двигунах внутрішнього згорання.

Ключові слова: зріджений природний газ, екологічний аспект, мембранні танки, вихлопні гази, судові системи, природньо випаруваний газ (ПВГ), газовий топочний агрегат (ГТА).

УДК 656.614.3

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/29>**Круглий Д.Г.**

orcid.org/0000-0003-0236-3449

Херсонська державна морська академія

Дружинін О.О.

orcid.org/0000-0001-8117-9513

Херсонська державна морська академія

ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО ФОРМУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ МОРСЬКИХ ТА РІЧКОВИХ ПОТОКІВ УКРАЇНИ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Морський транспорт виступає своєрідним барометром світової економіки і відповідним чином реагує на безліч змін у світі. На його стан впливають сучасні процеси і тенденції, що відбуваються не тільки в економічній, але й в інших сферах світового господарства. Обсяг перевезених у міжнародній морській торгівлі вантажів безпосередньо залежить від стану світового господарства. У статті розглядається значення морського транспорту для світової економіки. Проаналізовано порівняльні економічні показники світу в період 2018–2020 рр. із метою виявлення негативного впливу світової пандемії. Систематизовано дані світового економічного прогнозу. З метою порівняльного аналізу наведено дані економічних показників України. Визначено фактори, що негативно впливають на товарообіг та морські перевезення. Також у статті наведено основні тенденції та проаналізовано можливі перспективи розвитку зовнішньоторговельних вантажоперевезень морським транспортом. Мета дослідження – оцінка впливу кризових явищ на стан і перспективи розвитку морського товарообігу. У методологічному плані дослідження базуються на загальнонаукових методах функціонально-структурного аналізу. Таким чином, аналіз світових тенденцій розвитку ринку транспортних послуг свідчить, що жодна країна не здатна контролювати ризики власної економіки, не маючи сильних конкурентних транспортних позицій. Характер проблеми, винесеної в центр дослідження, забезпечив системний підхід і наступність у дослідженні важливого кола питань. З проведеного дослідження видно, що в період пандемії на показники зовнішньої торгівлі впливають різні чинники. За низкою ознак він буде досить тривалим і складним для України, у зв'язку з цим аналіз і висновки з цієї роботи будуть своєчасними і корисними.

Ключові слова: морський транспорт, світова економіка, вантажоперевезення, вантажообіг.

Постановка проблеми. Морська портова галузь безпосередньо пов'язана з розвитком світової і вітчизняної економіки, від її стану залежить ефективність логістики великих орієнтованих на експорт підприємств, її вдосконалення забезпечує не тільки зниження витрат за закупками імпортованих товарів і збутом готової продукції, а й дає змогу збільшити доходи шляхом розширення обсягів транзиту.

Структурні зрушення сьогодення, що характеризують процеси світового виробництва і міжнародної торгівлі, значною мірою зумовлюються змінами, що відбуваються у світовому транспортному комплексі. Глобалізація міжнародної торгівлі і транснаціоналізація національних компаній припускають безперешкодне переміщення ресурсів і товарів, що об'єктивно неможливо здійснити без морського транспорту. Морський транспорт є

основою формування внутрішнього і міжнародного ринків, забезпечуючи розвиток нормальної ринкової економіки.

Сучасний морський вантажний транспорт схильний до впливу суперечливих тенденцій: будучи інфраструктурною галуззю, морський вантажний транспорт залежить від галузей виробництва матеріально-речових благ, а будучи особливою галуззю економіки, морський транспорт істотно впливає на регіональний розподіл виробничих потужностей, бере участь у процесі відтворення і виступає важливою складовою частиною системи міжнародних економічних відносин. Нинішня ситуація у світовій економіці, що характеризується, зокрема, бурхливим розвитком інтеграційних процесів, варіюванням економічного середовища в територіальному розрізі, відмінностями в ступені розвитку національних гос-

подарств і їхньому застосуванні в міжнародних економічних відносинах, інтенсифікацією товаропотоків на різних рівнях взаємодії між економічними агентами, з одного боку, і недостатнім розвитком економіко-теоретичної бази, малою кількістю сучасних досліджень методологічної основи функціонування морського транспорту в сучасній науці, з іншого боку, зумовлюють необхідність визначення місця, ролі і значення морського вантажного транспорту і пов'язаних із ним міжнародних економічних відносин в умовах прогресуючого процесу глобалізації сучасного світового господарства.

Таким чином, морський транспорт виступає своєрідним барометром світової економіки і відповідним чином реагує на зміни у світі. На його стан впливає безліч сучасних процесів і тенденцій, що відбуваються не тільки в економічній, але і в інших сферах світового господарства. Обсяг перевезених у міжнародній морській торгівлі вантажів безпосередньо залежить від стану світового господарства. У зв'язку з цим у період світових криз і, як наслідок, спаду міжнародної торгівлі загальний обсяг вантажообігу світового господарства знижується, відповідно, на стадії підйому ця цифра зростає.

Так, наприклад, пандемія обернулася істотними витратами для всіх регіонів, що розвиваються. Як очікується, відновлення піде дуже різними темпами, набагато повільніше в країнах, які зіткнулися із сильнішими спалахами захворювання або більшою мірою постраждали від наслідків глобальних протипоказань через туристичну діяльність та експорт промислових товарів. Дохід на душу населення в багатьох країнах може знизитися до рівня, на якому він перебував десять років тому і навіть раніше. Ризики негативного розвитку ситуації превалюють, і жоден регіон не застрахований від нових спалахів захворювання, логістичних складнощів із розподілом вакцин, фінансових проблем в умовах підвищеного рівня заборгованості, а також можливості більш тяжких довготривалих наслідків пандемії для економічного зростання і доходів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми та аналіз розвитку морського транспорту України, а також роль морського транспорту у світовій економіці і його становлення широко висвітлені в працях В.В. Винникова [1, с. 350], Ю.В. Макогона [2, с. 393], М.І. Котлубея [3, с. 224], Н.В. Лук'яновича [4, с. 162], І. Могилевкіної [5, с. 334]. Питанням глобалізації транспортної системи України і сучасним тенденціям

її розвитку присвячена робота С.А. Машканцевої [6, с. 311]. Однак, незважаючи на значний внесок авторів цих досліджень у вивчення й аналіз проблем розвитку морського транспорту України, не були висвітлені шляхи та перспективи розвитку морської галузі загалом щодо сучасної ситуації в Україні. Представлені роботи авторів послужили фундаментальними засадами для аналізу й обґрунтування стратегічних пріоритетів розвитку морської галузі України.

Нині частка морського транспорту в міжнародних перевезеннях становить понад 80% з фізичного обсягу і більше 70% за вартістю. За останні три десятиліття середньорічні темпи приросту світових морських перевезень у натуральних показниках становили 3%. У разі збереження таких темпів роль морського транспорту і морських портів у світі буде зростати. Очікується, що вже до 2030 р. обсяг світових морських перевезень сягне позначки в 16 млрд тонн. Це свідчить про зростаюче значення морського транспорту і морських портів.

Актуальність дослідження пояснюється залежністю морського транспорту України від темпів зростання світової економіки і міжнародної торгівлі, що вимагає виявлення тенденцій їх розвитку з метою прогнозування вантажообігу і обсягу портових потужностей нашої країни.

Постановка завдання. Метою дослідження є вивчення світової динаміки надання транспортних послуг із метою виявлення конкурентних позицій національних транспортних систем і визначення ключових гравців на світовому ринку транспорту.

Об'єктом дослідження є морські вантажні перевезення, їх роль у розвитку міжнародної торгівлі і забезпеченні зовнішньої торгівлі України

Предметом дослідження є комплекс економічних відносин, що виникають у процесі розвитку українських морських вантажних перевезень і виході вітчизняних перевізників на світовий ринок вантажоперевезень.

Теоретичною і методологічною основою дослідження послужили роботи вітчизняних і зарубіжних вчених, присвячені аналізованому колу проблем. У процесі дослідження були вивчені та узагальнені теоретико-концептуальні наукові положення, що містяться в них. У методологічному плані дослідження базуються на загальнонаукових методах функціонально-структурного аналізу. Характер проблеми, винесеної в центр дослідження, забезпечив системний підхід і наступність у дослідженні кола питань.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Світова економіка у зв'язку з тривалою пандемією коронавірусу буде відновлюватися повільніше. Очікується, що після різкого скорочення, спричиненого в минулому році пандемією COVID-19, обсяги світового виробництва виростуть в 2021 році на 4%, однак цей приріст буде істотно нижчим від прогнозованого до пандемії. До числа ризиків негативного розвитку ситуації належать нові хвилі поширення вірусу, затримки з вакцинацією, більш серйозний вплив пандемії на потенційний приріст і напруженість у фінансовій сфері. В умовах зростання невизначеності на перший план виходить роль директивних органів у підвищенні ймовірності сприятливого розвитку ситуації та попередження більш тяжких наслідків. Втілюючи в життя заходи економічної політики, необхідно буде підтримувати баланс між ризиками, пов'язаними з підвищенням боргового тягаря, з одного боку, і з поспішним посиленням фінансово-бюджетної політики, з іншого, а також сприяти підвищенню стійкості до потрясінь шляхом підтримки медицини та освіти, вдосконалення управління і підвищення прозорості боргових зобов'язань [7, с. 164–167].

Світові морські перевезення істотно залежать від тенденцій у світовій економіці і торгівлі. Розглянемо загальні показники світової економіки (рис. 1).

Зменшення економічних показників у 2020 році становить 3,5%, а це більше ніж показники 2019 року. За даними МВФ, друга половина 2020 року дещо відзначена пожвавленням. Гло-

бальна економіка потребує програм державної підтримки [8, с. 118–203].

Результати прогнозування Європи у 2021 р. представлено на рисунку 2. Відповідно до даних ріст економіки загалом має зменшитися, а ось у 2022 році знов піти на приріст.

Після закінчення виборів президента США в листопаді минулого року різко зріс попит на перевезення між цією країною та Китаєм – це призвело до дефіциту контейнерів і суден спочатку на цьому напрямі, а потім і по всьому світу. Крім того, в листопаді Китай ввів нові вимоги на ввезення вантажів у країну, що збільшило час їх оформлення та ще більше позначилося на доступності контейнерів [9, с. 24–26].

Китайський експорт на західні ринки ріс на тлі того, що сам Китай скоротив закупівлі товарів із США. У результаті контейнери, відправлені з Китаю з товаром, було нічим завантажувати в зворотному напрямі, а возити їх порожніми не вигідно, що викликало гостру нестачу вільного контейнерного обладнання в Азії і скупчення порожніх контейнерів на заході. Наприкінці року світова економіка почала поступово виходити з карантину, експорт із Китаю в США почав знову зростати, але через неготовність до цього морських перевізників зросла затримка відправлень суден.

На тлі першого півріччя в третьому кварталі відбулося помітне зростання світового обсягу контейнерних перевезень, це свідчить про те, що світ поступово вибирається з економічної кризи, спричиненої пандемією коронавірусу. Проте значна частина експертів вважає, що робити якісь

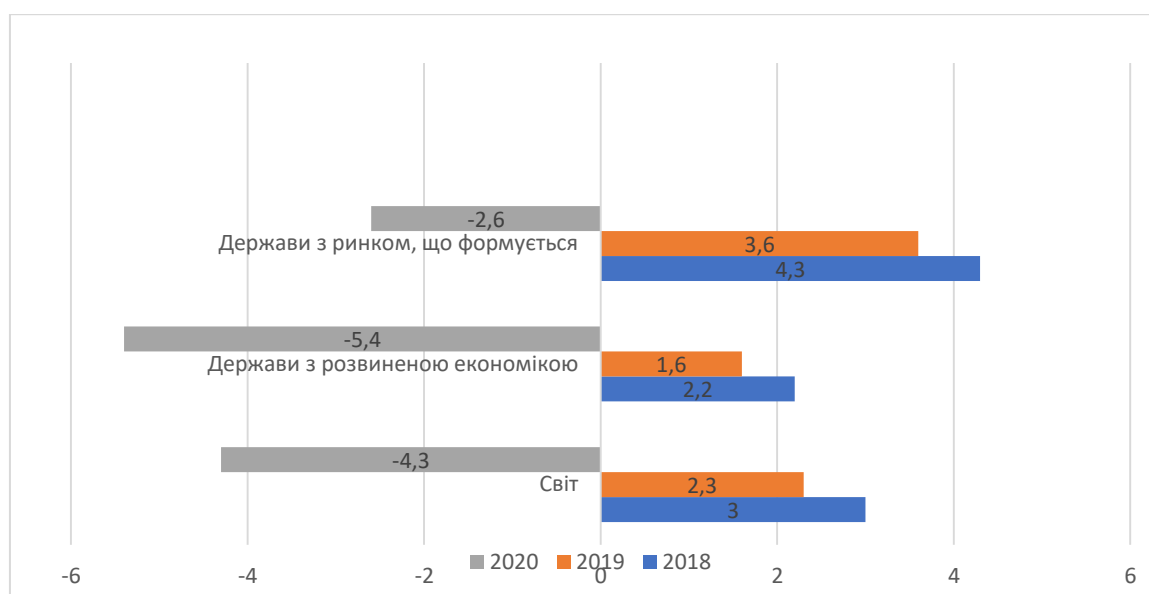


Рис. 1. Порівняльні світові показники економічного стану

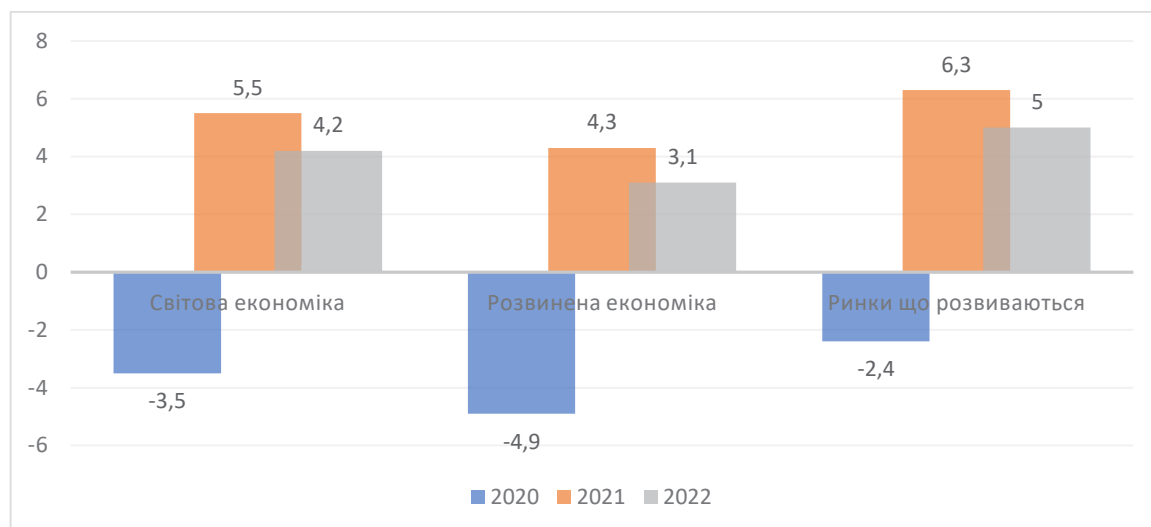


Рис. 2. Світовий економічний прогноз (січень 2021 р.)

оптимістичні прогнози в плані відновлення світової економіки поки рано. По-перше, зростання контейнерних перевезень відбувається занадто локально – у вересні попит на перевезення виріс через збільшення експорту товарів з Азії в Північну Америку (приблизно на 12%), а у зворотний бік перевезення впали майже на 14% – це такий же антирекорд, як і в другому кварталі. По-друге, зіставляти обсяги контейнерних перевезень із реальним попитом на товари загалом некоректно, тому що попит по всьому світу продовжує падати, хоча в період після виходу з жорстких карантинних обмежень ця тенденція дещо сповільнилася. Хоча це теж цілком може бути лише сезонна корекція, а друга хвиля COVID-19 здатна знову зупинити світову торгівлю [10, с. 127–131, 14].

Загальний об'єм товарообміну в минулому році у доларовому еквіваленті на 7 млрд зменшився порівняно з показником 2019 року.

У результаті імпорту Україною було отримано \$54,2 млрд. Порівняно з 2019 роком імпорт зменшено на 10,3%. Протягом 2020 року український експорт становив \$49,2 млрд, тобто зменшився на 1,7%.

Для України нова криза стане ще більшим ударом, ніж для решти світу. Українська економіка залежить від ситуації у світі, зокрема від попиту і пропозиції на товари українського експорту (металургія і аграрна продукція) і цін на товари, які Україна імпортує (переважно енергоресурси і готові вироби – автомобілі, побутова техніка, комп'ютери і т.д.).

Згідно з прогнозом МВФ, ВВП України через коронавірус зменшиться на 7,7%, тоді як економіка світу – на 3%. Відновлення після кризи для

України буде більш тривалим, ніж для решти світу: зростання ВВП України в 2021 році прогнозується на рівні 3,6%, тоді як зростання економіки світу – на 4,3% [11, с. 1–2].

Усі вище перераховані дані значно збільшили розрив України з передовими країнами.

У першому півріччі 2020 року вантажопереробка українських морських портів виросла майже на 10%, до 79,3 млн тонн. Третину вантажопотоку забезпечили зернові [12].

Згідно зі статистичними даними АМПУ, морські порти України в першому півріччі 2020 року перевалили 79,346 млн тонн вантажів, що на 9,9% більше порівняно з аналогічним періодом 2019 року. Навіть у такий складний час, коли весь світ охоплений пандемією коронавірусу і стоїть на порозі економічної кризи, обсяги перевалки в українських портах продовжують рости, хоча й уповільненими темпами. Нагадаємо, що зростання вантажопотоків за аналогічний період 2019 року становило 13,2%, що в абсолютних величинах дорівнювало приросту на 8,5 млн тонн. У цьому році темп зростання скоротився на 3,3%, а приріст становив 7,1 млн тонн.

Досліджувані процеси в області зовнішньої торгівлі розвиваються в тісному взаємозв'язку з економічною і політичною обстановкою в країні, тому зовнішньоторговельні показники важко піддаються передбаченню, і глибокий аналіз зовнішньоторговельних процесів неможливий без дослідження їх залежно від економічного розвитку країни і її зовнішньоекономічної політики.

Всебічний аналіз напрямів розвитку зовнішньої торгівлі завжди характеризується цілим набором показників, кожен з яких являє собою

цілком певну сторону зовнішньоторговельного процесу. При цьому, виявляючи тенденції в зміні показників, прогнозування дозволяє передбачити негативні тенденції в розвитку зовнішньоторговельних процесів, що дає змогу вжити заходів для їх запобігання або підготуватися до того чи іншого небажаного явища.

Важливим елементом підвищення товарообігу країн є прорахунок імпорту та експорту продукції.

Формула функцій пропозиції експорту може бути заснована на спрощеному рівнянні:

$$\frac{X}{P_x} = f \left[\frac{P_x}{P_y}, Y_p, GAP \right] \quad (1)$$

де X – вартість експорту;

P_x – ціна експорту;

P_y – внутрішні ціни;

Y_p – виробничі потужності експортного сектора;

GAP – надлишковий внутрішній попит.

Аналіз і прогнозування імпорту товарів мають велике значення, бо імпорт дає основні доходи в бюджет у вигляді надходжень від митних органів та укладає в собі резерви розширення бази оподаткування. Конкуренція, зумовлена пропозицією імпортованих товарів, сприяє розвитку вітчизняного виробництва і підвищенню якості виробленої в країні продукції. Імпорт є необхідною умовою міжнародного обміну, без якого експорт вітчизняної продукції не знайшов би попиту.

Обсяг і структура імпорту тієї чи іншої країни залежать як від потреби або необхідності в імпорті товарів, яка визначається станом виробництва, так і від можливості країни купувати ці товари, тобто від попиту на імпорт. Рівняння попиту на імпорт, виглядає таким чином:

$$\frac{M}{P_m} = f \left[\frac{Y_d}{P_y}, \frac{P_m}{P_y} \right] \quad (2)$$

де M – вартість імпорту;

P_m – ціна імпорту;

Y_d – внутрішній дохід (або внутрішній попит);

P_y – рівень внутрішніх цін.

Імпорт збільшується в разі збільшення змінної обсягу, якою може виступати або реальний дохід, або реальні внутрішні витрати.

Отже, згідно з моделями аналізу і прогнозування імпорту товарів основними економічними факторами, що визначають обсяг імпорту, є:

- внутрішній дохід або реальний ВВП країни;
- ціновий фактор, що виражає співвідношення внутрішніх і світових цін на імпортовані товари.

Таким чином, як ми бачимо, проблема статистичної оцінки і прогнозування показників зовнішньої торгівлі експорту та імпорту товарів є складною, комплексною і актуальною, особливо в періоди кризи пандемії і трансформації економіки. Кризові явища економіки України, основним з яких є скорочення валового внутрішнього продукту, не можуть не позначатися на обсязі зовнішньоторговельного обороту, структурі експорту та імпорту товарів і доходи від проведення експортно-імпортних операцій [13, с. 10–14; 14, с. 144–149].

Прогнозування товарообороту країни проводять державні органи, так само залучаються ними інші науково-дослідні організації. Важливим завданням під час розробки прогнозованих моделей є облік впливу непередбачених процесів, які впливають на показники товарообігу і природно-економічний стан як економіки однієї країни, так і економіки світу загалом.

Висновки. Таким чином, аналіз світових тенденцій розвитку ринку транспортних послуг свідчить, що жодна країна не здатна контролювати ризики власної економіки, не маючи сильних конкурентних транспортних позицій. Варто також зазначити, що структура світової транспортної системи за рівнем розвитку свідчить про те, що розвинені країни світу контролюють 70% ринку міжнародних вантажних перевезень, країни, що розвиваються, обслуговують 20% світового вантажообігу, а на транспортні системи країн Східної Європи і СНД припадає лише 10%. Тим не менше для розвитку економіки і зовнішньоекономічних зв'язків будь-якої країни транспортна галузь має виключно важливе значення, будучи, з одного боку, ключовим інфраструктурним компонентом зовнішньої торгівлі, а з іншого боку, великою і зростаючою статтею торгівлі послугами.

Морський транспорт є барометром світової економіки і різко реагує на всі зміни, які відбуваються в світі. Сучасні тенденції у світовій економіці відбиваються на стані морського транспорту, тому досить важливо прораховувати експортні та імпортні прогнозовані показники товарообігу.

Роль морського транспорту в економіці будь-якої країни величезна, і зарубіжні країни, вивчаючи тенденції його розвитку, шукають шляхи посилення могутності свого торгового флоту. Таким чином, морський транспорт вважається найбільш універсальним видом транспорту, який спеціалізується на обслуговуванні міжнародної торгівлі і на який припадає найбільша частина вантажообігу.

З проведеного дослідження видно, що в період пандемії на показники зовнішньої торгівлі впливають різні чинники. Криза цього періоду негитова для світової економіки і має затяжний харак-

тер, що підтверджує світові тенденції. За низкою ознак він буде досить тривалим і складним для України, у зв'язку з цим аналіз і висновки з цієї роботи будуть своєчасними і корисними.

Список літератури:

1. Винников В.В. Проблемы комплексности развития морского транспорта Украины : монография. Одесса : Феникс, 2005. 350 с.
2. Макогон Ю.В., Лысый А.Ф., Гаркуша Г.Г., Грузан А.В. Украина – держава морская : монография / под ред. Макогона Ю.В. Донецк : ДонНУ, 2010. 393 с.
3. Котлубай М.И. Становление морского транспорта в рыночной среде : Монография Одесса : ИПРЭИ НАН Украины, 2005. 224 с.
4. Лукьянович Н.В. Морской транспорт в мировой экономике. Москва : Моркнига. 2009. 162 с.
5. Могилевкин И. Транспорт. Мировая экономика: глобальные тенденции за 100 лет / под ред. И.С. Королева. Москва : Экономист. 2003. 334 с.
6. Лимонов Э.Л. Внешнеторговые операции морского транспорта и мультимодальные перевозки. Санкт-Петербург : Информационный центр «Выбор». 311 с.
7. Кожина В.О. Транспорт как важнейший рычаг интеграционных процессов в мировой экономике. Сборник статей Международной научно-практической конференции «Инновационная наука: прошлое, настоящее, будущее»: в 5 частях. 2016. С. 164–167.
8. Рагулина Ю.В., Завалько Н.А., Кожина В.О. Международная торговля : учебник. Москва : Альфа-М: НИЦ ИНФРА-М. 2014. 272 с.
9. Владимиров С.А. Об основных направлениях развития мировой транспортной системы и логистики. *Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья*. 2015. № 4. С. 24–26.
10. Скорук О. Тіньова економіка: сутність, причини виникнення та шляхи подолання. *Економіка і суспільство*. 2017. № 11. С. 127–131.
11. Legido-Quigley H., Mateos-Garcia J.T., Campos V.R., Gea-Sanchez M., Muntaner C., McKee M. The resilience of the Spanish health system against the COVID-19 pandemic. *Lancet Pub. Health*. 2020. 18 March, p. 1–2. Англ. DOI: 10.1016/S2468-2667(20)30060-8
12. Логунцова И.В. Индустрия туризма в условиях пандемии коронавируса: вызовы и перспективы (2020) *Государственное управление. Электронный вестник*. № 80. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/industriya-turizma-v-usloviyah-pandemii-koronavirusa-vyzovy-i-perspektivy> (дата обращения: 26.06.2020).
13. Круглий Д. Связь увеличения оборота портов Украины с развитием транспортной инфраструктуры. *Развитие транспорта*. 2020. № 1 (6). С. 7–16. <https://doi.org/10.33082/td.2020.1-6.01>.
14. Круглий Д. Дослідження стану морських перевезень під час пандемії. *Транспортні системи і технології*. 2021. № (36). С. 143–149. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-36-15>

Kruhlyi D.H., Druzhynin O.O. INNOVATIVE APPROACH TO THE FORMATION OF TRANSPORT SEA AND RIVER FLOWS OF UKRAINE IN EMERGENCY SITUATIONS

Maritime transport acts as a kind of barometer of the world economy and responds accordingly to many changes taking place in the world. its condition is influenced by many modern processes and trends occurring not only in the economic but also in other areas of the world economy. The volume of cargo transported in international maritime trade directly depends on the state of the world economy. The article considers the importance of maritime transport for the world economy. Comparative economic indicators of the world in the period 2018–2020 are analyzed in order to identify the negative impact of the global pandemic. The data of the world economic forecast are systematized. For the purpose of comparative analysis, the data of economic indicators of Ukraine are given. Factors that negatively affect trade and maritime transport have been identified. The article also presents the main trends and analyzes the possible prospects for the development of foreign trade in maritime transport. The purpose of the study is to assess the impact of crisis phenomena on the state and prospects of maritime trade. In methodological terms, research is based on general scientific methods of functional and structural analysis. Thus, the analysis of global trends in the market of transport services shows that no country is able to control the risks of its own economy without having a strong competitive transport position. The nature of the problem presented at the center of the study provided a systematic approach and continuity in the study to an important range of issues. The study shows that during the pandemic, foreign trade indicators are influenced by various factors. On a number of grounds, it will be quite long and difficult for Ukraine, in this regard, the analysis and conclusions of this work will be timely and useful.

Key words: maritime transport, world economy, freight transportation, freight turnover.

УДК 004.358:656.7.072.5(COVID-19)(045)
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/30>

Мединський Д.В.

orcid.org/0000-0002-8081-8712
Національний авіаційний університет

Шевченко Ю.В.

orcid.org/0000-0001-6033-2339
Національний авіаційний університет

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ЗАХОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОТИ ЗАПОБІГАННЯ SARS-COV-2 НА ПРИКЛАДІ АВІАЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З КРАЇНОЮ, ВІЛЬНОЮ ВІД ВИПАДКІВ COVID-19

Пандемія COVID-19 мала значний міжнародний вплив на здоров'я протягом 2020 року – 107 млн випадків та 2,3 млн смертей у всьому світі до 31 грудня (1). У багатьох країнах застосовується прикордонний контроль для обмеження поширення пандемії, у зв'язку із цим помітно зменшилися міжнародні поїздки. Скорочення подорожей сприяло несприятливим економічним та соціальним наслідкам для країн шляхом зменшення ділової взаємодії, туризму та пересування іноземних студентів. Необхідно оцінити ризик спалахів COVID-19, пов'язаних із авіап перевезеннями від країни з дуже низьким рівнем поширеності інфекції COVID-19 (Україна) до тимчасово окупованої території, вільної від COVID-19 (АР Крим), поряд із можливим впливом різних заходів контролю для пасажирів та екіпажу повітряного корабля. Використана стохастична версія моделі SEIR CovidSIM v1.1, розроблена спеціально для COVID-19. Версія була заповнена даними для обох країн та параметрами для SARS-CoV-2, заходами передачі та контролю. Ми передбачали один рейс Київ – Сімферополь на день. Однак комбіноване використання виходу та входу до аеропорту (показник симптомів та термокамера), маски в літаку та два тести ПЛР (на 3 і 12 день) в АР Крим у поєднанні із самозвітанням симптомів та відстеженням контактів із використанням маски до другого тесту ПЛР зменшили цей ризик до одного спалаху на кожні 29,8% населення (від 0,8 до 110). Якщо ПЛР-тестування не проводилось, але відбувалося використання маски пасажиром на протязі 15 днів в АР Крим, то ризик становив один спалах кожні 14,1% населення. Однак 14-денний карантин (практика АР Крим у червні 2020 р.) був найефективнішою стратегією при одному спалаху кожні 34,1% населення (від 0,86 до 126); хоча і в поєднанні з виїзним екрануванням та використанням маски під час польотів. Можна вимагати безліч засобів від пасажирів, щоб помітно зменшити ризик вірусу пандемії до країни, вільної від COVID-19, повітряним транспортом, але є потенціал для заміни 14-денного карантину на тестування ПЛР вимогою, пов'язаною із використанням масок пасажиром в АР Крим. Однак усі підходи вимагають постійного ретельного аналізу та оптимізації влади на місцях.

Ключові слова: пандемія, пасажир, повітряний корабель, тестування, члени екіпажу, імітаційна модель, безпека.

Постановка проблеми. Пандемія COVID-19 мала значний міжнародний вплив на здоров'я громадян протягом 2020 року – 107 млн випадків та 2,3 млн смертей у всьому світі станом на 31 січня 2021 року [1].

АР Крим – один із небагатьох регіонів, який скасував передачу SARS-CoV-2 пандемічний вірус у його межах відповідно до мети, яку він прийняв для припинення розповсюдження інфекції [2]. Тим не менше подорож без карантину між двома країнами є метою, передбаченою урядом України та

тимчасовим керівництвом окупованої території АР Крим [3]. Такий підхід обговорювали лідери країн СНД та домовилися, що кожен починає полегшувати ситуацію з обмеження, які вони могли б використати на низькому етапі рівні зараження шляхом створення безпечних туристичних зон [4].

Тим не менше такі подорожі можуть бути більш вірогідними між Україною та країнами Чорноморського узбережжя, які успішно ліквідували COVID-19 (наприклад, як заявила Грузія) або які змогли повністю утримати це завдяки суворому

прикордонному контролю (наприклад, Вірменія, Казахстан та Туркменістан).

Ще однією подією стало те, що багато великих авіакомпаній також застосовують процедури для вдосконалення безпеки на рейсах для зменшення ризику передачі SARS-CoV-2. До цих процедур входить фізичне дистанціювання та вимоги до носіння масок пасажиром та екіпажем повітряного корабля [5].

Необхідно оцінити ризик спалахів COVID-19, пов'язаних із збільшення авіаперевезень з України до АР Крим, разом із можливим впливом різних видів контролю та заходів, які можуть бути використані для мінімізації ризику спалахів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Складність дослідження процесу поширення вірусної інфекції на повітряному кораблі суттєво ускладнює розв'язання поставлених завдань перед науковцями. Питання дослідження впливу розповсюдження вірусу в замкненому просторі розглядалися науковцями у працях [5; 6]. У дослідженнях [3] науковцями розглянуто підходи щодо ідентифікації контактної особи після завершення рейсу та повернення до стерильної зони.

Стислий аналіз публікацій за напрямом дослідження вказує на необхідність проведення детальнішого аналізу щодо виявлення та розповсюдження інфекції у закритих приміщеннях та подальшого узагальнення результатів.

Постановка завдання. Мета статті – розглянути можливість скорочення подорожей під час пандемії за несприятливих економічних умов на прикладі імітаційного моделювання із країною, вільною від зони поширення COVID-19. Під час дослідження оцінити ймовірні ризики зараження екіпажу повітряного корабля з урахуванням різних заходів контролю щодо забезпечення від вірусної інфекції. Спростувати теорію щодо заміни карантинних обмежень засобами та методами індивідуального захисту на противагу тестуванню ПЛР та аналізу на наявність антитіл до штаму корона вірусної інфекції для безпечної поїздки авіатранспортом.

Виклад основного матеріалу. Конструкція моделі та параметри для SARS-CoV-2 та COVID-19.

Ми використовували стохастичний тип SEIR-модель із ключовими відділеннями для: сприйнятливої [S], опроміненої [E], інфікованого [I] та відновленого/ видаленого [R]. Модель є стохастичною версією Covid SIM.

Модель була побудована в Паскалі, було виконано 100 мільйонів моделювань для кожного

набору значень параметрів. Така велика кількість моделювань була необхідною через високу ймовірність нульових заражених осіб у даному польоті та з низькою поширеністю інфекції в АР Крим.

Параметри базувалися на доступних публікаціях та найкращих оцінках, використаних в опублікованих працях за тематикою COVID-19. Ключовим було те, що 65% інфікованих випадків COVID-19 розвиваються за чітко виявленими симптомами (табл. 1).

Іншим був номер відтворення у вільній від COVID-19 АР Крим, який, як вважалося, становив 2,0 (табл. 1. Поширеність інфекції в АР Крим).

Для оцінки поширеності інфекції SARS-CoV-2 в АР Крим ми припустили, що виявлено таку ж кількість невиявлених випадків, як і виявлених. Тож ми використали дані за 31 грудня 2020 року, коли АР Крим повідомила про 1043 нових виявлених випадків захворювання за сім днів (10). Якщо припустити 14-денний період (латентний період плюс інфекційний період), це свідчить про точкову поширеність заражених випадків у 0,0006% ($65/7 \times 16$) / 25,46 млн. Для моделювання випадково відбирали пасажирів з населення півострова. Ризик зараження екіпажу повітряного корабля був підвищений через передачу в польоті на рейсах, які ми змоделювали. У більшості наших сценаріїв пасажир та члени екіпажу повітряного корабля перед посадкою проходили перевірку.

Пандемія COVID-19 мала значний міжнародний вплив на здоров'я протягом 2020 року – 6,3 млн випадків та 380 000 смертей у всьому світі до 3 червня [1]. У багатьох країнах застосовується прикордонний контроль, щоб обмежити поширення пандемії, і це (у поєднанні зі страхом перед пандемією) помітно зменшило міжнародні поїздки. Це скорочення подорожей призвело до несприятливих економічних та соціальних наслідків для країн шляхом зменшення ділової взаємодії, туризму та пересування іноземних студентів.

Схема потоку рухів пасажирів та екіпажу повітряного корабля в моделі, включаючи втручання (спрощене і не показуючи точних деталей руху рухомого складу екіпажу вперед і назад, подробиці про пасажирів, які звертаються за медичною допомогою, коли вони мають симптоматику в Україні, та ізоляцію виявлених випадків із відстеженням контактів). Вибір заходів контролю ми визначили з опублікованих літературних джерел та онлайн-огляду стратегій, визначених Медичною консультативною групою IATA [6]. Ці елементи управління показані в таблиці 1.

Таблиця 1

Вхідні параметри, використані для моделювання потенційного поширення інфекцій COVID-19, на прикладі стохастичної версії CovidSIM (v1.1)

Значення	Значення параметра, що використовується	Додаткові відомості про введення параметрів до моделювання
Латентний період	5 днів	Ми використовували найкращу оцінку CDC у грудні 2020 року, середнє значення до 6 днів, симптоми (тобто латентний період плюс продромальний період) (19). Ми використовували стандартне відхилення (SD) 25% (1 день) (розраховане з використанням 16 етапів; розподіл Ерланга).
Продромальний Період	1 день	Поки що недостатньо інформації про цей продромальний період для COVID-19, тому ми використали припущену величину для грипу (SD = 25%; 0,25 днів, розподіл Ерланга).
Симптоматичний Період	10 днів (розділити на 2 періоди від 5 днів кожен)	У звіті Спільної місії ВООЗ та Китаю зазначається, що середній час від початку зараження до клінічного одужання для легких випадків становить приблизно 2 тижні та 3–6 тижнів для пацієнтів із важким або критичним захворюванням (20). Але враховуючи, що легкі випадки, можливо, були пропущені в цій конкретній оцінці, ми використали трохи коротший загальний проміжок часу – 10 днів (SD = 25%; 2,5 дні, розподіл Ерланга).
Інфекції що призводять до хвороби (симптоматичне захворювання)	65%	Ми використовували найкращу оцінку CDC у грудні 2020 року, що становить 65% симптоматичних та 35% безсимптомних (19). Це більше, ніж 20% частки безсимптомних випадків за китайським дослідженням (21). Однак це значення нижче за 43%, що знайдено в ісландському дослідженні (23). Але це також вище, ніж в іншому китайському дослідженні (6% безсимптомно) (24). Британське дослідження за підсумками огляду медичних працівників повідомило, що 27% усіх інфекцій були безсимптомними, але ця група була іншого віку, ніж загальна популяція (25).

Розглянемо на прикладі можливий авіапеліт з України до Сімферополя: ми імітували один рейс на день із Києва до Сімферополя, що перевозив до 200 пасажирів та 5 членів екіпажу. Невеликий парк літальних апаратів використовувався на цьому маршруті за часів входу до складу України АР Крим та в допандемічну еру, серед яких найпоширенішим був Airbus A320, який може взяти на борт до 180 пасажирів. Ми використовували мінімальне співвідношення однієї кабіни члену екіпажу до 5 місць (як вимагають деякі регулятори), припускаючи, що там можуть бути нові процеси, що зменшують навантаження екіпажу (наприклад, їжа, напої, розміщені на місцях заздалегідь). Це маленька частка рівня подорожей у допандемічний час (тобто 3,1% від 1042 відвідувачів прибуття з АР Крим до Києва у 2013 році).

Ризик передачі в польоті.

Є кілька публікацій, які пропонують передачу SARS-CoV-2 на літаках [3]. Один із них повідомив про 11 пацієнтів, яким «поставили діагноз після спільного польоту в той самий рейс без жодного пасажиря, якого згодом можна було б визначити джерелом зараження» [7]. Інший повідомив про один випадок, «скоріше за все придбаний під час польоту» (14). Але політ з індексом пацієнта,

у якого був сухий кашель на борту, здавалося, не поширював інфекцію ні на кого з 350 пасажирів. Документ IATA [8] повідомляє про кілька рейсів з пасажирями, інфікованими SARS-CoV-2, які, очевидно, не заразили інших пасажирів, але також є один випадок: із Великобританії до В'єтнаму (політ із зараженими) до 14 осіб. Крім того, на основі опитування IATA чотирьох авіакомпаній було повідомлено про те, що «всього було виявлено один можливий вторинний випадок пасажирів, а також лише дві справи серед екіпажу, які вважаються результатом можливої передачі вірусу в польоті».

З огляду на ці передумови, очевидно, важко визначити ризик передачі SARS-CoV-2 на борту пасажирського літака. Тому для цілей моделювання ми використовували кількісні дані з передачі грипу на літаках.

Для цього ми вилучили дані із відповідного систематичного огляду та повторно проаналізували його. Ця робота вказувала на те, що реєстр індексу може типово генерувати в середньому 6,0 вторинних випадків на політ тривалістю щонайменше три години (припускаючи, що відсутнє використання маски та що SARS-CoV-2 подібний до грипу за інфекційністю в таких ситуаціях). Ми

припускали, що екіпаж повітряного корабля має однаковий ризик зараження через одну заражену особу серед пасажирів (за відсутності будь-яких даних про це з систематичного огляду). Ми також вважаємо обов'язковим використання маски на рейсах, відповідно до основних правил авіакомпаній з червня 2020 року [5].

Ми припустили, що після прибуття до АР Крим для всіх проводиться перевірка в'їзду (пасажирів та члени екіпажу повітряного корабля). Пасажирів або поміщали під наглядовий карантин на 14 днів (відповідно до фактичних домовленостей у травні 2020 року), а потім звільняли для вільного пересування, або як альтернативу пропонували 14 днів карантину (ми розглядали різні комбінації тестування ПЛР). Дійсно, тест ПЛР після прибуття вже використовується в деяких країнах (наприклад, Туреччина в травні 2020 р.)

За три години після оплати пасажирів мали на руках результати тесту. До останнього (тесту на ПЛР) ми припускали, що люди можуть вільно пересуватися навколо півострова Крим, але вони повинні були носити маску, перебуваючи в присутності інших людей; далі ми припускали, що половина випадків, у яких протягом цього періоду розвиваються симптоми, повідомляли про симптоми протягом однієї доби. Крім того, ми припустили, що якщо ці люди пройшли позитивний тест або якщо вони повідомляли про самі симптоми, то відстеження контактів дасть змогу ідентифікувати 75% їх заражених контактів у АР Крим, що будуть ізольовані після чергової затримки на один день.

Після перевірки на в'їзд екіпаж повітряного корабля, який прибув до АР Крим, не перебуває на карантині, але передбачувано залишається на один день у АР Крим до свого наступного польоту (хоча в аналізі сценарію є можливість коли вони залишають спеціальні об'єкти (готелі) та не контактують із громадськістю відповідно до деяких існуючих процесів в АР Крим [9].

Постійна передача інфекції в АР Крим: вторинні випадки, зараження членів екіпажу або пасажирів в АР Крим не відстежені, а також третинні випадки зараження за простеженими вторинними випадками до того, як їх було ізольовано. Передбачалося, що вони мають певну тривалість інфекційного періоду. Деякі з них можуть спровокувати спалах [10].

Зворотний рейс до України (екіпаж повітряного корабля).

Щоби зробити моделювання якомога реалістичнішим, екіпаж повітряного корабля повинен був поїхати назад до АР Крим після одноденного

перебування в Україні. Тоді припускали, що вони мають черговий виїзд в Україну на один день (де неінфіковані члени екіпажу повітряного корабля також могли підхопити зараження від взаємодії з громадськістю), а потім вони можуть бути виявлені або не виявлені під час наступного процесу перевірки посадки до повітряного корабля. Поки екіпаж літака піддавався процедурі скринінгу та носіння масок на борту під час виходу та входу до літака, це були єдині втручання, які ми розглядали (хоча із огляду на аналіз сценаріїв щодо відсутності одноденної затримки в жодній країні).

Для базового випадку одного рейсу на день з України, де не передбачалося втручання на місці, ми підраховали, що АР Крим у середньому переживе спалах COVID-19 через 1,7 року (табл. 3). Це було збільшено до 2,2 року після проведення скринінгу температури на вході та після виходу з літака.

Україна переживе спалах пандемії COVID-19 до 3,3 року шляхом носіння маски на рейсах і до 3,5 року шляхом проведення скринінгу входу після прибуття до України. При додаванні до ПЛР-тестування (супроводжується самозвітом про симптоми, носіння масок та відстеження контактів/ізоляція випадків до останнього тесту) різні сценарії вказували середній час спалаху від 4,4 до 29,6 року (таблиця 3). Ключовим драйвером ці результати визначали не кількість тестів, а час останнього тесту, оскільки це збільшило переваги використання маски, повідомлення про симптоми та відстеження контактів.

Додаткові результати за часом до останнього тесту на ПЛР, що продовжено до 15 днів в АР Крим, вказують на особливо важливу користь від використання маски, самозвітності про симптоми і відстеження/ізоляції контактів [11].

Найкращим результатом був середній час спалаху 29,6 року (табл. 2). Тим не менше, якщо ПЛР-тестування було повністю відмінено і замінено лише використанням маски до 15 днів в АР Крим, все ще існує ризик спалаху інфекції.

Якщо замість тестування на ПЛР використовувати 14-денний карантин (згідно з фактичною практикою у вересні 2020 р) в Україні, це було б найефективнішим рішенням, оскільки би збільшило середній час до спалаху на понад 34,5 року для всіх розглянутих сценаріїв.

Зменшення карантину з 14 до 7 днів призведе до набагато песимістичнішого результату (середній час очікування спалаху: 5,8 року).

Варто зазначити, що всі ці значення є середньою тривалістю порівняно зі спалахом, проте

кожен одиничний рейс літака несе, хоча і невеликий, ризик але ж може спровокувати таку подію. Спалахи захворювання відбуваються у випадковий момент часу (експоненційно розподілені) з очікуваним значенням, наведеним у таблиці 3. Як і дисперсія, експоненціальний розподіл надзвичайно великий, 95% становлять інтервали невизначеності. Для таких спалахів він відповідно є дуже великим. Тобто за найбільш песимістичним сценарієм (без втручання у сценарій) очікувана тривалість 1,7 року, 95% спалахів прогнозується між 0,04 року (15 днів) і близько 6,09 року; у найбільш оптимістичному сценарії (з карантинном) очікувана тривалість становить 34,1 року, 95% спалахів відбувається між 0,86 і 126 роками.

Для кожної стратегії втручання було проведено 100 мільйонів стохастичних моделювань. Значення, як правило, округлили до трьох цифр. Пасажирам дозволено вільно пересуватися по території України від прибуття до останнього тесту на ПЛР або після звільнення з карантину.

Пасажири як група були головним фактором ризику спалаху щодо членів екіпажу: вони спричинили більше випадків. У 100 разів більше спалахів, ніж у членів екіпажу (залежно від сценарію). Пасажири також спричинили більше спалахів на душу населення, ніж члени екіпажу, враховуючи співвідношення 50: 1 цих груп на політ.

Це перше імітаційне моделювання, яке розглянуто щодо втручання для боротьби з поширенням вірусу повітряним транспортом між двома регіонами (один з яких знаходиться на півострові). Нам вдалося розглянути широкий спектр втручань у методи контролю та оцінити інтервали невизначеності. Ефективність носіння масок на борту повітряного корабля й досі залишається невивченою. Тому, з огляду на подібні проблеми та постійне вдосконалення знання про динаміку передачі SARS-CoV-2, цей тип проведення імітаційного моделювання на транспорті слід ретельно вивчати та використовувати різні методи моделювання.

Висновки. Аналіз оцінки впливу заходів щодо запобігання поширенню коронавірусу свідчить про те, що спалах в АР Крим може статися через 1,3 року без будь-яких втручань і лише за умови виконання 1 рейсу на день із материкової частини України. Цей ризик значно знижується завдяки 14-денному перебуванню на карантині, що використовується досить жваво іншими країнами світу. Розглянутий аналіз дає можливість стверджувати про те, що існує можливість замінити карантин на ПЛР-тестування? включаючи використання та носіння захисних масок пасажирами в АР Крим, що суттєво забезпечить та втримає ризик розповсюдження вірусу.

Таблиця 2

Результати основних змін поширеності інфекції в країні-джерелі (АР Крим) та обсяги польотів від АР Крим до України

Параметри/сценарії	Очікувана тривалість до спалаху в Україні (роки) (95% – інтервал невизначеності)		
	Ніякого втручання	ПЛР тестування на дні 3+12	14 днів карантину
Відповідно до базового випадку.	1,7 року (0,04–6,09)	29,6 років (0,75–109)	34,1 року (0,86–126)
Поширеність інфекції в АР Крим у 10 разів нижча, ніж у базовому випадку (тобто 0,0006%). Це могло бути тоді, коли б Україна знаходилася на межі ліквідації або ліквідувань, а потім переживала спалах після відмови прикордонного контролю [Сценарій А].	16,5 років (0,42–60,9)	296 років (7,49–1090)	341 рік (8,63–1260)
Поширеність інфекції в Україні в 10 разів вища, ніж у базовому випадку (тобто 0,006%). Це може бути через слабке придушення або зимовий підйом спалаху коронавірусу [Сценарій Б].	0,17 року (0,004–0,61) [2,0 місяці]	3,0 року (0,07–10,9)	3,4 року (0,09–12,6)
Обсяг подорожей у 10 разів більший, ніж у базовому випадку (тобто 10 рейсів на день) з інфекцією, яка поширюється відповідно до базового випадку [Сценарій С].	0,17 року (0,004–0,61) [2 місяці]	3,0 року (0,07–10,9)	3,4 року (0,09–12,6)
Поеднання підвищеної поширеності інфекції та збільшений обсяг подорожей, як зазначено вище [Сценарій В та Сценарій С разом].	0,02 року (0,0004–0,06) [6 днів]	0,3 року (0,007–1,09) [3,6 місяця]	0,34 року (0,01–1,26) [4 місяці]

Результати моделювання ризику базового випадку (відсутність втручань) та інших заходів для запобігання спалахам COVID-19 в Україні (припускаючи, що поширеність інфекції в АР Крим становить 0,0006%, за нашими найкращими оцінками на грудень 2020 року)

Стратегія	Вихід/скринінг в АР Крим (виявлення хворих)	Весь оляг/маски (на профілактиці)	Вхід/скринінг в Україні (виявлення хворих)	Карантин пасажирів	ПЛР тести для пасажирів (1 день прибуття) *	Зв'язок калькуляції між ПЛР тестами	Самозвітність, тригери контакт, калькуляція	Пасажири носіння маски в Україні до останнього ПЛР-тесту**	Самозвітність симптомів ***	Очікується тривалість до спалаху в Україні (роки)	Невизначеність інтервал в роках (95%)
Відсутність ПЛР тестів, немає карантину	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,7	0,04-6,09
	50%	-	-	-	-	-	-	-	-	2,2	0,06-8,11
	50%	90%	-	-	-	-	-	-	-	3,3	0,08-12,1
	50%	90%	50%	-	-	-	-	-	-	3,5	0,09-12,9
Тести ПЛР (на додаток) до різних впливів перевірки виходу та входу до повітряного корабля та носіння масок у польоті											
ПЛР тести	50%	90%	-	-	День 1	-	-	-	-	-	4,4
	50%	90%	-	-	День 1+8	75%	-	-	-	-	6,4
	50%	90%	-	-	День 1+8	75%	-	50%	75%	-	7,5
	50%	90%	-	-	День 1+8	75%	90%	-	-	-	17,0
	50%	90%	-	-	День 1+8		90%	50%	-	-	19,9
	50%	90%	-	-	День 1+8	75%	90%	50%	75%	-	20,0
	50%	90%	50%	-	День 3+12	75%	-	50%	-	-	5,4
	50%	90%	50%	-	День 1+8	75%	-	-	75%	-	6,4
	50%	90%	50%	-	День 1+8	75%	90%	50%	-	-	23,5
	50%	90%	50%	-	День 1+8		90%	-	-	-	28,1
50%	90%	50%	-	День 1+8	75%	90%	-	75%	-	29,6	
Карантин (на додаток) до впливу на перевірки виходу та входу до повітряного корабля та носіння масок на рейсі											
Карантин	50%	90%	75%	7 днів	-	-	-	-	-	5,8	0,15-21,5
	50%	90%	75%	14 днів	-	-	-	-	-	34,1	0,86-126

* Розглядався діапазон днів, але варіант 3 + 12 днів – це той, який наразі прийнятий для всіх мандрівників станом на січень 2021 р.

** Профілактика вторинних інфекцій через носіння масок потенційно інфікованими пасажирами.

*** Дана частка пасажирів, які повідомляють про розвиток симптомів під час перебування в Україні до системи охорони здоров'я; передбачається, що їх ізолюють через добу після виявлення симптомів, і тільки після цього може статися настання та відстеження контактів; відстежувані контакти перевіряються методом ПЛР і відтермінуються після чергової затримки на один день.

Список літератури:

1. Огляд гуманітарної ситуації-жовтень 2020 р. (21.01.2021).
2. Оперативна інформація про поширення корона вірусної інфекції 2019-nCoV.(19.01.2021) URL: <https://moz.gov.ua/article/news/operativnainformacija-pro-poshirenja-koronavirusnoi-infekcii-2019-ncov>.
3. Air Traffic Visualization: Decision makers Should Base Travel Restrictions on Infection Rates Per Capita and Air Traffic Levels. (11.02.2021) URL: <https://doi.org/10.7249/rra248-4>.
4. B. Yan, J. Wang, Z. Zhang, X. Tang, Y. Zhou. An improved method for the fitting and prediction of the number of COVID-19 confirmed cases based. Computers, Materials & Continua, vol. 64, no. 3, pp. 1473-1490, 2020.
5. Coronavirus business impact: Evolving perspective/McKinsey. (01.02.2021) URL: <https://www.mckinsey.com>
6. Emergency summit of the leaders of the G20. Statement on the new coronavirus infection COVID-19.
7. Hoang Pham. On Estimating the Number of Deaths Related to COVID-19. Rutgers University, Piscataway, Mathematics 2020, 8 (5), 655; <https://doi.org/10.3390/math8050655>.
8. Investment Trends Monitor. UNCTAD. Impact of the COVID-19 pandemic on global FDI and GVCs. Updated Analysis. (04.02.2021) URL: https://unctad.org/system/files/official-document/diaeiainf2020d3_en.pdf
9. Mizumoto K, Chowell G. Estimating Risk for Death from Coronavirus Disease, China, January-February 2020. Emergency Infect Dis. 2020 Jun; 26(6): P. 1251-1256. <https://doi.org/10.3201/eid2606.200233>
10. Russel Hanson, Christopher Mouton, Adam Grissom, John Godges. COVID-19 Air Traffic Visualization: Decision makers Should Base Travel Restrictions on Infection Rates Per Capita and Air Traffic Levels. (11.02.2021) URL: <https://doi.org/10.7249/rra248-4>.
11. Resat Ozaras, Hakan Leblebicioglu. COVID-19 pandemic and international travel: Turkey's experience. Journal Article published Mar 2021 in Travel Medicine and infectious Disease, vol.40 on page 101972. (06.02.2021) URL:<https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2021.101972>
12. Yang S., Cao P., Du P., Wu Z., Zhuang Z., Yang L., Yu X., Zhou Q., Feng X., Wang X., Li W., Liu E., Chen J., Chen Y., He D., (2020). Early estimation of the case fatality rate of COVID-19 in mainland China: a data-driven analysis. Annals of translation medicine, 8(4), 128. <https://doi.org/10.21037/atm.2020.02.66>.

Medynskiy D.V., Shevchenko Yu.V. SIMULATION OF MODELING THE ASSESSMENT OF THE IMPACT OF SECURITY MEASURES AGAINST THE PREVENTION OF SARS-COV-2 ON THE EXAMPLE OF AIR SECURITY WITH A COUNTRY FREE OF CASES COVID-19

The COVID-19 pandemic had a significant international impact on health during 2020 – 107 million cases and 2.3 million deaths worldwide by 31 December (1). Border controls are being used in many countries to limit the spread of the pandemic, which has significantly reduced international travel. The reduction in travel has contributed to adverse economic and social consequences for countries by reducing business interaction, tourism and the movement of foreign students. To assess the risk of COVID-19 outbreaks associated with air traffic from a country with a very low prevalence of COVID-19 infection (Ukraine) to the temporarily occupied territory free of COVID-19 (Crimea), along with the possible impact of various control measures for passengers and crew of the aircraft. A stochastic version of the SEIR CovidSIM v1.1 model, developed specifically for COVID-19, was used. The version was filled with data for both countries and parameters for SARS-CoV-2, transmission and control measures. We provided one flight Kiev – Simferopol per day. When there was no entry into the territory of the Autonomous Republic of Crimea, the COVID-19 outbreak on the Crimean Peninsula was estimated at 95%, the uncertainty interval [UI]: 0.04–6.09. However, the combined use of exit and entrance to the airport (from the airport), (symptom indicator and thermal camera), mask in the plane and two PCR tests (for 3 and 12 days) in the Crimea combined with self-reporting of symptoms and tracking contacts using the mask to the second PCR test, reduced this risk to one outbreak for every 29.8% of the population (0.8 to 110). If PCR testing was not performed, but the mask was used by passengers for 15 days in the Autonomous Republic of Crimea, the risk was one outbreak every 14.1% of the population. However, 14-day quarantine (the practice of the Autonomous Republic of Crimea in June 2020) was the most effective strategy in one outbreak for every 34.1% of the population (from 0.86 to 126); although in combination with on-screen shielding and the use of a mask during flights. Many resources can be required from passengers to significantly reduce the risk of a pandemic virus to a COVID-19-free country by air, but there is potential for replacing 14-day quarantine with PCR testing or the requirement to use masks by passengers in Crimea. However, all approaches require constant careful analysis and optimization of local government.

Key words: pandemic, passengers, aircraft, testing, crew members, simulation model, safety.

Підгорний М.В.

Черкаський державний технологічний університет

Лук'янченко О.Ю.

Черкаський державний технологічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЯК КОМПЛЕКСУ ЗАВДАНЬ ПРОГРАМУВАННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Викладено новий підхід до методології системного проектування під час дослідження інформатизації логістичних процесів автотранспортного підприємства. Викладено основні напрями інформатизації процесів виробництва й управління на транспорті, показана ефективність вирішення складних експлуатаційно-комунікаційних завдань автомобільного транспорту на цьому етапі інформатизації суспільства. Описано принципи інформатизації об'єктів і процесу транспортних систем і сформовано вимоги до вибору критеріїв ефективності та якості функціонування складних обслуговуючих інформаційних (експертних) і таких, що обслуговуються (виробничих), систем. Приведено узагальнену системну модель як ефективний засіб розв'язання складних завдань інформатизації, планування та керування. Розкрито основні питання гносеології системних досліджень. Розглянуто результати дослідження процесів автоматизації сучасних інформаційних систем. Викладено новий підхід у дослідженні логіко-динамічних систем. Наведено узагальнену системну модель як ефективний засіб розв'язання складних завдань планування та керування. Основою стратегічного курсу будь-якого транспортного підприємства, його базовим принципом має стати реалізація проектних та програмних заходів, спрямованих на запровадження інноваційної моделі розвитку, структурної перебудови та зростання економічного потенціалу. Підвищення ефективності роботи автомобільного транспорту вимагає вирішити значну кількість наукових та прикладних завдань, які передбачають насамперед поліпшення управління на підприємствах транспорту. Один зі шляхів раціонального вирішення проблеми якості та ефективності логістичного сервісу перевезень вантажів та надання транспортних послуг полягає в її системному розгляді та оптимізації основних факторів цієї системи на основі розроблення та ефективної реалізації організаційних, методичних, технічних і інформаційних засобів управління.

Ключові слова: транспортна інфраструктура; інформаційні технології; логіко-динамічні системи; системна ефективність.

Постановка проблеми. Основою стратегічного курсу будь-якого автотранспортного підприємства, його базовим принципом має стати реалізація проектних та програмних заходів, спрямованих на запровадження інноваційної моделі розвитку, структурної перебудови та зростання економічного потенціалу. Підвищення ефективності роботи автомобільного транспорту вимагає вирішити значну кількість наукових та прикладних завдань, які передбачають насамперед поліпшення управління на підприємствах транспорту. Один зі шляхів раціонального вирішення проблеми якості та ефективності логістичного сервісу перевезень вантажів та надання транспортних послуг полягає в її системному розгляді та оптимізації основних факторів цієї системи на основі розроблення та ефективної реалізації орга-

нізаційних, методичних, технічних і інформаційних засобів управління.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведеними дослідженнями [1; 2] встановлено, що мають місце недоліки у сфері управління виробничими процесами автотранспортного підприємства (АТП). До складу таких недоліків можна віднести: відсутність єдиного системного підходу до формування та реалізації управлінських рішень у ринкових умовах функціонування підприємства; значні втрати через відсутність своєчасної та достовірної інформації про стан об'єктів та процесів АТП; недостатній рівень якості функціонування окремих процесів АТП; недостатню кількість впроваджених інформаційно-технологічних систем керування виробництвом. Ці недоліки можливо усунути за допо-

могою модернізації існуючої системи управління АТП із застосуванням координованості з формування управлінських рішень та підвищення ефективності функціонування парку автомобілів.

Постановка завдання. Основні завдання інформатизації на автотранспортному підприємстві полягають у створенні наукового організаційно-технологічного потенціалу, що забезпечує на єдиній логіко-інформаційній основі розв'язок завдань підвищення ефективності і якості транспортного обслуговування галузей народного господарства й окремих громадян; створення інформаційного середовища, що включає найрізноманітніші види й засоби комунікації, у тому числі технічні засоби та технології їх використання; формування соціального замовлення на засоби виробництва й обчислювальну техніку, що забезпечують розв'язок значної кількості технічних, технологічних, організаційних, економічних і соціальних завдань. Науковою основою дослідження є теорія логіко-динамічних систем, методологія та технологія системного проектування об'єктів нової техніки (ОНТ), методологія програмування життєвих циклів ОНТ, теорія обслуговування, ефективності та результативності.

Виклад основного матеріалу дослідження. Логістичні процеси як об'єкт керування – багатозв'язана динамічна система, життєвий цикл (ЖЦ) якої може бути описаний системою диференціальних рівнянь, які характеризують зміну стану системи, забезпечують наявність потрібного продукту праці в необхідній кількості, в необхідному місці, в необхідний час. Для оптимізації процесів обслуговування слід розглядати АТП як систему, яка складається з обслуговуючої системи та системи, що обслуговує. Системне проектування визначає ці твердження як процес побудови складних об'єктів, орієнтованих систем у базисах системних властивостей, системних ресурсів та структурах життєвих циклів ОНТ.

Результатом такого підходу є створення в подальшому та впровадження в широкі експлуатаційні процеси системних інформаційних технологій з інтегрованими властивостями, котрі дають можливість оптимізувати загальносистемні характеристики та системні ресурси під єдину систему вимог. За виконання умови постійності цільової функції управління можливі різних методи координованості.

Задача координованості. Розглянуто методи координації, які можна використовувати верхньою одиницею (вищим керівництвом АТП) за

узгодженості мети верхньої одиниці з цілями локальних одиниць (функціональних підрозділів АТП). Існує низка методів координації, що розрізняються використовуваним інструментом координації [2; 3].

Застосуємо координацію прямим методом. Суть координації прямим методом полягає в тому, що координатор, вирішуючи власне завдання оптимізації, надає певні значення $y_{d_i}, u_{d_i}, r_{d_i}$ всім взаємозв'язаним змінним y_i, u_i, r_i для $i = 1, \dots, N$. При цьому задача, що вирішується на верхньому рівні, представлена у вигляді:

$$Q = \Psi \left(Q_1(y_d, r_d, z_i), \dots, Q_N(y_d, r_{d_N}, z_i) \right),$$

$$i = 1, \dots, N. \quad (1)$$

Інший підхід полягає в організації ітеративної процедури між одиницями верхнього (вище керівництво АТП) і нижнього (функціональні підрозділи АТП) управлінських рівнів. При цьому координатор формує деякі значення (y_d, r_d) й отримує відгуки підсистем нижнього рівня у формі значень їх функцій корисності $Q_i(y_d, r_d, z_i)$, не знаючи ні виду функцій $Q_i(y_d, r_d, z_i)$, ні значень z_i . У цьому разі локальні задачі нижнього рівня приймають вигляд:

$$Q_i^p = Q_i(c_i, u_i, z_i) - K_i(y_i - y_d), \quad i = 1, \dots, N \quad (2)$$

Задача оптимального керування. Ставиться задача пошуку законів керування логістичними процесами як багатозв'язною системою у вигляді диференційного рівняння, аргументами є програмні змінні бажаного розвитку логістики. Під час формування програмних змінних використовуються ідеї функціонального керування.

Для вирішення задачі оптимального керування використовуємо метод обернених операторів, який розглядається на прикладі управління в одному з каналів багатозв'язною системою x_i . Будемо вважати, що задача керування розв'язана, якщо змінні розвитку будуть відповідати програмним (заданим), тобто виконується вимога відповідності параметрів розвитку та їх програмних завдань. Подальший структурний опис функціонування системи керування під час його реалізації у загальному випадку потребує опису базисних елементів, визначення векторів вхідних і вихідних змінних для кожного з елементів, їх сукупності та для системи загалом як їх з'єднання. Повинна міститися також інформація про спосіб з'єднання елементів [4].

Така система характеризується такими елементами: елементами входу системи $y_1 \dots y_m$ (структура передачі вхідних впливів системи на сукупності

елементів); елементами керування підсистемами $u_1 \dots u_m$ (власне структура системи); елементами збурення $\lambda_1 \dots \lambda_n$; елементами виходу системи $x_1 \dots x_n$, які реалізують закон керування.

Інформатизація логістичних процесів з погляду застосування інформаційної технології (ІТ системний підхід) – це методологія побудови інформаційних технологій логістики як цілеспрямованих систем у базисах системних властивостей, системних ресурсів та структурах життєвих циклів інформаційних технологій. Нині системний підхід розвинутий щодо логістичних технологій, що характеризуються складністю задач, які розв'язуються, і необхідністю розгляду проблеми загалом.

У будь-якій логістичній технології існує два основних і різних за роллю процеси: основний процес; зворотний зв'язок, а також вхід, вихід і обмеження.

Поняття процесу є центральним поняттям системного підходу у вирішенні проблеми, що є різницею між існуючим і бажаним станом логістичної технології. Основне застосування системного підходу укладено не стільки у формальному математичному апараті, що описує «інформаційно-комунікаційну технологію», «рішення проблеми», і не в спеціальних математичних методах, а в його концептуальному, тобто понятійному, апараті, у його ідеях, підході.

Систематизація і оптимізація як складові частини впровадження основ інформатизації АТП, як і в іншій предметній галузі діяльності, вимагає системного дослідження, що включає вирішення накопичених проблем предметної області засобами комп'ютеризації, систематизації, програмування й оптимізації, тобто складниками науково-технічного прогресу в сучасних умовах. Проблеми інформатизації в цих умовах повинні розкриватися у взаємозв'язку одночасно із проблемами предметної сфери діяльності, тобто в структурі категорій [1, 2]: <наука>-<виробництво>,<теорія>-<практика>, <суб'єкт>-<об'єкт>,<причини>-<наслідки>,<частина>-<результат>,<система>-<модель>,<процес>-<метод>,<ефективність>-<якість>,<аналіз>-<синтез>,<організація>-<технологія>,<задача>-<ціле>.

Причому якщо проблеми АТП можуть бути сформульовані у вигляді деякого дерева цілей $\chi \{ \chi_j \}$, то проблеми інформатизації є потужним засобом їх досягнення, наприклад, у вигляді деяких функцій і процедур. У цьому разі реалізується пара системного підходу <цілі>-<засоби їх досягнення>.

Проблеми та задачі інформатизації АТП. Дослідимо послідовно ці задачі. Мета транспортної інфраструктури – задоволення народногосподарського комплексу відповідно автомобільними перевезеннями вантажів і пасажирів. Проблеми АТ можуть бути представлені у вигляді деякої множини $M \{ M_j \}$, що об'єднує проблеми технічного, технологічного, організаційного, економічного, соціального й інших аспектів діяльності, тобто:

$M_{jk} \{ m_{kj} : m_{jk} \in M_{jk}; j = 1, \dots, J; k = 1, \dots, K \}$, для розв'язку яких формується структура відповідних функцій і задач:

$$M_{jk} \rightarrow F_{jk} \{ f_{jk} : f_{jk} \in F_{jk}; j = 1, \dots, J; k = 1, \dots, K \},$$

$$F_{jk} \rightarrow Z_{jk} \{ z_{jk} : z_{jk} \in Z_{jk}; j = 1, \dots, J; k = 1, \dots, K \}. \quad (3)$$

Проблеми інформатизації M_{jk} умовно поділяють на зовнішні, що відносяться до розв'язку зовнішніх (екзогенних) стосовно предметної сфери задач (формування соціального замовлення на засоби комп'ютеризації; створення програмно-методичних засобів; засобів передачі, приймання, відображення інформації тощо), і внутрішні (ендогенні), що забезпечують розв'язок задач Z_j предметної сфери, тобто

$$\tilde{M}_{jk} \rightarrow \tilde{F}_{jk} \{ \tilde{f}_{jk} : \tilde{f}_{jk} \in \tilde{F}_{jk}; j = 1, \dots, J; k = 1, \dots, K \},$$

$$\tilde{F}_{jk} \rightarrow \tilde{Z}_{jk} \{ \tilde{z}_{jk} : \tilde{z}_{jk} \in \tilde{Z}_{jk}; j = 1, \dots, J; k = 1, \dots, K \}, \quad (4)$$

які включають оптимальне керування й планування виробництвом, прогнозування й програмування процесів АТ по етапах ЖЦ [5].

Проблеми в галузі інформатизації та у предметній сфері діяльності АТ відповідно до [2; 3; 5] реалізуються за формулою системного аналізу <мета суспільства> \longleftrightarrow <мета інформатизації та мета предметної області> \longleftrightarrow <властивості об'єктів інформатизації> \longleftrightarrow <функції, що забезпечують реалізацію властивостей> \longleftrightarrow <задачі, що забезпечують реалізацію функцій> \longleftrightarrow <підсистеми, що реалізують розв'язок множини задач> \longleftrightarrow <характеристики (результати) розв'язку задач>.

Таким чином, структури інформатизації можуть бути відображені у виробничих структурах предметних сфер діяльності.

Життєвий цикл інформатизації логістичної технології – цільова структура етапів перетворення ІТ, що об'єднує чотири основні етапи: наукове дослідження, проектування, створення та програмувану експлуатацію як логіко-інформаційної основи інтеграції інформаційної технології: формування ідеї, дослідження інформаційних технологій, створення інформаційно-телекомуні-

каційної технології, експлуатації, зняття з експлуатації [6].

Можливо було б розглядати багато різноманітних проблем із різних сфер діяльності; зупинимося на одній із науково-технічних: <підвищення ефективності процесів та якості результатів>.

Системний підхід до управління життєвим циклом логістичної технології як складної системи містить у собі два основних етапи: етап зовнішній та етап внутрішній.

Перший етап включає вибір функцій, структуру інформаційно-комунікаційної технології і її складу, а також визначення системних характеристик і принципів функціонування підсистем, причому основними питаннями першого етапу є:

- розроблення системи критеріїв (якості функціонування й оцінки варіантів логістичних процесів);
- побудова архітектури (складу) інформаційно-комунікаційної технології логістики АТП;
- дослідження реалізованих алгоритмів керування для прийнятої системи критеріїв;
- формалізація процесів функціонування логістики АТП;
- розроблення математичної моделі інформаційно-комунікаційної технології логістики АТП;
- синтез і дослідження оптимальних режимів функціонування інформаційно-комунікаційної технології.

Другий етап виключає вибір і проектування компонентів логістичної технології, тобто її підсистем і агрегатів. Основне завдання другого етапу полягає в розробленні проектних рішень, пов'язаних із технічною реалізацією інформаційно-комунікаційної технології логістики АТП, оптимізацією характеристик, параметрів інформаційно-комунікаційної технології, на основі прийнятої математичної моделі, що задовольняє критеріям якості.

Під час застосування *логіко-дедуктивного методу*, описаного в [1; 6], проектування інформаційно-комунікаційної технології розглядається як деякий процес послідовної побудови проектних рішень $R_i \in R$, в якому із рішення R_k попередньої задачі S_k формулюється обмеження S_{k+1} , або початкова інформація A_{k+1} у процедурі розв'язання T_{k+1} наступного етапу.

У дедуктивному методі кожне з проміжних рішень R_k^l задачі S_k є розгалуженим деревом варіантів відносно задач $S_l, l > k$, що розв'язуються на наступному етапі.

Еволюційно логістичну технології аналогічну системі [3] можна виразити таким чином:

$$\Sigma = \left(E, (\omega_\alpha)_{\alpha \in A}, (Z_\tau(s))_{s \in S, \tau \in T}, (f_{\alpha\tau})_{\alpha \in A, \tau \in T}, (\chi_{\alpha\tau})_{\alpha \in A, \tau \in T}, (J_{\alpha\tau})_{\alpha \in A, \tau \in T}, \chi, J \right), \quad (5)$$

де E – множина елементів; (ω_α) – сімейство структур, що реалізуються в Σ ; $(Z_\tau(s))$ – сімейство просторів сигналів; $(f_{\alpha\tau})$ – сімейство операторів елементів системи E ; $\chi_{\alpha\tau}, \chi$ – простори цілей; $J_{\alpha\tau}, J$ – цільові функції.

У подальшому ЖЦ інформаційно-комунікаційної технології виконується по схемі системного підходу (структуризація, формалізація, цілеорієнтація) з метою одержання результатів відповідно до переліку математичних моделей будови, функціонування та еволюції.

Комплекс засобів підтримки інформаційно-комунікаційної технології логістики АТП складається із сукупності засобів методичного, організаційного, інформаційного, програмного й технічного забезпечень відповідно до [5]. Різні види забезпечень інформаційно-комунікаційної технології логістики АТП взаємозв'язані, і задачу багатопланової оптимізації можна звести до однопланової за рахунок їх ранжування та впорядкування, а також взаємозв'язного відображення. Застосовуючи системну модель до різних видів забезпечень інформаційно-комунікаційної технології логістики АТП, її можна упорядкувати в таку логічну послідовність (рис. 1):

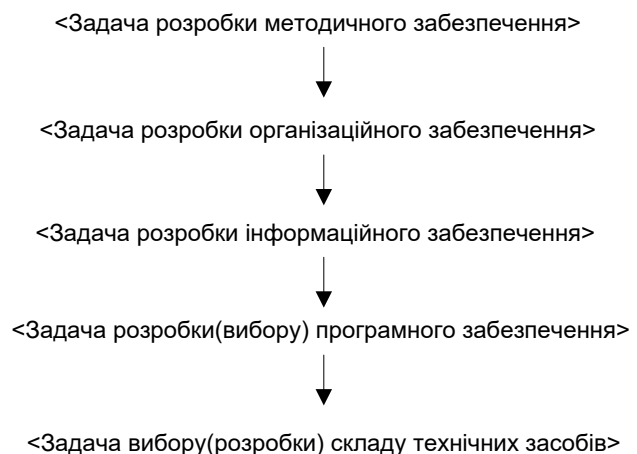


Рис. 1. Логічна послідовність інформаційно-комунікаційної технології логістики АТП

Формальна постановка задач вибору забезпечень є підґрунтям для автоматизації процесу логістичних операцій. Вважається, що задано таке:

а) Архітектура виду забезпечення, що є система $\Sigma = (A, \omega)$, де ω – структура виду, що характеризується парою $(\phi, \psi) \in \omega$, де $\phi: A \rightarrow B(N)$, $\psi: A \rightarrow B(N)$.

Позначимо:

$U = (a \in A\phi(a)) / (a \in A\psi(a))$ – вхід системи (інформаційно-комунікаційної технології);

$S = (a \in A\phi(a))(a \in A\psi(a))$ – множина зв'язків (інформаційно-комунікаційної технології);

$U = (a \in A\psi(a)) / (a \in A\phi(a))$ – вихід системи (інформаційно-комунікаційної технології),

причому $V = S / (U \cup W)$. Будемо також вважати, що $W = \{\omega_0\}$.

б) Сукупність E елементів виду забезпечення та відповідність $H : E \rightarrow A$, що визначає для кожного елементу $e \in E$ його місце $H(e)$ в структурі виду забезпечення. Вважаємо, що H сюр'єкція – множина E елементів створює «повне покриття» архітектури виду забезпечення.

в) Сімейство $(\lambda_e)_{e \in E}$ відображень $\lambda_e : R_{+Card(\phi(H(e)))} \rightarrow R_{+Card(\psi(H(e)))}$, що визначають для кожного $e \in E$ та інформаційного вектору

$\bar{\mu} = (\bar{\mu}(\zeta)), \zeta \in \phi(H(e))$ на вході $\phi(H(e))$ елемента e інформаційний вектор $\lambda_e(\bar{\mu})$ на вході $\psi(H(e))$ елемента e .

Висновки. Узагальнення досвіду проектування складних систем дало можливість комплексно представити управління життєвим циклом інформатизації логістичних процесів. Тепер задачі побудови інформаційно-комунікаційних технологій логістики АТП можуть бути забезпечені потужним арсеналом системних методів досліджень, у яких закладено потенціал аналітичної підтримки представлення та розв'язання слабкоструктурованих задач.

Комплексна автоматизація процесів функціонування АТП з погляду обслуговуючої системи та системи, що обслуговує, метод координації формування управлінських рішень у дворівневій системі організації управління АТП дають змогу створити раціональну технологію моніторингу організації перевезень. Запропонований підхід за більш детального дослідження в подальшому дасть можливість підвищити ефективність розроблення всіх видів забезпечення для ефективності управління життєвим циклом інформатизації логістичних процесів.

Список літератури:

1. Тимченко А.А. Основи системного проектування та системного аналізу складних об'єктів: Підручник / За ред. В.І. Бикова. Київ: Либідь, 2000. 272 с.
2. Підгорний М.В. Інформатизація виробничих процесів транспортної інфраструктури. *Вісник Черкаського державного-технологічного університету*. Черкаси, 2014. № 1. С. 14–20.
3. Тимченко А.А. Підгорний М.В. Мельник В.П. Бойко В.В. Проектування систем моніторингу транспортування небезпечних вантажів. *Автоматика – 2017*: зб. тез доп. XXIV міжнар. конф. з автоматичного управління, м. Київ, 13–15 вересня 2017 р. Київ, 2017. С. 190–191.
4. Підгорний М.В. Впровадження системних досліджень в логістичні процеси. *Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців*: наукові праці міжнародної науково-практичної конференції, м. Харків, 19–20 жовтня 2017 р. Харків, 2017. С. 38–41.
5. Підгорний М.В. Веретюк С.М. Системний підхід до управління життєвим циклом інформаційно-комунікаційної технології. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава, 2021. Вип. 1(63) С. 100–103.
6. Підгорний М.В., Лукянченко О.Ю. Системне проектування логістичних ланцюгів постачань. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. Харків, 2016. Вип. 74. С. 12–16.

Pidhornyy M.V., Lukianchenko O.Yu. INFORMATIZATION OF LOGISTIC PROCESSES AS A COMPLEX TASK OF PROGRAMMING A LIFE CYCLE OF THE MOTOR TRANSPORT ENTERPRISE

Expounded a new approach in the study of logic-dynamic systems. Main directions of informatization processes of production and transport management are described in the article. The efficiency of solving of complex operational and communication tasks of the motor-car transport is shown at this stage of society informatization. The principles of objects and the process of transport systems informatization are set forth and the requirements regarding the criteria of efficiency and quality of complex service information (expert) and served (production) systems are formed. Powered generalized system model as an effective tool for solving complex problems of planning and management. The basic questions of gnosiology of system researches are exposed. The results of research of processes of automation of the modern informative systems are considered. New approach is expounded in research of the logical-dynamic systems from position of theory of reflection. The generalized system model as effective mean of decision of intricate problems of planning and management is resulted. The basis of the strategic course of any transport company, its basic principle should be the implementation of project and program activities aimed at introducing innovative model of development,

structural adjustment and growth of economic potential. Improving the efficiency of road transport requires a significant amount solve scientific and applied problems that involve, first, improving management in enterprises of transport. One way to solve the problem of rational quality and efficiency of logistics services transport cargo and transport services is its systematic review and optimization of the main factors of the system based on the development and effective implementation of organizational, methodological, technical and information management tools.

Key words: *transport infrastructure, information technology, logical and dynamic systems, system efficiency.*

Прокудін Г.С.

Національний транспортний університет

Єрко Я.В.

Національний транспортний університет

Редіч Ю.А.

Національний транспортний університет

РОЗВ'ЯЗАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ ПРО НАЙКОРОТШИЙ ШЛЯХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Транспортно-дорожній комплекс України являє собою складну організаційно-технічну систему, яка вимагає нових підходів до оптимізації міжнародними вантажними перевезеннями. Підвищення ефективності перевезень вантажів у міжнародному сполученні можливе за рахунок розроблення і впровадження моделей, методів та програмного забезпечення процесу раціональної організації й оптимізації маршрутів міжнародних вантажних перевезень. Процедура знаходження оптимальних планів перевезень вантажів на транспортних маршрутах дає змогу з усіх існуючих варіантів перевезення вантажів вибрати найбільш дешеві за двома режимами оптимізації перевезення вантажів – або за критерієм вартості, або за критерієм часу. Використання в процесі знаходження оптимального плану маршрутів міжнародних вантажних перевезень дає змогу значною мірою підвищити якість рішень, які приймаються.

Для розв'язання транспортної задачі про найкоротший шлях на мережі як задачі про вантажопотоки у мережах запропоновано використання матрично-мережевої моделі вантажних перевезень з використанням сучасних інформаційних технологій. Більшість оптимізаційних задач на мережах – це задачі про потоки у мережах (network flow problems). Для мережевих задач оптимізації фундаментальним є принцип збереження потоку в будь-якому вузлі, а саме сума потоків на виході вузла дорівнює сумі потоків на його вході плюс потенціал вузла (+ пропозиція / – попит). Класичними задачами на графах є задачі про побудову найкоротших шляхів та їх сукупностей у вигляді відповідних дерев чи контурів. Однією з таких задач є пошук найкоротшого шляху між двома заданими вузлами: джерелом і стоком. Об'єктами потоків у практичних задачах виступають вантажі, газ, пасажирів, транспортні засоби, сигнали зв'язку, рідини тощо. Для обчислення потоку у вузлах використовується функція обчислення суми величин, координати яких задовольняють визначеній умові (тобто якщо певні величини належать відповідній множині). В Excel таку процедуру виконує функція СУММЕСЛИ (аргументи). Це дає можливість автоматизувати задачі про вибір найкоротшого шляху на мережі, особливо у міжнародних перевезеннях.

Ключові слова: міжнародні вантажні перевезення, найкоротший шлях, задачі про вантажопотоки, Excel-програми.

Постановка проблеми. Світова транспортна система зараз переживає процес глибоких, фундаментальних змін. Одержано інтенсивні імпульси для розвитку процесів створення єдиного торгового ринку на різних континентах, істотно спрощено процедуру перетинання кордонів. Підвищення ефективності міжнародних перевезень насамперед пов'язано з вирішенням задач про найкоротший шлях на мережі. Для вирішення задач оптимізації рекомендується використання матричних або мережевих моделей транспортних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз матричної моделі представлення вантажних перевезень дав змогу зробити такі висновки: вантажні перевезення і заснована на них транспортна задача є частковим випадком загальної задачі лінійного програмування; у підході, заснованому на лінійному програмуванні, кожна досліджувана система розглядається як сукупність декількох елементарних операцій, названих технологічними процесами. На початковому етапі до неї подаються матеріальні ресурси (машини, люди, сировина, устаткування), а результатом є

продукти чи послуги промислового або іншого виробництва; зведення вантажних перевезень до системи лінійних рівнянь і далі до матричного представлення припускає використовувати до їх оптимізації стандартні матричні методи [1].

Для зазначеного класу транспортних задач (ТЗ) розроблені досить досконалі методи їх розв'язання (Дейкстра, Канторович, Кожин, Бідняк, Воркут, Четверухін) [1, с. 47; 2, с. 308; 3, с. 236; 4, с. 144]. Але досить вагомим недоліком матричних методів оптимізації рішення ТЗ є те, що вони спроможні дати оптимальний план перевезень лише на транспортній мережі (ТМ) з орієнтованими графами.

Мережева модель представлення вантажних перевезень є більш наочною і природною порівняно з матричною моделлю, але існуючі методи оптимізації перевезень вантажів на цієї моделі є досить складними і важко піддаються формалізації. Оптимізація перевезень на транспортній мережі за допомогою методу потенціалів дозволяє розв'язати лише транспортні завдання невеликої розмірності, а сама процедура одержання кінцевого результату – оптимального плану перевезень вантажу безпосередньо на транспортній мережі – є досить громіздкою і слабо формалізованою [2, с. 308].

Описана у роботі матрично-мережева модель перевезень вантажів дозволяє отримати нові результати з розв'язання проблеми оптимізації вантажопотоків на транспортних мережах за рахунок широкого застосування методів і алгоритмів обчислювальної математики, сучасних інформаційних технологій і розв'язання транспортних завдань різної розмірності і конфігурації.

Класичними задачами на графах є задачі про побудову найкоротших шляхів та їх сукупностей у вигляді відповідних дерев чи контурів. Однією з таких задач є пошук найкоротшого шляху між двома заданими вузлами: s (джерелом) і t (стоком). Більшість оптимізаційних задач на мережах – це задачі про потоки у мережах (network flow problems). Для мережевих задач оптимізації фундаментальним є принцип збереження потоку в будь-якому вузлі, а саме сума потоків на виході вузла дорівнює сумі потоків на його вході плюс потенціал вузла (+ пропозиція / – попит). Класичними задачами на графах є задачі про побудову найкоротших шляхів та їх сукупностей у вигляді відповідних дерев чи контурів. Однією з таких задач є пошук найкоротшого шляху між двома заданими вузлами: джерелом і стоком. Об'єктами потоків у практичних задачах виступають вантажі, газ, пасажери, транспортні засоби, сигнали зв'язку, рідини тощо [3, с. 236].

Постановка завдання. Мета і завдання роботи – автоматизувати задачі про вибір найкоротшого шляху на мережі, особливо у міжнародних перевезеннях.

Виклад основного матеріалу. Більшість оптимізаційних задач на мережах – це задачі про потоки у мережах (network flow problems). Для мережевих задач оптимізації фундаментальним є принцип збереження потоку в будь-якому вузлі, а саме сума потоків $F_{\text{вих}}(x)$ на виході вузла дорівнює сумі потоків на його вході $F_{\text{вх}}(x) +$ потенціал $p(x)$ вузла (+ пропозиція / – попит) [3, с. 241].

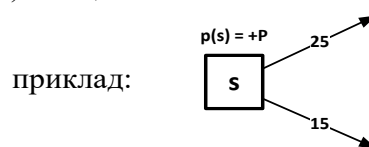
Орієнтований граф називають мережею (network), де визначається:

- вузол-джерело, що має тільки вихідні дуги (позначається буквою s , від source – джерело);
- вузол-стік, що має тільки вхідні дуги (позначається буквою t , від terminal – кінцевий пункт);
- всі інші вузли – проміжні (транзитні), з'єднані між собою дугами, серед яких є і вхідні, і вихідні дуги.

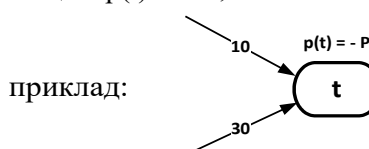
Орієнтовані дуги у мережі позначаються стрілками, неорієнтована дуга замінюється двома назустріч спрямованими стрілками. Дуга зі стрілкою і певним значенням відповідного параметру (це може бути пропускна здатність транспортної комунікації, відстань між парою вузлів, вартість або час перевезення тощо) визначає універсальне поняття – потік (flow), що рухається з початкового вузла дуги в кінцевий.

Більшість оптимізаційних задач на мережах – це задачі про потоки у мережах (network flow problems). Для мережевих задач оптимізації фундаментальним є принцип збереження потоку в будь-якому вузлі, а саме сума потоків $F_{\text{вих}}(x)$ на виході вузла дорівнює сумі потоків на його вході $F_{\text{вх}}(x) +$ потенціал $p(x)$ вузла (+ пропозиція / – попит), наприклад:

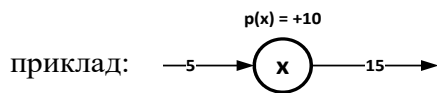
- вузол-джерело s : $F_{\text{вих}}(s) = 0 + p(s) = P$, де: P – величина загального потоку по сітці; потенціал $p(s) = +P$;



- вузол-стік t : $F_{\text{вих}}(t) = P + p(t) = 0$, тому що потенціал $p(t) = -P$;



– проміжний вузол x : $F_{\text{вих}}(x) = F_{\text{вх}}(x) \pm p(x)$



Потік у кожному вузлі мережі – це функція, що задовольняє лінійним рівнянням і нерівностям, де кожній дузі (x_i, x_j) мережі поставлено у відповідність одне чи кілька позитивних чисел. Наприклад, величина $C(x_i, x_j)$ в задачі про максимальний потік є пропускну здатністю дуги (максимальна кількість продукту, що може бути доставлена з вузла x_i у вузол x_j по цій дузі за одиницю часу), в транспортній задачі – це або відстань, або час перевезення, або вартість перевезення одиниці вантажу по цієї дузі. Отже величина потоку по дузі (x_i, x_j) не перевищує пропускну здатності цієї дуги $C(x_i, x_j)$, якщо вона задана.

Класичними задачами на графах є задачі про побудову найкоротших шляхів та їх сукупностей у вигляді відповідних дерев чи контурів. Однією з таких задач є пошук найкоротшого шляху між

двома заданими вузлами: s (джерелом) і t (стоком) [1, с. 57].

Для прикладу використання сучасних інформаційних технологій пропонується розв’язання транспортної задачі про найкоротший шлях на мережі від вузла-джерела – м. Полтава до вузла-стоку – м. Амстердам, оскільки основна частина витрат на здійснення перевезення припадає саме на витрати на паливо (рис. 1).

Як правило, перевезення вантажів відбувається на маршруті м. Полтава (Україна) – м. Амстердам (Нідерланди) – м. Полтава (Україна) через транзитні країни, який будується на використанні електронних карт, що наведено на рис. 1.

Дослідження показали, що загальна довжина традиційного маршруту становить 2730 км.

Задана сітка у вигляді змішаного зваженого графа з 10 вузлами і 18 дугами, початкові дані мають такий вигляд у Excel-таблиці (рис. 2).

Треба визначити найкоротший шлях від вузла-джерела – м. Полтава до вузла-стоку – м. Амстердам у такій математичній постановці:



Рис. 1. Картосхема з вихідними даними для розв’язання задачі про найкоротший шлях на мережі

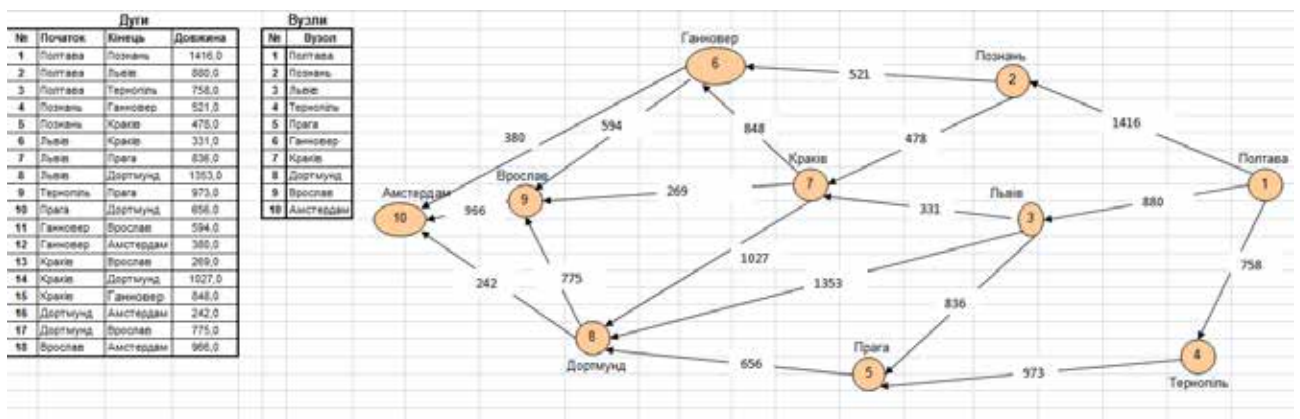


Рис. 2. Топологія сітьової транспортної задачі

– знайти вектор дуг $X = (x_1, x_2, \dots, x_{18})$, де елемент $x_i = 1$, якщо відповідна дуга належить найкоротшому шляху, і 0 у протилежному випадку; і – порядковий номер дуги ($i = 1, 2, \dots, 18$);

– щоб загальна довжина шляху $D = \sum_{i=1}^{18} d_i x_i \rightarrow \min$, де d_i – довжина i -ої дуги;

– за умови збереження балансу потоків для кожного j -го вузла ($j = 1, 2, \dots, 10$): $F_{\text{вих}}(x_j) - F_{\text{вх}}(x_j) = 0$, де $F_{\text{вих}}(x_j)$, $F_{\text{вх}}(x_j)$ – сума потоків на вході та виході кожного j -го вузла; для вузла-джерела $F_{\text{вих}}(x_1) - F_{\text{вх}}(x_1) = 1$; для вузла – стока $F_{\text{вих}}(x_{10}) - F_{\text{вх}}(x_{10}) = -1$;

– при всіх $x_i \geq 0$.

Для цього в Excel-таблиці для всіх дуг визначаємо діапазон для невідомих X (Дуга) і обчислюємо значення цільової функції за формулою – СУММПРОИЗВ (Дуга; Довжина), а для всіх вузлів обчислюємо суми вхідних (Вхід) і вихідних (Вихід) потоків, їх суму (Вихід-Вхід), задаємо колонку правих частин обмежень (Обмеження).

Для обчислення потоку у вузлах використовується функція обчислення суми величин, координати яких задовольняють визначеній умові (тобто якщо певні величини належать відповідній множині). В Excel таку процедуру виконує функція СУММЕСЛИ (аргументи). Наприклад, сума вхідних потоків вузла визначається за формулою СУММЕСЛИ (всі кінці дуг; вузол; потоки),

тобто підсумовуються потоки по тих дугах, кінці яких збігаються з поточним вузлом. За формулою СУММЕСЛИ (всі початки дуг; вузол; потоки) підсумовуються вихідні потоки. На рис. 3 показано розв’язання поставленої задачі.

На рис. 4 показано графічне зображення отриманого результату, а саме найкоротший шлях, який зображений на транспортній мережі у вигляді стрілок.

Розв’язання задачі виконано за допомогою команди «Пошук рішення» в середовищі Excel-програми, з якого видно, що вектор $X = (1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$, а це означає, що найкоротший шлях із міста Полтава в місто Амстердам пройде послідовно через м. Київ, м. Познань, м. Ганновер і становитиме 2317 км.

Висновки. Для розв’язання транспортної задачі про найкоротший шлях на мережі як задачі про вантажопотоки у мережах запропоновано використання матрично-мережевої моделі вантажних перевезень з використанням сучасних інформаційних технологій. Класичними задачами на графах є задачі про побудову найкоротших шляхів та їх сукупностей у вигляді відповідних дерев чи контурів. Однією з таких задач є пошук найкоротшого шляху між двома заданими вузлами: джерелом і стоком. Для обчислення потоку у вузлах використовується функція обчислення суми величин, координати яких задовольняють визначеній умові (тобто якщо певні величини

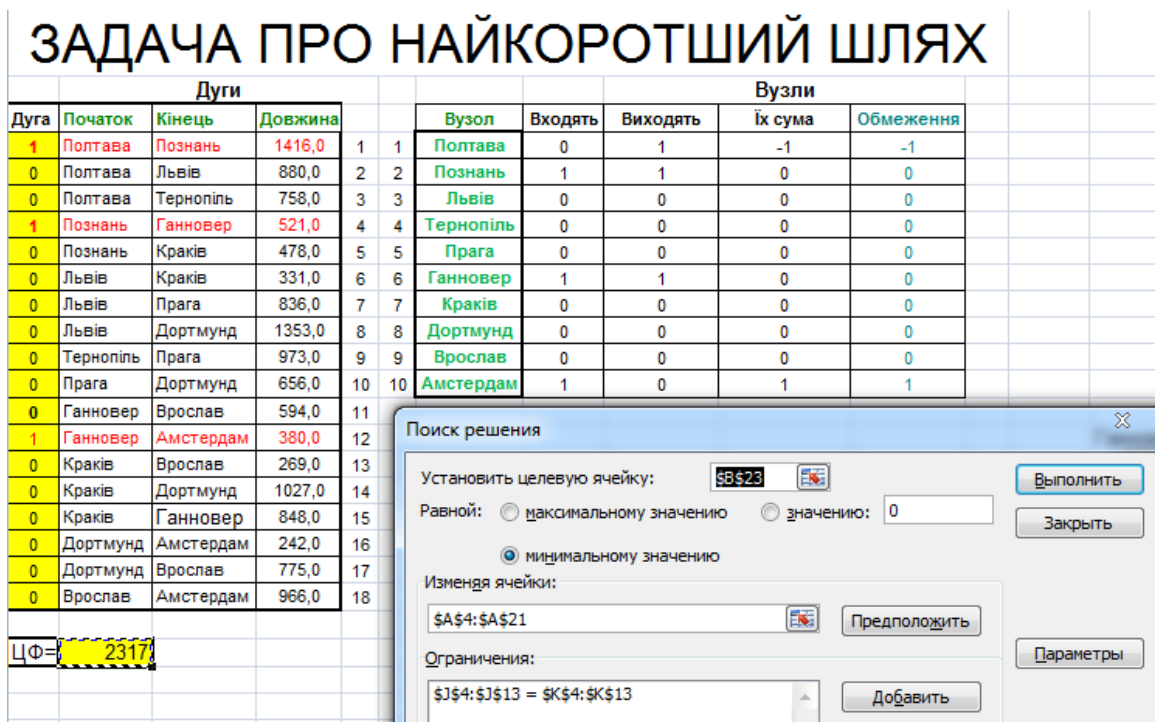


Рис. 3. Розв’язання задачі про найкоротший шлях на мережі

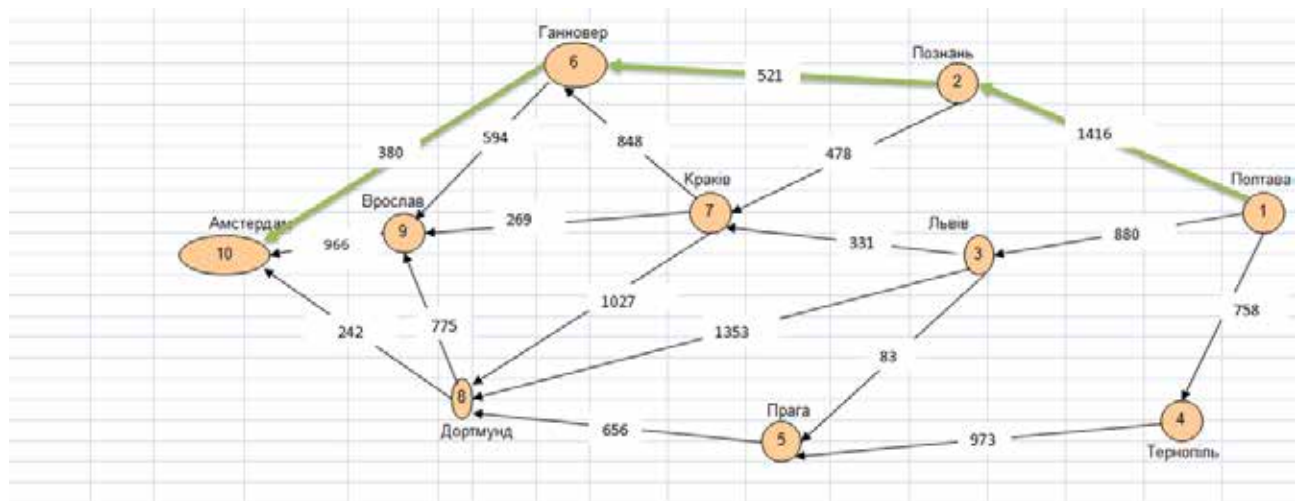


Рис. 4. Графічне зображення розв'язання задачі про найкоротший шлях на мережі

належать відповідній множині). В Excel таку процедуру виконує функція СУММЕСЛИ (аргументи). Це дає можливість автоматизувати задачі про вибір найкоротшого шляху на мережі, особливо у міжнародних перевезеннях. Проведені розрахунки показали, що запропонований варіант маршруту має найкоротший шлях 2317 км,

що більш ніж у два рази коротший від традиційного маршруту (4730 км). Використання сучасних інформаційних технологій дає можливість автоматизувати задачі про найкоротший шлях на мережі, особливо у міжнародних перевезеннях, що значно підвищить ефективність міжнародних автомобільних перевезень.

Список літератури:

1. Prokudin G. Application of Information Technologies for the Optimization of Itinerary when Delivering Cargo by Automobile Transport / O. Prokudin, O. Chupaylenko, O. Dudnik, A. Dudnik, V. Svatko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. N. 2/3 (92). P. 51–59. (ISSN 1729-3774, DOI:10.15587/1729-4061.2018.128907, <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/128907>).
2. Prokudin G. Application of Information Technologies for the Optimization of Itinerary when Delivering Cargo by Automobile Transport / O. Prokudin, O. Chupaylenko, O. Dudnik, A. Dudnik, V. Svatko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. N. 2/3 (92). P. 51–59. (ISSN 1729-3774, DOI:10.15587/1729-4061.2018.128907, <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/128907>).
3. Prokudin G. Logistics Approach to the Organization of Unbalanced Freight Transportation in Transport Networks / G. Prokudin, O. Chupaylenko, I. Lebid, N. Luzhanska // Proceedings of 24th International Scientific Conference. Transport Means 2020. Sustainability: Research and Solutions. PART I. September 30 – October 02, 2020 Online Conference – Kaunas, Lithuania. P. 22–26.

Prokudin G.S., Yerko Ya.V., Redich Yu.A. SOLVING THE TRANSPORT PROBLEM OF THE SHORTEST PATH USING INFORMATION TECHNOLOGY

An analysis of the functioning of the transport and road complex of Ukraine, which is a complex organizational and technical system that requires new approaches to optimization of international freight. The relevance of research in this direction is determined by the need to increase the efficiency of international cargo transportation through the development and implementation of models, methods and software for the process of rational organization and optimization of international freight routes. The procedure of finding the optimal plans of cargo transportation on TM allows from all existing options of cargo transportation to choose the cheapest on two modes of optimization of cargo transportation – either on the criterion of cost, or on the criterion of time. The use of international freight routes in the process of finding the optimal plan allows to significantly improve the quality of decisions made.

To solve the transport problem of the shortest path on the network as a problem of freight flows in networks, it is proposed to use a matrix-network model of freight transportation using modern information technologies. Most network optimization problems are network flow problems. For network optimization problems, the principle of preserving the flow in any node is fundamental, namely, the sum of flows at the output of the node is equal to the sum of flows at its input plus the potential of the node (+ supply / – demand). The classic

problems on graphs are the problems of constructing the shortest paths and their aggregates in the form of corresponding trees or contours. One such task is to find the shortest path between two given nodes: source and drain. The objects of flows in practical problems are cargo, gas, passengers, vehicles, communication signals, liquids, and so on. To calculate the flow in the nodes, the function of calculating the sum of quantities whose coordinates satisfy a certain condition (ie, if certain quantities belong to the corresponding set) is used. In Excel, this procedure is performed by the function SUMMES (arguments). This makes it possible to automate the task of choosing the shortest path on the network, especially in international traffic.

Key words: *International Freight Transportation, Shortest Way, Problems About Freight Flows, Excel-Programs.*

Прокудін Г.С.

Національно транспортний університет

Редіч Ю.А.

Національно транспортний університет

Єрко Я.В.

Національно транспортний університет

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ МІЖНАРОДНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ

У статті окреслено роль вантажного транспорту у перевезенні вантажів, визначена послідовність транспортування вантажів та логістичні посередники. Транспорт є загальною умовою виробництва продукції, впливає на масштаби суспільного виробництва і його швидкість. При цьому транспорт, який переміщує засоби праці і робітників усередині підприємств, розглядається як внутрішньовиробничий, а між країнами, районами і підприємствами – як транспорт сфери обігу.

Проведено аналіз стану речей і визначено основні тенденції сучасного ринку перевезень соняшникової олії, виявлені особливості організації логістичного ланцюга та їх характеристики.

Рослинна олія має характеристики наливного вантажу, для його транспортування використовуються два способи – фасований і наливний.

Автор у статті аналізує 3 типи автотранспорту для перевезення продукції наливним способом.

З метою розширення транспортних можливостей під час експортних постачань продукції та розширення можливості транспортування вантажів у контейнерах запропоновано використовувати інноваційну упаковку – флекситанки. У такому разі товаровиробники зможуть не тільки знизити логістичні витрати, а й диференціювати вантажопотоки за видами використовуваного автотранспорту, що особливо актуально в період сезонних підвищень цін на перевезення.

Автор доходить висновку, що розвиток транспортної та логістичної інфраструктури дасть змогу максимально реалізувати транзитний потенціал регіону як у межах регіональної торгівлі, так і в межах транспортних коридорів, збільшити створювану додану вартість під час надання транспортно-логістичних послуг.

Виконання цих заходів дасть змогу поміняти структуру експортних відвантажень масел і отримати конкурентні переваги як всередині країни, так і за її межами.

Ключові слова: *перевезення вантажів, ефективність, надійність, маршрут руху, логістична система.*

Постановка проблеми. Подолання перманентної кризи, властивої агропромислому комплексу протягом останніх двадцяти років, є одним із пріоритетних завдань державних і регіональних органів влади. Водночас стійке зростання АПК і розвиток ефективних ринків продовольчих товарів є необхідними факторами соціально-політичної стабільності в умовах глобалізації економіки, посилення конкуренції, вступу України в різні міждержавні політичні та торгові альянси і союзи.

Вирішення накопичених проблем в АПК вимагає системного і комплексного підходу, включаючи заходи економічної, соціальної, екологічної,

науково-технічної та інших політик держави. Поряд із традиційними методами і засобами виведення АПК з кризи підвищується роль і значення нових для вітчизняної економіки інструментів господарювання; включаючи маркетинг і логістику.

Логістика як наука і практика управління матеріальними і пов'язаними з ними потоками фінансових ресурсів та інформації стає все більш затребуваною в галузях АПК. Зрозуміло, що особливо актуалізується необхідність використання інструментарію логістики в процесі матеріально-технічного забезпечення сільськогосподарського виробництва і збуту сільськогосподарської про-

дукції, тобто у сфері звернення АПК. Організація ресурсного забезпечення сільгоспвиробників та просування їхньої продукції на ринок на засадах логістики дає значний економічний, соціальний та екологічний ефект.

Ефективність логістизації сфери обігу АПК тим вища, чим послідовніше і глибше системний підхід проникає в усі ланки логістичного ланцюга руху товарів. При цьому успішно можуть бути використані теоретико-методологічні основи логістики, в розроблення яких значний внесок зробили Б.А. Анікін, Н.В. Афанасьєва, Є.А. Голіков, М.П. Гордон, Є.Т. Гребньов, М.Є. Залманова, Є.К. Івакін, С.Б. Карнаухов, Л.Б. Міротін, Д.Т. Новіков, В.С. Платонов, О.Д. Проценко, В.Н. Стаханов, Д.Д. Костоглодов, А.І. Семененко, М.А. Чернишов, В.В. Щербаков та інші вітчизняні вчені.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження організації підвищення ефективності організації міжнародних вантажних перевезень соняшникової олії.

Виклад основного матеріалу. Транспорт – це галузь матеріального виробництва, яка здійснює перевезення вантажів і людей [1]. Транспорт – це галузь народного господарства, яка обслуговує різні види і ділянки перевезень і має в своєму розпорядженні всі види перевізних засобів. Транспорт – це галузь економіки, господарства, яка здійснює перевезення пасажирів і вантажів. У Кембриджському словнику англійської мови йдеться про те, що транспорт – це переміщення товарів або людей з одного місця в інше [5].

Транспорт є загальною умовою виробництва продукції, впливає на масштаби суспільного виробництва і його швидкість. При цьому транспорт, який переміщує засоби праці і робітників всередині підприємств, розглядається як внутрішньовиробничий, а між країнами, районами і підприємствами – як транспорт сфери обігу.

Вибір способу транспортування вантажів являє собою одне з важливих завдань, які вирішують вантажовласники. При цьому альтернативні варіанти способу транспортування володіють трьома самостійними, але взаємопов'язаними напрямками, такими як вибір одного або декількох видів транспорту, вибір певних транспортних засобів виду або видів транспорту, вибір перевізника, який доставляє вантаж. Загалом вибір способу транспортування вантажів піддається впливу низки об'єктивних і суб'єктивних факторів, які можна звести до кількох основних. Крім того, в останні роки поступово зростає важливість системи управ-

ління транспортом [6]. Розвиток транспортної логістики ґрунтується на поєднанні економічних інтересів відправника, транспортного підприємства та одержувача, за яких рухомий склад виробників, споживачів і транспортників використовується кооперовано.

Основною олійною культурою, що вирощується в Україні, є соняшник, він займає 68% посівної площі та 83% валового збору. В Україні з насіння соняшнику виробляється приблизно дві третини всієї рослинної олії. Соняшникова олія має важливе народногосподарське значення. Виробництво соняшникової олії є однією з найважливіших продовольчих і економічних складових частин агропромислового комплексу в Україні. Щороку збільшуються обсяги її виробництва та експорту. Олійно-жирова галузь є важливою, оскільки є стабільним джерелом валютних надходжень для України. Взагалі виробництво олії є однією з найбільших галузей народного господарства України.

Відмітна особливість рослинного масла в тому, що воно має схильність до швидкого окислення, вбирає запахи ззовні. Тара, яка використовується для транспортування, повинна відповідати санітарним і екологічним стандартам. Таким чином продукт не втратить первинних властивостей.

Рослинна олія має характеристики наливного вантажу, для його транспортування використовуються два способи – фасований і наливний.

Для перевезення продукції наливним способом використовуються 3 типи автотранспорту [3].

Ізотермічна цистерна для перевезення рослинного масла

Автоцистерна дає змогу максимально зберегти якість масла, не допускає попадання світла, сторонніх запахів. Цистерна, виготовлена з низьколегованої сталі з прокладками з харчової гуми, має різну вантажопідйомність і паропідігрівальну сорочку. Оснащена системою для швидкого завантаження і зливу продукції. Має герметичні щільно закриті люки, які не допускають розгерметизації. У цистернах встановлена система самоочищення, що дозволяє добре очищати їх після розвантаження [5].

Перевезення рослинної олії в танк-контейнерах

Танк-контейнер – свого роду гібрид цистерни і контейнера, що володіє такими перевагами:

- має контейнерні фітінги, що роблять штабелювання і перевалку швидкими і зручними;
- решетування в стандартизованих габаритах;
- герметичний, не пропускає сторонні запахи, сонячні промені;

- міцний, місткий, має гарну термоізоляцію;
- система вивантаження виключає втрати рідкого вантажу [1].

Танк-контейнер підходить для перевезення рідкого вантажу на далекі відстані

Олія, призначена для розливу в цистерни, має зберігатися в закритих баках. Вона наливається в цистерну за допомогою спеціального трубопроводу, який доходить до дна цистерни. Для перекачування продукції використовуються комунікації, призначені тільки для даного виду олії.

Якщо продукція завантажується в транспорт у бочках або іншій тарі, необхідно враховувати кількість ярусів, дозволена для транспортування. Тара закріплюється таким чином, щоб ємності не стикалися одна з одною, не падали. Разом з олією не можна завантажувати в машину продукцію, здатну її забруднити.

Перед тим як почнеться навантаження, цистерна, шланг, трубопровід і насос ретельно очищаються і дезінфікуються.

До кожного типу машини, використовуваної для перевезення вантажу, висувається низка вимог, що дозволяє зберегти властивості продукту, який транспортується. Якщо товар перевозиться у пляшках, то підбирається автомобіль з тентованим кузовом. Таким чином продукт надійно захищається від впливу світла, сонячних променів. Якщо використовується цистерна, то вона повинна бути герметичною для виключення стороннього запаху [3].

Максимальний термін транспортування продукції становить 1 місяць, тому важливо правильно прокласти маршрут. Водій повинен враховувати стан дорожнього полотна, уникати трясіння, оскільки це призводить до утворення осаду на дні.

Цистерни, виконані з нержавіючої сталі, мають різну вантажопідйомність. Завдяки спеціальному покриттю товщиною 10–15 см цистерна володіє надійною термоізоляцією. Рекомендується заповнювати цистерну на 85%.

Автомобіль із тентом відрізняється великою вантажопідйомністю, дає змогу зробити навантаження і розвантаження максимально швидким. Бортовий автомобіль маневренний, легко проходить по дорогах із низькою якістю покриття.

Транспортування продукції проводиться згідно з вимогами, встановленими ДСТУ. Обов'язкове опломбування кузова, контроль герметизації, температурного режиму. Продукція, підготовлена до навантаження, має температуру + 10 градусів, під час транспортування +12.

Вартість вантажоперевезення соняшникової олії розраховується для кожного маршруту і складається з виду транспорту, тоннажу, обсягу вантажу.

З метою розширення транспортних можливостей під час експортних поставок продукції та розширення можливості транспортування вантажів у контейнерах ми пропонуємо використовувати інноваційну упаковку – флекситанки. У такому разі товаровиробники зможуть не тільки знизити логістичні витрати, а й диференціювати вантажопотоки за видами використовуваного автотранспорту, що особливо актуально в період сезонних підвищень цін на перевезення. З іншого боку, здешевлення собівартості за рахунок оптимізації логістичного ланцюжка є конкурентною перевагою вітчизняних товаровиробників на міжнародних ринках олійно-жирової продукції. І третє – впровадження флекситанків є інновацією у сфері складування та подальшого транспортування вантажів до кінцевого споживача, що дає змогу не тільки знизити витрати логістики, а й зберегти якість пропонованої продукції, а також мінімізувати природні втрати вантажу під час транспортування [5].

Флекситанк являє собою еластичну, багат шарову герметичну ємність об'ємом від 10 до 24 тис. л. Резервуар заповнюється рослинним маслом за допомогою електричного насоса, середній час завантаження – 20–40 хвилин.

Використання флекситанків дає змогу істотно знизити собівартість перевезення вантажів завдяки високій ефективності використання контейнера, збільшує швидкість навантаження і вивантаження. Флекситанки широко використовуються в Україні для експорту соняшникової олії.

Флекситанк надійно захищає рідину від забруднень, виключає перепади температур, має одноразовий вкладиш, що виключає витрати на очищення і повернення тари.

Для транспортування продукції використовують:

- бочки, виконані зі сталі або поліетилену;
- високоміцні поліетиленові каністри і єврокуби;
- пляшки з пластику невеликої місткості [4].

Тара, в якій здійснюється транспортування, повинна бути сухою, чистою, не мати сторонніх запахів. Споживча тара повинна мати чітке маркування по ТР ТЗ 022/2011, що містить необхідні відомості про продукцію.

Висновки. Олійно-жирова галузь України – це лідер поставок олії на світовому ринку. Нарощування експортного потенціалу відбувається за рахунок зростання ефективності виробництва та якості

продукції, застосування сучасних технологій вирощування і переробки олійних культур. Соняшникова олія є основною для українського ринку рослинних олій, важливою сировиною для багатьох секторів харчової промисловості. Спостерігається тенденція нарощування виробничих потужностей для переробки насіння олійних культур. З великою вірогідністю підприємства орієнтуються на переробку не тільки соняшникової олії, але й іншого насіння олійних культур, таких як соя і ріпак.

Розвиток транспортної та логістичної інфраструктури дасть змогу максимально реалізувати транзитний потенціал регіону як у межах регіональної торгівлі, так і в межах транспортних коридорів, збільшити створювану додану вартість під час надання транспортно-логістичних послуг.

Виконання цих заходів дасть змогу помінати структуру експортних відвантажень масел і отримати конкурентні переваги як всередині країни, так і за її межами.

Список літератури:

1. Альбеков А.У., Федько В.П., Митько О.А. Логистика коммерции. Серия «Учебники, учебные пособия». – Ростов-на-Дону: Феникс, 2001. – 347 с.
2. Афанасьев Л.Л. и др. Единая транспортная система и автомобильные перевозки. Учебник для студентов вузов. М.: Транспорт, 1998. – 333 с.
3. Бауэрсокс Д., Д. Клосс. Логистика. Интегрированная цепь поставок. – М.: Олимп-Бизнес, 2006. – 215 с.
4. Кузнецов М. Транспортно-логистическое взаимодействие стран в контексте мировой торговли / М. Кузнецов, А. Борисов, Д. Тихонов // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. – 2014. – № 1. – С. 58–74
5. Майорова І.М. Інноваційні підходи розвитку логістичної інфраструктури системи міжнародної торгівлі / І.М. Майорова // Теоретичні і практичні аспекти економіки та інтелектуальної власності. – 2011. – № 1. – С. 33–38.
6. Мир после кризиса. Глобальные тенденции – 2025: меняющийся мир. Доклад НРС США [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ereading.club/book.php?book=145433>

Prokudin H.S., Redich Yu.A., Yerko Ya.V. INCREASING THE EFFICIENCY OF THE ORGANIZATION OF INTERNATIONAL FREIGHT TRANSPORTATION OF SUNFLOWER OIL

The article describes the role of cargo transport in cargo transportation, defines the sequence of cargo transportation and logistics intermediaries. Transport is a general condition for the production of products, affects the scale of social production and its speed. At the same time, transport that moves the means of Labor and workers within enterprises is considered as intra – production, and between countries, districts and enterprises-as transport of the sphere of circulation.

The analysis of the state of affairs and the main trends of the modern sunflower oil transportation market is carried out, and the features of the logistics chain organization and their characteristics are identified.

Vegetable oil has the characteristics of bulk cargo, and two methods are used to transport it – packaged and bulk.

The author in the article analyzes 3 types of vehicles for transporting products in bulk.

In order to expand transport opportunities for export deliveries of products and expand the possibility of cargo transportation in containers, it is proposed to use innovative packaging – flexitanks. In this case, producers will be able not only to reduce logistics costs, but also to differentiate cargo flows by types of vehicles used, which is especially important during seasonal increases in transportation prices.

The author comes to the conclusion that the development of transport and logistics infrastructure will maximize the transit potential of the region, both within the framework of regional trade and within transport corridors, and increase the value created in the provision of transport and logistics services.

The implementation of these measures will make it possible to change the structure of export shipments of oils and gain competitive advantages both within the country and abroad for producers.

Key words: cargo transportation, efficiency, reliability, route, logistics system.

Савченко В.М.

Поліський національний університет

Міненко С.В.

Поліський національний університет

Савченко Л.Г.

Поліський національний університет

ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЇ ТА ЕКОЛОГІЧНА ПОЛІТИКА ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ АВТОТРАНСПОРТУ

У сучасних умовах спостерігається підвищений інтерес підприємств технічного сервісу автотранспорту до введення й сертифікації системи екологічного менеджменту у відповідності зі стандартами серії ISO 14000. Важливим етапом на шляху формування системи екологічного менеджменту на підприємстві технічного сервісу автотранспорту виступає розроблення екологічної політики, яка визначає основний напрям його діяльності в екологічній сфері на довгострокову перспективу і в остаточному підсумку забезпечує досягнення намічених екологічних цілей і завдань. Мета статті полягає у розкритті основ формування екологічної політики на підприємствах технічного сервісу. У статті розглянуто особливості поняття екологічної політики, її цілі та завдання; ідентифіковано екологічні аспекти діяльності підприємства технічного автосервісу, визначено найбільш суттєві з них; сказано про роль керівництва підприємства у реалізації екологічної політики. Екологічна політика підприємства реалізується через виконання ним екологічної функції, тобто впровадження системи заходів, спрямованих на поліпшення екологічного стану навколишнього середовища. Завдяки проведенню чітко визначеної та ефективної екологічної політики підприємство якщо не максимізує, то збільшить свій прибуток.

Доведено, що розроблення ефективної екологічної політики виступає одним із перших і найбільш відповідальних етапів у створенні системи екологічного менеджменту на підприємстві технічного сервісу. Вона відіграє важливу роль у визначенні пріоритетних напрямів діяльності підприємства й повинна мати конкретні екологічні цілі й завдання. Власне екологічна політика визначає ступінь екологічної відповідальності й масштаб зобов'язань підприємства технічного сервісу щодо навколишнього середовища, згідно з якими будуть оцінюватися всі його наступні дії.

Ключові слова: екологічна безпека, навколишнє середовище, підприємство технічного сервісу, екологічні аспекти, екологічна політика.

Постановка проблеми. У сучасних умовах спостерігається підвищений інтерес підприємств технічного сервісу автотранспорту до введення й сертифікації системи екологічного менеджменту згідно зі стандартами серії ISO 14000. Це пов'язано з підвищенням екологічної свідомості громадськості й споживачів і посиленням конкуренції між підприємствами за одержання статусу «екологічно орієнтованих». Важливим етапом на шляху формування системи екологічного менеджменту на підприємстві технічного сервісу автотранспорту виступає розроблення екологічної політики, яка визначає основний напрям його діяльності в екологічній сфері на довгострокову перспективу і в остаточному підсумку забезпечує досягнення намічених екологічних цілей і завдань.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблеми, пов'язані із розробленням та впровадженням екологічної політики на підприємствах у різних галузях господарства, досліджували такі відомі закордонні та вітчизняні вчені, як О. Балацький, Т. Галушкін, А. Ендерс, Р. Єфремова, Л. Жубанова, В. Ігнатов, А. Кокін, Л. Мельник, Ю. Саталкін, Ш. Хамзіна, А. Хачапуров, В. Шевчук, І. Яремчук, М. Яцків та інші. Водночас, незважаючи на численні наукові розвідки, питання розроблення та реалізації екологічної політики на підприємствах технічного сервісу залишаються малодослідженими.

Мета статті полягає у розкритті основ формування екологічної політики на підприємствах технічного сервісу.

Виклад основного матеріалу. Екологічна політика підприємства реалізується через виконання ним екологічної функції. Так, відповідно до чинного законодавства України та ратифікованих нею міжнародних стандартів (серій ISO 9000 та ISO 14000), поняття «екологічна політика» визначається таким чином – це «загальні наміри та спрямованість підприємства стосовно своїх екологічних характеристик, офіційно проголошені найвищим керівництвом» [4]. Тобто це певна система заходів, спрямована на поліпшення екологічного стану навколишнього середовища.

Ю.В. Бабіна визначає екологічну політику підприємства як сукупність загальнодекларованих принципів і зобов'язань, пов'язаних з екологічними аспектами діяльності підприємства, що забезпечують основу для встановлення й досягнення його власних екологічних цілей і завдань [1, с. 33].

На жаль, ще значна частина керівників підприємств вважає, що розроблення та впровадження екологічної політики зменшує прибуток підприємства, оскільки потребує значних капіталовкладень (таким чином збільшуються витрати, а прибуток не досягає свого максимального рівня). Однак, на нашу думку, це хибне твердження, адже саме завдяки проведенню чітко визначеної та ефективної екологічної політики, підприємство якщо не максимізує, то збільшить свій прибуток, це точно.

В.В. Савран зауважує, що нівелювання екологічних проблем, навпаки, призводить до появи негативних екстерналій у навколишньому середовищі, а це погано впливає на функціонування самого підприємства і зменшує його прибуток. І відбувається це з таких причин:

- по-перше, збільшення викидів в атмосферу (або у навколишні водойми) підвищує рівень захворюваності працівників та їх сімей, а через це збільшуються виплати на оплату лікарняних та випуску необхідної кількості продукції або надання послуг. І якщо навіть працівник буде і надалі працювати, то в умовах несприятливої екологічної ситуації його продуктивність праці буде зменшуватись, а у довгостроковій перспективі можлива ситуація, коли нащадки цих працівників взагалі будуть не здатні до праці, і підприємству доведеться залучати трудові ресурси з інших регіонів, що призведе до збільшення витрат;

- по-друге, запровадження більш екологічного виробництва приведе до зниження ризиків аварійних ситуацій, меншого зношування основних засобів та збільшення терміну їх корисного використання;

- по-третє, буде підвищуватися якість продукції та послуг підприємства і, як наслідок, лояльність з боку споживачів буде зростати, а отже, зростатимуть і продажі (результат – збільшення виробництва, зменшення собівартості і максимізація прибутку);

- по-четверте, для іноземних інвесторів є важливим той чинник, що підприємство є соціально відповідальним і здійснює визначену екологічну політику. І тому вони більш охоче будуть вкладати гроші у таке підприємство (а ці кошти, у свою чергу, можна буде використати для модернізації та подальшого розширення виробництва) [9].

О.В. Богуславський додає, що в умовах розвитку високих технологій сучасному підприємству необхідно використовувати екологічну політику з метою демонстрації власної екологічної відповідальності й екологічної забезпеченості [9].

О.В. Барабаш, досліджуючи діяльність підприємств технічного сервісу автотранспорту, зауважив, що для того, аби обґрунтувати і розпочати реалізацію екологічної політики на підприємстві, потрібно розглянути вхідні параметри системи технологічного процесу – обсяг утворення відходів, викидів, обсяг використання води, електроенергії, газу, бензину, дизпалива тощо, а також вихідні параметри системи технологічного процесу – дотримання лімітів використання води, електроенергії, газу, бензину, дизпалива, дотримання ГДК при утворенні викидів, відходів [2, с. 72].

На основі вхідних і вихідних параметрів системи технологічного процесу О.В. Барабаш ідентифікував екологічні аспекти діяльності підприємства технічного сервісу автотранспорту і створив їх реєстр (таблиця 1).

Зважаючи на дані таблиці, виділимо чотири групи забруднювачів навколишнього природного середовища в результаті діяльності підприємства технічного сервісу автотранспорту:

- викиди шкідливих речовин відпрацьованих газів;
- потрапляння хімічних елементів у повітря внаслідок зварювальних та інших робіт;
- втрати речовин, які використовуються у виробничих процесах;
- утворення відходів;
- стічні води забруднені хімічними сполуками.

На основі визначення таких суттєвих екологічних аспектів підприємство технічного сервісу автотранспорту має розробляти свою екологічну політику, адже вона, відповідно до характеру й масштабів впливу виробничої діяльності на навко-

Екологічні аспекти діяльності підприємства технічного сервісу автотранспорту [2, с. 73]

Діяльність, процес, послуга	Аспект (умови утворення)	Вплив на навколишнє природне середовище
Заміна акумуляторних батарей	Витік сірчаної кислоти, випаровування парів сірчаної кислоти, нераціональне використання водних ресурсів	Забруднення ґрунту та водойм, забруднення повітря, виснаження водних ресурсів
Зварювання металів	Накопичення зварювального дроту, попадання забруднюючих речовин в атмосферу	Забруднення ґрунтів, накопичення твердих відходів, забруднення атмосферного повітря
Поточний ремонт двигунів, включаючи розточку, шліфування, хонінгування циліндрів двигунів та розточка колінвалів	Попадання забруднюючих речовин в атмосферу, утворення відходів	Забруднення атмосферного повітря, забруднення ґрунтів
Комплекс робіт по заміні коліс, монтажу і демонтажу шин	Накопичення відпрацьованих шин	Забруднення ґрунтів відпрацьованими шинами, нераціональне використання земельних ділянок.
Ремонт кузовів	Утворення твердих відходів, пилу металів, використання водних ресурсів	Забруднення ґрунтів метало-брухтом – потрапляння металу в ґрунт, накопичення металобрухту, забруднення повітря, виснаження водних ресурсів
Ремонт автотранспортних засобів	Утворення відходів	Забруднення ґрунтів металобрухтом та шкідливими речовинами
Технічний огляд автотранспортних засобів	Утворення відходів	Забруднення ґрунтів видатковими матеріалами
Ремонт деталей автобуса	Утворення твердих відходів, використання водних ресурсів	Забруднення ґрунтів металевою стружкою та металобрухтом, виснаження водних ресурсів
Ґрунтування та фарбування автотранспортних засобів	Утворення твердих відходів та потрапляння в повітря парів фарби, використання водних ресурсів	Забруднення повітря, забруднення ґрунту відходами від фарб, виснаження водних ресурсів
Вулканізація пошкоджених шин та камер	Утворення твердих відходів і парів клею та розігрітої гуми	Забруднення ґрунтів та повітря
Розбірні і ремонтні роботи, збирання, контроль та тест КПП, рульового управління, вузлів гальмівної системи.	Випаровування картерних газів, витік оливи та мастил, утворення твердих відходів	Забруднення атмосферного повітря, забруднення ґрунтів та водних об'єктів
Перевірка автотранспортних засобів на справність димоміром та газоаналізатором	Надмірний викид в атмосферне повітря відпрацьованих газів	Забруднення атмосферного повітря

лише середовище, визначає найважливіші екологічні аспекти діяльності підприємства технічного сервісу, а також включає цілі та зобов'язання у сфері постійного її покращення й запобігання забрудненню.

Екологічна політика підприємства технічного сервісу ґрунтується на таких принципах і зобов'язаннях [5, с. 102]:

- раціональності використання ресурсів;
- пріоритетності планованих і реалізованих дій та заходів, пов'язаних з попередженням (запобіганням) впливу на навколишнє середовище, перед заходами і й діями з мінімізації й ліквідації наслідків такого впливу;

- охорони здоров'я й безпеки персоналу підприємства автосервісу й населення;

- послідовному безперервному покращенні характеристик і показників впливу здійснюваної діяльності, продукції й послуг на навколишнє середовище й споживання ресурсів з орієнтацією на сформований на конкретному етапі науково-технічного прогресу рівень розвитку техніки й технології та стан розвитку суспільства;

- обов'язковому дотриманні вимог природоохоронного законодавства, у тому числі міжнародних угод, українського державного й місцевого законодавства, галузевих нормативних вимог, а також інших нормативних вимог, які

регламентують діяльність підприємств технічного сервісу;

- прийнятті й реалізації будь-яких управлінсько-виробничих рішень із урахуванням екологічних аспектів майбутньої діяльності, виробленої продукції й надаваних послуг;

- послідовному залученні й мотивації (підвищення кваліфікації, заохочення, відповідальність) усього персоналу до природоохоронної діяльності;

- інформуванні й підтримці відкритого діалогу з усіма зацікавленими в екологічних аспектах діяльності підприємства технічного сервісу й результатах оцінки його впливу на навколишнє середовище;

- розумінні пріоритетності системного екологічного управління у сфері природоохоронної діяльності й прагнення до послідовного впровадження міжнародних стандартів з менеджменту.

Ю.О. Ніколаєв називає основні цілі екологічної політики підприємства технічного сервісу [7, с. 140]:

- досягнення рівня екологічної безпеки, що відповідає показникам кращих підприємств;

- підвищення екологічної безпеки підприємства, зниження впливу на навколишнє середовище за рахунок підвищення надійності, забезпечення безпечної й безаварійної роботи технологічного устаткування;

- запобігання й мінімізація кількості й токсичності викидів, скидів забруднюючих речовин і відходів при збільшенні обсягів виробництва за рахунок впровадження нових технологій, устаткування, матеріалів і підвищення рівня автоматизації управління технологічними процесами;

- впровадження ефективних технічних рішень і технологій з мінімізації й ліквідації рівня забруднення навколишнього середовища.

У сучасних умовах екологічна політика підприємств технічного сервісу автотранспорту повинна відповідати їх масштабу й природі впливу на навколишнє середовище. Серед комплексу заходів екологічна політика такого підприємства повинна включати заяви про відповідність здійснення своєї діяльності екологічним нормативам, про стійке покращення системи управління охороною навколишнього середовища, а також заходи із запобігання забруднень навколишнього середовища.

Л.А. Мочалова додає, що у межах екологічної політики повинні враховуватися такі фактори, як [6, с. 207]:

- регіональні й місцеві умови діяльності;

- оцінка й зниження будь-яких негативних впливів діяльності підприємств технічного сервісу на різні аспекти навколишнього середовища (земля, вода, атмосферне повітря, флора й фауна тощо);

- управління енергією, ресурсозбереженням і вибір енергоносіїв;

- управління використанням сировини, оптимізація вибору її виду й умов транспортування;

- управління використанням й охороною водних ресурсів;

- скорочення утворення відходів, їх вторинне використання, транспортування й утилізація відходів;

- оцінка й зниження інтенсивності шкідливих фізичних впливів на території підприємства й за його межами;

- вибір нових виробничих процесів і зміни в існуючих виробничих процесах;

- планування продукції/послуг (проектування, виробництво, упакування, транспортування, використання й утилізація відходів) з позицій охорони навколишнього середовища;

- визначення впливу практичної діяльності підрядників, субпідрядників і постачальників на показники погіршення стану навколишнього середовища;

- попередження й обмеження позаштатних ситуацій;

- екологічне навчання й підготовка кадрів з проблем охорони навколишнього середовища;

- зовнішня інформація із проблем охорони навколишнього середовища.

Екологічна політика кожним підприємством технічного сервісу автотранспорту має розроблятися самостійно й періодично переглядатися з урахуванням результатів перевірок, аудиту й аналізу. Екологічна політика підприємства оформлюється у вигляді документу, який доводиться до відома усіх співробітників підприємства і є доступним громадськості.

За розроблення і прийняття екологічної політики підприємства технічного сервісу автотранспорту відповідальне вище керівництво. Як правило, керівництво щодо реалізації політики у сфері екологічної безпеки здійснюють або власне сам директор, або безпосередньо особа, уповноважена у сфері охорони навколишнього середовища (технічний директор, головний інженер тощо). Керівник підприємства технічного сервісу [8, с. 69]:

- організує розроблення, забезпечує реалізацію й необхідне коректування екологічної політики підприємства;

– організує діяльність з дотримання співробітниками підприємства державного природоохоронного законодавства, нормативно-правових актів органів місцевого самоврядування, приписів органів державного нагляду;

– визначає обов'язки керівників структурних підрозділів підприємства технічного сервісу (або спеціально вповноваженого співробітника), відповідального за екологічну безпеку;

– затверджує внутрішні документи, що регламентують природоохоронну діяльність підприємства технічного сервісу.

Особа, безпосередньо уповноважена у сфері охорони навколишнього середовища, у свою чергу:

– організує й забезпечує реалізацію екологічної політики й найважливіших природоохоронних цілей;

– організує забезпечення відповідності виробництва, продукції й послуг вимогам відповідних стандартів, правил і норм охорони навколишнього середовища й раціонального використання природних ресурсів;

– організує й забезпечує планування природоохоронної діяльності, спрямовану на досягнення затверджених екологічних цілей відповідних цільових і планових показників з усіх найважливіших екологічних аспектів виробництва, продукції й послуг;

– керує розробленням, розглядає, затверджує й коректує природоохоронні плани й програми;

– організує розробку й забезпечує впровадження прогресивних систем і форм організації роботи з охорони навколишнього середовища;

– контролює забезпечення головними спеціалістами відповідності технології виробництва, устаткування, будинків і споруд вимогам стандартів, правил і норм охорони навколишнього середовища;

– здійснює контроль над виконанням працівниками підприємства правил, наказів керівника;

– керує розробленням, організує розгляд і затвердження у встановленому порядку організаційно-технічних заходів щодо покращення екологічної обстановки, організує контроль їх виконання;

– періодично перевіряє організацію роботи з охорони навколишнього середовища в структурних підрозділах підприємства;

– проводить перевірку знань у сфері охорони навколишнього середовища;

– забезпечує формування планів екологічного навчання працівників;

– організовує розробку й впровадження форм і систем стимулювання (заохочення) працівників за кращу роботу у сфері охорони навколишнього середовища;

– організовує і забезпечує регулярний процес екологічного моніторингу й екологічного аудиту;

– організує й забезпечує взаємодію між різними рівнями управління, а також зв'язки із зовнішніми зацікавленими з питань природоохоронної діяльності сторонами;

– здійснює загальне управління розробкою і впровадженням нормативно-методичних документів, що регламентують природоохоронну діяльність підприємства технічного сервісу [8, с. 70].

Конкретні обов'язки співробітників підприємства технічного сервісу у сфері охорони навколишнього середовища відбиваються в їх посадових інструкціях з урахуванням структури й специфіки виробничо-господарської діяльності підприємства.

Екологічна політика та її похідні – внутрішні нормативно-методичні, організаційні документи підприємства технічного сервісу у сфері охорони навколишнього середовища – розробляються на основі міжнародних, державних законодавчих і нормативних актів, з урахуванням вимог, встановлених органами місцевого самоврядування територій, на яких підприємство технічного сервісу і його структурні підрозділи здійснюють свою діяльність.

Внутрішні документи, які розробляються та приймаються на підприємстві технічного сервісу на основі екологічної політики, повинні бути спрямовані на:

– запобігання впливу на навколишнє середовище й на послідовне покращення усіх екологічних аспектів його діяльності, а також забезпечувати можливість оцінки впливу на навколишнє середовище та її стан;

– розроблення, прийняття й коректування екологічної політики, цілей і завдань;

– планування, організацію й практичну реалізацію діяльності з охорони навколишнього середовища;

– поточний моніторинг і контроль діяльності;

– аудит системи управління навколишнім середовищем, аналіз досягнутих результатів й удосконалення діючої системи управління охороною навколишнім середовищем [3, с. 10].

Реалізація екологічної політики підприємства технічного сервісу вимагає дотримання таких вимог, як:

- введення положення про постійне удосконалення у сфері управління екологічною діяльністю й екологічною політикою підприємства;

- документування, впровадження й доведення до відома персоналу;

- відповідність профілю й масштабу діяльності підприємства й характеру впливу його діяльності, продукції та послуг на навколишнє середовище;

- встановлення рамок для визначення й перегляду цілей і завдань з охорони навколишнього середовища;

- доступність для громадськості;

- введення зобов'язань щодо відповідності законодавчим, нормативно-правовим актам й іншим вимогам, за виконання яких підприємство несе відповідальність.

З позиції Ю.В. Бабіної екологічна політика підприємства технічного сервісу впливає на [1, с. 35]:

- відповідальність (та її розподіл) за охорону навколишнього середовища, що ґрунтується на організаційній структурі кожного підприємства технічного сервісу;

- систему екологічного навчання персоналу підприємства технічного сервісу, якою визначатимуться категорії фахівців і персоналу, чия діяльність впливає на навколишнє середовище, категорії визначення потреби в навчанні, порядок прийняття рішень про направлення на навчання, порядок перевірки ефективності навчання (атестації);

- систему стимулювання персоналу підприємства технічного сервісу щодо підвищення кваліфікації й ефективності природоохоронної діяльності;

- оперативний зв'язок між різними рівнями системи управління охороною навколишнього середовища;

- систему поведінки з документами, що регламентують або реєструють всі аспекти цієї діяльності. Система документообігу у сфері охорони навколишнього середовища функціонує

відповідно до внутрішнього регламенту, а також документів, що регламентують звітність перед контролюючими організаціями;

- визначення й контроль операцій, що впливають на навколишнє середовище. Порядок управління операціями визначає: процедури ідентифікації операцій, виявлення найбільш значимих операцій, визначення кількісних критеріїв роботи персоналу на операціях з метою дотримання встановлених планових екологічних показників, функціональну відповідальність за дотримання встановлених вимог;

- систему запобігання надзвичайних і аварійних ситуацій на підприємствах технічного сервісу, що включає: процедури й методи визначення ризиків, виникнення надзвичайних ситуацій, документування всіх виникаючих аварійних і надзвичайних ситуацій, порядок дій персоналу у випадку виникнення аварійної й надзвичайної ситуації, план заходів щодо попередження аварійних і надзвичайних ситуацій тощо.

Керівництво підприємства технічного сервісу перед початком реалізації екологічної політики повинне розуміти, що вона не є чимсь устояним і незмінним. Також сам процес практичної реалізації екологічної політики вимагає її удосконалення на основі досягнення результатів діяльності підприємства, з урахуванням ситуації, що змінюється, і можливостей, які відкриваються.

Висновки. Розроблення ефективної екологічної політики виступає одним з перших і найбільш відповідальних етапів у створенні системи екологічного менеджменту на підприємстві технічного сервісу. Вона відіграє важливу роль у визначенні пріоритетних напрямів діяльності підприємства й повинна мати конкретні екологічні цілі й завдання. Екологічна політика визначає ступінь екологічної відповідальності й масштаб зобов'язань підприємства технічного сервісу щодо навколишнього середовища, згідно з якими будуть оцінюватися всі його наступні дії.

Список літератури:

1. Бабина Ю.В. Экологическая политика предприятия в современных условиях хозяйствования / Ю.В. Бабина // Экология производства. – 2017. – № 3. – С. 32–40.
2. Барабаш О.В. Идентификация экологических аспектов та створення екологічної політики для автотранспортного підприємства / О. В. Барабаш, Т. І. Бойко // Вісник Національного транспортного університету. – 2010. – № 20. – С. 71–74.
3. Голуб С.Г. Механізми управління екологічною безпекою на підприємстві / С.Г. Голуб // Причорноморський екологічний бюлетень – 2014. – № 3. – С. 8–18.
4. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 14001:2015, IDT) [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64015

5. Екологічний менеджмент : навч. посібник / За ред. В.Ф. Семенова, О.Л. Михайлик; 2-ге вид. – К. : Знання, 2012. – 366 с.
6. Мочалова Л.А. Механизмы формирования экологической политики и стратегии промышленных предприятий / Л.А. Мочалова // Механизмы регулирования экономики. – 2008. – № 3. – С. 206–215.
7. Ніколаєв Ю.О. Формування системи еколого-економічного управління на вітчизняних підприємствах / Ю.О. Ніколаєв, В. І. Нікітко // Економічний вісник НГУ. – 2008. – № 1–2. – С. 140.
8. Розвиток підприємства на еколого-економічних засадах: монографія / Г.О. Швиданенко, О.В. Криворучкіна, Д.Г. Матукова. – К.: КНЕУ, 2017. – 184 с.
9. Савран В.В. Екологічна політика підприємства, як основна складова його економічної стратегії / В.В. Савран, О.В. Богуславський [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/324265887.pdf>

Savchenko V.M., Minenko S.V., Savchenko L.G. ISSUES OF ECOLOGY AND ECOLOGICAL POLICY OF VEHICLE TECHNICAL SERVICE COMPANIES

Modern conditions show the increased interest of technical service enterprises in the introduction and certification of environmental management system in accordance with the standards of the ISO 14000 series. An important stage on the way to form system of ecological management on the company of technical service of vehicles is a development of ecological policy which determines the main direction of its activity in the environmental field for long-term perspective and, ultimately, ensures the achievement of the planned environmental goals and objectives. The purpose of the article is to reveal the basics of environmental policy formation in the companies of technical service. The article considers the peculiarities of the concept of environmental policy, its goals and objectives; identifies the ecological aspects of activity of the company of technical vehicle service, the most essential of them; it shows the role of the management of the company in implementation of ecological policy. The ecological policy of the company is realized through its performance of ecological function. That is, the introduction of a system of measures aimed at improving the ecological condition of the environment. By pursuing a clearly defined and effective environmental policy, the company, if not enlarging, but shall increase its profits.

It is proved that the development of an effective environmental policy is one of the first and most responsible steps in creating an environmental management system at the company of technical service. It plays an important role in determining the priorities of the company and should have specific environmental goals and objectives. In fact, environmental policy determines the degree of environmental responsibility and the extent of the obligations of the company of technical service to the environment, according to which all its subsequent actions will be evaluated.

Key words: *ecological safety, environment, company of technical service, ecological aspects, ecological policy.*

УДК 528.4:656

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/35>**Суворова Н.О.**

orcid.org/0000-0001-6110-4864

Національний авіаційний університет

Валько А.М.

orcid.org/0000-0003-0394-6304

Національний авіаційний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ЗАСТОСУВАННЯ ГІС У ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ

Нині транспортні системи завдяки використанню інформаційних технологій у процесі перевезення вантажів та пасажирів досягли високого та ефективного рівня для підтримки світової економіки. Враховуючи те, що сам процес транспортування має просторовий характер, без сумніву, геоінформаційні системи (ГІС) можуть сприяти вирішенню просторових аспектів транспортних завдань.

Доцільно сказати, що завдяки повнофункціональній структурі та модульній побудові сучасні ГІС здійснили технологічний прорив у просторовому плануванні та прийнятті управлінських рішень у багатьох сферах застосування, в тому числі у транспортній галузі.

Однак ефективне впровадження та реалізація базових функцій ГІС у транспортних системах не може досягти бажаних переваг частково через невідповідність між вирішеннями ГІС транспортних проблем і саме потреб транспорту.

У результаті транспортні проблеми змушені вписуватися в структуру наявної ГІС, навіть якщо її структура не призначена для конкретних транспортних потреб та завдань.

Таким чином, головною проблемою під час застосування геоінформаційних систем на транспорті залишаються питання аналізу динамічних за своєю суттю та різноманітних наборів даних під час вирішення транспортних завдань.

Саме тому метою нашої наукової статті є проведення дослідження та аналізу розвитку сучасних підходів щодо застосування ГІС у транспортних системах.

У статті визначена та сформульована сутність транспортних геоінформаційних систем. Досліджено та проведено аналіз розвитку сучасних підходів застосування ГІС у транспортних системах. Виокремлено основні функціональні підсистеми транспортних ГІС. Систематизовані та сформульовані категорії тем дослідження ГІС-технологій у транспортних системах. Визначені методи аналізу і моделювання у транспортних системах. Висвітлені питання щодо подальшого дослідження розвитку транспортних ГІС.

Ключові слова: геоінформаційні системи, транспортна система, транспортне завдання, процес перевезення, динамічні дані, управління.

Постановка проблеми. У процесі розвитку інформаційного суспільства будь-який фахівець повинен вміти швидко сприймати й опрацювати великі обсяги інформації, використовувати сучасні комп'ютерні засоби, методи та інформаційні технології. Нові умови роботи ставлять у залежність інформованість однієї людини від інформації, добутої іншими людьми. Тому потрібно освоїти такі технології роботи з інформацією, коли готуються та приймаються рішення на засадах колективних знань, тобто людина повинна мати певний рівень інформаційної культури [1, с. 17].

Нині управління складними за своєю структурою транспортними системами вимагає не тільки

високої підготовки кваліфікаційного персоналу, але й сучасного та якісного інформаційного забезпечення процесу управління транспортним комплексом.

Прийняття обґрунтованих та ефективних управлінських рішень щодо оптимізації транспортного процесу можливе тільки на основі обробки даних і аналізу великих обсягів інформації про функціонування транспортної системи на рівні країни, регіону або міста.

Одним із чинників ефективного використання інформації є ефект від використання просторово-локалізованої інформації, ефективним інструментом аналізу якої є геоінформаційні системи (ГІС) та геоінформаційні технології (ГІТ) [1, с. 11].

Геоінформаційна система працює із просто-риво розподіленою інформацією – інформацією, яка має географічну прив'язку. Практично 90% інформаційного руху в сучасному суспільстві має подібну географічну прив'язку [2, с. 9].

ГІС ефективні в усіх галузях, де здійснюються облік і управління територією та об'єктами на ній. Ці системи виявилися надзвичайно ефективними для розв'язку завдань управління і планування, які зустрічаються в будь-якій сфері діяльності людини, від цивільного будівництва до моніторингу навколишнього середовища та різноманітних науково-практичних досліджень [3, с. 11].

Причини такого успіху ГІС пояснюються таким [4, с. 26]:

- по-перше, великою ефективністю вирішень складних проблем засобами ГІС;
- по-друге, величезною множиною сфер застосування ГІС, тому що ГІС працює із просторовими даними, які є частиною нашого повсякденного життя;
- по-третє, стали доступними для масового користувача як потужні персональні комп'ютери, на яких можлива реалізація ГІС, так і складні програмні комплекси ГІС, що забезпечені легким для користувача інтерфейсом.

Всі ці фактори можна врахувати тільки під час застосування геоінформаційних систем як інструменту управління транспортними системами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковими дослідженнями щодо застосування геоінформаційних систем займалися такі вітчизняні та зарубіжні вчені, як: К.В. Доля, О.Є. Доля, В.І. Зацерковний, В.Г. Бурачек, О.О. Железняк, А.О. Терещенко, Л.А. Павленко, І.В. Крив'юк, В.Д. Шипулін, О.В. Грицунов, І.В. Тішаєв, І.В. Віршило, В.К. Демидов, С.В. Костріков, К.Ю. Сегіда, Х. Міллер, Ші-Лун Шоу, Дж.-П. Родріге та інші.

Проведений аналіз сучасних наукових робіт у сфері геоінформаційних систем показав, що в цих роботах деякі питання щодо використання ГІС-технологій у транспортних системах недостатньо висвітлені та потребують подальшого вивчення та поглиблення.

Постановка завдання. Метою статті є дослідження та аналіз розвитку сучасних підходів щодо застосування ГІС у транспортних системах, що зумовлено їх широкими функціональними можливостями під час вирішення транспортних завдань.

Виклад основного матеріалу дослідження. Враховуючи фактор просторового розподілу

матеріальних, трудових ресурсів, послуг, а також населення, ми повинні здійснювати процес переміщення товарів, вантажів людей, послуг та інформації з різних місць розташування для задоволення фізіологічних, економічних і соціальних потреб людства. Тобто транспорт у сучасному світі є необхідністю в людському суспільстві.

Нині транспортні системи завдяки використанню інформаційних технологій у процесі перевезення досягли високого та ефективного рівня для підтримки світової економіки. Враховуючи те, що сам процес перевезення має просторовий характер, хоча сам транспорт включає деякі непросторові аспекти, без сумніву, геоінформаційні системи можуть сприяти вирішенню просторових аспектів транспортних завдань.

Автори джерела [1, с. 41] дають таке визначення ГІС: «геоінформаційна система (ГІС) – це система апаратно-програмних засобів і алгоритмічних процедур, що створена для цифрової підтримки, поповнення, управління, маніпулювання, аналізу, математико-картографічного моделювання й образного відображення географічно координованих даних».

У широкому розумінні геоінформаційна система – це інформаційна система, яка спеціалізується на введенні, управлінні, аналізі, звітності та представленні географічної (просторово-зв'язної) інформації. Серед широкого спектру потенційних додатків ГІС можливо використовувати для вирішення транспортних завдань, оскільки вони значною мірою залежать від візуалізації даних і аналітичних методів [5, с. 317].

Під структурою ГІС розуміють сукупність її властивостей, які є істотними з погляду здійснюваного дослідження і які мають інваріантність в інтервалі функціонування [1, с. 122].

Науковець [6, с. 123] у своїй праці стверджує, що у загальному випадку ГІС повинна складатися з таких чотирьох підсистем:

- збору, підготовки і введення даних;
- збереження, відновлення і керування даними;
- обробки, моделювання й аналізу даних;
- контролю, візуалізації і виведення даних.

Автор у своїй роботі [6, с. 124] дає пояснення щодо основних завдань підсистем ГІС, а саме:

- основне завдання підсистеми збору, підготовки і введення даних – формування бази географічних і атрибутивних даних ГІС;
- основне завдання підсистеми збереження, відновлення і керування даними – організація збереження даних, забезпечення процедур їхнього

редагування і відновлення, обслуговування запитів на інформаційний пошук, що надходять до системи;

– основне завдання підсистеми обробки, моделювання й аналізу даних – організація обробки даних, забезпечення процедур їхнього перетворення, математичного моделювання і спільного аналізу;

– основне завдання підсистем контролю, візуалізації і виведення даних – генерація та оформлення результатів роботи системи у вигляді карт, графічних зображень, таблиць, текстів на твердих або магнітних носіях.

У своїй роботі [5, с. 319] автор пояснює, що інформація в ГІС найчастіше зберігається і представляється у вигляді класів просторових об'єктів (шарів), які являють собою набір географічних об'єктів, пов'язаних з їх атрибутами. На рис. 1 наведена транспортна система у вигляді трьох шарів, які пов'язані із землекористуванням, транспортними потоками (просторова взаємодія) і транспортною мережею. Кожен із них має свої особливості, пов'язані дані і може використовуватися незалежно або в поєднанні з іншими шарами.

Зазначимо, що такі основні функції підсистем ГІС, як кодування, управління, аналіз та звітність, мають особливі аспекти для управління транспортними системами.

Основні функціональні підсистеми транспортних ГІС наведені в табл. 1.

Згідно з наведеними даними в таблиці, можемо зробити висновки щодо основних завдань кожної з функціональних підсистем.

Так, наприклад, основним завданням підсистем кодування у транспортній ГІС є вирішення питань, які пов'язані з поданням даних щодо транспортної системи та її просторових компонентів.

Зауважимо, що під час кодування даних необхідно враховувати деякі важливі аспекти на тран-

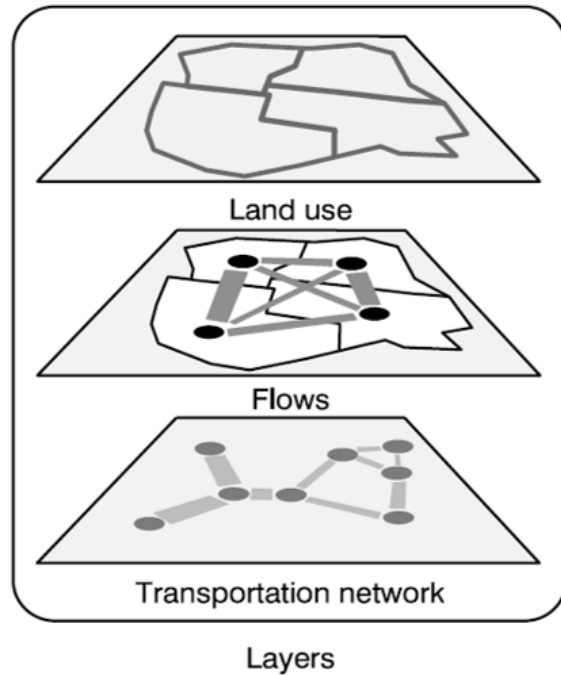


Рис. 1. Транспортна система у вигляді класів просторових об'єктів (шарів) [5]

спорті. Насамперед транспортна мережа повинна бути правильно закодована, враховуючи її функціональну топологію. По-друге, елементи, які відносяться до транспортування (кількісні та якісні дані), повинні бути закодовані та пов'язані з їх відповідними просторовими елементами.

Якщо розглядати основні завдання підсистеми управління в транспортних ГІС, можемо визначити, що це є організація закодованої інформації, що зберігається в базі даних, за просторовою, тематичною та часовою ознакою. Для вирішення цього завдання необхідно розробити таку базу даних геоінформаційних систем, яка без проблем зможе організувати великий обсяг різнорідних транспортних даних згідно з поставленими завданнями, до яких можливо буде легко отри-

Таблиця 1

Основні функціональні підсистеми транспортних ГІС

Транспортна інформація		↓
Кодування	➔	Модель представлення транспортної системи та її просторових компонентів (просторові дані)
Управління	➔	Організація інформації за ознаками: Просторова – тематична – часова
Аналіз	➔	Запит – операції – моделювання вирішення транспортної проблеми
Звітність	➔	Візуалізація та картографія отриманих результатів
		↓
Кінцевий користувач (споживач транспортної інформації)		

мати доступ для вирішення та підтримки різноманітних транспортних потреб.

Підсистема аналізу в транспортних геоінформаційних системах насамперед враховує та розглядає широкий спектр інструментів та методів, які доступні для вирішення транспортних питань. Цей спектр може варіюватися від простого запиту до конкретного елементу транспортної системи (інтенсивність руху транспортних засобів у годину пік на конкретній ділянці дороги) до складної моделі дослідження взаємозв'язків між компонентами та елементами транспортної системи (якщо, наприклад був доданий новий термінал в аеропорту, який у подальшому буде мати вплив на пасажиропотік чи вантажопотік).

Зазначимо, що ГІС у будь-якій сфері застосування була би неповноцінною, якби не мала можливостей візуалізації та подання звітності просторових і непросторових даних після виконання будь-якого аналізу.

Програмні засоби геоінформаційних систем повинні забезпечити візуалізацію просторових та інших графічних і відеоданих, а також результати виконання різних запитів [1, с. 132].

На нашу думку, підсистема звітності особливо важлива для вирішення транспортних комплексних завдань, оскільки вона пропонує інтерактивні інструменти для передачі складної, різноформатної інформації у візуальному форматі.

Автори роботи [7, с. 142–143] зазначають, на сьогодні у світі налічується безліч ГІС, що належать до розряду повнофункціональних, тобто вони забезпечені базовими функціями ГІС для створення, візуалізації та аналізу карт. Більша частина сучасних ГІС має модульну побудову. ГІС забезпечені деяким ядром, що передбачає тільки мінімальну функціональність (відображення карт, підтримку базових моделей даних, деякі функції просторового аналізу).

Доцільно сказати, що завдяки повнофункціональній структурі та модульній побудові сучасні геоінформаційні системи здійснили технологічний прорив у просторовому плануванні та прийнятті управлінських рішень у багатьох

сферах застосування, у тому числі у транспортній галузі.

Однак автори наукової роботи [8, с. 130] зазначають, що однією з основних проблем, з якими стикається ГІС на транспорті, є невизначеність у розумінні постановки проблеми між дослідниками у сфері ГІС та фахівцями із транспортних технологій. Фахівці з ГІС найчастіше розглядають транспортні потреби з погляду самої ГІС і тому відносять їх до проблеми виключно геоінформаційних систем.

У результаті транспортні проблеми змушені вписуватися в структуру наявної ГІС, навіть якщо її структура не призначена для конкретних транспортних потреб та завдань. Впровадження та реалізація ГІС у транспортних системах не може досягти бажаних переваг частково через невідповідність між рішеннями ГІС і потребами транспорту.

Нині існують два варіанти дослідження ГІС в транспортних системах:

- дослідження, зосереджені виключно на питаннях подальшого розвитку та поліпшення ГІС для задоволення транспортних додатків;
- дослідження, які займаються вирішенням питання щодо використання ГІС з погляду полегшення та покращення транспортних досліджень.

На думку авторів [5, с. 319], до досліджень ГІС у транспортних системах можна підходити з двох різних напрямів за умови доповнення один одного.


Таким чином, теми дослідження ГІС технологій в транспортних системах ми пропонуємо класифікувати за трьома категоріями (табл. 2).

Зауважимо, що однією з особливих характеристик геоінформаційних систем є можливість інтегрування просторових і непросторових даних для подальшого аналізу та підтримки відображення даних. Тому представлення даних нині є основною темою дослідження ГІС-технологій.

Геоінформаційні системи базуються на моделях даних, що відображають реальні об'єкти на місцевості, взаємозв'язок між ними та інші додаткові знання, що мають просторову прив'язку.

Таблиця 2

Категорії тем дослідження ГІС технологій у транспортних системах

Тема дослідження	Питання, на яке відповідає дослідження
Представлення даних 	Як можуть бути представлені дані в ГІС на транспорті?
Аналіз і моделювання 	Як можна використовувати транспортні методи і моделі в ГІС?
Додатки (програмне забезпечення) 	Які типи додатків підходять для ГІС при вирішенні транспортних завдань?

Кожна модель даних ГІС включає різні окремі просторові об'єкти, пов'язані додатковими топологічними особливостями [7, с. 20].

У дослідженнях транспортних ГІС для представлення відповідних геоданих використовуються, як правило, об'єктивно-орієнтовані моделі даних, а також моделі польових вишукувань.

Використання того чи іншого типу моделі даних залежить від наявної транспортної проблеми. Наприклад, при сітьовому аналізі найкращим варіантом для транспортного додатку буде застосування об'єктивно-орієнтованої моделі даних ГІС.

У практичній діяльності транспортні підприємства найчастіше вимірюють розташування об'єктів транспортної системи або подій, які пов'язані з цими об'єктами, поряд із транспортними сітьовими зв'язками. Але у більшості моделей даних стандартних ГІС нині використовується двомірна система координат, яка не може належним чином обробляти одновимірну лінійну систему послань. З цією метою пропонується застосування моделі сегментації динамічних даних для задоволення конкретних потреб транспортних ГІС.

Можемо зробити висновок, що існуючі моделі даних забезпечують основу для підтримки багатьох додатків ГІС для вирішення транспортних проблем, але, враховуючи специфічні та унікальні характеристики транспортних даних, постає питання щодо подальшого розробки найбільш досконалих моделей даних ГІС для покращення представлення даних транспортних ГІС.

Авторами роботи [1, с. 131] зазначається, що підсистема обробки, моделювання й аналізу даних призначена для організації обробки даних, забезпечення процедур їх перетворення, математичного моделювання та поєднання аналізу шляхом генералізації, агрегації, встановлення параметрів і обмежень за допомогою моделюючих функцій.

Зазначимо що стандартні функції ГІС, наприклад запит, кодування, буфер тощо, також використовуються у додатках транспортних ГІС для підтримки потреб в управлінні даними, аналізу і візуалізації інформації.

Доцільно сказати, що у сфері транспортних систем нині розроблені свої унікальні методи аналізу і моделювання даних (рис. 2).

Одним із важливих моментів, на який варто звернути увагу, є те, що основні методи аналізу і моделювання даних процесу перевезення, наприклад модель оптимізації маршруту, використовуються в більшості стандартних програм ГІС,

проте більшість універсальних моделей вирішення транспортних завдань застосовуються лише в деяких комерційних програмних пакетах геоінформаційних систем, наприклад модель попиту на перевезення.

На нашу думку, невизначеності у методах аналізу і моделювання даних у транспортних системах можливо уникнути у разі:

1. Розуміння існуючих методів та моделей аналізу даних дослідниками та фахівцями у сфері ГІС-технологій на транспорті.

2. Вибору програмного продукту ГІС, який найкраще буде відповідати потребам транспортних систем.

3. Вибору з доступних програмних пакетів відповідних функцій аналізу даних для правильної та точної інтерпретації результатів проведеного аналізу.

4. Подальшого дослідження застосування ГІС у транспортних системах з метою удосконалення можливостей проектування та аналізу транспортних геоінформаційних систем.

Для ефективного впровадження ГІС у транспортних системах необхідно мати в наявності потужне програмне забезпечення (додатки) для безпосереднього управління транспортними ГІС загалом, а також для забезпечення виконання основних функцій геоінформаційних систем.

У наш час більшість додатків транспортних ГІС охоплюють широкий спектр вирішення завдань транспортних систем та логістики, а саме [5, с. 321]:

- планування й управління транспортною інфраструктурою;
- аналіз транспортної безпеки;
- аналіз попиту на перевезення вантажів та пасажирів;
- моніторинг дорожнього руху;
- планування та експлуатація громадського транспорту;
- оцінка економічного та екологічного впливу транспорту;
- планування маршрутів;
- відстеження транспортних засобів;
- управління парком транспортних засобів;
- управління ланцюгами поставок.

Зазначимо, що кожний із перерахованих вище додатків ГІС має відповідні та конкретні вимоги до представлення й аналізу даних залежно від вирішуваних завдань.

Наприклад, у разі представлення вуличної мережі у вигляді осьових ліній достатньо додатків ГІС під час вирішення завдань із планування



Рис. 2. Методи аналізу і моделювання в транспортних системах

перевезень чи оптимізації маршруту. Проте у разі вирішення завдань з управління дорожнім рухом для додатків ГІС може знадобитися більше атрибутивної інформації (детальний опис смуг дорожнього руху, прилеглих зон тощо).

Зауважимо, що всі перелічені потреби додатків ГІС мають безпосереднє відношення до проведеного вище дослідження з питань представлення даних, а також аналізу та моделювання ГІС у транспортних системах.

Висновки. У статті визначено, що транспортні ГІС є дуже складними та різноманітними системами, але водночас дуже важливими додатками базових ГІС.

Головною проблемою під час застосування ГІС у транспортних системах залишається питання аналізу динамічних за своєю суттю, а також різноманітних наборів даних для вирішення транспортних завдань. Нині є два сучасних підходи

щодо дослідження існуючих додатків ГІС для застосування на транспорті.

Перший підхід полягає в удосконаленні та розширенні існуючих можливостей геоінформаційних систем для вирішення транспортних завдань, враховуючи специфічні, різноманітні та унікальні характеристики транспортних даних.

Другий підхід полягає у використанні існуючих базових функцій ГІС для подальшого розроблення додатків транспортних ГІС із метою поліпшення процесів перевезення, планування, управління та експлуатації транспортних засобів у практичній діяльності транспортних підприємств.

Таким чином, ми бачимо, що для ефективного впровадження та реалізації функцій ГІС під час вирішення транспортних завдань необхідна взаємодія між дослідниками ГІС і фахівцями із транспортних технологій.

Список літератури:

1. Зацерковний В.І., Бурачек В.Г., Железняк О.О., Терещенко А.О. Геоінформаційні системи і бази даних: монографія. Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2014. 492 с.
2. Костріков С.В., Сегіда К.Ю. Географічні інформаційні системи: навчально-методичний посібник для аудиторної та самостійної роботи студентів за спеціальностями «Географія», «Економічна та соціальна географія». Харків, 2016. 82 с.
3. Зацерковний В.І., Тішаєв І.В., Віршило І.В., Демидов В.К. Геоінформаційні системи в науках про Землю. Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2016. 510 с.

4. Шипулін В.Д. Основні принципи геоінформаційних систем: навч. посібник. Харків: ХНАМГ, 2010. 313 с.
5. Rodrigue Jean-Paul. The Geography of Transport Systems. New York: Routledge, 2020. Third edition. 456 p.
6. Біда П.І. Використання ГІС-технологій у землевпорядному проектуванні. *Український журнал прикладної економіки*. 2017. Т. 2, № 2. С. 120–128. URL: <http://ujae.wunu.edu.ua/index.php/ujae/article/download/145/145> (дата звернення: 12.03.2021).
7. Доля К.В., Доля О.Є. Геоінформаційні системи на транспорті. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2018. 230 с.
8. Shaw Shih-Lung. Geographic information systems for transportation: from a static past to a dynamic future, *annals of GIS*. 2010. Vol. 16. P. 129–140. DOI: 10.1080/19475683.2010.513155 (дата звернення: 10.03.2021).

Suvorova N.O., Valko A.M. RESEARCH OF MODERN APPROACHES TO THE APPLICATION OF GIS IN TRANSPORT SYSTEMS

To date, transport systems, thanks to the use of information technology in the process of transporting goods and passengers, have reached a high and efficient level to support the world economy. Given that the transportation process itself is spatial in nature, there is no doubt that geographic information systems (GIS) can help solve the spatial aspects of transport problems.

It is worth noting that due to the full-featured structure and modular construction, modern GIS has made a technological breakthrough in spatial planning and management decisions in many areas of application, including transport.

However, the effective implementation and enforcement of the basic functions of GIS in transport systems cannot achieve the desired benefits in part due to the mismatch between GIS solutions to transport problems and transport needs.

As a result, transport problems are forced to fit into the structure of the existing GIS, even if its structure is not designed for specific transport needs and tasks.

Thus, the main problem in the application of geographic information systems in transport are the issues of analysis of dynamic in nature and diverse data sets in solving transport problems.

That is why the purpose of our scientific article is to conduct research and analysis of the development of modern approaches to the use of GIS in transport systems.

The article defines and formulates the essence of transport geographic information systems. The analysis of development of modern approaches of application of GIS in transport systems is investigated and carried out. The main functional subsystems of transport GIS are singled out. Systematized and formulated categories of research topics GIS technologies in transport systems. Methods of analysis and modeling in transport systems are defined. Issues for further study of the development of transport GIS are covered.

Key words: *geographic information systems, transport system, transport tasks, transportation process, dynamic data, management.*

Хаврук В.О.

Національний транспортний університет

ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПАРАМЕТРИ ЗОНИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ В АТП

У статті розглядаються основні фактори, які необхідно враховувати під час визначення параметрів зони технічного обслуговування автотранспортних підприємств.

З'ясовано, що параметрами зони технічного обслуговування автотранспортних підприємств є: кількість постів технічного обслуговування, чисельність робітників на посту, кількість змін, час роботи однієї зміни (тривалість зміни), метод організації робіт.

Встановлено, що на кількість постів технічного обслуговування автотранспортних підприємств мають вплив дві групи факторів: 1) фактори, що впливають на програму технічного обслуговування автомобілів; 2) фактори, що впливають на фонд робочого часу поста. У свою чергу, перша група факторів включає сукупність таких показників, як: кількість автомобілів, інтенсивність експлуатації автомобілів – пробіг (характеризується сезонними коливаннями), умови експлуатації автомобілів; друга група факторів включає: модифікацію рухомого складу та організацію його роботи, кількість технологічно сумісного рухомого складу, організацію робіт із технічного обслуговування (чисельність робітників на одному посту, тривалість і кількість змін роботи зони технічного обслуговування, синхронність робіт на потоковій лінії).

Обґрунтовано загальнонауковий підхід дослідників щодо виділення організаційних (управлінських) та експлуатаційних факторів, якими характеризується технічне обслуговування автомобілів в умовах автотранспортних підприємств. Наукові дослідження показують, що рівень допустимих простоїв в технічному обслуговуванні і ремонті зростає на 85–100% зі зростанням пробігу автомобілів.

Наведено аргументи щодо переваг застосування поточкового методу виконання технічного обслуговування в автотранспортних підприємствах, зокрема трудомісткість обслуговування під час застосування поточкового виробництва знижується на 15–20%, при цьому вказано на необхідність зниження асинхронності робіт на постах потокової лінії.

Результати статті можуть бути використані на початкових етапах планування та організації зони технічного обслуговування автотранспортних підприємств.

Ключові слова: *автомобіль, автотранспортне підприємство, пост, поточний ремонт, рухомий склад, технічне обслуговування, фактор.*

Постановка проблеми. Своєчасне і якісне виконання операцій технічного обслуговування (ТО) сприяє зниженню витрат на експлуатацію автомобілів і багато в чому залежить від параметрів виробничо-технічної бази. Для автотранспортних підприємств (АТП) характерною особливістю є сезонна нерівномірність інтенсивності експлуатації автомобілів. У зв'язку із цим обсяг технічних впливів, який необхідно проводити для підтримки автомобілів в справному стані, також має сезонні і випадкові коливання. Дана обставина позначається як на завантаженні зони ТО, так і на технічному стані рухомого складу АТП.

При інтенсивній експлуатації автомобілів зростає потік заявок на ТО. У цей період недостатня пропускна здатність зони технічного обслуговування АТП призводить до порушення періодичності і скорочення фактичного обсягу операцій ТО, внаслідок чого збільшуються

витрати на ремонт і втрати від простою автомобілів в очікуванні ТО.

Необхідно погодитись із твердженням Є.С. Шевелева: «Існуючі методи технологічного розрахунку кількості постів ТО не в повній мірі враховують варіацію потоку заявок на технічне обслуговування. Крім того, вони не враховують витрати на будівництво та утримання зони ТО» [1, с. 6].

Отже, проблема пристосованості зони ТО кожного конкретного АТП до нерівномірного потоку заявок існує. Крім того, параметри зони ТО мають враховувати сукупність таких факторів, як: марочність рухомого складу (РС), умови експлуатації, методи організації робіт з ТО. А тому дослідження питання визначення параметрів зони ТО, в першу чергу кількості постів ТО, є актуальним і важливим для підвищення ефективності АТП.

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить, що проблеми організації технічного обслу-

говування автомобілів та визначення параметрів зони обслуговування досліджували такі науковці, як: Бідняк М.Н., Бирюков С.П., Давидович Л.М., Дмитриєнко В.М., Карташов В.П., Клейнер Б.С., Кузнецов Є.С., Панін О.В., Тахтамишев Х.М., Шевелєв Є.С., Ясенков Є.П. та ін.

У роботах авторів дослідження проблем організації ТО автомобілів та визначення параметрів зони обслуговування здійснюється на основі двох груп факторів: організаційних (управлінських) та експлуатаційних (інтенсивності використання рухомого складу). Загальноприйнятною є думка дослідників, що інтенсивність використання автомобілів АТП протягом календарного року характеризується сезонними коливаннями. Проблема обслуговування потоку заявок на ТО, який має сезонні коливання та визначення оптимальних параметрів зони ТО автомобілів з урахуванням інтенсивності експлуатації рухомого складу АТП приділено недостатньо уваги. У зв'язку із чим постає необхідність у дослідженні даної проблематики.

Постановка завдання. Здійснити аналіз факторів, які впливають на параметри зони ТО автомобілів в АТП.

Виклад основного матеріалу дослідження. Як параметри зони ТО можна виділити: кількість постів технічного обслуговування, чисельність робітників на посту, кількість змін, час роботи однієї зміни (тривалість зміни), метод організації робіт. Залежно від параметрів зони ТО змінюється її пропускна спроможність.

Пост обслуговування є територією, призначеною для виконання однієї або декількох однорідних робіт або операцій процесу ТО, з необхідним обладнанням, приладами, пристосуваннями та інструментом [2, с. 179].

Кількість постів обслуговування є похідним від програми з ТО і режиму виробництва [3, с. 30]. Зі збільшенням програми ТО і зменшенням фонду робочого часу поста збільшується кількість постів в АТП. Тому всі фактори, що впливають на кількість постів ТО, можна розділити на дві групи (рис. 1). До першої групи відносяться фактори, що впливають на програму ТО, до другої – на фонд робочого часу поста [1, с. 13].

У свою чергу, програма ТО визначається, виходячи з кількості автомобілів у парку, інтенсивності їх експлуатації, періодичності і трудомісткості ТО.

Вплив кількості РС на кількість постів наводить Давидович Л. М. (рис. 2). Видно, що швидкість збільшення постів у зоні під час збільшення обслуговуваних автомобілів знижується. На великих АТП, як правило, краща організація процесу і виробничо-технічна база, що дозволяє скорочувати трудомісткість ТО і ремонту автомобілів і капіталовкладення у виробничу базу.

Подібний характер зміни капіталовкладень від кількості автомобілів у парку відмічають Авдонькін Ф.Н. (рис. 3) і Кузнецов Є.С. (табл. 1).

Кількість постів АТП залежить від інтенсивності експлуатації автомобілів. Л.М. Давидович вказує, що початковою величиною для визначення кількості постів є кількість дій, яка пропорційна сумарному пробігу РС [3, с. 119]. Але темп приросту трудомісткості обслуговування із збільшенням річного пробігу знижується (рис. 4).

Робота Б.Є. Довбні [5] присвячена впливу сезонних змін інтенсивності експлуатації на виробничу програму підприємств по ТО автомобілів. Автор показує, що потреба в автомобільних

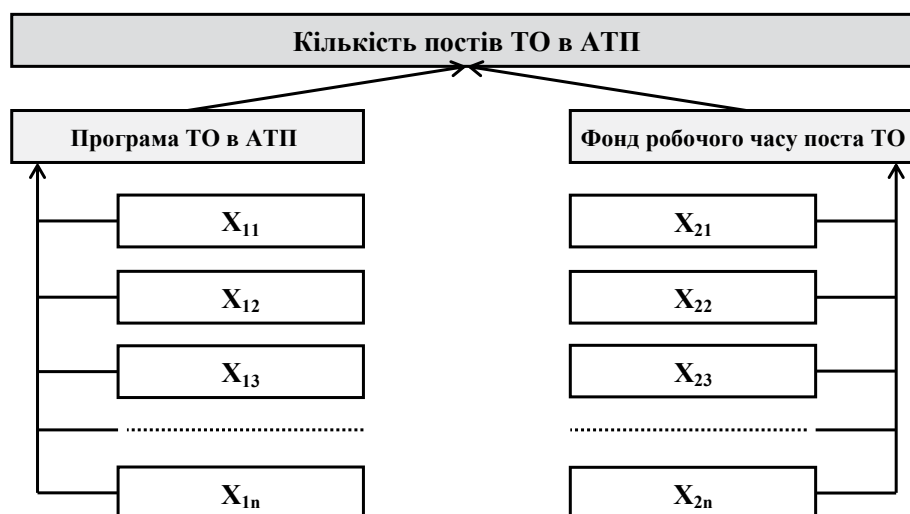


Рис. 1. Фактори, що впливають на кількість постів ТО в АТП [1, с. 13]

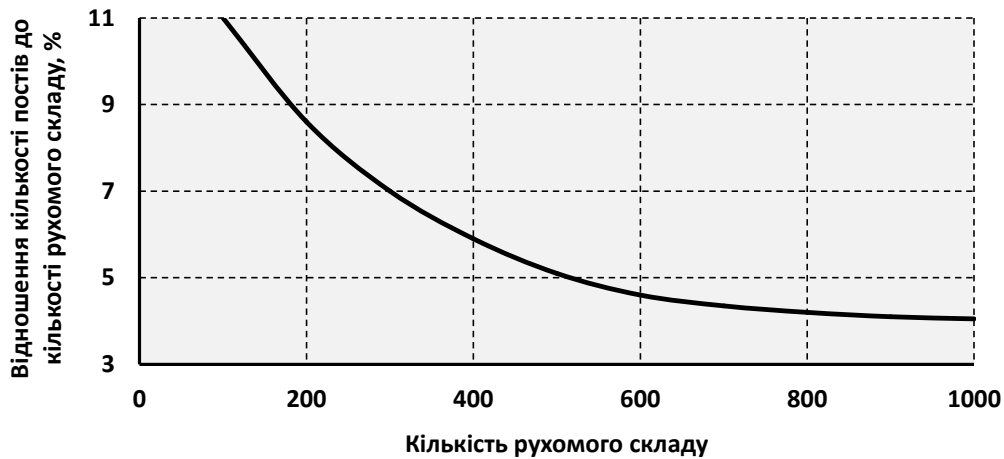


Рис. 2. Залежність кількості постів ТО від кількості РС [3, с. 30]

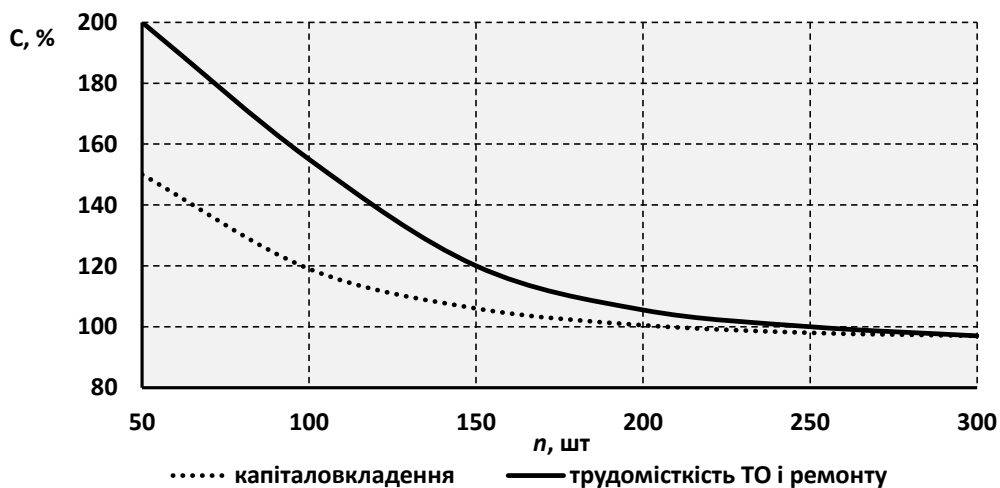


Рис. 3. Зміна питомої С трудомісткості ТО і ремонту (1) та капіталовкладень (2) у виробничу базу в залежності від кількості автомобілів (n) в АТП [4, с. 133]

перевезеннях для різних галузей промисловості істотно змінюється по сезонах року і потреба парку в ТО впродовж року різна.

Величина потреби в обслуговуванні автомобілів залежить від умов їх експлуатації (дорожніх, кліматичних, навантажувальних), якості водіння і ремонту, прийнятої системи технічного обслуговування і ремонту автомобілів [6; 7]. Згідно з «Положенням ...» [8] нормативи ТО і ремонту РС автомобільного транспорту підлягають коригуванню коефіцієнтами, які враховують:

- K_1 – категорію умов експлуатації автомобілів;
- K_2 – модифікацію рухомого складу та організацію його роботи;
- K_3 – природно-кліматичні умови;
- K_4 – кількість технологічно сумісного рухомого складу;
- K_5 – умови зберігання рухомого складу.

Періодичність та трудомісткість ТО, трудомісткість поточного ремонту (ПР) коригуються за результуючими коефіцієнтами:

- K_1K_3 – періодичність ТО;
- K_2 – трудомісткість ЩО;
- K_2K_4 – трудомісткість ТО;
- $K_1K_2K_3K_4K_5$ – трудомісткість ПР;
- K_2 – простої в ТО і ПР.

Таким чином, умови експлуатації РС (коефіцієнт K_1) і природно-кліматичні умови (коефіцієнт K_3) впливають на параметри зони ТО через періодичність ТО; модифікація рухомого складу та організація його роботи (коефіцієнт K_2) і кількість технологічно сумісного рухомого складу (коефіцієнт K_4) впливають на параметри зони ТО через трудомісткість і тривалість простою в ТО. Чим нижча трудомісткість і тривалість простою РС в ТО тим вища пропускна здатність зони ТО в АТП.

Таблиця 1

Зміни питомої трудомісткості ТО, поточного ремонту і капіталовкладень в будівництво виробничої бази в залежності від розміру вантажного АТП (за даними Гіпроавтотранса) [1, с. 14]

Кількість автомобілів в підприємстві	Питома трудомісткість на 1000 км, %	Капіталовкладення на один автомобіль, %
50	150	202
100	120	139
150	110	117
200	100	107
250	100	100
300	95	95
400	95	90
500	90	87
600	90	85
700	85	83
800	80	82
900	80	81
1000	75	81

У рекомендаціях з організації ТО і ремонту будівельних машин наводяться коефіцієнти для коригування трудомісткості і тривалості ТО від кількості машин в парку, різномарочності парку і природно-кліматичних умов (табл. 2).

Під час визначення параметрів зони ТО також враховується тривалість дії. Л.М. Давидович зазначає: «Тривалість дії залежить від типу автомобіля, змісту дії і методу його виконання, а також від технічної оснащеності підприємства і продуктивності праці» [3, с. 109].

В.П. Карташов наводить схему, згідно з якою трудомісткість ТО залежить від типу рухомого

складу, середнього віку рухомого складу, дорожніх умов і виду перевезень, а також від обсягу робіт із капітального ремонту (рис. 5).

П.А. Колісник і В.О. Шейнин у роботі [11] наводять дані про те, що рівень допустимих простоїв в технічному обслуговуванні і ремонті зростає на 85–100% із зростанням пробігу автомобілів. Метод організації робіт по ТО також істотно впливає на трудомісткість операцій ТО. За даними Колісника П.А., Шейнина В.О., трудомісткість обслуговування під час застосування потокового виробництва знижується на 15-20% [11, с. 219].

Коливання трудомісткості обслуговування призводять до незапланованих простоїв автомобілів. Бідняк М.Н. у роботі [12] наводить вплив коефіцієнта варіації трудомісткості на втрати від асинхронності (рис. 6). З рис. 6 можна зробити висновок, що найбільша втрата часу спостерігається на потоковій лінії з одночасним переміщенням автомобілів (3 пости). Але необхідно зауважити, що потоковий метод виконання ТО в сучасних АТП не знаходить широкого поширення.

Кількість постів у зоні ТО визначається, виходячи із програми ТО і фонду робочого часу. Зміна програми ТО є результатом зміни і коливання факторів, таких як трудомісткість і періодичність обслуговування, інтенсивність експлуатації автомобілів. Знання закономірностей зміни факторів дозволить адаптувати зону ТО до зміни кількості вимог на ТО.

Сезонні коливання потреби в автомобільній техніці характерні для багатьох АТП. Це призводить до зміни інтенсивності експлуатації автомобілів.

Є.В. Петрова і І.М. Алексеева відмічають, що «у роботі підприємства є сезонна нерівно-

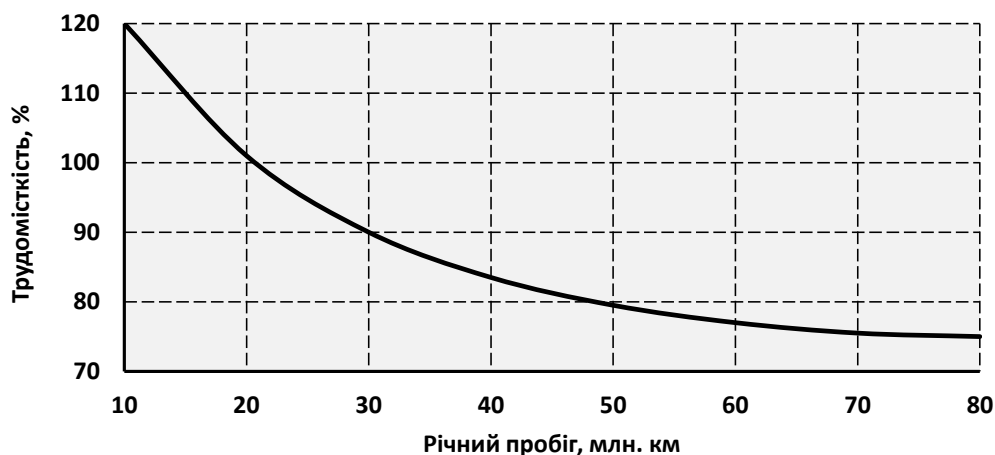


Рис. 4. Залежність трудомісткості технічного обслуговування від загального річного пробігу РС [3, с. 57]

мірність – обсяг перевезень систематично збільшується в літні місяці і знижується в зимові» [13, с. 57]. В умовах України, наприклад, автотранспорт для перевезення вантажів на невеликі відстані (в межах області) більш затребуваний у період весна – перша половина літа, далі у другій половині літа попит на перевезення зменшу-

ється і знову зростає в першій половині осені, далі обсяги перевезень знову знижуються в зимовий період.

Висновки. Отже, з’ясовано, що основним параметром зони технічного обслуговування АТП є кількість постів ТО. Зону ТО АТП проєктують на початковому етапі її будівництва, вра-

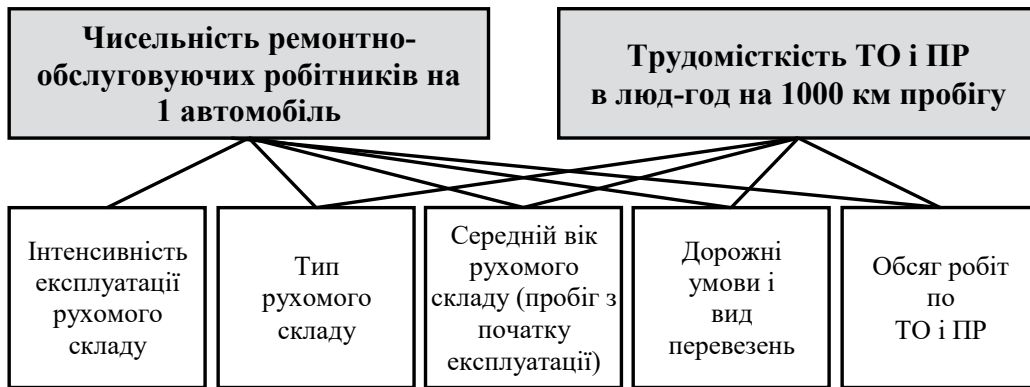


Рис. 5. Схема залежності показників трудових витрат від умов експлуатації і типу РС [1, с. 17; 10, с. 31]

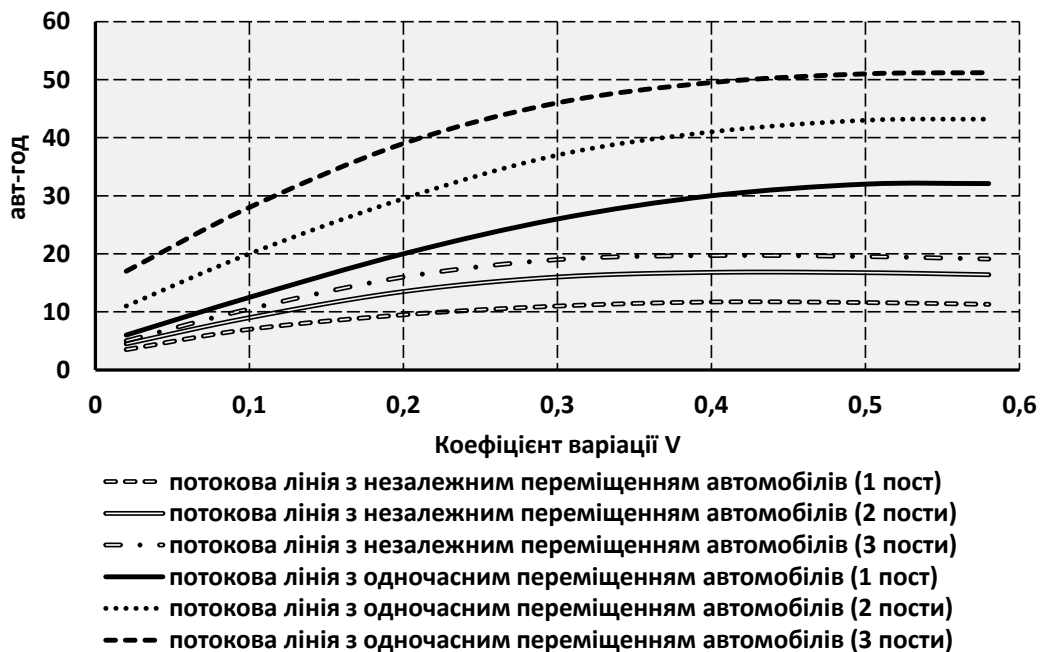


Рис. 6. Зміна втрат від асинхронності в залежності від коефіцієнта варіації трудомісткості [12, с. 83]

Таблиця 2

Значення коригувальних коефіцієнтів [9, с. 75]

Показники	Кількість машин в парку				Для природно-кліматичних умов (район спекотного і холодного клімату)
	змішаний парк		спеціалізований парк		
	до 100	понад 200	до 100	понад 200	
Трудомісткість	1,05	0,95	0,95	0,85	1,1
Тривалість	1,05	0,95	0,95	0,85	1,1

ховуючи такий фактор, як кількість РС АТП, і її кардинальна реконструкція у майбутньому економічно недоцільна. Для підтримання РС у технічно справному стані протягом календарного року параметри зони ТО мають враховувати сезонні коливання (інтенсивність) експлуатації РС. Безпосередньо під час експлуатації РС необхідно брати до уваги фактори, які впливатимуть на періодичність (категорія умов експлуатації автомобілів, природно-кліматичні умови) і трудомісткість (модифікація рухомого складу та організація його роботи) ТО. Трудомісткість ТО – показник, який можна варіювати чисельністю одночасно заді-

яних робітників під час виконання робіт з ТО, при збільшенні чисельності робітників на посту ТО збільшується, в підсумку, загальна пропускна здатність зони ТО АТП.

Незважаючи на наукові дослідження, які свідчать, що трудомісткість технічного обслуговування в умовах АТП під час застосування потокового методу ТО знижується на 15–20% у порівнянні з постами, в сучасних АТП даний метод не використовується, пояснюється це великою протяжністю потокової лінії та необхідністю дотримуватись чіткої і злагодженої роботи всіх робітників на постах лінії.

Список літератури:

1. Шевелев Е.С. Определение параметров зоны технического обслуживания с учётом неравномерности поступления автомобилей : дис. ... канд. техн. Наук : 05.22.10 / Тюменский государственный нефтегазовый университет. Тюмень, 2009. 154 с.
2. Болбас М.М. Основы технической эксплуатации автомобилей : учеб. пособие. Минск : Амалфея, 2001. 352 с.
3. Давидович Л.Н. Проектирование предприятий автомобильного транспорта. Москва : Транспорт, 1975. 392 с.
4. Авдолькин Ф.Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей: учеб. пособие. Москва : Транспорт, 1985. 215 с.
5. Довбня Б.Е. Влияние сезонных изменений интенсивности эксплуатации на производственную программу предприятий по техническому обслуживанию автомобилей : дис. ... канд. техн. Наук : 05.22.10 / Тюменский государственный нефтегазовый университет. Тюмень, 2000. 192 с.
6. Кузнецов Е.С., Курников И.П. Производственная база автомобильного транспорта: Состояние и перспективы. Москва : Транспорт, 1988. 231 с.
7. Техническая эксплуатация автомобилей : учеб. / Ю.П. Баранов и др.; под ред. Г.В. Крамаренко. Москва : Транспорт, 1983. 488 с.
8. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта. Москва : Транспорт, 1986. 73 с.
9. Рекомендации по организации технического обслуживания и ремонта строительных машин. Москва : Стройиздат, 1978. 92 с.
10. Карташов В.П. Методы технического обслуживания автомобилей. Саратов : Приволжское книжное изд-во, 1964. 204 с.
11. Колесник П.А., Шейнин В.А. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей: учеб. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Транспорт, 1985. 325 с.
12. Бедняк М.Н. Моделирование процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей. Киев : Вища школа, 1983. 131 с.
13. Петрова Е.В., Алексеева И.М. Статистика : учеб. Москва : Статистика, 1973. 207 с.

Khavruk V.O. FACTORS AFFECTING PARAMETERS CAR MAINTENANCE ZONES IN A TRANSPORTATION COMPANY

The article considers the main factors that must be taken into account when determining the parameters of the maintenance zone of motor transport enterprises.

It was found that the parameters of the maintenance zone of motor transport enterprises are: the number of maintenance posts, the number of workers at the post, the number of shifts, the working time of one shift (shift duration), the method of organization of work.

It is established that the number of maintenance posts of motor transport enterprises is influenced by two groups of factors: 1) factors that affect the maintenance program of cars; 2) factors affecting the working time fund of the post. In turn, the first group of factors includes a set of such indicators as: the number of cars, the intensity of car operation – mileage (characterized by seasonal fluctuations), the operating conditions of cars; the second group of factors includes: modification of rolling stock and organization of its work, the number of technologically compatible rolling stock, organization of maintenance work (number

of workers per post, duration and number of changes in the maintenance area, synchronicity of work on the production line).

The general scientific approach of researchers concerning allocation of organizational (managerial) and operational factors which characterize technical service of cars in the conditions of motor transport enterprises is substantiated. Research shows that the level of allowable downtime in maintenance and repair increases by 85–100% with increasing car mileage.

Arguments on the advantages of using the flow method of maintenance in trucking companies, in particular, the complexity of maintenance in the use of flow production is reduced by 15–20%, while pointing to the need to reduce the asynchrony of work at the posts of the production line.

The results of the article can be used in the initial stages of planning and organization of the maintenance zone of motor transport enterprises.

Key words: *car, motor transport enterprise, post, current repair, rolling stock, maintenance, factor.*

БУДІВНИЦТВО

УДК 624.15

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/37>**Стріжельчик Г.Г.**

Харківський національний університет будівництва та архітектури

Бондаренко О.І.

Харківський національний університет будівництва та архітектури

Табачников С.В.

Харківський національний університет будівництва та архітектури

Найдьонова В.Є.

Харківський національний університет будівництва та архітектури

Кулішов С.В.

Харківський національний університет будівництва та архітектури

ОСОБЛИВОСТІ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ БУДІВНИЦТВА КАНАТНОЇ ДОРОГИ У ПРИМОРСЬКОМУ РАЙОНІ М. МАРІУПОЛЬ

У статті описані особливості інженерно-геологічних умов будівництва канатної дороги на зсувно-небезпечному північному узбережжі Азовського моря. Особливості ділянки полягають у перевищенні над рівнем моря на 68,7 м, у проходженні траси канатної дороги по тілу стародавнього зсуву, в геологічній будові та властивостях ґрунтів, наявності декількох водоносних горизонтів, у розвитку сучасних локальних зсувних процесів поверхневого типу, пов'язаних з інтенсивним освоєнням схилу. У геоморфологічному відношенні особливості території полягають у високому геодинамічному потенціалі і прояві таких процесів, як ерозія, абразія, зсувні зміщення різного типу: зсуви-обвали, зсуви-витискання, зсуви-ковзання поверхневого типу. Особливість ділянки полягає в тому, що вона розташована в «тіні» портових споруд, де різко понижена роль течій і абразії в переробці берега. Встановлено, що древній зсув належить до зсувів видавлювання блоків порід. Відзначено, що стійкість зсувного схилу загалом забезпечується його положенням у «тіні» портових споруд, що захищає берегову частину від розмиву.

Гідрогеологічні особливості ділянки полягають у наявності двох постійних водоносних горизонтів: верхній горизонт – в апшеронських відкладеннях – має безнапірний характер, має вигляд мочажин і розвантажуються в делясивні відкладення; нижній горизонт – у кувальницьких відкладеннях – має напір 10–15 м, розвантажуються в делясивні і сучасні морські відкладення. Обидва водоносні горизонти сприяють розвитку зсувних процесів.

У статті наводяться вихідні дані і результати розрахунку стійкості схилу, які виконані різними методами, а також наведені рекомендації щодо збереження загальної стійкості схилу та зниження активності локальних зсувів поверхневого типу. Наведені у статті дані та висновки дають змогу використовувати отримані результати під час освоєння інших ділянок північного узбережжя Азовського моря, що зазнають зсувних деформацій і відповідних деформацій існуючих забудов.

Ключові слова: канатна дорога, зсувні процеси, стійкість схилу, властивості ґрунтів.

Постановка проблеми. Необхідно виконати інженерно-геологічні вишукування, оцінити умови і можливості будівництва канатної дороги на зсувному схилі [1; 2] північного узбережжя Азовського моря.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У попередніх дослідженнях [5; 6] вивчалися загальні закономірності геологічної будови та розвитку північного узбережжя Азовського моря, і цим питанням присвячено цілу низку публіка-

цій. При цьому була відсутня необхідна характеристика фізико-механічних властивостей ґрунтів та оцінка стійкості ділянки будівництва канатної дороги [3; 4].

Постановка завдання. Мета статті – аналіз сучасного стану та інженерно-геологічних умов ділянки зсувного схилу на околиці м. Маріуполя з метою показу можливостей подальшого будівельного освоєння на подібних складних територіях морського узбережжя.

Виклад основного матеріалу. У структурно-тектонічному відношенні ділянка траси проходження канатної дороги (див. рис. 1) входить до зони з'єднання Чорноморської западини із Північно-кавказькою частиною Російської платформи, що приводить до формування розломно-блокової будови, яка простежується в рельєфі. Сучасна поверхня на території досліджень піднімається над рівнем моря на 60–70 м, а сучасні рухи блоків зумовлюють опускання до 1 см/рік [5–8].

Геологічна будова ділянки складається з літолого-генетичного комплексу порід, що мають свої фізико-механічні особливості, таких як (див. табл. 1):

- верхньочетвертинні еолово-делювіальні суглинки (потужністю до 10 м), лесовидні, макропористі, твердої консистенції, що мають властивості просадочних;
- товщі (до 30 м) четвертинних, літіфікованих (щільних), середніх і важких суглинків від твердої до тугопластичної консистенції, що набрякають і

формують усадкові «дзеркала» (що іноді помилково приймається за дзеркала ковзання);

- товща, що перешаровується, піщаних і глинистих відкладень апшеронської свити неогену лиманово-озерного походження, потужністю до 30 м;
- гравелісті відкладення і глини куюльницької свити неогену, покрівля яких знаходиться на 1–5 м вище за рівень моря. Потужність цих відкладень на цій ділянці не встановлена.

Як впливає з результатів виконаних робіт, ділянка канатної дороги, починаючи від уступу з абс. відм. $\approx 68,7$ м і до рівня моря, проходить по тилівій стінці і тілу стародавнього зсуву видавлювання. Активний період розвитку цього зсуву був в інших гідрокліматичних умовах, імовірно, задовго до теперішнього часу. Період стабілізації та припинення ерозійного змиву тіла зсуву почався, на нашу думку, після закладки і розвитку портових споруд, які змінили характер берегових течій і перешкождали абразивним процесам, що викликаються вітрами північно-східного і південно-східного напрямків. На захід від ділянки (приблизно 300–500 м) на узбережжі, що не захищене портовими спорудами, добре простежуються основні свіжі елементи зсуву видавлювання – крута стінка відриву, уступи, горби видавлювання на суші і в морі.

У сучасний період ділянка проходження траси має достатній запас стійкості. Кількісні показники наведені в таблиці 2 та на рис. 2.

На ділянці спостерігаються численні промоїни й уступи. Промоїни пов'язані з великим коливан-

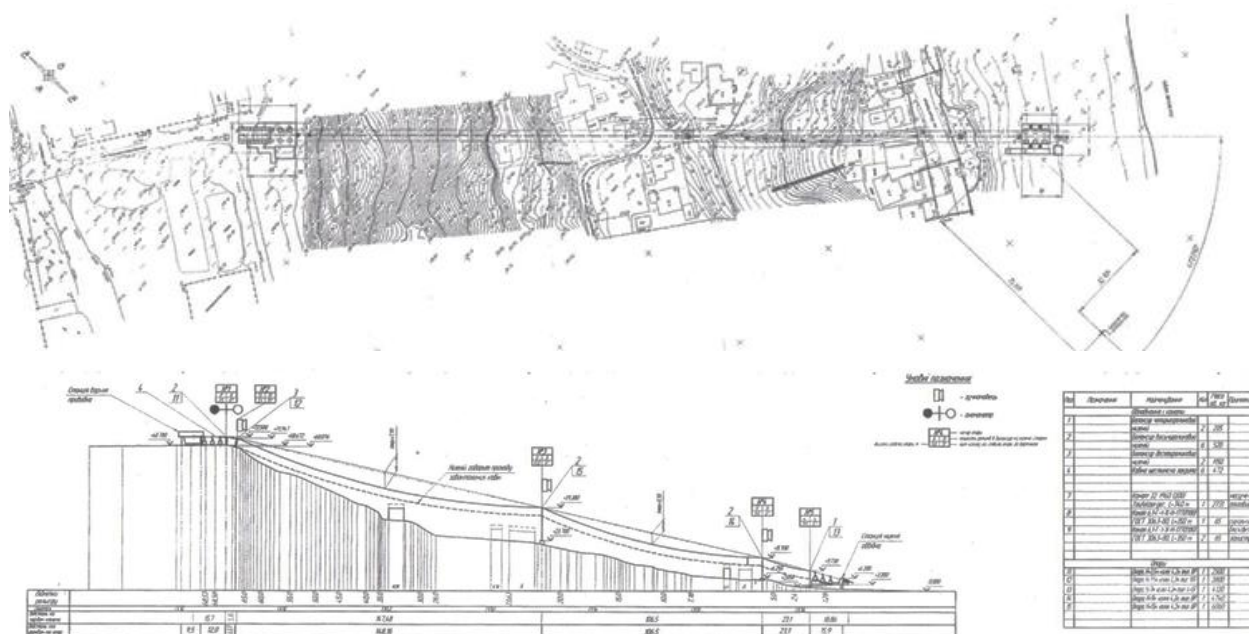


Рис. 1. Траса канатної дороги (план і повздовжній розріз)

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості ґрунтів. Розрахункові значення показників ІґЕ-2 – ІґЕ-10

Геологічний індекс	Номер ІґЕ	Найменування ґрунту	Питома вага ґрунту, кН/м ³		Питоме зчеплення, МПа		Кут внутрішнього тертя, град.		Модуль деформації, МПа	
			γ	γ	c	c	φ	φ	E	E
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Q _{IV}	2, 2a	Суглинок світло-жовтий, твердий, макропористий	15.40	15.37	0.153	0.025	21	19	11	6
Q _{II-III}	3	Суглинок жовто-бурий, твердий, у водонас. ст. напівтвердий	20.18	20.20	0.217	0.050	21	19	15	13
Q _{II-III}	4	Глина світло-бура, напівтверда, у водонасич. ст. напівтверда	19.62	19.60	0.138	0.043	17	14	16	14
Q _{II-III}	5	Глина бура з помаранчевим відтінком, напівтверда, у водонасич. ст. напівтверда	19.56	19.52	0.127	0.030	23	21	17	14
Q _{I-Ng 2} ³	6	Коричнево-бурі глини зі включеннями піску і гравію, напівтверді	19.34	19.32	0.131	0.034	17	15	18	17
Ng ₂ ²	7	Коричнево-бурі напівтверді глини з прошарками сірих глин і лінзами сірого піску	19.40	19.36	0.147	0.042	18	15	16	15
Ng ₂ ²	8	Глини коричневі, жовтувато-коричневі, зеленуваті, напівтверді	19.88	19.83	0.139	0.036	18	15	14	13
Q _{IV}	9	Пісок дрібний, сірий, маловологий, глинистий, середньої щільності	17.94	18.93	0.002	0.001	28	26	22	20
Q _{IV}	9-а	Пісок дрібний, сірий, водонасичений, середньої щільності	18.93	18.93	0.001	0.001	26	26	24	24
Ng ₂ ³	10	Глина червона, тугопластична, у водонасич. ст. тугопластична	20.40	20.40	0.044	0.044	21	21	16	14

Таблиця 2

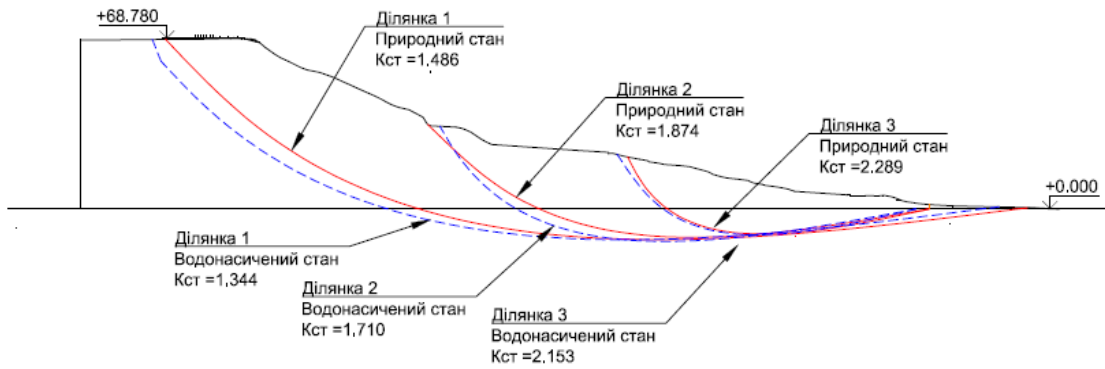
Значення стійкості схилу в природному і водонасиченому стані

Назва методу	Значення стійкості схилу у природному стані			Значення стійкості схилу у водонасиченому стані*		
	Ділянка 1 (загальна стійкість)	Ділянка 2 (локальна стійкість 1)	Ділянка 3 (локальна стійкість 2)	Ділянка 1 (загальна стійкість)	Ділянка 2 (локальна стійкість 1)	Ділянка 3 (локальна стійкість 2)
Бішопа (спрощений)	1,477	1,870	2,297	1,337	1,712	2,159
Янбу (коригований)	1,468	1,849	2,253	1,310	1,683	2,122
Спенсера	1,486	1,874	2,289	1,344	1,710	2,153

ням відміток поверхні і, відповідно, з великою енергією руху зливових і талих вод. Уступи мають природний (блоковий) характер і техногенний, пов'язаний із плануванням ділянки й улаштуванням проїздів. Ймовірно, за багаторічний період стабілізації значна частина маси зсуву була розмита ерозійними процесами.

Одночасно з процесами загальної стабілізації ділянки на всіх уступах є свіжі сліди локальних

гравітаційних процесів. Ці процеси не створюють аварійних умов для споруд канатної дороги, але призводять до деформації будівельних конструкцій споруд садибної забудови. Ці порушення пов'язані зі зрізками, підсіпкою (тобто плануванням) окремих ділянок, наявністю центрального водопостачання і великої кількості вигрібних ям, а також із поливом городніх і садових ділянок.



Прим.:
1. замочування ґрунтів виконувалось в умовах примусової вакуумації ;

а) Метод Спенсера



Прим.:
1. замочування ґрунтів виконувалось в умовах примусової вакуумації ;

б) Метод Бішопа (спрощений)



Прим.:
1. замочування ґрунтів виконувалось в умовах примусової вакуумації ;

в) Метод Янбу (коригований)

Рис. 2. Схеми розрахунку стійкості схилу

Інженерно-геологічні умови ділянки проходження траси можуть істотно змінитися в бік зниження стійкості під впливом таких факторів:

- поглиблення (тобто виїмки ґрунту) в районі пляжу;
- інтенсивного замочування ґрунтів;
- підрізання схилу з утворенням уступів висотою понад 5 м.

Навпаки, розширення пляжу (шляхом підсипання і влаштування шпунтової огорожі) підвищить стійкість схилу [4].

Нині ділянка характеризується достатнім запасом стійкості (див. табл. 1) для об'єктів категорії відповідальності СС3. Оскільки інтенсивне замочування є одним з основних чинників, що діють на зсувні процеси, нами виконані дослідження, які показали, що навіть в умовах примусового замочування запас стійкості знижується несуттєво.

Висновки. За результатами виконаної роботи можна зробити такі висновки:

- Ділянка досліджень характеризується складними інженерно-геологічними умовами (категорія III «а»), оскільки розташована частково на верхній брівці зсувного уступу і частково на тілі стародавнього зсуву. Нині ділянка перебуває у стійкому стані, і ризик втрати стійкості відсутній.
- Мікропроцеси деформації будівельних конструкцій садибної забудови пов'язані з особливими властивостями набухаюче-усадочних ґрунтів і проявами повзучості (кріп) поверхневого типу. Цьому сприяють численні вигрібні

ями, поливи городів і дерев, а також підрізування природних укосів під час формування проїздів. Під час вибору типів фундаментів під різні споруди необхідно враховувати наявність просадочних ґрунтів на верхньому уступі і необхідність прорізки цих ґрунтів або усунення просідання трамбуванням, оскільки у процесі будівництва можливе замочування цих ґрунтів і наступні деформації.

– Стан та фізико-механічні властивості ґрунтів дають змогу будувати об'єкти канатної дороги як на фундаментах глибокого (палі), так і мілкого (окремо розташовані) закладення.

– Для збереження наявних умов стійкості схилу в межах умовної смуги відчуження та забезпечення тривалої експлуатації канатної дороги рекомендуємо:

- виконати часткове або повне зрізання насипних ґрунтів;
- організувати відведення поверхневого стоку по всій трасі канатної дороги шляхом влаштування лотків і водобійних колодязів;
- виключити підрізування схилу, оскільки це може викликати локальні зсувні зміщення;
- виключити видобуток піску і поглиблення в районі пляжу, оскільки це може знизити опір зсувного тиску з боку схилу;
- розширити пляж шляхом підсипання і будівництва берегозахисних споруд, що істотно підвищить загальну стійкість схилу на захід від канатної дороги.

Список літератури:

1. Стрижельчик Г.Г. Особенности развития оползневых процессов в пос. Мелекино на северном побережье Азовского моря / Г.Г. Стрижельчик, В.Ю. Егупов, А.И. Бондаренко, С.В. Кулишов // Материалы IV научной конференции. Х.: ХНУБА. 2017. С. 186–190.
2. Стрижельчик Г.Г. Особенности научно-технического сопровождения проектно-изыскательских работ для строительства на оползнеопасных участках / Г.Г. Стрижельчик, С.В. Кулишов // Науковий вісник будівництва. 2017. Т.87, № 1. С. 98–101. [Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvb_2017_87_1_24]
3. Рекомендации по инженерно-геологической типизации оползневых склонов применительно к задачам оценки устойчивости и инженерной защиты. М.: Стройиздат, 1984. 80 с.
4. ДБН А.2.1-1-2008 Інженерні вишукування для будівництва [Чинний від 01.07.2008]. Мінрегіонбуд України. 74 с.
5. ДБН В.1.1-46:2017 Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення [Чинний від 2017-11-01]. Мінрегіонбуд України. 41 с.
6. Семкин Н.М. О классификационной принадлежности и механизме смещения оползней побережья Азовского моря / Н.М. Семкин // Гл. Разведка и охрана недр. ПГО Донбассгеология. 1994. № 4. С. 36–39.
7. Антюхов А.А. Механизм оползней неогеновых отложений Ждановского побережья Азовского моря // Антюхов А.А., Киев, 1982 г.

Strizhelchik G.G., Bondarenko O.I., Tabachnikov S.V., Naidonova V.E., Kulishov S.V.

PECULIARITIES OF ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONDITIONS OF CABLE ROAD CONSTRUCTION IN THE PRIMORSK DISTRICT OF MARIUPOL

The article describes the features of engineering and geological conditions for the construction of a cable road on the landslide-prone northern coast of the Sea of Azov. The peculiarities of the site are 68.7 meters

above sea level, the passage of the cable road route along the body of the ancient landslide, the geological structure and properties of soils, the presence of several aquifers, the development of modern local landslide processes associated with intensive development. In geomorphological terms, the features of the territory are high geodynamic potential and manifestation of such processes as erosion, abrasion, landslides of various types: landslides, landslides of extrusion, displacement landslides. The peculiarity of the site is that it is located in the "shadow" of port facilities, where the role of currents and abrasions in the processing of the shore is sharply reduced. It has been established that the ancient landslide belongs to the landslides of extrusion of rock blocks. It is noted that the stability of the landslide slope is generally ensured by its position in the "shadow" of port facilities, which protects the coast from erosion.

Hydrogeological features of the site are the presence of two permanent aquifers: the upper horizon – in Apsheron sediments – is pressureless, have the form of swamps and is unloaded into delapsive sediments; lower horizon – in Kuyalnytskia sediments has a pressure of 10–15 m, is unloaded into delapsive and modern marine sediments. Both aquifers contribute to the development of landslides.

The article presents the initial data and results of the calculation of the stability of the slope, performed by various methods, as well as recommendations for maintaining the overall stability of the slope and reducing the activity of local displacements of the surface type. The data and conclusions presented in the article allow to use the obtained results in the development of other parts of the northern coast of the Sea of Azov, experiencing landslides and the corresponding deformations of the existing buildings.

Key words: *cable road, landslide processes, slope stability, soil properties.*

Чичулін В.П.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Чичуліна К.В.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

ЙМОВІРНІСНИЙ РОЗРАХУНОК ФЛАНЦЕВОГО З'ЄДНАННЯ

У статті приведені основні етапи оцінки надійності сталевих конструкцій та їх окремих конструктивних елементів. Розрахунок будь-якої конструкції заснований на виборі певної моделі або розрахункової схеми. При цьому виділяють істотні чинники і відкидають несуттєві, другорядні. При оцінці напруженого стану конструкції можливі два підходи до аналізу: детермінований та ймовірнісний. На початку ймовірнісних розрахунків визначаються геометричні характеристики об'єкта. Наступним етапом визначаються розрахункові характеристики міцності та навантаження. Також розраховуються статистичні залежності, зокрема, математичне сподівання та середнє квадратичне відхилення, коефіцієнт варіації міцності та навантаження. Запропоновано приймати випадкові характеристики міцності та навантаження у вигляді нормального розподілення. Оцінка надійності сталевих конструкцій здійснюється з достатньою достовірністю, за детерміністичними формулами граничної рівноваги, використовуючи математичні очікування і стандарти внутрішніх і зовнішніх факторів. У розрахунках використовуються загально прийняті залежності для нормального розподілу резерв міцності, характеристика безпеки. Ймовірність відмови та ймовірність безвідмовної роботи визначаються з використанням функції Лапласа. Представлено ймовірнісний розрахунок фланцевого з'єднання на навантаження від кручення. У розрахунках використовуються статистичні характеристики болтів різних класів міцності. Задаються коефіцієнти варіації міцності і навантаження. Кількість болтів задається умовно. Конструктивні вимоги до з'єднання враховуються додатково. Спроцєні процедури розрахунку дозволяють виконати оперативну оцінку конструктивної надійності з використанням ймовірнісних концепцій. Знаходження характеристик для вихідних параметрів у цьому випадку зводиться до застосування відомих формул теорії ймовірностей, дають розподіл випадкових функцій від випадкових величин.

Ключові слова: надійність, фланцеве з'єднання, відмова, ймовірність, руйнування, міцність, навантаження.

Постановка проблеми. Реальні умови експлуатації конструкцій будівель і споруд можуть значно відрізнятись від тих, які приймаються на стадії проектування і базуються на гіпотезах і припущеннях. Основним інструментом виходу із цієї невизначеності є розрахунок у поєднанні з конструюванням. Розрахункова модель будівельних конструкцій повинна містити комплекс базових даних, що представляють собою фізичні параметри, які відповідають навантаженням і впливам зовнішнього середовища, властивостям матеріалів, а також геометричним параметрам. Основною метою розрахунків є забезпечення розрахункового рівня надійності із застосуванням двох можливих підходів: ймовірнісного методу або методу коефіцієнтів, прив'язаного до граничних станів конструкцій. Існує тенденція до поступового переходу до ймовірнісних методів розрахунку, оскільки шлях забезпечення надійності залежить від величезної кількості чинників, пов'язаних із

проектуванням, виготовленням, експлуатацією конструкцій, вплив яких неможливо оцінити коефіцієнтами методу граничних станів. Отже, актуальність приведення ймовірнісного розрахунку фланцевих з'єднань не викликає сумніву.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналізу ймовірнісних методів та теорії надійності присвячені роботи [1–4], в яких загалом представлені основні методи будівельних конструкцій та, зокрема, окремих конструктивних елементів (підкранових та кроквяних балок, ферм, колон та загалом рамних конструкцій). Робота [5] присвячується аналізу розрахунку болтів фланцевих з'єднань при складному напружено-деформованому стані, який виникає в болтах контактного фланцевого з'єднання (з'єднання без прокладок, які застосовуються в конструкціях що не потребують повної герметизації стиків), в нашому випадку – з'єднання направляючої і валу колеса огляду. У [6] представлені основні поняття

теорії надійності, компоненти та показники надійності, найбільш поширені методи оцінювання показників надійності будівельних конструкцій, імовірнісні моделі навантажень, методи їх статистичного дослідження та встановлення розрахункових значень.

Постановка завдання. При ймовірнісних розрахунках розглядаються випадкові характеристики, використання яких дає можливість проектувати конструкції заданого рівня надійності. Тому розробка методів імовірнісних розрахунків різного типу конструкцій є актуальною проблемою. При цьому дуже важливо достовірно представлені характеристики міцності і навантаження. Спрощені процедури розрахунку дозволяють виконати оцінку конструктивної надійності з використанням ймовірнісних методів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглядаючи основи надійності механічних деталей, наведемо розв'язання цього питання в техніці випадкових величин. Розглянемо випадок, коли досліджена деталь (елемент) завантажена випадковим механічним навантаженням \tilde{g} , котра викликає в деталі випадкові механічні напруження $\tilde{\sigma}$. Відмітимо, що міцність деталі – також випадкова величина, вона визначається випадковими напруженнями руйнування $\tilde{\sigma}_y$ (наприклад, межа плинності для м'якої сталі). Отже, несуча здатність деталі дорівнює:

$$\tilde{R} = \tilde{\sigma}_y A, \quad (1)$$

де A – геометрична характеристика перерізу деталі.

Запишемо узагальнену умову безвідмовності деталі:

$$\tilde{Y} = \tilde{R} - \tilde{S} \geq 0, \quad (2)$$

де \tilde{R} – несуча здатність (або опір) деталі;

$\tilde{S} = a\tilde{q}$ – зусилля в деталі або напруження від зовнішнього навантаження;

\tilde{Y} – резерв міцності (резерв несучої здатності) деталі.

У першу чергу, розглянемо ці параметри в техніці випадкових величин. Таке уявлення доречно при дії навантажень мало змінних у часі (постійних і деяких технологічних) або тих, що мають одноразовий характер.

Зону допустимих станів складає множина, для кожного елемента якої виконується наведена нерівність:

$$\Omega = \{Y : y = (R-S) \geq 0\}. \quad (3)$$

У координатах $R=S$ область Ω має трикутну форму та розташовується вище прямої $R=S$ (рис. 1, а).

Загалом, відомо, що метод визначення надійності, описує ймовірність відмови [2]. Припустимо, що криві розподілу навантажень і несучої здатності підпорядковуються нормальному закону (рис. 1, б). Отже, загальну умову безвідмовної роботи можна записати в такому вигляді:

$$Y = R - S \geq 0, \quad (4)$$

де R – розрахунковий параметр несучої здатності;

S – розрахунковий параметр навантаження.

Також ймовірність безвідмовної роботи можна представити у наступному вигляді:

$$P = \int_{\Omega} f(Y) dY. \quad (5)$$

Зазначимо, що за умови нормальних розподілів і розподілення їхньої різниці відбувається за нормальним законом. Приведемо алгоритм розрахунку надійності:

- 1) математичні очікування та стандарти випадкових величин зусиль (\bar{S}, \hat{S}) ;
- 2) характеристики несучої здатності (\bar{R}, \hat{R}) ;
- 3) резерв міцності (Y) ;
- 4) математичне очікування (\bar{Y}) та стандарт резерву міцності (\hat{Y}) :

$$\bar{Y} = \bar{R} - \bar{S}, \quad (6)$$

$$\hat{Y} = \sqrt{\hat{R}^2 + \hat{S}^2}; \quad (7)$$

- 5) характеристика безпеки:

$$\beta = \frac{\bar{Y}}{\hat{Y}} = \frac{\bar{R} - \bar{S}}{\sqrt{\hat{R}^2 + \hat{S}^2}}; \quad (8)$$

- 6) ймовірності відмови:

$$Q(Y \leq 0) = F_y(0) = F_y(\bar{Y} - \beta \hat{Y}). \quad (9)$$

Під час використання нормального розподілу $f(Y)$ із застосуванням характеристики безпеки отримуємо такі вирази:

$$\begin{aligned} Q(Y \leq 0) &= 0,5 - \Phi(\beta) \\ P(Y \geq 0) &= 0,5 + \Phi(\beta) \end{aligned} \quad (10)$$

Представимо функцію Лапласа – табульовану в такому вигляді:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-z^2/2} dz. \quad (11)$$

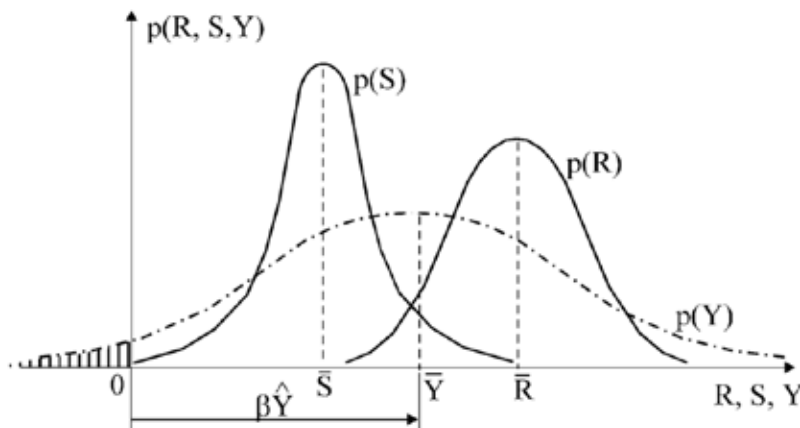
Проаналізуємо поетапне визначення надійності фланцевого з'єднання (рис. 2).

Спочатку існує необхідність оцінки ймовірності відмови фланцевого з'єднання механізму трансмісії. Підберемо новий діаметр за необхідності і кількість болтів, що кріплять фланцеву частину з умови $Q(x) < [0,001]$.



- ① - зона допустимих станів
- ② - зона відмови
- 3 - межа допустимої зони
- 4 - проекція розподілу $P_Y(R,S)$

а)



б)

Рис. 1. Визначення ймовірності відмови

- а) оцінювання надійності у техніці випадкових величин;
- б) за нормальним законом розподілення

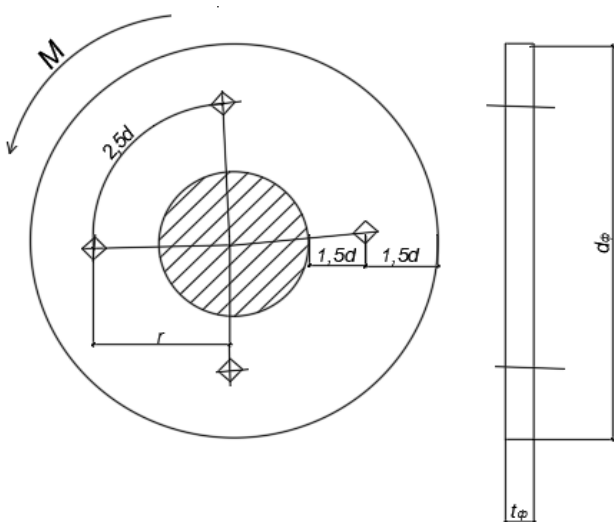


Рис. 2. Розрахунок фланцевого з'єднання

Вихідні дані розрахунку можна представити у наступному вигляді:

- 1) діаметр болтів: $d=16$ мм;
- 2) зусилля, що передається: $M=20$ кНм;

- 3) кількість болтів: $n=4$;
- 4) клас міцності болтів: 5.6.
- 5) $\bar{S} = 0,5S$; $V_B = 0,2$ – числові характеристики вантажу;
- 6) $\bar{\sigma} = 220$ МПа; $V_\sigma = 0,1$ – числові характеристики межі міцності сталі;
- 7) математичне очікування розрахункового опору зрізанню для класів міцності болтів;

Таблиця 1

Математичне очікування розрахункового опору зрізанню, мПа

Клас болтів	4.6	4.8	5.6	5.8	6.6	8.8
R_{ds}	215	230	270	285	330	415

- 8) сталь для вала і фланцю 09Г2С із характеристиками зрізанню $[\tau] = 174$ МПа, змінанню $R_{bp}=520$ МПа (товщина фланцю визначається з умов роботи на змінання).

Отже, запропонуємо основні етапи детального розрахунку ймовірності безвідмовної роботи (надійності):

1. Детермінований розрахунок. Діаметр вала:

$$d_6 = \sqrt[3]{\frac{16M_{кр}}{\pi[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16E20E100}{3,14E17,4}} = 8,4 \text{ см}. \quad (11)$$

2. Характеристики резерву несучої здатності:

2.1. Площа болта:

$$A_b = \pi d^2 / 4 = 3,14E1,6^2 / 4 = 2,01 \text{ см}^2; \quad (12)$$

2.2. Радіус до осі болтів:

$$r_0 = 0,5d_6 + 1,5d = 0,5E8,4 + 1,5E1,6 = 6,6 \text{ см}; \quad (13)$$

2.3. Напруження від зрізу на один болт:

$$S = M / (r_0 n A_b) = 20E100 / (6,6E4E2,01) = 38 \text{ кН} / \text{см}^2; \quad (14)$$

2.4. Математичне очікування напруження в болтах:

$$\bar{S} = 0,5\bar{S} = 0,5E38 = 19 \text{ кН} / \text{см}^2; \quad (15)$$

2.5. Середнє квадратичне відхилення напруження в болтах:

$$\hat{S} = V_s \bar{S} = 0,2E19 = 3,8 \text{ кН} / \text{см}^2; \quad (16)$$

2.6. Математичне очікування міцності болтів: $\bar{R} = 27 \text{ кН} / \text{см}^2$;

2.7. Середнє квадратичне відхилення міцності болтів:

$$\hat{R} = V_\sigma \bar{R} = 0,1E27 = 2,7 \text{ кН} / \text{см}^2. \quad (17)$$

3. Характеристика безпеки через резерв несучої здатності за формулою (8):

$$\beta = \frac{\bar{R} - \bar{S}}{\sqrt{\hat{R}^2 + \hat{S}^2}} = \frac{27 - 19}{\sqrt{2,7^2 + 3,8^2}} = 1,72.$$

3.1. Визначення ймовірності безвідмовної роботи болтів:

$$P = 0,5 + \Phi(1,72) = 0,5 + 0,4573 = 0,9573 < 0,999 \quad (\text{надійність не забезпечена}). \quad (18)$$

4. Збільшуємо кількість болтів (чи збільшення діаметра болтів, чи підвищення класу міцності болтів):

4.1. Максимальна кількість болтів даного діаметру, котрі можна розмістити на фланці (заокруглюємо до меншого):

$$n = 2\pi r_0 / (2,5Ed) = 2E3,14E6,6 / (2,5E1,6) = 10,36 \approx 10 \text{ шт}; \quad (18)$$

4.2. Імовірність безвідмовної роботи $P = 0,999$ відповідає характеристиці безпеки $\beta = 3,08$.

Якщо вирішити зворотну задачу, математичне очікування навантаження: $\bar{S} = 0,5445\bar{R}$. Тоді необхідна кількість болтів становитиме (заокруглюємо до більшого):

$$n = M / (r_0 A_b 2\bar{R}x0,5445) = 2000 / (6,6E2,01E2E27E0,5445) = 5,12 \approx 6 \text{ шт}.$$

Потрібно, щоб необхідна кількість болтів була менше або дорівнювала максимальній кількості, в іншому випадку поступово збільшуємо діаметр болтів.

5. Перевіряємо ймовірність відмови, використовуючи той самий алгоритм розрахунку:

$$S = M / (r_0 n A_b) = 20E100 / (6,6E6E2,01) = 25,13 \text{ кН} / \text{см}^2$$

$$\bar{S} = 0,5E25,13 = 12,56 \text{ кН} / \text{см}^2;$$

$$\hat{S} = 0,2E12,56 = 2,5 \text{ кН} / \text{см}^2;$$

$$\beta = \frac{27 - 12,56}{\sqrt{2,5^2 + 2,5^2}} = 3,92.$$

Отже, визначаємо ймовірність безвідмовної роботи болтів:

$$P = 0,5 + \Phi(3,92) = 0,5 + 0,4999 = 0,9999 > 0,999$$

(надійність забезпечена). Приймаємо 6 болтів діаметром 16 мм.

Висновок. Представлено ймовірнісний розрахунок фланцевого з'єднання надає можливість використовувати в реальному проектуванні статистичні характеристики міцності і навантаження, а також отримувати конструкції заданого рівня надійності. Методика визначення ймовірнісних характеристик резерву несучої здатності може бути застосована для різних конструктивних елементів і систем в цілому для більш повного врахування несучої здатності всіх елементів конструкції при проектуванні нових і реконструкції наявних будівель.

Список літератури:

1. Пічугін С.Ф. Розрахунок надійності будівельних конструкцій. *Монографія*. 2016. 520 с.
2. Чичулін В.П., Чичуліна К.В. Межа застосування формули визначення ймовірності відмови об'єкту з урахуванням параметра часу. *Нові технології в будівництві*. 2014. № 27. С. 30–34.
3. Перельмутер А.В. Развитие требований к безотказности сооружений. *Вестник ТГСАУ*. 2015. № 1. С. 81–101.
4. Краснощекоев Ю.В. Вероятностный расчет строительных конструкций с учетом асимметрии распределения случайных величин и функций. *Вестник СибАДИ*. 2020; 17(5). С. 635–636.
5. Білик С.І., Бут М.О., Шпинда В.З. Аналіз розрахунку болтів фланцевого з'єднання в умовах складного напружено-деформованого стану. *Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського*. Випуск 13. 2014. С. 76–84.

6. Пашинський В.А. Основи теорії надійності будівель і споруд. *Методичні вказівки до самостійної роботи студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» усіх форм навчання*. Кропивницький. 2018. 50 с.

Chichulin V.P., Chichulina K.V. PROBABILITY CALCULATION OF FLANGE CONNECTION

The article presents the main stages of evaluating the reliability of steel structures and their individual structural elements. The calculation of any design is based on the choice of a specific model or design scheme. At the same time, significant factors are identified and insignificant, secondary ones are discarded. When assessing the stress state of a structure, two approaches to analysis are possible: deterministic and probabilistic. At the beginning of probabilistic calculations, the geometric characteristics of the object are determined. The next step is to determine the calculated strength and load characteristics. Statistical dependences are also calculated, in particular, the mathematical expectation and mean square deviation, the coefficient of variation of strength and load. It is proposed to take random strength and load characteristics in the form of a normal distribution. Assessment of the reliability of steel structures is carried out with sufficient reliability, using deterministic formulas of boundary equilibrium using mathematical expectations and standards of internal and external factors. The calculations use generally accepted dependencies for the normal distribution of strength Reserve and safety characteristics. The probability of failure and the probability of uptime are determined using the Laplace function. A probabilistic calculation of the flange connection for torsional loads is presented. The calculations use statistical characteristics of bolts of different strength classes. The coefficients of variation of strength and load are set. The number of bolts is set conditionally. Design requirements for the connection are taken into account additionally. Simplified calculation procedures allow you to perform an operational assessment of structural reliability using probabilistic concepts. Finding the characteristics for the initial parameters in this case is reduced to applying the well-known formulas of probability theory, which give the distribution of random functions from random variables.

Key words: reliability, flange connection, probability, failure.

ГЕОДЕЗІЯ

УДК 625.72:528.4

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/39>

Арсеньєва Н.О.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Фоменко Г.Р.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

СУЧАСНІ ГЕОДЕЗИЧНІ ПРИЛАДИ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬ ПІД ЧАС БУДІВНИЦТВА, РЕКОНСТРУКЦІ ТА РЕМОНТНИХ РОБІТ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Важливим фактором, який визначає сучасний рівень інженерно-геодезичного забезпечення робіт з будівництва та ремонту автомобільних доріг, є рівень використання можливостей сучасних геодезичних приладів та технологій. Нові прилади і технології вимагають високого рівня кваліфікації від фахівців під час їх застосування та дозволяють істотно розширити коло завдань, які вирішують методами геодезії і топографії, підвищують доступність топографо-геодезичних матеріалів під час розробки проєктної документації. Сьогодні майже повсюдно йде оновлення геодезичних інструментів та технологій – на зміну оптико-механічним приладам приходять оптико-електронні, активно впроваджується лазерне обладнання. Паперові графічні матеріали (карти, плани) замінюють на більш сучасні електронні моделі та креслення. Використання сучасного геодезичного обладнання передбачає знання теоретичних основ картографії, геодезії та топографії, знання технічних особливостей приладів, знання специфіки роботи з супутниковими системами, розуміння принципу дії приладів, знання характеру і причин виникнення можливих похибок під час проведення вимірювань. Швидкі темпи розвитку технологій, більш складне в технологічному плані будівництво, велика кількість нестандартних інженерних рішень багато в чому визначили зростаючі вимоги до робіт щодо забезпечення точності в будівництві. Підвищуються стандарти якості, які сприяють застосуванню все більш досконалих, точних і складних приладів у всіх сферах, пов'язаних з будівництвом та ремонтом автомобільних доріг. Особливо явно тенденції до застосування все більш технологічного обладнання проглядаються в сфері інженерної геодезії.

Наявність професійного обладнання дозволяє зробити найточніші розрахунки в максимально стислі терміни. В останнє десятиліття темпи модернізації приладів, які використовують під час геодезичних розрахунків, значно зросли, були розроблені зовсім нові технології, які дозволяють поліпшити функціональні особливості та технічні характеристики геодезичного супроводу інженерних об'єктів та споруд.

Ключові слова: сучасні геодезичні прилади, геодезичне забезпечення робіт з будівництва та ремонту автомобільних доріг, топографо-геодезичні роботи, геодезичні вишукування.

Постановка проблеми. Відомо, що вимоги до якості будівельної продукції з кожним роком швидко ростуть. Зростає і необхідність постійного підвищення загального технічного рівня будівельних та ремонтних робіт, надійності, довговічності, естетичності, технологічності топографо-геодезичного супроводу об'єктів. Забезпечення проведення якісних вимірів необхідно як для будівництва, так і для ремонту автомобільних доріг.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Поряд з традиційними методиками геодезичних

робіт сьогодні набуває поширення застосування технологій, які передбачають використання сучасних геодезичних приладів, які є більш ефективними. В роботах К. Антановича, А. Островського, Я. Костецької, Т. Шевченко, О. Мороза, І. Тревого, П. Черняги, І. Бялика [1–5] наведено аналіз сучасних електронних тахеометрів, які випускають закордонні виробники, проаналізовані основні характеристики і технічні можливості приладів, наведена класифікація електронних тахеометрів та перспективи їх розвитку. Привертають увагу

роботи білоруських дослідників М.С. Нестеренко, Ю.А. Катькало [5–8], в яких розглянуті інноваційні методи геодезичних робіт під час будівництва автомобільних доріг.

Сьогодні на ринку пропонується велика кількість різних геодезичних приладів, технології виконання геодезичних робіт не стоять на місці, а дуже швидко розвиваються. Сучасні геодезичні технології дуже відрізняються від традиційних технологій і традиційних геодезичних приладів. Ще кілька років тому для певного виду вимірювань застосовували конкретну технологію вимірювань та конкретний прилад для виконання. Так, сферою застосування теодолітів були кутові вимірювання, нівелірів – висотні вимірювання, для лінійних вимірювань – рулетка або далекомір. Також і точність приладів була відповідною. З появою електронних тахеометрів відпала необхідність додаткових побудов на місцевості, виникла можливість швидкого отримання координат та підвищилась точність вимірювань.

Постановка завдання. Сучасні геодезичні прилади сьогодні – це об’єкти високих технологій, які включають останні досягнення різних наук – електроніки, точної механіки, оптики та інших. Супровід будівництва, реконструкції або ремонтних робіт автомобільних доріг виконується за допомогою геодезичних вимірювань. Точні геодезичні вимірювання на лінійних об’єктах потребують велику кількість часу. Під час використання традиційних геодезичних приладів – теодоліту, далекоміру, нівеліру та рулетки вимірювання можуть зайняти більше тижня. Сьогодні є актуальними терміни виконання робіт, тому підприємники або виконавці намагаються оснастити своїх фахівців сучасним геодезичним обладнанням. Розвиток комп’ютерних технологій зумовив потребу у швидких обчисленнях і кресленнях. Сучасні прилади є універсальними, вони дозволяють провести геодезичні вимірювання в найкоротші терміни і з максимально точними результатами, а наявність відповідного програмного забезпечення дає можливість використовувати їх у спеціальних програмах для проектування доріг.

Виклад основного матеріалу дослідження. Використання сучасного геодезичного обладнання передбачає знання теоретичних основ картографії, геодезії та топографії, знання технічних особливостей приладів, знання специфіки роботи з супутниковими системами, розуміння принципу дії приладів, знання характеру і причин виникнення можливих похибок під час проведення вимірювань. Важливим фактором, який визначає

сучасний рівень інженерно-геодезичного забезпечення будівництва, реконструкції або ремонтних робіт, є рівень використання можливостей сучасних приладів і технологій.

На перший погляд виникає ілюзія того, що сучасні прилади і технології, які характеризуються високим рівнем автоматизації, не вимагають відповідного рівня підготовки фахівців, однак це не так. Тут слід розуміти, що нові прилади і технології під час їх професійного застосування дозволяють істотно розширити коло завдань, які вирішуються, методами геодезії і топографії, підвищити доступність топографо-геодезичних матеріалів під час вирішення різних задач будівництва та експлуатації доріг.

Наявність професійного обладнання дозволяє зробити найточніші розрахунки в максимально стислі терміни. В останнє десятиліття темпи модернізації приладів, які використовують під час геодезичних робіт, значно зросли, були розроблені зовсім нові технології, які дозволили поліпшити їх функціональні особливості та технічні характеристики [5; 9; 10].

Сучасні геодезичні прилади можна розділити на такі групи:

- геодезичне GPS-обладнання;
- електронні тахеометри;
- електронні (цифрові) теодоліти;
- електронні (цифрові) нівеліри;
- лазерні сканери.

Кожен з перерахованих приладів має свою сферу застосування, свої переваги та недоліки. У комплексному будівництві, реконструкції або ремонтних роботах необхідно застосовувати всі види сучасних геодезичних приладів, оскільки кожен з них виконує свій унікальний вид роботи [9].

Геодезичні GPS-приймачі спеціально створені для точного визначення координат точкових об’єктів. GPS-приймачі бувають наступних модифікацій: одночастотні, двочастотні і багаточастотні [9; 10]. Одночастотні використовують для межування земель і проведення підрахунку площі ділянок великих розмірів; двочастотні – для створення мереж згущення опорних геодезичних і межових мереж, проведення зйомок лінійних об’єктів та топографічних зйомок. Багаточастотні GPS-приймачі включають перераховані вище види робіт, а також мають можливість отримання координат в реальному часі. GPS-приймач складається з наступних частин: антена, приймаючий пристрій і польовий контролер. У всіх GPS-приймачах високий ступінь захисту від падінь (з висоти до

1,5 м), пилу і вологи (IP67), що дає можливість застосовувати їх практично у всіх кліматичних умовах [10]. Головним плюсом такого обладнання є мобільність транспортування, оскільки GPS має порівняно невелику вагу і габарити.

Електронний тахеометр об'єднує теодоліт, світлодалекомір і мікроЕОМ, дозволяє виконувати кутові і лінійні вимірювання і здійснювати спільну обробку результатів цих вимірювань [3; 4; 5; 10]. Тахеометри, в яких всі пристрої (кутомірні, далекомірні, зорова труба, клавіатура, процесор) об'єднані в один механізм, називають інтегрованими тахеометрами [3; 4; 5; 10]. Тахеометри, які складаються з окремо сконструйованого теодоліта (електронного або оптичного) і світлодалекоміра, називають модульними тахеометрами.

На цей час найбільш широкого поширення набули електронні тахеометри зарубіжних фірм Sokkia, Topcon, Leica, Trimble. Вони мають вбудоване програмне забезпечення для виробництва практично всього спектру геодезичних робіт: розвиток геодезичних мереж; зйомка і винос в натуру; рішення задач координатної геометрії (пряма і зворотна геодезична завдання, розрахунок площ, обчислення зарубок). Кутова точність у таких приладів може бути від 1" до 5" в залежності від класу точності [3–5].

Електронні теодоліти – це модернізовані пристрої, які намагаються замінити і доповнити можливості оптичних моделей. Попри те, що існує багато спільного в пристрої оптичних і електронних теодолітів, останні мають ряд значних переваг. Головна їх перевага полягає в спрощенні процесу вимірювань. Якщо оператор застосовує оптичну модель, всі відліки знімають візуально, а коли використовує електронний теодоліт, відліки відображаються автоматично, за рахунок чого робота значно прискорюється, а похибка зводиться до мінімуму.

Крім переваг, електронні теодоліти мають кілька досить значущих недоліків. Наявність електронної системи визначає потребу пристрою в електроживленні. Один заряд батарейок гарантує до 20 годин роботи пристрою. Передбачена функція автоматичного вимкнення через 20 хвилин простою забезпечує економічну витрату енергії приладом. Також електронна система досить чутлива до впливу зовнішніх факторів, наприклад, низьких температур, вимагає особливо обережного поводження.

Цифровий нівелір – інструмент, що дозволяє багаторазово підвищити якість і надійність вимірювань. Головною перевагою цифрового нівеліра є можливість автоматичного зняття відліків з використанням спеціальної рейки з нанесеним на неї штрих-кодом. Штрих-код жодного разу не дублюється по всій довжині рейки та дозволяє точно визначити висоту від п'яти рейки до місця наведення горизонтальної труби нівеліра. На відміну від оптичного нівеліра, точність зняття відліків не залежить від особливостей зору спеціаліста або навколишніх умов – досить просто навести на рейку і натиснути на кнопку запуску вимірювань [3–5].

Лазерні сканери – це абсолютно нове геодезичне обладнання. Якщо розглянути технічну сторону лазерних сканерів, лазерний сканер – це прилад, який облаштований високошвидкісним безвідбивачевим лазерним далекоміром і системою зміни напрямку променю лазера. Область сканування – сектор повороту дзеркала, в якому буде з великою швидкістю до 50 000 точок в хвилину поширюватися лазерний промінь далекоміра. Таким чином можна отримати суцільну зйомку об'єкта [3–5; 10].

Найбільше поширення при геодезичному супроводі ремонтних робіт та робіт з будівництва та реконструкції отримали електронні тахеометри та цифрові нівеліри. Великий обсяг геодезичних робіт як під час будівництва, так і під час ремонтних робіт можна виконувати електронним тахеометром.

Тахеометр незамінний під час проведення виносу в натуру. Головною перевагою використання електронних тахеометрів є відсутність необхідності ведення спеціального журналу для запису відстаней і кутів, як під час роботи з теодолітом, оскільки тахеометрична зйомка вимагає тільки ведення абрису. Номери пікетів, відстані і кути зберігаються автоматично в пам'яті інструменту, і в разі зміни місця його розташування необхідно буде тільки ввести відомості про нову станцію і пронумерувати пікет, після чого під час натискання спеціальної кнопки тахеометр сам зробить всі виміри. Також тахеометр дозволяє проводити розрахунок горизонтального положення автоматично – дисплей пристрою показує горизонтальні і вертикальні кути, похили, відстані, перевищення і горизонтальне положення, а режими відображення інформації можуть бути змінені при першій же необхідності. Електронний тахеометр має функцію «виносу в натуру». Тахеометр встановлюють в точці з визначеними координатами, задають координати точки орієнтування або дирекційний кут. Потім виставляється точка для виносу, після введення її координат на

моніторі приладу висвічується кут повороту і дистанція, яку потрібно відміряти в даному напрямку. За допомогою тахеометру можна зробити виміри дистанції між точками, і висоти адаптовані для проведення замірів в зонах особливо знижених температур, проте їх вартість, відповідно, вище.

Під час будівництва та реконструкції автомобільної дороги виконують операційний контроль якості робіт і виконавчий контроль по закінченні всього будівництва або окремої ділянки. Під час контролю перевіряється відповідність геометричних параметрів їх проєктним значенням. Геометричні параметри автомобільної дороги, які можна контролювати з використанням тахеометрів, можна розділити на такі групи: параметри земляного полотна, параметри дорожнього одягу, загальні параметри дороги.

До параметрів земляного полотна, які контролюють, належать [7; 8]:

– довжина прямих ділянок, кути повороту траси;

- радіуси кривих в плані;
- радіуси вертикальних кривих;
- ухили і позначки поздовжнього профілю;
- товщина шарів земляного полотна;
- відстань між віссю і брівкою;
- поперечний ухил;
- крутизна схилів;
- поперечні розміри канав по низу;
- поперечні розміри дренажу;
- поздовжні ухили дренажу;
- ширина насипних бERM.

До параметрів дорожнього одягу відносять:

- висотні позначки по осі дороги;
- ширина шарів дорожнього одягу та земляного полотна;
- товщина шарів дорожнього одягу;
- поперечні ухили.

Загальні параметри дороги включають:

- видимість на перехрестях в одному рівні;
- видимість на горизонтальних кривих;
- видимість на вертикальних кривих.

Одним з методів визначення перевищень в геодезії є нівелювання. Сфера його застосування – вивчення форм рельєфу під час будівництва, реконструкції та виконання ремонтних робіт автомобільних доріг, для спостереження за інженерними та штучними спорудами у процесі експлуатації. Лазерний нівелір, призначений для визначення перевищень і передачі висотних позначок. Відмінністю лазерних нівелірів від їх оптичних аналогів є те, що в них є можливість побудувати робочу площину. В основі конструкції

нівеліру – принцип подвійного зображення. Застосування цифрових нівелірів [9]:

- спостереження за деформаціями інженерних споруд;
- нівелювання проїзної частини дорожнього полотна;
- нівелювання для визначення ухилів та побудови профілів;
- зйомки русла;
- зйомки зон осідання;
- прокладання нівелірних ходів;
- нівелювання майданчиків.

Завдяки сучасним технологіям цифрові нівеліри спрощують роботу спеціаліста у польових умовах та підвищують продуктивність його праці. Використання цифрових нівелірів забезпечує високу точність вимірів та виключає можливість виникнення помилок за рахунок людського фактору.

Лазерна зйомка автомобільних доріг – це порівняно новий метод топографічної зйомки. Проте лазерне сканування набирає широкі популярності для застосування на наших дорогах. Метод заснований на комп'ютерній обробці даних, отриманих в результаті роботи лазерного далекоміра. Датчики реєструють сигнали лазера, відбиті від різних поверхонь; кожен відбитий сигнал фіксується в пам'яті системи як точка в тривимірному просторі. Прив'язка точок до системи координат здійснюється за допомогою навігаційної супутникової системи і інерціального модуля. Процес лазерного сканування дозволяє визначати координати всіх точок в межах радіусу своєї дії [5; 9; 10].

Сканування проводиться за допомогою автомобіля, на якому встановлена система датчиків та іншої апаратури. Рухаючись по трасі зі швидкістю основного потоку автомобілів, система безперервно сканує місцевість, кут огляду при цьому – 360 градусів, а частота сканування – до мільйона імпульсів в секунду. Результатом лазерного сканування є сформовані хмари точок, які відображають простір на момент сканування. Щільність зйомки може бути різною в залежності від поставленого завдання, аж до декількох тисяч пікетів на квадратний метр.

Лазерна зйомка доріг складається з двох етапів: самого сканування і комп'ютерної обробки її результатів. Із сукупності точок вибираються ті, що належать до дороги; на їх основі будується 3D-модель дороги і прилеглої місцевості. Потім хмари точок зіставляються з фотозображенням місцевості і фарбуються у відповідні кольори, що

надає зображенню повну реалістичність. Основна перевага методу лазерного сканування – це можливість оперативного проведення зйомки в умовах безперервного дорожнього руху, без порушення роботи транспортної інфраструктури. Сканування автомобільних доріг – мобільний і високоточний метод, який може застосовуватися на всіх етапах життєвого циклу автомобільних доріг, від інженерних вишукувань для проектування і будівництва та територіального планування до ремонту і реконструкції автомобільної дороги. До переваг мобільних систем сканування можна віднести вартість зйомки, яка істотно нижче, ніж під час використання традиційних методів, великий об'єм топографічної (до 200–300 км дороги), технологія дає можливість з високою точністю оцінювати поточний стан траси. На тривимірній карті дороги детально видно не тільки нерівності і пошкодження дорожнього покриття, а і наявність та стан дорожніх знаків та інших об'єктів транспортної інфраструктури [5; 9; 10].

При ремонтних і інших видах робіт лазерне сканування доріг дає можливість порівняти ділянку дороги «до» і «після» та провести оцінку в тому числі товщини нового дорожнього одягу (похибка кожної точки – не більше 1 см по вертикалі). Метод лазерного сканування можна застосовувати для моніторингу стану дорожніх розв'язок і мостів.

Висновки. Таким чином, можна бачити наскільки були вдосконалені технології, що застосовуються під час геодезичного супроводу будівництва, реконструкції та ремонтних роботах автомобільних доріг. Сучасне геодезичне обладнання та інструменти дозволяють виконувати найскладніші проекти в максимально короткій термін та забезпечувати точність всіх розрахунків і підвищувати продуктивність праці. Поряд з традиційними методиками виконання геодезичних робіт необхідно застосовувати методики, які передбачають використання сучасних приладів, які можуть забезпечити істотний техніко-економічний ефект.

Список літератури

1. Островський А.Л. Геодезія : підручник. Частина друга / А.Л. Островський, О.І. Мороз, В.Л. Тарнавський; За заг. ред. А.Л. Островського : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка». 2008. 564 с.
2. Мороз О.І. Геодезичні прилади: Навч. посібник / О.І. Мороз, І.С. Тревого, Т.Г. Шевченко. Львів : Нац. ун-т «Львівська політехніка», 2005. 264 с.
3. Тревого І.С., Шевченко Т.Г., Мороз О.І. Геодезичні прилади: Практикум. Львів : Нац. ун-т «Львівська політехніка», 2007. 196 с.
4. Тревого І., Баландюк А. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. *Сучасні тенденції розвитку та класифікації електронних тахеометрів*. 2009. Вип. I (170). С. 109–115.
5. Костецька Я.М. Електронні геодезичні прилади. Частина II. Електронні геодезичні прилади : підручник для студентів геодезичних спеціальностей вузів. Львів : ІЗМН, 2000. 324 с.
6. Катяло Ю.А., Тулуевский Н.В., Дроздов Д.Н., Дормаковский И.М. Применение электронных тахеометров для контроля качества работ при строительстве автомобильных дорог. *Вестник Белорусско-Российского университета*. 2015. (3 (48)). С. 143–151.
7. Катяло Ю.А., Подстрелова Е.Н., Терещенко А.С., Тулуевский Н.В. Определение действительных радиусов на закруглениях автомобильных дорог электронным тахеометром. *Вестн. Белорус.-Рос. ун-та*. 2012. № 3. С. 89–95.
8. Нестеренок, М. С. Инновационные методы геодезических работ при строительстве дорог. *Автомобильные дороги, мосты и подземные сооружения: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Белорусского национального технического университета, 21–22 октября 2010 г.* Белорусский национальный технический университет. Минск : БНТУ, 2010. Ч. 1 С. 140–145.
9. Анисенко О.В., Платонова К.А. Сучасні геодезичні прилади, їх значення і роль у геодезичних вимірюваннях. *Інвестиції: практика та досвід*. 2019. № 4. С. 80–83. DOI: 10.32702/2306-6814.2019.4.80
10. Геодезичні прилади та приладдя : Навч. посіб. / В. Ващенко, В. Літинський, С. Перій ; Нац. ун-т «Львівська Політехніка». Львів : Євросвіт, 2003. 160 с.

Arsenieva N.O., Fomenko G.R. MODERN GEODETIC INSTRUMENTS THAT ARE USED IN THE CONSTRUCTION, RECONSTRUCTION AND REPAIR WORK OF HIGHWAYS

An important factor that defines the current level of engineering and geodetic provision of work on the construction and repair of highways is the level of use of opportunities for modern geodetic instruments and technologies. New instruments and technologies require a high level of qualification from specialists in their application and allow to significantly expand the range of tasks that solve methods of geodesy and topography,

increase the availability of topographic and geodetic materials in the development of project documentation. Today, it is almost everywhere upgrading geodetic tools and technologies – optical electronic devices come to the change of opto-mechanical devices, laser equipment is actively implemented. Paper graphic materials (maps, plans) are replaced by more modern electronic models and drawings. The use of modern geodetic equipment involves the knowledge of theoretical bases of cartography, geodesy and topography, knowledge of technical characteristics of devices, knowledge of the specifics of work with satellite systems, understanding the principle of action of devices, knowledge of character and reasons for the emergence of possible errors in carrying out measurements. The rapid growth rates of technology, more complicated in the technological plan, construction, a large number of non-standard engineering solutions largely determined the growing requirements for work, to ensure accuracy in construction. Quality standards are increased that promote the use of increasingly advanced, accurate and complex devices in all spheres related to the construction and repair of highways. Especially clearly tendencies for use of more technological equipment are viewed in the field of engineering geodesy.

The presence of professional equipment allows you to make the most accurate calculations in the shortest possible time. In the last decade, the pace of modernization of devices used in geodetic calculations has increased significantly, all new technologies were developed, which allow to improve the functional features and technical characteristics of geodetic accompaniment of engineering objects and structures.

Key words: *modern geodetic instruments, geodetic provision of works on the construction and repair of highways, topographical geodetic works, geodetic surveys.*

Винограденко С.О.

Харківський національний аграрний університет імені В.В. Докучаєва

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАНДЕМІЇ COVID-19 НА ЗЕМЕЛЬНІ РЕСУРСИ ЧЕРЕЗ ЕЛЕКТРОННИЙ ТРЕКІНГ ТА АНАЛІЗ КОНТЕНТУ ГЛОБАЛЬНИХ МЕРЕЖ

Розслідування спалаху пандемії COVID-19, або коронавірусу, швидко розвинулось в аспектах оновлення інформації про смертність, жертви та пошуку медично сертифікованих профілактичних і лікувальних заходів. Одним із аспектів, який залишається не досить вивченим, є його порушення та глобальний вплив на земельні ресурси (і природні ресурси) для досягнення глобального сталого розвитку. Це дослідження усуває цю прогалину шляхом проведення ретроспективного аналізу електронного контенту в соціальних мережах, розміщених у Twitter у період із 1 лютого по 31 жовтня 2020 року, щоб проаналізувати її впливи на світові земельні ресурси та пов'язані з цим проблеми. Глобальний вплив на землі та суміжні питання (зокрема довкілля та кліматичні зміни) має далекосяжні наслідки для того, як це буде реалізовано та досягнуто в галузі розвитку земельних відносин у найближчий період. Проблеми, пов'язані із землею, безпосередньо пов'язані зі зменшенням бідності, голоду, зміною клімату та глобальним потеплінням. Це дослідження дає можливість виявити чотири найважливіших фактори впливу на земельні ресурси: 1) COVID-19, подібно до землетрусів і вулканів, є вірусною катастрофою, яка спричинила порушення світових дискусій із земельних питань; 2) це призвело до нового впливу на земельні ресурси, що свідчить про те, що проблеми охорони здоров'я мають якісний стосунок до земельних питань; 3) це також призвело до позитивного ставлення суспільства до гігієни, що має наслідки для здоров'я, санітарії та навколишнього середовища; 4) це створило нові можливості фінансування для поліпшення стану здоров'я, санітарії та навколишнього середовища. Дослідження сприяє появі літератури, яка нагадує всім зацікавленим сторонам про те, що спалах COVID-19 повинен бути зменшений без втрати уваги до інших критичних глобальних проблем, пов'язаних із землею.

Ключові слова: коронавірус, COVID-19, аналіз електронного контенту, земельні ресурси, управління землею, стійкість, цілі сталого розвитку.

Постановка проблеми. Глобальний вплив на земельні ресурси та суміжні галузі (зокрема, довкілля та кліматичні зміни) має далекосяжні наслідки для того, як це буде реалізовано та досягнуто в галузі розвитку земельних відносин у найближчий період. Проблеми, пов'язані із землею, безпосередньо пов'язані зі зменшенням бідності, голоду, зміною клімату та глобальним потеплінням [1–3]. Враховуючи те, як люди використовують землю, і визначається напрям людського та фізичного розвитку. Отже, дискусії стосовно стану земельних ресурсів є необхідною умовою для досягнення конкретних цілей сталого розвитку, або ЦСР [4].

Розвиток земельних ресурсів відіграватиме вирішальну роль у досягненні щонайменше п'яти (із сімнадцяти) цілей сталого розвитку. Це ЦСР 1, 2, 5, 11 та 15. Ці п'ять цілей сталого розвитку зосереджуються на подоланні бідності, голоду, гендерній рівності, сталому розвитку міст і спільнот й збереженні екосистем суші відповідно. Разом досягнення будь-яких або всіх цих ЦСР

вимагає поліпшення продовольчої безпеки, харчування (зокрема, сільськогосподарське виробництво), доступу до землі та її ресурсів, зменшення нерівності доходів між чоловіками та жінками, удосконалення систем планування та управління землекористуванням у сільській і міській місцевості, зменшення та розв'язання земельних і природно-ресурсних конфліктів і зменшення ризику деградації земель і вирубування лісів [5; 6].

Маючи ці цілі та повністю розроблені заходи щодо їх досягнення, світове співтовариство земельного сектору залежить від дискурсів та обміну досвідом для досягнення кращих результатів. Такі ситуації, як стихійні лиха та спалахи хвороб, можуть порушити (позитивно або негативно) шлях до сталого розвитку. Виявлено, що спалахи захворювань мають схожий вплив на діяльність на землі, зокрема взаємодію з громадськістю та соціально-економічну продуктивність на землі [7]. Проблема полягає в тому, що досі є недостатня кількість досліджень, присвячених спалаху хвороб та їхньому впливу на земельні

ресурси, а отже, відповідно, немає літератури з цієї тематики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Спалахи захворювань відіграють вирішальну роль у формуванні суспільного розвитку людини. Він міцно пов'язаний із соціальною згуртованістю, економічною продуктивністю та зростанням населення [8]. Однак перелік критичних спалахів в історії людства є страшним. Найбільш ранній зафіксований інцидент – Бубонна чума юстиніанського періоду. Від чуми, яка виникла в Європі, загинула майже половина населення Європи в період із 541 по 542 рр [9]. Потім настала Чорна смерть – інша форма бубонної чуми, яка походить з Азії. У результаті загинуло від 75 до 200 мільйонів людей із 1346 по 1353 рр. [9; 10]. Холера вражала світ більш як шість разів. Третя пандемія холери (яка виникла в Індії) закінчила життя понад мільйона людей у ХІХ столітті, що тривало з 1852 по 1860 рр. [10; 11]. Азійський грип (1956–1958), спалах пандемії грипу А підтипу H2N2, який виник у Китаї в 1956 р. і тривав до 1958 р., убив близько двох мільйонів людей [12]. Кількість загиблих від пандемії ВІЛу/СНІДу, уперше виявленої в Демократичній Республіці Конго в 1976 р., досягла понад 36 мільйонів [13]. Деякі з цих спалахів роблять спалахи Еболи та ВІЛ медично терпимими з погляду кількості загиблих. Вони змінили поведінку людей і бачення розвитку в людських поселеннях, які вони спустошували. Однак вплив цих спалахів на світові програми розвитку не вивчено до кінця, здебільшого через недостатню зацікавленість науковців. Спалахи захворювань мають унікальний спосіб переосмислення регіональної та глобальної географії охорони здоров'я. Це заслуговує на увагу, оскільки географія охорони здоров'я в будь-якому місці суб'єктивно накладається на здоров'я населення. Мають багатозначний вплив на відповідні запитання, що впливають на розвиток людини на всіх рівнях – будь то місцевому, національному, континентальному або глобальному [14].

Постановка завдання. Спалах коронавірусної хвороби (COVID-19) поставив безпрецедентні проблеми перед усіма аспектами людського життя. Ситуація швидко розвивається в аспектах оновлення інформації про кількість загиблих і пошук медично сертифікованих профілактичних і лікувальних заходів. Однак кількісні та якісні витрати спалаху COVID-19 на різні аспекти життя людей залишаються переважно не врахованими. Дуже важливо дослідити, наскільки це впливає на діяльність, пов'язану із землею, і переконатися,

що це не нівелює зусиль, які докладаються для досягнення світового сталого розвитку земельних ресурсів.

Виклад основного матеріалу дослідження.

У дослідженні використовуються наявні дані соціальних мереж, щоб показати якісний вплив спалаху на дискурси у світі про землю та перевірити їх. Дослідження виконувалось поетапно, спочатку було обрано методологію його проведення, потім представлено результати дослідження. Увага зосереджувалася на виявленні порушень, спричинених спалахом захворювання, що стосується світового впливу на земельні ресурси. Далі розглядалися способи забезпечення зменшення негативного впливу виявлених порушень на досягнення світової програми розвитку з питань, пов'язаних із земельними ресурсами. Наприкінці містяться висновки про подальший шлях розвитку.

Дослідження ґрунтується на ретроспективному аналізі електронного контенту публікацій у соціальних мережах (пов'язаних із спалахом COVID-19), розміщених із 1 лютого по 31 жовтня 2020 р., щоб проаналізувати його вплив на світові земельні ресурси та пов'язані з цим проблеми. Увага зосереджувалася на розшифруванні повідомлень про порушення (спричинені спалахом COVID-19 або коронавірусу) у світовому земельному секторі через відстрочення чи скасування подій із земельних питань. У дослідженні електронним контентом у соціальних мережах вважалися лише публікації в Twitter. Проаналізовані публікації передбачають вміст, зображений у текстах і візуальних матеріалах (зокрема, аудіо та відео), розміщених у Twitter (щодо спалаху COVID-19 або коронавірусу, пов'язаних із земельними подіями) протягом цього періоду; і яка була доступна для дослідника. Причина зосередитися на платформі Twitter полягає в тому, що це одна з найбільш доступних платформ соціальних медіа, що використовується окремими особами, урядами та організаціями для коротких повідомлень або звітів про поточні справи в усьому світі. Збір даних із Twitter та їх використання роблять це дослідження неординарним. Обов'язковим є огляд в Інтернеті зображень впливу спалаху COVID-19 або коронавірусу на заплановані події, які мають сприяти досягненню світової програми розвитку. Twitter пропонує швидкий спосіб отримання прямих даних про вміст, які можна легко переглянути, застосовуючи звичайні або імпровізовані аналітичні методи аналізу вмісту.

Пошуки проводились у мережі Twitter за допомогою комбінації пар таких ключових слів:

#COVID-19 #земля; #коронавірус #земля; #санітарія #коронавірус; #земля #події #COVID-19; #COVID19 #розвиток #план; #COVID19 #земельний фонд ; #Ухань #вірус #ефекти; #коновірус #земля #інформація #дані. Пошук у Твіттері було розроблено так, щоб відповідати таким критеріям відбору: 1) розміщений у часовий проміжок між 1 лютим і 31 жовтням 2020 року, 2) пов’язаний із COVID-19, або корона вірусом, із посиланнями на новини про діяльність на землях, 3) не рекламний пост чи реклама. Після проведеного первинного пошуку було виявлено 834 твіти та розглянуто їх для підтвердження, що вони відповідають критеріям відбору (рис. 1). Із 834 твітів 128 дали повторювані результати (дублікати), 386 твітів не відповідали критеріям відбору, і жоден твіт не виявився видалений власниками облікових записів або видалений Twitter на момент перевірки. Загалом до остаточної вибірки було внесено 320 твітів, з яких 39 відповідають твітам із корпоративних акаунтів, а 281 – індивідуальних. Аналогічний підхід про збір даних на основі Інтернету для аналізу земельних питань застосовували науковці [15–17] за допомогою Twitter, LinkedIn та ResearchGate.

Аналіз отриманих даних проводився з використанням підходу до аналізу контенту Eguiluz I.F. та співавторів [18]. Цей підхід найкраще описати як аналіз електронних через характер даних, що збираються та використовуються. Автори [18] у своєму дослідженні розглядали широке “висвітлення у ЗМІ”, але це дослідження розглядало лише публікації в Інтернеті, газетах (зокрема,

статтях у журналах і редакційних статтях) та радіо (зокрема, аудіо радіоновин, програм та інтерв’ю).

У дослідженні було взято за основу методика підходу авторів публікації [18], зосереджуючись на Twitter (як єдиній платформі соціальних мереж). Аналіз електронного вмісту проводився двома етапами: 1-й етап передбачав перевірку фактів та електронного контенту (твітів). Соціальні медіа (зокрема, Twitter) містять багато непідтверджених і неперевірених електронних матеріалів (зокрема, новини, пропаганду й позиції). Отже, можливим обмеженням цього дослідження є те, що деякі твіти можуть показувати недостовірну інформацію як на момент їх написання, так і під час збору даних. Однак усі можливі зусилля було докладено для забезпечення точності. Це було зроблено шляхом перевірки деяких твітів із вмістом у звичайних ЗМІ. Було зроблено спроби перевірити справжність аналізованих твітів. Це було зроблено шляхом розміщення оригінальної інформації в Інтернеті. Твіти, що походять від корпоративних акаунтів (таких як телебачення, радіо- та газетні організації), вважалися автентичними на момент їх написання у твіттері. Ці зусилля з перевірки були застосовані для обмеження неточностей. Другий етап передбачав класифікацію твітів за темами: твіти класифікувались за темами на основі трьох основних питань, які можуть становити небезпеку для досягнення світової програми сталого розвитку (у контексті земельних питань). Сюди входять обмеження фінансування, нестача даних для ухвалення рішень та обмежені

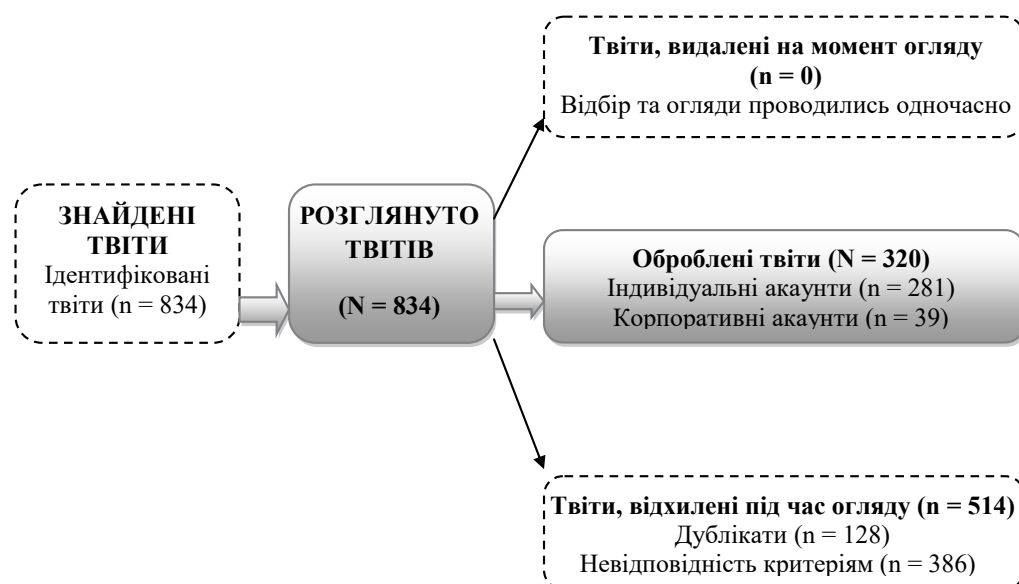


Рис. 1. Схема покрокового відбору для ідентифікації твітів щодо земельних питань, пов’язаних із COVID-19

можливості для обміну знаннями між партнерами (зокрема, окремих осіб, країни та організації). Ці фактори вважалися вирішальними в дослідженні, оскільки вони мали б найбільший вплив на неможливість досягнення земельних питань цілей сталого розвитку.

Твіти, що з'явилися в результаті відбору, було закодовано, позначивши кожного з них одним із визначених факторів, що мали можливий вплив на земельний аспект цілей сталого розвитку. Кожен твіт був позначений як найближчий до обраної структури кодування: ФН – для твітів, що вказують на вплив спалаху на фінансування, ДР – для твітів, що вказують на вплив спалаху на доступність даних для ухвалення рішень, ОЗ – для твітів, що показують зв'язок спалаху з обміну знаннями між партнерами. До цих визначених факторів було додано інші фактори (ІФ), які можуть виникнути внаслідок спалаху COVID-19. Цим кодам було надано знаки (-) або (+) залежно від того, мають вони негативний чи позитивний вплив. Вони виражаються так: Коди = + ФН, -ФН, + ДР, -ДР, + ОЗ, -ОЗ, + ІФ, -ІФ. Де + ФН або -ФН коди мають позитивний чи негативний вплив на фінансування. Коди +ДР або -ДР мають позитивний чи негативний вплив на доступність даних. Коди +ОЗ або -ОЗ мають позитивний чи негативний вплив на особистий обмін знаннями. Коди +ІФ, або -ІФ коди мають позитивні чи негативні впливи, яких немає в трьох попередніх. Дотримуючись цієї структури кодування, можна було описово розрахувати масштаб впливу кожної теми на питання, пов'язані із впливом COVID-19 на земельні ресурси.

Загалом, дані із твітів показують, що їхня кількість, які повідомляють про збої, спричинені COVID-19, або коронавірусом, має позитивні та

негативні аспекти. Однак він є переважно негативним, лише з невеликими позитивними аспектами. Теми, які найчастіше виникали на основі прийнятої структури кодування, стосувались -ОЗ (n = 241; 75,3 %), + ОЗ (n = 29; 9,1 %), +ФН (n = 0; 0,0 %), +ФН (n = 0; 0,0 %), -ДР (n = 0; 0,0 %), + ДР (n = 7; 2,2 %), -ІФ (n = 27; 8,4 %) та +ІФ (n = 16; 5,0 %) (рис. 2).

Дуже висока частота -ОЗ (щодо + ОЗ) свідчить про валовий вплив спалаху на прямий обмін знаннями з питань, пов'язаних із землею, як частину світового сталого розвитку. Цей високий масштаб негативного впливу також свідчить про нагальну потребу в наданні альтернативних засобів обміну знаннями. Нульові показники, що спостерігаються у -ФН, + ФН та -ДР, свідчать про брак інтересу користувачів Twitter до питань, пов'язаних із фінансуванням. Однак є й інші відповідні проблеми, які показано у сценаріях + ІФ та -ІФ. З цих даних у твіттері випливає, що спалах COVID-19 спричинив більше негативних зривів в очному аспекті та обміні знаннями, ніж в інших аспектах. Однак вони не визначають фактичних проблем, пов'язаних із землею, на які вплинув спалах.

Для того щоб зрозуміти якісний вплив спалаху COVID-19, необхідна детальна інформація про характер повідомлень, спричинених спалахом COVID-19. Це дасть змогу надати докази критичних земельних питань, про які повідомляється у твітах. Це також дасть підґрунтя для більш обґрунтованої дискусії щодо наслідків спалаху для світового сталого розвитку. У табл. 1 подано короткий зміст ключових проблем, що стосуються землі, про які повідомляється у твітах. Виявлені проблеми представляють найважливіші питання, що свідчать про взаємозв'язок між землею та здоров'ям, які показано у твітах про спалах COVID-19.

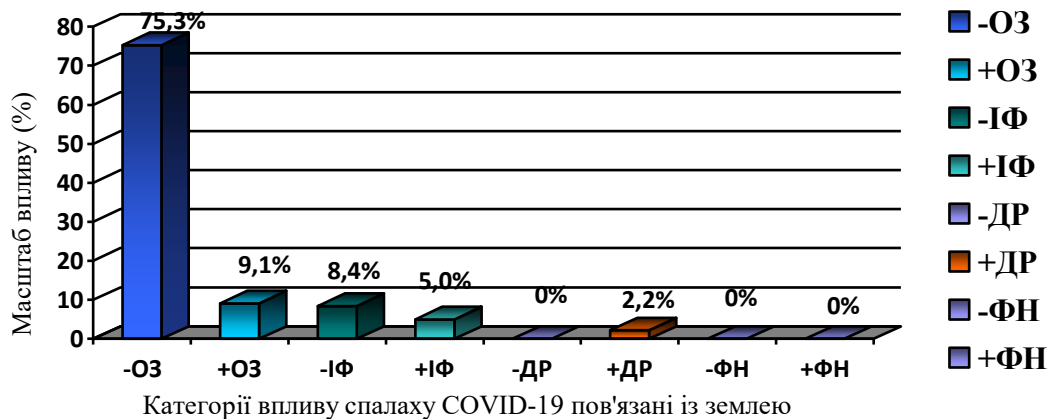


Рис. 2. Сортування публікацій, що показують вплив спалаху COVID-19 на проблеми, пов'язані із землею

Сценарії та інцидент, порушені внаслідок COVID-19

Основні земельні проблеми, порушені спалахом COVID-19 ¹	Короткий зміст, про який повідомляється у твітах
Порушені заходи стосовно обговорення питань земельного характеру (наприклад, конференції, воркшопи, семінари та пов'язані з ними заходи)	Перенесення (та пізніше скасування) щорічної конференції Світового банку щодо землі та бідності ² [19]. Natural Products Expo 2020 ³ [20].
Створені можливості для фінансування (наприклад вода, санітарія й екологічне планування)	У міру загострення епідемії дедалі більше урядів виділяють більше фінансових ресурсів для забезпечення ВОСГ (води, санітарії та гігієни) в навколишньому середовищі.
Заходи створені для поліпшення ситуації (наприклад, менше забруднення повітря, менше вуглецевих викидів і краща гігієна в містах)	Повідомляється, що у всьому світі ставлення до гігієни поліпшилось завдяки тому, що люди вживають запобіжних заходів, щоб уникнути контакту з ураженими вірусом; особливо у виробництві м'яса та риби та на ринках. Поліпшення якості повітря в містах Китаю, що постраждали від COVID-19 шляхом зменшення промислової активності [21; 22].
Інформація про ситуацію на землі (наприклад, дані про якість повітря та вуглецеві викиди)	Через зниження промислової активності нові дані (спостерігаються на супутникових знімках) свідчать про 30 % зменшення забруднення повітря над Китаєм, оскільки спалах змусив заводи закритися, аеропорти – скасувати рейси, а постраждалих (підозрюваних) громадян – перейти на карантин [16; 17].

¹ Ці проблеми можна було перевірити, оскільки твіти, що повідомляються, супроводжувались інтернет-посиланнями на першоджерела.

² Це найбільший глобальний форум для обговорення та обміну даними щодо земельної політики, геоінформації та управління земельними ресурсами. Конференція проводилася без зупину протягом останніх 20 років, аж до скасування 21-ї події. Зазвичай його супроводжують сотні семінарів до та після конференції з різних земельних аспектів.

³ Найбільші у світі та провідні виставки промисловості натуральних, органічних і здорових продуктів.

Фахівці із земельних питань не хочуть потрапляти до зібрання великих груп людей із ризиком передачі COVID-19. Як результат, багато конференцій із земельних питань або заходів було або відкладено на невизначений час, або скасовано. Ці зміни мають прямий вплив на участь у світових заходах зі сталого розвитку земельних ресурсів. Участь є важливою частиною для активного залучення зацікавлених сторін та розширення можливостей розвитку потенціалу земельних ресурсів. Конференції (зокрема, семінари, воркшопи та симпозиуми) є найбільш надійною платформою для великих груп людей, які поділяють спільне бачення глобального збереження та розвитку земельних ресурсів, можуть ділитися знаннями щодо аспектів і нових земельних ініціатив. Ці події є місцями для вивчення нових земельних методів, зустрічі з інноваційними ідеями та відкриття нових земельних продуктів і послуг (наприклад, геопросторових та геоінформаційних технологій і геодезичних приладів), які з'являються у всьому світі.

Саме зміна ставлення до гігієни та рівня викидів вуглекислого газу призвела до досить позитивних впливів і поліпшення ситуації з особистою гігієною та екологічної ситуації у великих містах світу. Отже, саме така поведінка має велике зна-

чення для довкілля та споживання. Тому це дослідження припускає, що спалахи епідемії повинні бути міцно інтегровані в містобудівну політику та політику розвитку кожної країни, особливо країн Південного світу.

Висновки. На жаль, ми стали свідками, коли надзвичайна ситуація в галузі охорони здоров'я зазвичай трапляється без попередження. Оскільки ефективних ліків проти COVID-19 не існує, стратегії соціального дистанціювання, такі як утримання людей, карантин та ізоляція, залишаються найефективнішими засобами обмеження передачі інфекції. Спостереження за цими стратегіями соціального дистанціювання завжди має наслідки, які охоплюють усі сектори людського існування, зокрема соціально-економічний, культурний та екологічний аспекти (наприклад, землю, воду та навколишнє середовище). Подібним тоном Генеральний секретар ООН попередив, що «зміна клімату є визначальним викликом нашого часу» і що світ повинен продовжувати розв'язувати їх терміново, щоб уникнути найгірших наслідків глобального потепління [23]. Це свідчить про те, що частина світового співтовариства вважає, що спалах відвертає увагу від виконання світової стратегії сталого розвитку землі (та супутніх питань). Це дослідження сприяє появі літератури,

яка нагадує всім зацікавленим сторонам про те, що спалах COVID-19 необхідно зменшити без втрати уваги до інших критичних глобальних проблем, пов'язаних зі станом землі. У дослідженні використовувались автентичні звіти із твітів у Twitter, що висвітлюють стурбованість громадян у Інтернеті щодо аспектів спалаху з питань землеустрою. Однак нові результати виявляють чотири найважливіших речі: 1) COVID-19, подібно до землетрусів і вулканів, є вірусною катастрофою, яка спричинила порушення світових дискусій із земельних питань; 2) це призвело до нового впливу на земельні ресурси, що свідчить про те, що проблеми охорони здоров'я мають якісний стосунок до земельних питань; 3) це також призвело до позитивного ставлення суспільства до

гігієни, що має наслідки для здоров'я, санітарії та навколишнього середовища; 4) це створило нові можливості фінансування для поліпшення стану здоров'я, санітарії та навколишнього середовища. Це також створило економічні втрати для багатьох у банківському секторі та сільськогосподарського виробництва. Очікувано, що це може означати скорочення зобов'язань щодо фінансування досліджень розвитку земельних ресурсів і збереження довкілля (та пов'язаних із ними питань) найближчим часом. Спалах має свої позитивні та негативні наслідки, і розуміння цього може прокласти шлях для перепланування можливих шляхів до реалізації світової стратегії сталого розвитку земельних ресурсів. Саме це робить дослідження актуальним.

Список літератури:

1. Chigbu, U.E., Ntihinurwa, P.D., de Vries, W.T., Ngenzi, E.I. (2019) Why Tenure Responsive Land-Use Planning Matters: Insights for Land Use Consolidation for Food Security in Rwanda. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. № 16 (8). P. 1354.
2. Mahmood, H.Z., Ali, A., Rahut, D.B., Pervaiz, B., Siddiqui, F. (2020) Linking Land Distribution with Food Security: Empirical Evidence from Pakistan. *Journal of Animal and Plant Sciences*. № 30. P. 175–184.
3. Carte, L., Schmook, B., Radel, C., Johnson, R. (2019) The slow displacement of smallholder farming families: land, hunger, and labor migration in Nicaragua and Guatemala. *Land*. № 8 (6). P. 89.
4. Винограденко, С.О. (2018). Економічні аспекти механізму розвитку земельних відносин в Україні. *Матер. II Міжнар. наук-практ. конф. «Формування механізму зміцнення конкурентних позицій національних економічних систем у глобальному, регіональному та локальному вимірах» та I Міжнародного студ. форуму «Креативна економіка очима молоді»*, 29–31 березня 2018 р. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А. Т. 1. С. 25–27.
5. Опара, V., Buzina, I., Vynohradenko, S. (2017). Environmental-economic efficiency of land use improvement reasoning. *Visnyk of V.N. Karazin national university – series geology, geography, ecology*. № (46). P. 152–157. DOI: <http://dx.doi.org/10.26565/2410-7360-2017-46-21>.
6. Винограденко, С.О. (2010). Особливості та необхідність зонування земель рекреаційного призначення. *Механізми управління земельними ресурсами в умовах ринкової економіки*. Львів : НВФ «Українські технології», 142-144.
7. Опара, В.М., Винограденко, С.О. (2010) Суть та проблеми кадастрового регулювання ціноутворення землі населених пунктів. *Вісник ХНАУ. Серія «Економічні науки»*. Харків. № 6. С. 143–149.
8. Krukov, A.I., Radchenko, O.V., Radchenko, O.O., Garmash, B.K., Biletska, Ye.S., Ponomarenko, R.V., Sysoieva, S.I., Stankevych, S.V., Vynohradenko, S.O. (2020). Experience of developed countries in state environmental safety policy. *Ukrainian Journal of Ecology*. № 10(2). P. 190–194. DOI: 10.15421/2020_84.
9. Cohn, S.K. (2008) Epidemiology of the Black Death and Successive Waves of Plague. *Medical History*. № 27. P. 74–100.
10. Bramanti, B., Dean, K.R., Walløe, L., Stenseth, N.C. (2019) The third plague pandemic in Europe. *Proceedings of the Royal Society*. № 286 (1901). P. 1–8.
11. Deen, J., Mengel, M.A., Clemens, J.D. (2020) Epidemiology of cholera. *Vaccine*. № 38(Suppl). A31–A40.
12. Miller, G.V. (2016) Using information technology to model handwashing behavior and to improve policies impacting elementary school absenteeism due to influenza. *Purdue University e-Pubs – Open Access Dissertation* 681.
13. Tarro, G. (2017) Origin of the HIV and Evolutionary History of the Viruses. *EC Microbiology*. № 7. P. 87–91.
14. Chigbu, U.E., Ntiador, A.M. (2014) Ebola in West Africa: Implications on “Community Interaction” in Urban Nigeria. *International Journal of Education and Research*. № 2. P. 329–346.
15. Chae, B.K. (2015) Insights from hashtag #supplychain and Twitter Analytics: Considering Twitter and Twitter data for supply chain practice and research. *International Journal of Production Economics*. P. 165. 247–259.

16. Zimmer, M., Proferes, N. (2014) A topology of Twitter research: disciplines, methods, and ethics. *Aslib Journal of Information Management*. № 66 (3). P. 250–261.
17. Chigbu, U.E. (2019) Masculinity, men and patriarchal issues aside: How do women's actions impede women's access to land? Matters arising from a peri-rural community in Nigeria. *Land Use Policy*. №. 81. P. 39–48.
18. Eguiluz, I.F., Buccini, G., Fiedler, A.H., Rovelo, N., de Cosío, T.G., et al. (2020) Content analysis of media coverage of breastfeeding in Mexico. *Maternal & Child Nutrition*. № 16 (2). e12905.
19. Global Land Tool Network (2020) World Bank's 2020 Land and Poverty Conference postponed until further notice. *Global Land Tool Network Web News*, March.
20. Murar, K. (2020) Natural Products Show Postponed. *Orange County Business Journal*.
21. Ghosh, P. (2020) Air Pollution over China Reducing due to Industrial Shut Down. *Intl Bus Times*.
22. Pinkstone, J. (2020) EU Satellite image shows 30 PER CENT decrease in air pollution over China as coronavirus outbreak forces factories to close and citizens to go into quarantine. *Daily Mail*.
23. Mosbergen D (2020) Don't Let Coronavirus Distract from Fighting Climate Change, UN Chief Warns. *Huffington Post*, March.

Vynohradenko S.O. STUDE OF THE IMPACT OF THE PANDEMIC COVID-19 ON LAND RESOURCES BY E-TRACKING AND ANALYSIS OF SOCIAL MEDIA CONTENT

Investigations into the outbreak of the pandemic COVID-19 or Coronavirus has developed rapidly in the aspects of information update on deaths and casualties, and the search for medically certified preventive and curative measures. One aspect that remains poorly understood is its disruption and global impact on land resources (and natural resources) for achieving global sustainable development. This study addresses this gap by conducting a retrospective analysis of electronic content of social media posted on Twitter between 1st February and 31st October 2020, to analyze its impact on global land resources and related issues. The global impact on land and related issues (including the environment and climate change) has far-reaching implications on how this will be realized and achieved in the territory of land development in the near future. Land issues are directly linked to alleviation of poverty, hunger, climate change and global warming. This study makes it possible to identify the four most important factors affecting land resources: 1) the COVID-19, like earthquakes and volcanoes, is a viral catastrophe which has sparked to the global discourse on land; 2) it has led to new impact on land resources, which indicates that health problems are qualitative relationship to land issues; 3) it has also led to a positive societal attitude to hygiene, which has consequences on health, sanitation and environment; 4) it has created new funding opportunities to improving health, sanitation and environment. The study contributes to the literature that reminds all stakeholders that the COVID-19 outbreak must be reduced without a loss of attention to other critical global land issues.

Key words: coronavirus, COVID-19, electronic content analysis, land resources, land governance, sustainability, sustainable development goals.

УДК 911.5:504.05

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/41>**Скляр Ю.Л.**

Сумський національний аграрний університет

Капінос Н.О.

Сумський національний аграрний університет

Бузіна І.М.

Харківський національний аграрний університет імені В.В. Докучаєва

СУЧАСНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ СТАЛИХ АГРОЛАНДШАФТІВ

У статті висвітлено питання формування стійких агроландшафтів в умовах створення нових підприємств, які спеціалізуються на видобутку, підготовці, транспортуванні природного газу, газового конденсату та нафти до споживача. Необхідність виконання заходів природоохоронного моніторингу стану ґрунтового покриву в зонах проведення роботи нафтогазовидобувних підприємств визначена вимогами до рекультивції порушених територій на майданчиках будівництва свердловин.

Нині значної популярності у світовій практиці для екологічного моніторингу ґрунтів набули методи дистанційного зондування Землі (ДДЗ). Хімічні методи дають змогу зробити висновок переважно про сучасний стан ґрунту у точках відбору проб, дистанційні методи надають можливість оцінити комплекс природних та антропогенних впливів на ґрунт протягом певного часу у просторі. Найбільш доцільною практикою буде сумісне використання контактних та дистанційних даних.

Актуальним науково-прикладним завданням є створення новітніх і вдосконалення існуючих методів оцінки стану ґрунтів на основі комплексного використання відомостей контактних і дистанційних методів для пошуку відповідних форм управління екологічною безпекою та стабільного соціально-екологічного розвитку і земельно-ресурсного потенціалу України.

Нафтогазоконденсатні родовища зазвичай розташовані на сільськогосподарських угіддях. Забруднюючі хімічні сполуки, які надходять у ґрунт, накопичуються і призводять до поступової зміни хімічних і фізичних властивостей ґрунту, тим самим погіршуючи його стан і родючість, що у свою чергу впливає на біорозмаїття екосистем.

Головними завданнями агроландшафтного дослідження є класифікація і зонування агроландшафтів, оцінка їх екологічної стабільності, формування рекомендацій з оптимального використання агроландшафтів і прилеглих територій. Одним із напрямів ландшафтного планування є проектування і конструювання стійких агроландшафтів. У межах агроландшафтного підходу використовуються різні масштаби вихідних картографічних документів (1:100000 – 1:1000), дані дистанційного зондування Землі і польових зйомок.

Ключові слова: ГІС, земельні ресурси, оцінка екологічного стану, агроландшафти, нафтогазоконденсатні родовища.

Постановка проблеми. Активне видобування нафти та газу на території України набуває досить поширеного характеру. За останнє десятиліття було створено багато нових підприємств, які спеціалізуються на видобутку, підготовці, транспортуванні природного газу, газового конденсату та нафти до споживача. З одного боку, це принесло країні розвиток у економіко-соціальному напрямі, але з іншого – природне середовище зазнало неабиякої шкоди.

Сільськогосподарські угіддя з кожним роком зазнають забруднення нафтою та нафтопродуктами, промисловими та побутовими відходами,

іншими хімічними речовинами, ґрунти ущільнюються важкою технікою. Відсутність дієвого контролю за дотриманням елементарних правил, а також порушення сівозмін і норм використання земель призвели до зменшення продуктивності ріллі. Забруднення ґрунту залишається актуальною проблемою навіть після зниження видобувного навантаження, оскільки продовжується деградація родючого шару, що спричиняє вагому шкоду екосистемі загалом [1, 11 с.].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасному світі нафта є найціннішою корисною копалиною, вона відіграє значну роль у економіч-

ному розвитку людства. Її наявність стимулює технологічний процес і полегшує життя людей, але водночас нафта є найбільшим забрудником навколишнього природного середовища [1, 16 с.].

Джерелом забруднення можуть бути об'єкти нафто-продуктового забезпечення, це споруди видобування нафти, зберігання та очищення, об'єкти, пов'язані з переробкою та транспортуванням, а також забруднені атмосферні опади. Під час нафтовидобувного процесу одним із головних елементів є буріння. Буріння розвідувальних та пошукових свердловин, а також експлуатація свердловин дають суттєве навантаження на навколишнє середовище, проте найбільша кількість забруднювальних речовин потрапляє у навколишнє середовище внаслідок аварійних ситуацій [1, 16 с.].

За поступового збільшення концентрації нафтопродуктів на поверхні ґрунту спільно з процесами випаровування та розкладання їх летких частинок відбувається процес нагромадження вуглеводнів, що важко розкладаються, таких як: тверді парафіни, циклічні та ароматичні вуглеводні, смоли й асфальтени, які закупорюють пори ґрунтового покриву [1, 18 с.]. Це призводить до погіршення стану земельних ресурсів, зниження родючості ґрунтового покриву, техногенного навантаження на агроландшафти.

Постановка завдання. У Качалівській сільській раді Харківської області розпочинається спорудження свердловин Карайкозівського нафтогазоконденсатного родовища. Нині забруднення надходить у агроecosystemu тільки від наслідків процесу будівництва, але на території України є приклади уражених ділянок від нафтових та газових родовищ, тому передбачено встановити допустимий рівень нафтохімічного навантаження та змін фізико-хімічних властивостей ґрунтів, а також провести оцінку можливих перспектив подальшого використання деградованої території.

Виклад основного матеріалу. На території розташовано сільськогосподарське підприємство СТОВ «УкрАгроСтар», але на його землях проводиться розробка Карайкозівського нафтогазоконденсатного родовища, яке нині проходить облаштування із побудовою газопроводу довжиною 16 675 м. Споруда частково прокладатиметься на орних землях сільськогосподарських угідь.

Переважно спорудження нафтових свердловин проводять на сільськогосподарських угіддях, які під час спорудження свердловин не використовують для вирощування сільськогосподарських культур та як пасовища для худоби, згідно з

Вимогами [2, 23 с.]. А у подальшому експлуатація видобувних свердловин у відповідності з технологічними регламентами не буде впливати на стан ґрунтового покриву.

У процесі розробки родовища (2,9 га) деякі зони ландшафту зазнали просторових змін – виникли технологічні споруди та об'єкти, що мінімізували естетичну привабливість геокомплексу та сформований природний вигляд, властивий локальній території. Під час виконання планованої діяльності та проведення робіт із перебудови функціонуючих об'єктів подальших негативних впливів на рельєф не передбачається. Земельна ділянка, необхідна для спорудження проектною свердловини, знаходиться на землях Качалівської сільської ради, за межами населених пунктів.

Особливу зацікавленість викликає дослідження територіальної структури агроландшафтів, яка створюється і функціонує внаслідок постійного взаємозв'язку сільськогосподарського виробництва і природного середовища. Актуальність агроландшафтних вивчень визначається необхідністю збільшення продуктивності сільськогосподарських угідь за збереження їх природно-ресурсного потенціалу.

Головними завданнями агроландшафтного дослідження є класифікація і зонування агроландшафтів, оцінка їх екологічної стабільності, формування рекомендацій з оптимального використання агроландшафтів і прилеглих територій. Одним із напрямів ландшафтного планування є проектування і конструювання стійких агроландшафтів [3, с. 97, 4, с. 53].

Майданчики та територія нормативної санітарно-захисної зони (СЗЗ) знаходяться на сільськогосподарських угіддях (рілля). Землі СЗЗ для вирощування сільськогосподарських культур, пасовищ для худоби під час спорудження свердловин використовуватися не будуть (рис. 1).

Значущість агроландшафтознавства полягає у створенні уніфікованої моделі даних агроландшафту, орієнтованої на застосування в середовищі інструментальних ГІС типу MapInfo або ArcGIS [5, с. 29, 6, с. 199].

У межах агроландшафтного підходу використовуються різні масштаби вихідних картографічних документів (1:100 000 – 1:1000), дані дистанційного зондування Землі і польових зйомок. Через різницю використовуваних просторових і часових масштабів, різні методики і технології польових і картографічних робіт результати таких робіт мають поширення тільки в межах певної наукової школи, і тому їх важко порівняти між собою.



Рис. 1. Схема розташування бурового майданчика свердловини № 25

Модель відомостей агроландшафтів являє собою набір об'єктів і їх специфікацій для картографічних баз даних та допоміжних таблиць, склад яких варіюється залежно від масштабу і цілей вивчення. Склад картографічної бази даних включає: блоки компонентів агроландшафту, агроландшафти декількох ієрархічних рівнів, довідково-нормативні дані з агротехнологій та охорони навколишнього середовища [5, с. 29].

Оскільки на буровому майданчику свердловини № 25 знаходяться малоцінні ґрунти із вмістом гумусу менше 1%, для збереження родючого шару ґрунту від забруднень зняття і складування його в кагати з наступною укладкою на попереднє місце після закінчення бурових робіт для цих ґрунтів не потрібно. Після закінчення бурових робіт передбачено проведення технічного та біологічного етапів рекультивації (рис. 2).

Але все ж таки гумусовий шар ґрунту у процесі спорудження свердловин може зазнавати впливу землерийної, навантажувальної і транспортної техніки, яка використовується під час підготовчих та монтажних робіт; відпрацьованого бурового розчину з хімреагентами; бурових стічних вод; мінералізованих вод під час фонтанування.

Унаслідок спорудження похило-спрямованих свердловин із метою пошуків вуглеводнів у перспективних горизонтах серпухівських та візейських відкладів нижнього карбону з розкриттям девонської солі Карайкозівського родовища № 25

(2,9 га), а також через економічні та інші причини, складні сучасні ринкові умови спостерігається погіршення агроекологічного стану ґрунтів, розвиток на них процесів деградації ґрунтів – ерозії, дегуміфікації, переущільнення, зменшення біорізноманіття тощо.

За ступенем змитості, еродованості та крутизни схилів земель Качалівської сільської ради Краснокутського району можна поспостерігати на рис. 3.

Головна ідея полягає в ландшафтному структуруванні місцевості з метою створення агроландшафтів із деякими особливостями саморегулювання, що досягається двома нероздільно пов'язаними принципами:

- формуванням стоковідвідної контурно-смугової системи робочих зон, що гарантує безпечну діяльність води на полях;

- дотриманням раціональної виробничої технології, яка зумовлює збереження значної водовбирної можливості та протієрозійної стабільності ґрунтів [7, с. 4, 8, с. 170].

Короткотривале вилучення територій із сільськогосподарського обігу з метою побудови або капітального ремонту свердловин може володіти негативними наслідками, такими як ускладнення агрофізичних, агрохімічних якостей та забруднення важкими металами ґрунтів рекультивованих бурових майданчиків. Прояви деградації ґрунтового покриву такої штучно

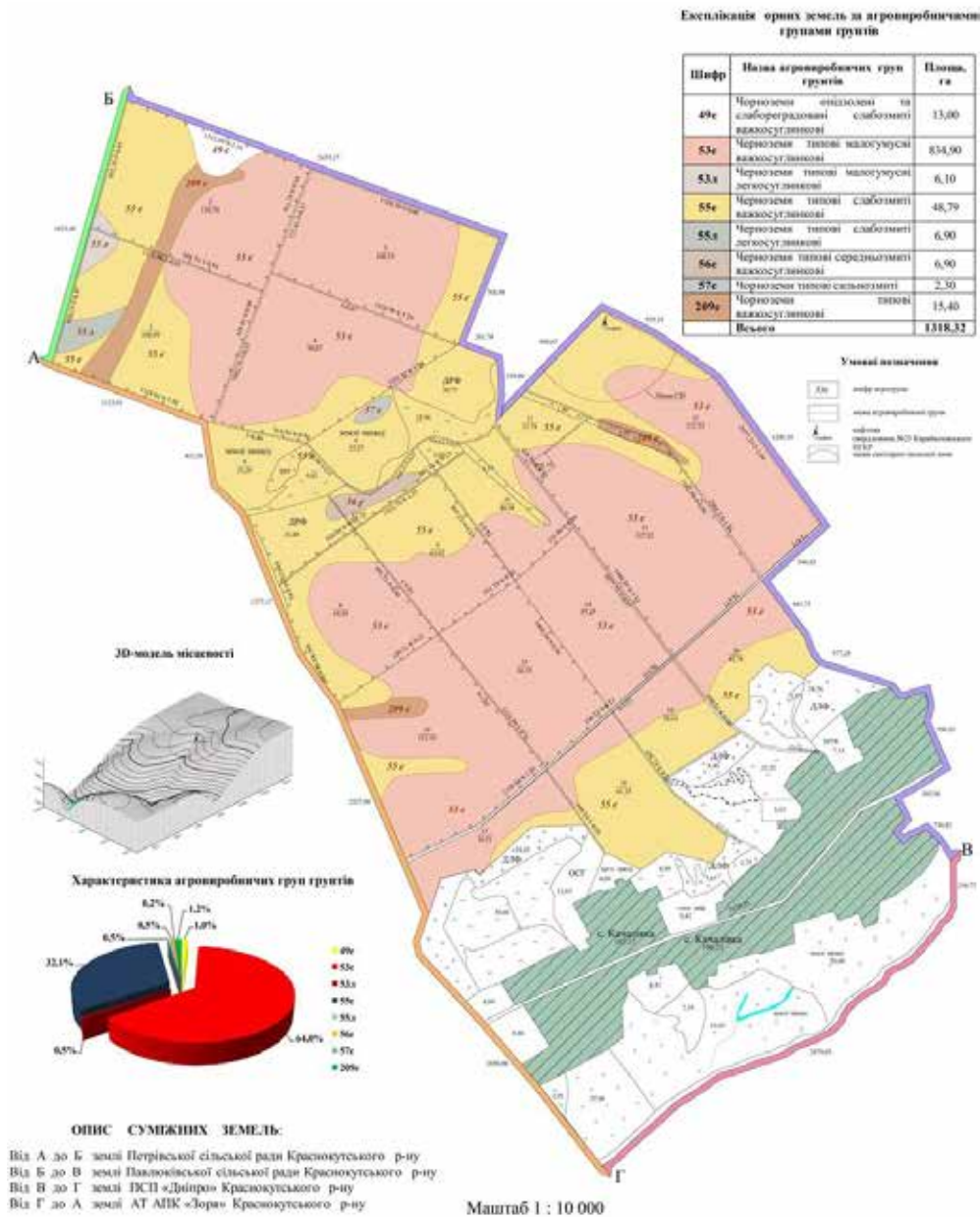


Рис. 2. Схема агропроблемних груп ґрунтів СТОВ «УкрАгроСтар»

створеної системи агроландшафту вважаються стійкими і довготривалими, як наслідок, простежується скорочення родючості ґрунтів, а в окремих випадках можлива і повна її втрата [9, с. 148]. Геохімічна і фізична трансформація ґрунтів починається вже на стадії будівництва бурових майданчиків.

Характеристики територій бурових майданчиків показують площі порушених (модифікованих) територій, рівень і вид техногенних змін. Основними заходами, які наблизять до вирішення цієї проблеми, є: проведення розрахунку внесення мінеральних добрив (N, P, K); внесення напіврозкладеного гною в нормі 45 т/га; застосування вологозберігаючих технологій обробітку ґрунту, в

тому числі проведення щільовання; передпосівне боронування, прикоткування посів суміші бобових і злакових трав і післяпосівне прикоткування ґрунту; утримання ґрунту під багаторічними травами протягом 2 років.

У результаті розрахунку екологічної стабільності територія виявилася екологічно нестабільною.

Коефіцієнт антропогенного навантаження:

$$\frac{\sum(Kli \cdot Pi)}{\sum Pi} K_p = \frac{376,15}{1609,72} \cdot 1 = 0,23, \quad (1)$$

де: Kli – коефіцієнт екологічної стабільності угіддя i -го виду;

Pi – площа угідь i -го виду;

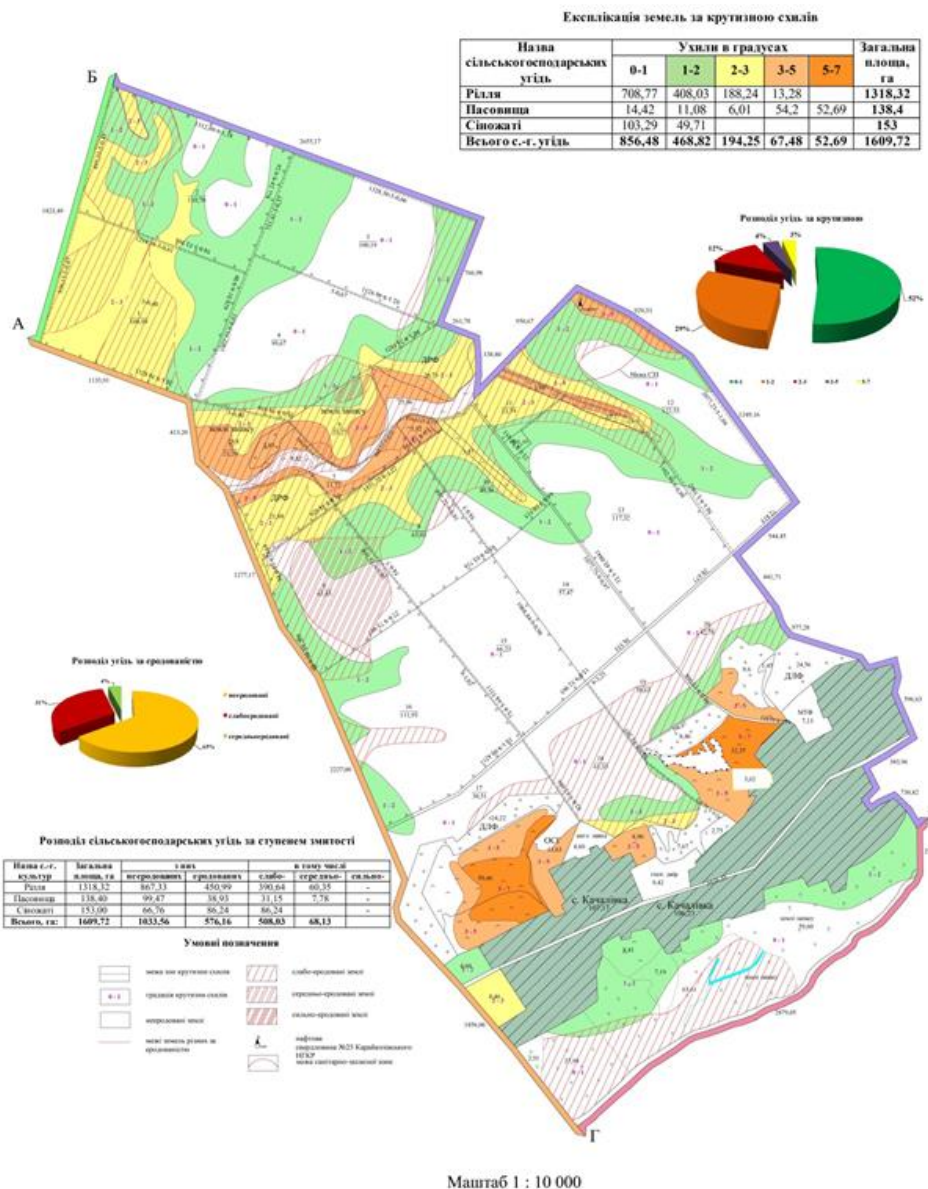


Рис. 3. Крутизна схилів та еродованість земель

Кр – коефіцієнт морфологічної стабільності рельєфу ($K_p = 1,0$ – для стабільних територій і $K_p = 0,7$ для нестабільних територій).

Таким чином, табл. 1 показує агроекологічну оцінку ґрунтів, яка вимірюється за 10-бальною шкалою. Досліджувана територія екологічно нестабільна, має високий рівень антропогенного навантаження та помірний рівень ерозійної небезпеки.

Припинення ерозійно-дефляційних втрат ґрунту можливе лише за умов безперервного використання ґрунтозахисних технологій, протієрозійного облаштування агроландшафтів на контурно-меліоративних засадах, організації постійно діючого оперативного моніторингу стану ерозійно-небезпечних територій за допомогою методів дистанційного зондування ґрунтового

рослинного покриву з використанням дистанційних методів.

Висновки. Поступове збільшення концентрації нафтопродуктів на поверхні ґрунту спільно з процесами випаровування та розкладання їх легких частинок призводить до нагромадження вуглеводнів, що важко розкладаються і закупорюють пори ґрунтового покриву.

Після будівництва газопроводу проектом закладено проведення рекультивації, передбачено відновлення земель до стану, придатного до використання в сільському господарстві. Для приведення родючості деградованих ґрунтів у нормалізований стан знадобиться щонайменше 3 роки. Найважливішим заходом збереження ґрунтів є правильне формування культурного

Узагальнена оцінка території у балах

Назва показника	Значення показника	Бал
Коефіцієнт екологічної стабільності	0,23 – екологічно нестабільна територія	2
Коефіцієнт антропогенного навантаження	3,80	3
Коефіцієнт розораності, %	81	4
Коефіцієнт лісистості, %	0,9	1
Перевищення допустимої розораності, %	19	8
Індекс збереження ґрунтів, роки	128 – помірна небезпека	4

аглоландшафту. У кожній екосистемі має бути своє науково обґрунтоване співвідношення угідь. Це забезпечить комплексність проведення заходів і захист довкілля.

В Україні використання даних супутникового зондування в сільському господарстві нині

є перспективним напрямом, що швидко розвивається. Матеріали космічної зйомки та сучасні ГІС-технології використовують як для вирішення комплексних завдань управління сільськогосподарськими територіями, так і у вузькоспеціалізованих напрямках.

Список літератури:

1. Качала Т.Б. Удосконалення систем екологічного моніторингу ґрунтового покриву виснажених нафтогазових родовищ. Прикарпаття: дис. ... канд. тех. наук: 21.06.01. Івано-Франківськ, 2018. 158 с.
2. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів: Наказ МОЗ України від 19.06.1996 р. № 173 зі змінами за наказом від 02.07.2007 р. № 362, 1996. № 379/1404.
3. Максименко Н.В., Михайлова К.Ю. ГІС-моделювання агроландшафтів для потреб ландшафтного планування. Людина та довкілля. Проблеми неоекології / Харк. нац.ун-т імені В.Н. Каразіна. Харків, 2013. 94–105 с.
4. Orara, V., Buzina, I., Khainus, D., Vynohradenko, S., & Kovalenko, L. (2020). Теоретичні й методичні основи використання ГІС-технологій та створення електронних карт при проведенні землеустрою. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*, (31), 50-59. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2020-31-06>
5. Дмитрик П.М. Геоінформаційні системи агроландшафтів і основи геостатистики: конспект лекцій. Івано-Франківськ: ДВНЗ ПНУ, 2018. 77 с.
6. Orara, V., Buzina, I., & Khainus, D. (2019). Картографування ландшафтно-екологічних досліджень території дендрологічного парку ХНАУ ім. В.В. Докучаєва. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, Серія «Геологія. Географія. Екологія»*, (50), 197–209. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-50-15>
7. Ачасов А.Б. Протирозійне впорядкування агроландшафту на основі математичного моделювання ерозійних процесів: науковий посібник / Держ. уст. «ДНТ центр охорони родючості ґрунтів». Київ, 2012. 3–10 с.
8. Бузіна І.М., Коломієць С.М., Леженкін І.О. Геоінформаційні технології для оцінки стану земельних ресурсів та управління на рівні адміністративного району // Вчені записки. – 2020. – С. 168–173.
9. Уразовська М.К. Спорудження пошукової похило-спрямованої свердловини № 48 Карайкозівського НГКР проектною глибиною 6150м з метою пошуків вуглеводнів у відкладах серпуховського та візейського ярусів нижнього карбону. Краснокутський район Харківської області. Харків, 2020. 343 с.

Skliar Yu.L., Kapinos N.O., Buzina I.M. MODERN RESEARCH METHODS FOR FORMATION OF SUSTAINABLE AGROLANDSCAPES

The article highlights the formation of sustainable agricultural landscapes in the creation of new enterprises specializing in the production, preparation, transportation of natural gas, gas condensate and oil to the consumer. The need to implement environmental monitoring measures of the soil cover in the areas of oil and gas companies is determined by the requirements for reclamation of disturbed areas at construction sites.

At present, remote sensing methods of the Earth (DDZ) have gained considerable popularity in the world practice for ecological monitoring of soils. Chemical methods allow to draw a conclusion mainly about the current state of the soil at the sampling points, remote methods provide an opportunity to assess the complex of natural and anthropogenic impacts on the soil over time in space. The most appropriate practice will be the combined use of contact and remote data.

At the level of the current scientific and applied task is to create new and improve existing methods of soil assessment based on the integrated use of contact and remote sensing methods to find appropriate forms of environmental safety management and provide stable socio-ecological development and land resources of Ukraine.

Oil and gas condensate fields are usually located on agricultural land. Pollutants that enter the soil accumulate and lead to a gradual change in the chemical and physical properties of the soil, thereby deteriorating its condition and fertility, which in turn affects the biodiversity of ecosystems.

The main tasks of agro-landscape research are the classification and zoning of agro-landscapes, assessment of their ecological stability, formation of recommendations for optimal use of agro-landscapes and adjacent territories. One of the areas of landscape planning is the design and construction of sustainable agricultural landscapes. The agro-landscape approach uses different scales of original cartographic documents (1: 100000 – 1: 1000), data of remote sensing of the Earth and field surveys.

Key words: GIS, land resources, ecological assessment, agrolandscapes, oil and gas condensate fields.

ЕЛЕКТРОНІКА

УДК 621.3.049

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/42>

Луцко Л.І.

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз
Служби безпеки України

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МІКРОСХЕМ У КОРПУСАХ BGA

Якість спецтехніки, яку виробляє підприємство-виробник, є запорукою її тривалості та безаварійної експлуатації. Останнім часом зросла складність наших пристроїв, збільшилась функціональна насиченість, підвищилась щільність монтажу, зменшилась вага і обсяг спецтехніки, докорінно змінилась елементна база радіоелементів. У зв'язку з цим для виготовлення якісної спецтехніки необхідне використання нових технологій і сучасної елементної бази. Це призвело до необхідності застосування новітніх мікросхем, а саме мікросхем у корпусах BGA. Це мікросхеми спеціального призначення в металополімерних корпусах із кульковими виводами. Саме темі розробки друкованих плат із застосуванням таких мікросхем присвячена ця стаття.

У роботі проаналізовані причини зниження міцності виводів на різних етапах виробництва і випробувань, запропонована апробована методика, яка дозволяє мінімізувати зниження їх міцності. Приводяться обґрунтовані аргументи на користь перенесення формування кулькових виводів із процесу виробництва інтегральних мікросхем у процес зборки друкованих вузлів.

У статті проаналізований конструктивний склад BGA-мікросхем, найважливіші фактори, які впливають на якість паяних з'єднань корпусів, розглянуті способи формування розміру площинок, основні ключові параметри і терміни, розглянута проблема розсіювання тепла від корпусу BGA-мікросхем без застосування радіатора. Проаналізовані переваги і недоліки BGA-мікросхем, особливості при розробці патернів BGA-мікросхем, правильність розрахунків розмірів площинок під кульки BGA. Подані дві таблиці, в яких наведені типові параметри: крок і номінальний діаметр кульок найбільш часто використовуваних мікросхем, а також типові розміри площинок для монтажу мікросхем у BGA-корпусах.

У роботі показано, як розрахувати ширину трас, що відходять від контактних площинок мікросхем, і як підключити площинки до полігонів. На рисунку поданий фрагмент плати, з якого видно, як необхідно відвести ланцюги від BGA-корпусу. Для успішного монтажу мікросхем у BGA-корпусах необхідне використання якісних фінішних покриттів плат. Проаналізовані використання різних імерсійних фінішних покриттів. Детально розглянута завершальна стадія будь-якого техпроцесу монтажу – відмивання і сушіння.

Ключові слова: масив кульок, металополімерні BGA-корпусу, міцність кріплення виводів, відкрита площинка, бочкоподібне з'єднання.

Постановка проблеми. Якісна спецтехніка потребує впровадження нової, сучасної елементної бази. Звичайні типи корпусів для вивідного монтажу, наприклад QFP або SOP, вже не можуть забезпечити належну кількість паяних з'єднань і їх якісний монтаж у зв'язку зі значним збільшенням лінійних розмірів і маси корпусу. Для вирішення цих проблем отримали популярність сучасні компоненти з різного роду матричних типів корпусів. Одними з таких сучасних елементів є інтегральні мікросхеми для поверхневого монтажу на плату BGA (англ. "Ball grid array" – «масив кульок»).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливим та обов'язковим етапом виготовлення

якісної продукції підприємства є впровадження сучасної елементної бази. Цьому питанню присвячено багато теоретичних і практичних досліджень вітчизняних і зарубіжних вчених. Дослідженням проблемних питань мікросхем у корпусах BGA займалися науковці К.К. Смирнов, А.Г. Сухов, Цимбалов [1, с. 2–5]; В.О. Поджаренко, В.Ю. Кучерук, В.М. Севастьянов [5, с. 8–10] та інші.

У їхніх працях описані різного роду матричні типи корпусів мікросхем. Однак попри велику кількість наукових публікацій, недостатня увага приділена практичним дослідженням. Усі ці фактори зумовлюють потребу подальших досліджень проблем проектування та виготовлення друкова-

них плат із використанням BGA-корпусів, враховуючи типи виробництва та особливості виготовлення спецтехніки.

Постановка завдання. BGA-мікросхеми роблять революцію в електронному приладобудуванні. І це дійсно так. Застосування BGA-мікросхем у вимірювальній техніці дозволяє різко підвищити точність приладів, значно розширити їхні можливості, підвищити надійність, швидкодію, збільшити діапазон робочих частот, а для цифрових приладів – збільшити швидкість обробки інформації, вирішити задачі, що раніше взагалі не вирішувалися. Тому нашим завданням є довести доцільність застосування BGA-мікросхем.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для сучасних складних електронних пристроїв характерною особливістю є застосування мікросхем великого та надвеликого ступеня інтеграції. В міру ускладнення мікросхем зростає і число виводів (як інформаційних, так і живлення). Тому все більшу популярність отримують компоненти з різного роду матричних типів корпусів. Це корпуси типу LGA (Land Grid Array), BGA, CGA (Column Grid Array). Особливо великого поширення набули компоненти у корпусах BGA. BGA – тип корпусу інтегральних мікросхем для поверхневого монтажу на плату.

Корпуси типу BGA існували з 1970-х років. У 1990-х було розроблено їхній різновид – FCBGA, який наразі забезпечує найвищу кількість зовнішніх виводів серед корпусів усіх інших типів. Деякі конструкції корпусів BGA мають невелике поглиблення, в якому розміщуються контактні площадки, призначені для установки кулькових виводів. Глибина заглиблення складає долі міліметра. Така конструкція отримала позначення Dimpled BGA, або DBGA і активно впроваджуються низкою виробників. BGA виводи являють собою кульки припою, нанесені на контактні площадки зі зворотної сторони мікросхеми.

Мікросхему розташовують на друкованій платі згідно з маркуванням першого контакту. Далі її нагрівають так, що кульки починають плавитися. Поверхневий натяг змушує розплавлений припій зафіксувати мікросхему над тим місцем, де вона розташовується на платі. Поєднання певного припою, температури паяння, флюсу і паяльної маски не дозволяє кулькам повністю деформуватися.

Переваги BGA-мікросхем:

1. Компактність. BGA-мікросхеми – це вирішення проблеми виробництва мініатюрного корпусу ІС з великою кількістю виводів.

2. Теплопровідність. Ще однією перевагою перед мікросхемами з виводами є кращий тепловий контакт між мікросхемою і платою, що в деяких випадках позбавляє від необхідності тепловідводу. Для цього по центру корпусу робиться одна велика контактна площадка – радіатор, яка припаюється до доріжки тепловідводу. Якщо BGA мікросхеми розсіюють досить великі потужності і тепловідвід по усіх кулькових виводах недостатній, то до корпусу мікросхеми прикріплюють (іноді приклеюють) радіатор.

Чим менша довжина виводів, тим менша їхня індуктивність, менші наведені завади і кращі умови для ВЧ-сигналів. У BGA довжина провідника дуже мала і може визначатися тільки відстанню між платою і мікросхемою, тому застосування BGA дозволяє збільшити діапазон робочих частот і, для цифрових приладів, – збільшити швидкість обробки інформації.

Недоліки BGA-мікросхем:

1. Негнучкі виводи.

Основним недоліком BGA є те, що виводи негнучкі. При тепловому розширенні чи вібрації деякі виводи можуть зламатися. Частково цю проблему вирішує заливка мікросхеми спеціальною полімерною речовиною – компаундом. Він скріплює всю поверхню мікросхеми з платою. Також компаунд не дає проникати волозі під корпус BGA-мікросхеми. Іноді роблять часткове заливка корпусу (по кутах мікросхеми) для механічної міцності.

2. Дороге обслуговування.

Другим недоліком є те, що після того, як мікросхема припаяна, дуже важко визначити дефекти паяння. Якщо BGA невдало припаяна, вона може бути демонтована за допомогою фена або інфрачервоної паяльної станції. Мікросхема може бути замінена на нову, а в деяких випадках через дорожнечу мікросхеми кульки відновлюють за допомогою паяльних паст і трафаретів. Цей процес називають реболінгом від англ. “reball”.

Потрібно звернути увагу на технологічність електронних компонентів у корпусах BGA. Такі корпуси дозволяють оптимальним чином розмістити велику кількість виводів на обмеженій площі. Невеликі фізичні розміри, особливо в разі застосування мікросхем із малим кроком, знижують витрати на їх виробництво. Усі виводи розташовані на одній площині з нижньої сторони корпусу, тому довжина ланцюгів виходить коротшою. Це призводить до зниження паразитних випромінювань і позитивно позначається на цілісності сигналів.

Велика кількість виводів мікросхем у корпусах BGA дозволяє збільшити число живлячих і «земляних» виводів. Розміщення «земляних» виводів у потрібному місці дозволяє зменшити довжини шляхів зворотних струмів і поліпшити якість високошвидкісних сигналів. У багатьох мікросхемах число виводів живлення майже удвічі перевищує число сигнальних виводів. Ця обставина дозволяє значно знизити паразитну індуктивність. Однак попри зменшення площі поверхні мікросхеми значно поліпшується її охолодження (рис. 1).

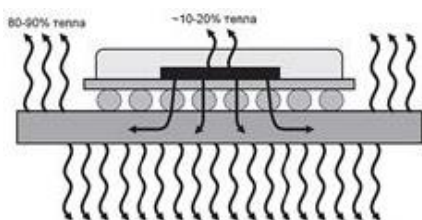


Рис. 1. Типове розсіювання тепла від корпусу BGA-мікросхеми без застосування радіатора

Це пов'язано з малим тепловим опором між основою мікросхеми і багатошаровою платою. Тому велика частина тепла розсіюється не з корпусу мікросхеми, а на плату і потім – в атмосферу. Оскільки прилегла площа друкованої плати значно більша, ніж площа корпусу мікросхеми та розсіювання тепла, яке відбувається з обох сторін плати, то кількість розсіяного тепла в разі застосування BGA-корпусу може бути більшою.

Конструктивно мікросхема у корпусі BGA складається з підкладки, кристала, корпусу і кульок припою. Як підкладка використовується два основних матеріали: органічний і керамічний. Найбільш поширеним є FR4 (органічний) різних типів. FR4 має той же коефіцієнт лінійного розширення, що і матеріал плати, тому найбільш зручний з точки зору монтажу та подальшої експлуатації. Застосування кераміки виправдано тільки у випадках виділення на кристалі великої кількості тепла. Тому мікросхеми BGA на керамічних підкладках зустрічаються набагато рідше.

На нижньому боці підкладки розташовані кульки припою, за допомогою яких здійснюється електричне та механічне поєднання BGA-корпусу із друкованою платою. Як матеріал кульок може використовуватися звичайний евтектичний свинцево-олов'яний припій – Sn63Pb37, так і різного роду безсвинцеві сплави: евтектичний сплав SnAg3.0 або гіпоевтектичний SnAg3.0Cu0.5. Нині застосування свинцево-олов'яних припоїв як матеріалу для кульок BGA-корпусів обмежене. Причиною є директива RoHS (Restriction of

Hazardous Substances), що обмежує вміст шкідливих речовин в електронному обладнанні.

Наразі типи корпусів BGA, їх геометричні розміри, розташування і розмір кульок, відхилення розмірів систематизовані і стандартизовані Об'єднаною інженерною радою по електронних пристроях JEDEC (Joint Electronic Device Engineering Council). Такі стандарти можуть надати конструктору вичерпну інформацію по конструктиву корпусу BGA. У специфікаціях на мікросхеми, в розділах Package Information або Physical Dimensions виробники завжди дають вказівку на відповідний стандарт і на варіант виконання корпусу.

У процесі монтажу BGA-корпусу з допомогою конвекційної печі відбувається оплавлення кульок припою і утворюється з'єднання контактних площинок на підкладці і друкованій платі. Пайка BGA-корпусів може проводитися як із застосуванням флюс-гелів, так і з застосуванням паяльних паст. Поверхня з'єднань повинна мати гладкий, блискучий вигляд, без сколів, тріщин та інших дефектів. Форма паяного з'єднання повинна бути бочкоподібною, без надмірної кривизни сторін. Зайва кривизна поверхні здебільшого виникає внаслідок нанесення зайвої кількості паяльної паст. Кількість і якість нанесення паст на друковану плату – один із найважливіших факторів, що впливає на якість паяних з'єднань BGA-корпусів і на високий вихід придатних плат після монтажу.

Другий фактор, що забезпечує якісний монтаж мікросхем у BGA виконанні, – правильний вибір розміру площинок на платі. Паяні з'єднання повинні мати бочкоподібну форму. Розмір верхнього і нижнього «денець» цієї «бочки» повинен бути по можливості однаковий. На завершальній стадії оплавлення буде досягатися рівномірне охолодження паяного з'єднання з обох сторін: і з боку друкованої плати, і з боку підкладки BGA. Це відбувається за умови, що матеріали плати і підкладки мають однакову або досить близьку теплопровідність.

Негативний фактор, що виникає в результаті використання паяного з'єднання напівсферичної форми, – наявність залишкової механічної напруги. Вона виникає в результаті нерівномірного процесу охолодження і неоднорідного процесу кристалізації припою. У паяних з'єднань бочкоподібною форми залишкової напруги немає. Отже, використання на платі контактних площинок, розміри яких дуже відрізняються від розмірів площинок на підкладці BGA-корпусу, при-

зводить до значного зниження надійності паяного з'єднання. Дефекти паяного з'єднання можна усунути тільки шляхом монтажу нової мікросхеми.

При використанні BGA-мікросхем у наших розробках ми зіткнулися з такими проблемами: які особливості існують при розробці патернів BGA-мікросхем, як правильно розрахувати розмір площинок під кульки BGA, які особливості проектування пристроїв із використанням BGA-мікросхем.

Стандарт IPC-7351A "Generic Requirements for Surface Mount Land Pattern and Design Standard" («Загальні вимоги по конструюванню контактних площинок і друкованих плат із застосуванням технології поверхневого монтажу»), створений Японською асоціацією IPC (Association Connecting Electronics Industries) з урахуванням вимог стандартів JEDEC, установив вимоги до розмірів контактних площинок для монтажу BGA-корпусів, подані в таблицях 1, 2. У таблиці 1 наведені типові параметри: крок і номінальний діаметр кульок найчастіше використовуваних мікросхем BGA.

Таблиця 1

Номінальний діаметр кульки (мм)	Допустимі відхилення розміру (мм)	Крок (мм)
0,75	0,90-0,65	1,5, 1,27
0,60	0,70-0,50	1,0
0,50	0,55-0,45	1,0, 0,8
0,45	0,50-0,40	1,0, 0,8, 0,75
0,40	0,45-0,35	0,8, 0,75, 0,65
0,30	0,35-0,25	0,8, 0,75, 0,65, 0,50
0,25	0,28-0,22	0,40
0,20	0,22-0,18	0,3
0,15	0,17-0,13	0,25

Типові розміри площинок для монтажу мікросхем у BGA-корпусах наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Номінальний діаметр кульки (мм)	Номінальний діаметр площинки (мм)	Допустимі відхилення розміру (мм)
0,75	0,55	0,60-0,50
0,60	0,45	0,50-0,40
0,50	0,40	0,45-0,35
0,45	0,35	0,40-0,30
0,40	0,30	0,35-0,25
0,30	0,25	0,25-0,20
0,25	0,20	0,20-0,14
0,20	0,17	0,20-0,14
0,15	0,13	0,15-0,10

Для кульок порівняно великих розмірів (діаметром понад 0,50 мм) надійна і якісна пайка забезпечується у тому випадку, якщо площинки мають номінальний діаметр на 25% менше, ніж номінальний діаметр кульок. Для кульок невеликого розміру (діаметром 0,25-0,50 мм) діє відношення розмірів 3/4. Тобто, діаметр площинок менше номінального діаметра кульки на 20%. Для кульок дрібнішого розміру достатньою умовою буде зменшення розміру майданчика на 15% до розміру кульки. Це пов'язано з тією обставиною, що маса кульок припою невеликого розміру невелика, тому такою ж є й їхня теплоємність.

Способи формування розміру площинок.

Перший спосіб (найбільш поширений) – формування розміру площинок безпосередньо малюнком міді на верхньому шарі плати. Цей спосіб формування називають «відкритою площинкою». Припій контактує не тільки з поверхнею площинки, але й охоплює її із торців, збільшуючи тим самим площу контакту. Така форма контакту покращує якість паяного з'єднання, збільшує його міцність, зменшує ризик виникнення розшарування на кордоні мідь-припій. При такому способі формування можуть використовуватися сухі і рідкі типи масок. Зазор від краю маски до краю площинок повинен бути мінімально можливим. Більшість виробництв витримують значення зазору величиною 50 мкм, що дозволяє розташовувати провідники на відстані 110-125 мкм від краю площинок.

Другий спосіб – формування площинок шляхом створення «вікна» у масці. Причому сама маска накладається безпосередньо на мідну площинку, яка має більший розмір по відношенню до бажаного. Такий спосіб формування називають «маскою на площинку», а паяні з'єднання – «non-collapsed». Для формування цього типу площинок використовують тільки сухі типи масок.

У разі застосування на платі різних типів BGA-корпусів, що мають різний крок виводів і розмір кульок, на платах необхідно використовувати тільки один спосіб формування площинок для всіх типів корпусів.

Ще один фактор, що впливає на якість паяного з'єднання мікросхем у BGA-корпусах, – ширина трас, що відходять від контактних площинок. На рисунку 2 показаний фрагмент плати, з якого видно, як необхідно відвести ланцюги від BGA-корпусу.

При великій ширині ланцюгів, а тим більше в разі прямого підключення площинок до полігонів без використання термобар'єрів, відтік тепла від

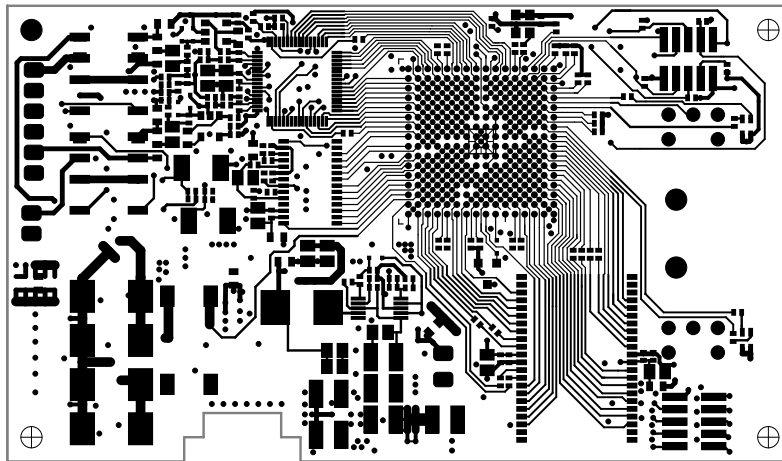


Рис. 2. Фрагмент плати

площинки буде великим. Тому навіть при ідентичних розмірах площинок на підкладці мікросхеми і на друкованій платі буде виникати неоднорідність структури паяного з'єднання через виникнення градієнта теплового поля. Через це ширина трас, що відходять від контактних площинок, не повинна перевищувати $1/2$ діаметра площинки. Оптимальне значення – $1/3$ від діаметра площинки. У разі, якщо за різних причин необхідно використовувати ланцюги більшої ширини, необхідно відвести ланцюг від мікросхеми провідником не більше $1/2$ від ширини площинки і тільки на деякому віддаленні (здебільшого становить не менше $1-1,5$ діаметра площинки) збільшувати ширину провідника до необхідної ширини. Аналогічна ситуація виникає і при підключенні площинок до полігонів.

Для успішного монтажу мікросхем у BGA-корпусах необхідне використання якісних фінішних покриттів плат. Оптимальним варіантом є використання різних імерсійних фінішних покриттів. Це може бути імерсійне золото поверх підшару нікелю, імерсійне срібло, імерсійне олово із бар'єрним підшаром органічного металу. Найбільш поширене – імерсійне золото.

Завершальна стадія будь-якого техпроцесу монтажу – відмивання і сушіння. Температура між BGA-корпусом мікросхеми і платою завжди підвищена. В умовах підвищеної температури флюси досить активно кородують поверхню пая-

них з'єднань. Крім того, флюси і їхні залишки у високій мірі гігроскопічні. У процесі експлуатації вони накопичують вологу із довкілля, що збільшує їх хімічну активність. Тому ретельне відмивання плат бажане із застосуванням рідин для відмивання. Не менш ретельна сушка є запорукою надійної експлуатації мікросхем у BGA-корпусах.

Висновки. За останні десятиліття компаніями-виробниками напівпровідників було розроблено безліч корпусів для інтегральних схем. У корпусах такого типу виконують роль напівпровідникові мікросхеми: процесори, пам'ять. Ми детально розглянули найбільш поширені з них – BGA-корпуси. Пайка елемента у корпусі BGA здійснюється шляхом нагрівання безпосередньо корпусу елемента з підігрівом друкованої плати за допомогою гарячого повітря або інфрачервоного випромінювання.

Перевага корпусів BGA: компактність і економія місця на друкованій платі. Також вони найбільш досконалі і виграють в інших по низці параметрів: щільність монтажу, теплопровідність та інші переваги, які були викладені в основному матеріалі.

Узагальнюючи зазначене вище, можна зробити висновок, що у процесі виготовлення спецтехніки BGA-корпуси необхідно широко використовувати виробниками, адже їх впровадження гарантує забезпечення якості, надійності і безпеки спецтехніки.

Список літератури:

1. Смирнов К.К, Сухов А.Г., Цимбалов А.С Проблемы проведения испытаний микросхем в металлополимерных корпусах типа BGA. Труды НИИ системных исследований Российской АН.
2. Яцюк Л.А., Косогін О.В., Ущатовський Д.Ю., Лінючева О.В., Фатєєв Ю.Ф. Технологія нанесення неметалевих покриттів і виробництво плат друкованого монтажу : Посібник / НТУ КПІ. Київ, 2017. С. 249–250.
3. Вейн Паллием (перевод Ю. Потапова). Проектируем платы с BGA / EDA EXPERT. 2002. № 5.

4. Медведев А. Бессвинцовые технологии монтажной пайки. Что нас ожидает? Электронные компоненты. 2004. № 11.

5. Поджаренко В.О., Кучерук В.Ю., Севастьянов В.М. Основы мікропроцесорної техніки. Навчальне видання / ВНТУ. Вінниця, 2006. С. 8–10.

Lutsko L.I. THE FEATURES OF PCB DESIGN WITH THE BGA-CASE CHIPS USAGE

A quality of the special devices manufacturing is the guarantee for the long-term and reliable exploitation. Our recent devices' complexity, functional abilities and mounting density have grown up dramatically, as the weight and capacity have reduced on the other hand, with the update of microelectronics base. Because of it a new technologies and modern hardware base should be used during the design. Such facts have lead us to the necessity for the most modern BGA-cased chips usage.

These special-purpose chips have metal polymer composite case with the ball pins. This article intends to uncover the design process of such PCB. A reasons of the pins strength reducing at the various manufacture stages and testing were analyzed and proposed methods that allows to reduce such strength lose. Also this article includes some reasonable arguments to move the ball pins forming process into the PCB nodes assembly process.

Article provides an analyzis of the design conten of thee BGA chips, most important factors that influe on pins soldering quality, the ways to form solder pad sites, a key parameters and terms, heat transfer out from the chip case without a radiator usage. Pros and cons of the BGA chips were discussed here, with the key features of BGA chip patterns development, a correctness of the calculations for the solding pads size to use BGA ball pins. Also two tables is provided, they contains a typical parameters: step and a nominal balls diameter of the most used chips and typical sizes contact pads for the BGA mounting.

This article describes how to calculate the track's width that come out from the chip's pads and how to connect pads to polygones properly. Picture provides a fragment of PCB that shows how to widthdraw a tracks from the BGA-case. To mount BGA-case chip properly is necessary to use a high-quality finishing covering. The different immersion finish covers were analyzed in this article and final stage of every mount process – clean and dry.

Key words: balls array, metall polymer BGA cases, pins soldering strength, contact site pad, barrel jack connector.

Озерчук І.М.

orcid.org/0000-0001-7011-0772

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз
Служби безпеки України

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ СИЛОВОГО БАГАТОФАЗНОГО ІМПУЛЬСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА НА БАЗІ БПЛА

Досліджено принципи побудови силового багатофазного імпульсного перетворювача для безпілотного літального апарату. Розкрито механізми узгодження параметрів джерел первинного електроживлення з параметрами навантаження (тобто споживачів електроенергії – безпілотних літальних апаратів) за видом електроенергії, її якості і номінальним значенням, що забезпечують перетворювачі і регулятори електричної енергії, які є складовою частиною сучасних засобів електроживлення та електропостачання. Наголошено, що для сучасних безпілотних літальних апаратів фундаментальну роль відіграють вага та габарити системи електропостачання, що приводить до виникнення особливих вимог створення перетворювачів електричної енергії на базі безпілотних літальних апаратів. Крім вимог високої надійності, коефіцієнта корисної дії, заданої якості електроенергії, висувуються вимоги щодо високого ступеня мініатюризації. Підкреслено, що дозвіл зазначеного протиріччя між масогабаритними та енергетичними показниками імпульсних перетворювачів електричної енергії модульної структури досягається переходом до багатофазного принципу перетворення електричної енергії. Багатофазні імпульсні перетворювачі, що реалізують зазначений принцип, забезпечують можливість зменшення обсягу і маси силових згладжуючих фільтрів без збільшення частоти перетворення. Запропоновано блок-схему силового багатофазного імпульсного перетворювача для безпілотного літального апарату, яка має трифазний регулятор напруги. Обґрунтовано, що застосування трифазного регулятора напруги живлення дає змогу розподілити струм по всіх фазах, а отже, струм, що протікає по кожній фазі, буде в три рази меншим від струму навантаження. Наведено графік розподілу струму по кожній фазі і результуючий струм навантаження в трифазному регуляторі напруги, з якого видно, як гаситься струм пульсацій у трифазному перетворювачі. Зазначено, що основна перевага багатофазних імпульсних регуляторів напруги живлення полягає в тому, що вони дозволяють знизити пульсації вихідної напруги за однакової ємності та індуктивності згладжуючого фільтру.

Ключові слова: силовий багатофазний імпульсний перетворювач, безпілотний літальний апарат, напруга, електрична енергія, імпульс.

Постановка проблеми. Безпілотні літальні апарати відповідно до [1] повинні задовольняти вимогам надійності і забезпечувати стійкий зв'язок. Ця вимога визначається основним завданням галузі зв'язку з використанням БПЛА у сфері розвідки та навігації – надання якісних і надійних інформаційних послуг. Якість і надійність застосування БПЛА в принципі не може бути вищою від якості і надійності пристроїв і систем, реалізованих на борту безпілотного літального апарату. У разі відсутності електричної енергії безпілотні літальні апарати не в змозі виконувати покладені на них завдання. На сучасному етапі для успішного вирішення завдань, поставлених перед галуззю безпілотної авіації, значно посилюються вимоги, що пред'являються БПЛА до якості споживаної ними електричної енергії – стабільності напруги живлення, рівня допустимих пульсацій за одночасного зростання величин струмів навантаження.

Узгодження параметрів джерел первинного електроживлення з параметрами навантаження (тобто споживачів електроенергії – безпілотних літальних апаратів) за видом електроенергії, її якості і номінальним значенням забезпечують перетворювачі і регулятори електричної енергії, які є складовою частиною сучасних засобів електроживлення та електропостачання.

Перетворювачі електричної енергії значною мірою визначають масогабаритні показники, енергоспоживання, надійність, час готовності до роботи засобів електроживлення безпілотних літальних апаратів, складовою частиною яких вони є. Тому вдосконалення перетворювачів електричної енергії, поліпшення їх техніко-економічних показників – зменшення обсягу, маси, підвищення надійності, коефіцієнта корисної дії (ККД), поліпшення електромагнітної сумісності з безпілотними літальними апаратами, що живляться,

а тим самим – поліпшення техніко-економічних показників БПЛА загалом – є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій за темою дослідження показав масштабність сучасних досягнень.

Ю.І. Гусевський, С.М. Лутай, А.Г. Мастепан та Ю.В. Пашинська [2] дослідили принципи побудови дворівневого інвертора з покращеною формою вихідної напруги. У межах дослідження виконано аналіз конструкційних особливостей цього інвертора, запропоновано послідовність перемикання силових ключів для отримання фазної напруги, близької до синусоїдальної форми. Виконано аналіз енергетичних показників запропонованого інвертора.

Частотно-імпульсний модулятор з адаптивною корекцією тривалості імпульсу розглянули Р. Єршов та В. Войтенко [3]. Стаття присвячена розробленню структури цифрового частотно-імпульсного модулятора з адаптивною корекцією тривалості імпульсу (ЦЧІМ-АКТІ) та методу автоматичного стеження за РК з метою прогнозування її переходу через нуль. Запропонована схемотехнічна структура та алгоритм функціонування модулятора у складі блоків ЦЧІМ та АКТІ на основі декількох цифрових автоматів, набору лічильників та арифметико-логічних пристроїв. Пара зовнішніх гістерезисних компараторів детектує перехід резонансної кривої через порогові рівні, розміщені симетрично відносно нульового рівня.

Ю.Г. Даник, О.В. Манько та В.В. Павлюк [4] розробили алгоритм, який забезпечує встановлення факту належності прийнятого радіовипромінювання до класу радіосигналів систем дистанційного керування безпілотними літальними апаратами з імпульсно-позиційною та імпульсно-ковою модуляціями. Алгоритм базується на послідовних перевірках енергетичної, модуляційної та структурної ознак сигналу, передбачає можливість автоматичного виявлення сигналу та супроводження його за частотою.

О.І. Кочерга [5] розробив класифікацію електромеханічних перетворювачів, які включають феромагнітний, котушковий та суцільний електропровідний якорі. Встановлено особливості протікання електромагнітних процесів та визначені електричні, магнітні та силові показники електромеханічних мультиякірних конфігурацій. Запропоновано комплексний критерій оцінювання ефективності, за допомогою якого проведено порівняльний аналіз перетворювачів мультиякірних конфігурацій з перетворювачами, що

мають один якір. Автором встановлено вплив форми струму збудження на ефективність перетворювачів мультиякірних конфігурацій.

Із зарубіжних авторів варто відзначити: Jimenez-Fernandez A., Jimenez-Moreno G., Linares-Barranco A., Dominguez-Morales M.J., Paz-Vicente R., Civit-Balcells A.A. [6], Denisov Yu., Gorodniy O., Gordienko V., Vershniak L., Dymereets A. [7], Gorodny A.N., Dymereets A.V. [8], Sampath P., Vikas C. [9], Chen W.H., Inerowicz M.E., Jung B. [10], Zhang C., Syrzycki M. [11], Pogliano U., Serazio D., Trinchera B. [12] та інших.

Проте, враховуючи описані наукові набутки за темою, питання дослідження силового багатofазного імпульсного перетворювача для БПЛА залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

Мета статті – провести дослідження силового багатofазного імпульсного перетворювача для БПЛА.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сучасні безпілотні агрегати використовують високочастотний (імпульсний) принцип перетворення електричної енергії. Для стабілізації та регулювання параметрів електричної енергії (напруги, струму, потужності) застосовується, як правило, широтно-імпульсна модуляція. Це дає змогу створювати пристрої безпілотної авіації та системи стеження з більш високою питомою потужністю і характеристиками, недосяжними при використанні інших методів [3–7].

Модульна побудова імпульсних перетворювачів з N однотипних взаємозамінних перетворювачів постійної напруги – силових каналів – забезпечує підвищення їх надійності, технологічності і зниження трудомісткості їх виготовлення, підвищення рівня уніфікації та стандартизації. Модульна побудова перетворювачів електричної енергії сприяє вирішенню питань резервування, підвищення надійності, адаптації їх структур до змін умов їх експлуатації та режимів роботи, економії електроенергії [8]. За широкого впровадження мікросхем вага і габарити власне безпілотних літальних апаратів – їх інформаційних складників – різко зменшилися, тоді як відносний обсяг і вага засобів електроживлення зросли, тому що на їх виході потрібна, як правило, низька напруга (наприклад, 5 В, 12 В, 48 В, 60 В) за великих токів. Це тягне за собою збільшення перерізу проводів, габаритів і втрат енергії. Цим зумовлено збільшення відносного обсягу і ваги засобів електроживлення до 80% від загального обсягу і ваги безпілотного літального апарату.

Зменшення масогабаритних показників (мініатюризація) є генеральним напрямом розвитку безпілотної авіації. Тому до перетворювачів електричної енергії на базі БПЛА, крім вимог високої надійності, ККД, заданої якості електроенергії, висувуються вимоги щодо високого ступеня мініатюризації [8]. Наявність функціонально необхідних при імпульсному перетворенні електроенергії реактивних елементів ускладнює зменшення масогабаритних показників перетворювачів на базі БПЛА. Зменшення маси й обсягу реактивних елементів досягається підвищенням робочої частоти, але це призводить до збільшення динамічних втрат (втрат на перемикання силових комутуючих елементів), що також погіршує техніко-економічні показники перетворювачів.

Дозвіл зазначеного протиріччя між масогабаритними та енергетичними показниками імпульсних перетворювачів електричної енергії модульної структури досягається переходом до

багатофазного принципу перетворення електричної енергії. У цьому разі один імпульсний процес перетворення електричної енергії розбивається на кілька N процесів (за кількістю силових каналів), які зсуваються в часі один щодо одного і підсумовуються в загальних ланцюгах їх протікання. Багатофазні імпульсні перетворювачі, що реалізують зазначений принцип, забезпечують можливість зменшення обсягу і маси силових згладжуючих фільтрів без збільшення частоти перетворення.

На рис. 1 наведено блок-схему силового багатофазного імпульсного перетворювача для БПЛА, яка має трифазний регулятор напруги.

Застосування N -фазного регулятора напруги живлення дає змогу розподілити струм по всіх фазах, а отже, струм, що протікає по кожній фазі, буде в N разів меншим від струму навантаження. Наприклад, якщо використовувати 3-фазний регулятор напруги живлення процесора з обмеженням по струму в кожній фазі до 17.5 А (піковий

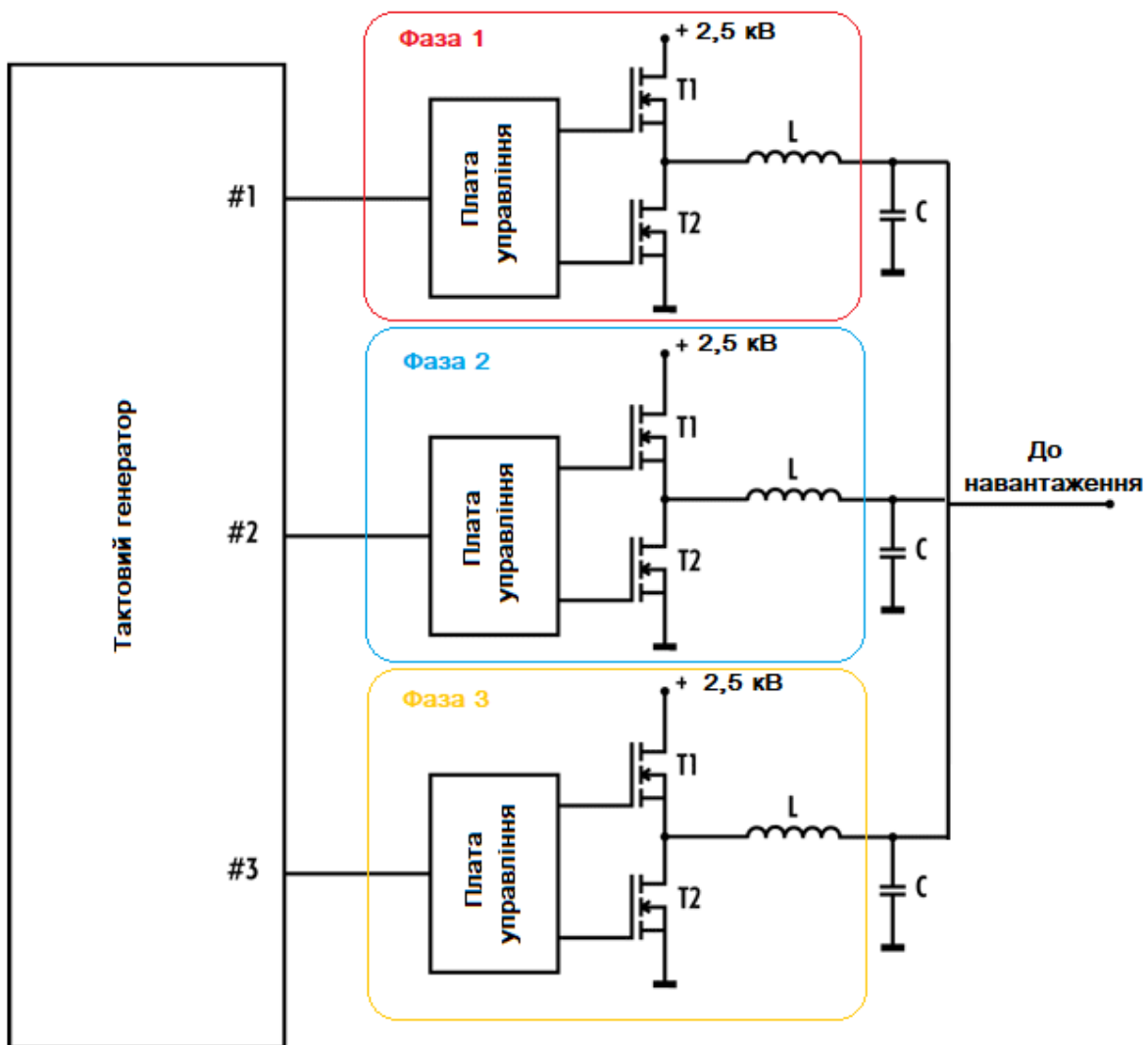


Рис. 1. Блок-схема силового багатофазного імпульсного перетворювача для БПЛА

до 28 А), то максимальний струм через процесор становитиме 52,5 А (піковий 84 А), чого цілком достатньо для більшості сучасних безпілотних літальних апаратів.

Загальний вигляд імпульсного перетворювача включає в себе три модулі, кожний модуль складається із плати зі згладжуючими керамічними конденсаторами, силової плати і плати управління.

Кожна фаза включається на одній і тій же частоті, але в різний час, що залежить від кількості силових каскадів. Наведеній схемі трифазного перетворювача потрібні три комутаційних сигнали, зміщені по фазі на 120° (0° , 120° , 240°) (рис. 2), що дає змогу реалізувати трифазну схему і тим самим згладити пульсації вихідного і вхідного струму перетворювача, а також пульсації відповідних напружень.

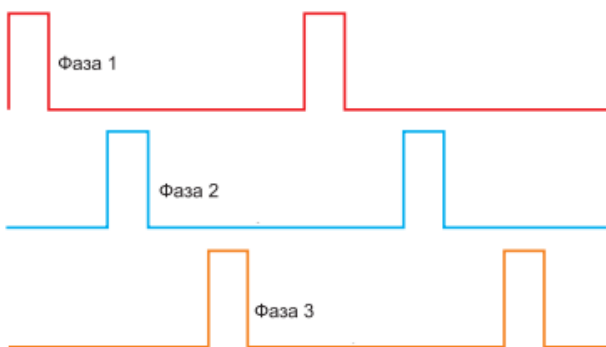


Рис. 2. Зсунуті по фазі тактові імпульси

У кожному каскаді багатofазного регулятора тече той же струм пульсації, що і в еквівалентній однофазній схемі за тих же умов експлуатації. Однак, оскільки каскади підключені до загального вихідного вузла, їх струми індуктивностей підсумовуються, вихідні конденсатори заряджаються і розряджаються в однаковий час. Ця робота в паралельному режимі дає змогу зменшити сумарний струм пульсації.

За послідовної реалізації таймер працює як генератор, що задає робочу частоту. На його виході генеруються імпульси напруги амплітудою 5 В з частотою повторення 400 кГц. Ці імпульси надходять на логічну мікросхему, виходи якої з'єднані за принципом лічильника Джонсона, який засновано на кільцевому з'єднанні D-тригерів, завдяки чому формуються три однакові послідовності імпульсів із частотою повторення 100 кГц, зсунуті по фазі на одну четверту періоду (2.5 мкс).

Залежність нормалізованого струму пульсації, який протікає через вихідний конденсатор, від числа каскадів схожа з графіком для вхідної

ємності на рис. 3 з точками нульової ємності. І в цьому разі нульові значення вихідної ємності на практиці не реалізуються.

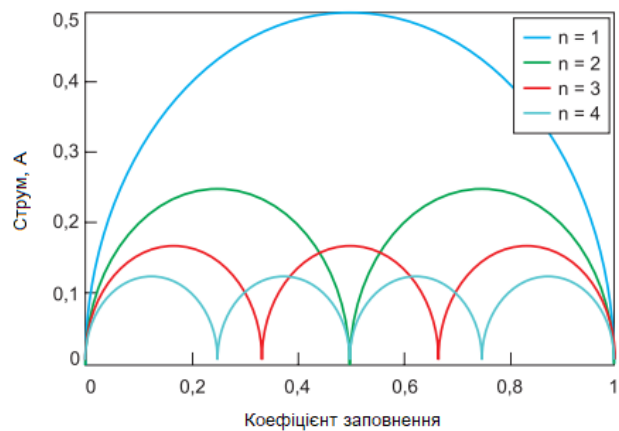


Рис. 3. Діаграма розподілу струму

Також у рамках загальної схеми розташований підсилювач помилки системи стабілізації напруги (рис. 4), виконаний на операційному підсилювачі, на вхід якого подається через дільник вихідна напруга потужного перетворювача й опорна напруга.

На рис. 4 як джерело опорної напруги показаний символічний стабілітрон VD1. Реально у схемі на базі безпілотних літальних апаратів використовується джерело опорної напруги на ширині забороненої зони. Вперше його застосував Р. Відлар в одному з перших стабілізаторів LM109. За рахунок негативного зворотного зв'язку, що утворюється подільником напруги R_1 , R_2 , вихідна напруга стабілізатора встановлюється рівною

$$U_{вих} = U_{он} (1 + R_2 / R_1)$$

Інтегральний стабілізатор напруги має вбудовану систему обмеження вихідного струму. Для цього в схему включені резистор R_3 і транзистор VT_2 . Якщо падіння напруги на R_3 перевищить величину, рівну приблизно 0,6 В, транзистор VT_2 відкриється і запобіжить подальшому збільшенню базового струму транзистора VT_1 , тому величина вихідного струму стабілізатора обмежена рівнем

$$I_{вих.макс} = 0,6 В / R_3.$$

При цьому потужність, що розсіюється на вихідному регулюючому транзисторі VT_1 , дорівнює

$$P_t = I_{вих.макс} (U_{ex} - U_{вих}).$$

У разі короткого замикання ця потужність значно перевищить граничну потужність для регулюючого транзистора, тому що при цьому вихідна напруга впаде від номінальної величини до нуля. Щоби знизити потужність, що розсіюється в

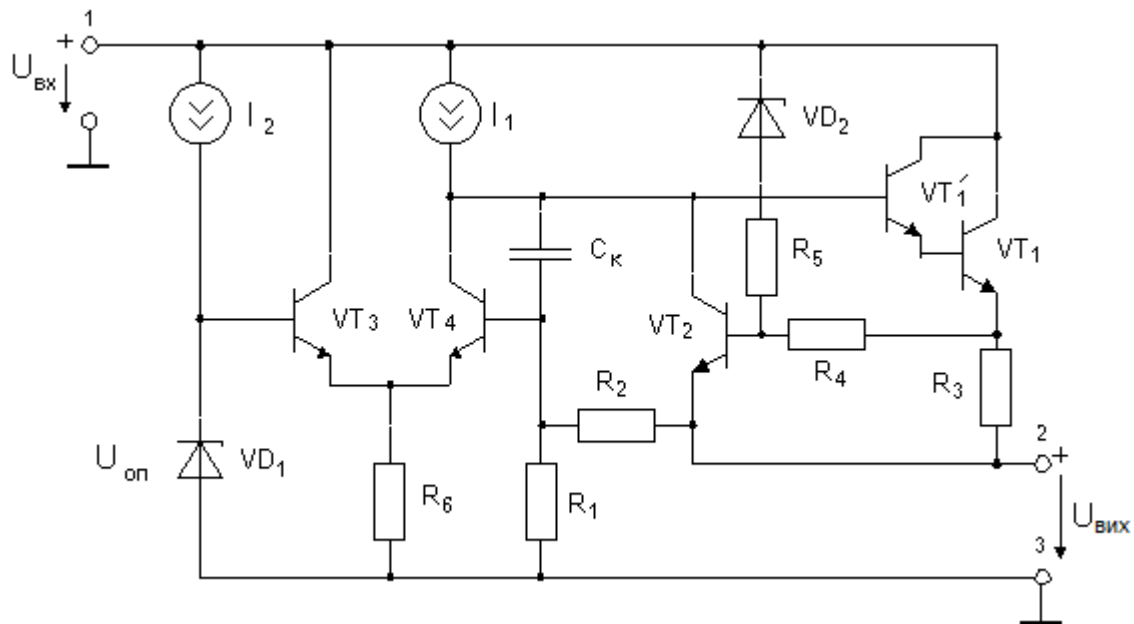


Рис. 4. Схема підсилювача помилки системи стабілізації напруги

цьому разі транзистором, одночасно зі зменшенням вихідної напруги потрібно зменшувати рівень обмеження струму. За такого способу обмеження струму зовнішня характеристика стабілізатора має нестійку ділянку.

Коефіцієнт передачі дільника визначається, виходячи із заданої максимальної напруги заряду акумулятора. На платі є також ланцюг, який точно встановлює максимальну напругу підсилювача помилки, яка може регулюватися завдяки наявності на платі змінного резистора. Таким чином, за допомогою регулювання опорної напруги встановлюється значення граничного робочого струму I_{set} .

На рис. 5 показано, як гаситься струм пульсацій у трифазному перетворювачі. Розмах сигналу сумарного струму I_{SUM} через вихідні конденсатори – менший, ніж у окремо взятого фазного струму. Завдяки меншим пульсаціям вдається дотримати вимоги специфікації до вихідної напруги пульсації за меншої вихідної ємності.

Необхідно відзначити, що коефіцієнт корисної дії силового багатофазного імпульсного перетворювача для безпілотного літального апарату з використанням багатофазної схеми включення трохи вищий, ніж для однофазного перетворювача, завдяки зменшенню пульсацій вихідної напруги і зниженню втрат у згладжуючих конденсаторах.

Силовий багатофазний імпульсний перетворювач для безпілотного літального апарату розподіляє енергію між декількома індуктивностями і

декількома силовими ключами, в результаті чого на кожен каскад відводиться порівняно менше енергії. Таким чином, забезпечується більш ефективна робота кожного каскаду, що зменшує кількість компонентів і температуру плати.

Багатофазний контролер може змінювати кількість активних фаз, щоб максимально підвищити ефективність при різних навантаженнях. Оскільки споживання навантажувального струму зменшується, у контролера з'являється можливість вимикати фази, щоби зменшити комутаційні втрати і енергоспоживання під час управління затвором.

Отже, основна перевага багатофазних імпульсних регуляторів напруги живлення полягає в тому, що вони дозволяють, по-перше, подолати обмеження по струму, а по-друге, знизити пульсації вихідної напруги за тієї ж ємності й індуктивності фільтра, що згладжує.

Висновки. У роботі досліджено силовий багатофазний імпульсний перетворювач для безпілотного літального апарату. Впровадження зазначеного перетворювача на базі сучасних БПЛА приведе до більш високої ефективності на всьому діапазоні зміни параметрів, меншої вихідної напруги пульсацій і найкращої характеристики перехідного процесу.

За рахунок удосконалення елементної бази імпульсного перетворювача збільшується частота перетворення електричної енергії, зменшуються масогабаритні показники пристроїв і систем електроживлення на базі БПЛА і значно підвищується їх питома потужність.

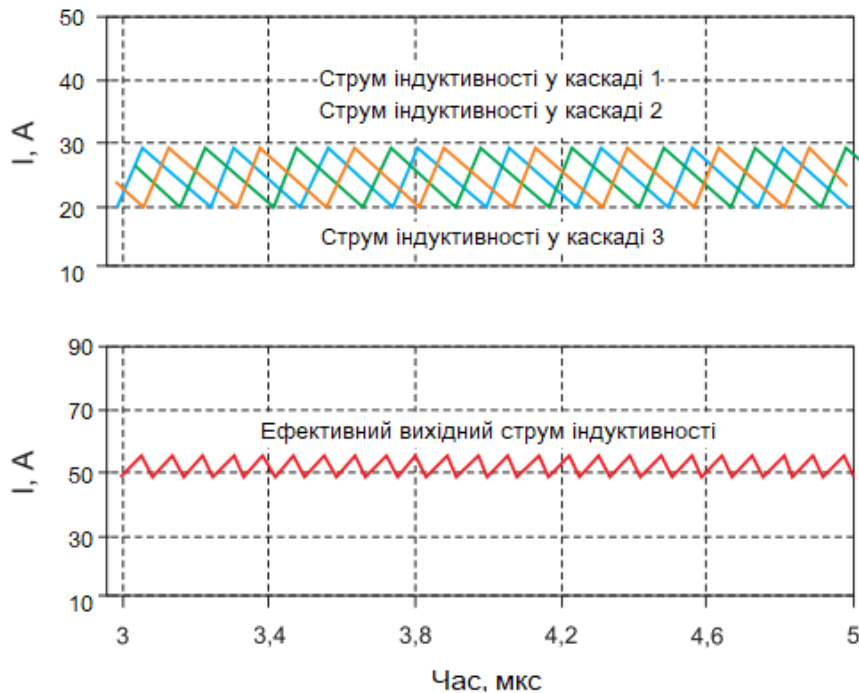


Рис. 5. Струм по кожній фазі і результуючий струм навантаження в трифазному регуляторі напруги

Список літератури:

1. Беспилотные летательные аппараты: Методики приближенных расчетов основных параметров и характеристик / В.М. Ильющко, М.М. Митрахович, А.В. Самков, В.И. Силков, О.В. Соловьев, В.И. Стрельников; Под общ. ред. В.И. Силкова. Киев: ЦНИИ ВВТ ВС Украины, 2009. 302 с.
2. Гусевський Ю.І., Лутай С.М., Мастепан А.Г., Пашинська Ю.В. Дворівневий інвертор з покращеною формою вихідної напруги / Ю.І. Гусевський. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2015. Вип. 153. С. 12–20.
3. Єршов Р.Д., Войтенко В.П. Частотно-імпульсний модулятор з адаптивною корекцією тривалості імпульсу. *Технічні науки та технології*. 2020. № 1 (19). С. 177–190.
4. Даник Ю.Г., Манько О.В., Павлюк В.В. Алгоритм виявлення радіосигналів систем дистанційного керування безпілотними літальними апаратами. *Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем*. 2013. Вип. 7. С. 5–13.
5. Кочерга О.І. Підвищення ефективності лінійних імпульсних електромеханічних перетворювачів за рахунок мультиякірних конфігурацій : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.09.01; Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». Харків, 2020. 24 с.
6. Jimenez-Fernandez A., Jimenez-Moreno G., Linares-Barranco A., Dominguez-Morales M.J., Paz-Vicente R., Civit-Balcells A.A. Building blocks for spikes signals processing. *Proc. International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'2018)*. 2010. P. 1–8.
7. Denisov Yu., Gorodny O., Gordienko V., Vershniak L., Dymereys A. Estimation of parameters and characteristics of power factor corrector based on pulsed and quasi-resonant converters. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2018. No. 6. P. 38–41.
8. Gorodny A.N., Dymereys A.V. Transistor Switches Quasi-Control in Quasi-Resonant Pulse Converters. *Proc. 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO'2019)*, IEEE, April 2019. P. 789-792.
9. Sampath P., Vikas C. High speed phase frequency detector. United States Patent 2011. No. 7 940 088.
10. Chen W.H., Inerowicz M.E., Jung B. Phase frequency detector with minimal blind zone for fast frequency acquisition. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*. IEEE, 2010. Vol. 57(12). P. 936–940.
11. Zhang C., Syrzycki M. Modifications of a dynamic-logic phase frequency detector for extended detection range. *Proc. 53rd IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems*, IEEE, August 2010. P. 105–108.
12. Pogliano U., Serazio D., Trinchera B. Wideband phase comparator for high current shunts. *Proc. CPEM 2010*, IEEE, June 2010. P. 135–136.

Ozerchuk I.M. PROSPECTS FOR THE USE OF POWER MULTIPHASE PULSE CONVERTER BASED ON UAVS

The principles of construction of a power multiphase pulse converter for an unmanned aerial vehicle are investigated. Mechanisms for matching the parameters of primary power sources with load parameters (ie, electricity consumers – unmanned aerial vehicles) by type of electricity, its quality and nominal value are provided by converters and regulators of electricity, which are part of modern power supply and power supply. It is emphasized that for modern unmanned aerial vehicles the weight and dimensions of the power supply system play a fundamental role, which leads to special requirements for the creation of electricity converters based on unmanned aerial vehicles, in addition to high reliability, efficiency, given power quality. degree of miniaturization. It is emphasized that the resolution of the specified contradiction between mass-size and energy indicators of pulse converters of electric energy of modular structure is reached by transition to the multiphase principle of conversion of electric energy. Multiphase pulse converters, implementing this principle, provide the ability to reduce the volume and weight of power smoothing filters without increasing the conversion frequency. A block diagram of a power multiphase pulse converter for an unmanned aerial vehicle with a three-phase voltage regulator is proposed. It is substantiated that the use of 3-phase regulator of supply voltage allows to distribute current on all phases, and therefore, the current flowing on each phase will be 3 times less than load current. The graph of current distribution on each phase and the resulting load current in the three-phase voltage regulator from which it is visible how the current of pulsations in the three-phase converter is extinguished is resulted. It is noted that the main advantage of multiphase pulse regulators of supply voltage is that they reduce the ripple of the output voltage at the same capacitance and inductance of the smoothing filter.

Key words: *power multiphase pulse converter, unmanned aerial vehicle, voltage, electrical energy, pulse.*

Відомості про авторів

Акмалдінова В.Є. – старший викладач кафедри організації авіаційних перевезень Національного авіаційного університету

Альховик О.В. – науковий співробітник Українського науково-дослідного інституту спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

Арсеньєва Н.О. – кандидат технічних наук, доцент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

Бабере О.С. – асистент кафедри природничо-математичних та інженерно-технічних дисциплін Державного університету інфраструктури та технологій

Бажай-Жежерун С.А. – кандидат технічних наук, доцент, кафедра технології оздоровчих продуктів Національного університету харчових технологій

Баранюк О.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри атомних електричних станцій і інженерної теплофізики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Белінський Д.І. – аспірант Державного університету інфраструктури та технологій

Бердниченко Ю.А. – кандидат історичних наук, доцент, доцент кафедри «Технологій транспорту та управління процесами перевезень» Державного університету інфраструктури та технологій

Береза-Кіндзерська Л.В. – кандидат хімічних наук, доцент, кафедра екології та збалансованого природокористування Національного університету харчових технологій

Беляновська О.А. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри енергетики ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Бобро М.А. – доктор сільськогосподарських наук, професор, член-кореспондент Національної академії аграрних наук України, завідувач кафедри рослинництва Харківського національного аграрного університету імені В.В. Докучаєва

Бондаренко О.І. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геотехніки, підземних та гідротехнічних споруд Харківського національного університету будівництва та архітектури

Бровко К.Ю. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Фізики, електротехніки і електроенергетики Української інженерно-педагогічної академії

Буданов П.Ф. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Фізики, електротехніки і електроенергетики Української інженерно-педагогічної академії

Бузіна І.М. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри геодезії, картографії та геоінформатики Харківського національного аграрного університету імені В.В. Докучаєва

Бунько В.Я. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри енергетики і автоматики Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

Валько А.М. – старший викладач кафедри організації авіаційних перевезень Національного авіаційного університету

Васильєв Г.С. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології електрохімічних виробництв Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Васюченко П.В. – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри фізики, електротехніки та електроенергетики Української інженерно-педагогічної академії

Винограденко С.О. – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри геодезії, картографії та геоінформатики Харківського національного аграрного університету імені В.В. Докучаєва

Волков І.І. – студент кафедри фізики, електротехніки та електроенергетики Української інженерно-педагогічної академії

Волковська Г.Г. – старший викладач кафедри організації авіаційних перевезень Національного авіаційного університету

Воробйов М.В. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри атомних електричних станцій і інженерної теплофізики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Воробйова В.І. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри фізичної хімії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Гарист А.В. – начальник відділу Українського науково-дослідного інституту спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

Геліх А.О. – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій та безпечності харчових продуктів Сумського національного аграрного університету

Гуйда О.Г. – кандидат наук державного управління, старший викладач кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

Дакі О.А. – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Державного університету інфраструктури та технологій

Дружинін О.О. – капітан морського порту Маріуполь, аспірант Херсонської державної морської академії

Дубонос В.Л. – старший викладач кафедри органічного синтезу і нанотехнологій Національного технічного університету «Харківського політехнічного інституту»

Єрко Я.В. – аспірант Національного транспортного університету

Желєзна В.В. – кандидат сільськогосподарських наук, старший викладач кафедри технологій зберігання і переробки зерна Уманського національного університету садівництва

Жуков С.Ф. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри Фізики, електротехніки і електроенергетики Української інженерно-педагогічної академії

Задорожний В.А. – аспірант Національного університету «Одеська морська академія»

Іваненко Р.О. – старший науковий співробітник Українського науково-дослідного інституту спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

Капінос Н.О. – кандидат економічних наук, доцент кафедри геодезії та землеустрою Сумського національного аграрного університету

Кириченко Г.І. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Технологій транспорту та управління процесами перевезень» Державного університету інфраструктури та технологій

Козьмініх М.А. – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет «Одеська морська академія»

Кричковська Л.В. – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри органічного синтезу і нанотехнологій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Крохмаль Д.Ю. – студент кафедри фізики, електротехніки та електроенергетики Української інженерно-педагогічної академії

Круглий Д.Г. – доктор технічних наук, професор кафедри інноваційних технологій та технічних засобів судноводіння Херсонської державної морської академії

Кузьменко Т.М. – науковий співробітник Українського науково-дослідного інституту спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

Кулик М.П. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

Кулішов С.В. – аспірант кафедри геотехніки, підземних та гідротехнічних споруд Харківського національного університету будівництва та архітектури

Лазарчук Л.М. – викладач вищої категорії Київського енергетичного коледжу

Лисак П.Ю. – аспірант кафедри органічного синтезу і нанотехнологій Навчально-наукового інституту хімічних технологій та інженерії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Лисенко О.І. – доктор технічних наук, професор Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Литовченко Р.Д. – аспірант ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Лі Бо – доктор філософії, професор, професор Хенанського інституту наук та технологій

Лінючев О.Г. – асистент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Лук'янченко О.Ю. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та технологій їх експлуатації Черкаського державного технологічного університету

Луцко Л.І. – науковий співробітник Українського науково-дослідного інституту спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

Любич В.В. – доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри технології зберігання і переробки зерна Уманського національного університету садівництва

Майзеліс А.О. – доктор технічних наук, старший науковий співробітник кафедри технічної електрохімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Максимов І.І. – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри вищої математики Криворізького національного університету

Мединський Д.В. – асистент кафедри організації авіаційних перевезень Факультет транспорту, менеджменту та логістики Національного авіаційного університету

Міненко С.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри машиновикористання та сервісу технологічних систем Поліського національного університету

Найдонова В.Є. – кандидат технічних наук, асистент кафедри геотехніки, підземних та гідротехнічних споруд Харківського національного університету будівництва та архітектури

Нан Хайцзюнь – аспірант кафедри технології харчування, факультет харчових технологій Сумського національного аграрного університету

Новіков В.І. – старший викладач кафедри телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Озерчук І.М. – провідний науковий співробітник Українського науково-дослідного інституту спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

Олійник Ю.С. – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри Фізики, електротехніки і електроенергетики Української інженерно-педагогічної академії

Петльований М.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри гірничої інженерії та освіти Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

Пилипенко І.В. – кандидат хімічних наук, старший викладач кафедри хімічної технології кераміки та скла Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Підгорний М.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та технології їх експлуатації Черкаського державного технологічного університету

Прокудін Г.С. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету

Редіч Ю.А. – аспірантка Національного транспортного університету

Романюк А.В. – аспірант Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Романюк В.А. – доктор технічних наук, професор Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут

Рященко О.І. – старший викладач кафедри природничо-математичних та інженерно-технічних дисциплін Державного університету інфраструктури та технологій

Савченко В.М. – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри машиновикористання та сервісу технологічних систем Поліського національного університету

Савченко Л.Г. – кандидат історичних наук, доцент кафедри електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології Поліського національного університету

Сай К.С. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри гірничої інженерії та освіти Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

Сергієнко Я.О. – аспірант ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Скиба М.І. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології неорганічних речовин та екології Українського державного хіміко-технологічного університету

Скляр Ю.Л. – кандидат біологічних наук, доцент, завідувач кафедри геодезії та землеустрою Сумського національного аграрного університету

Слободянюк В.К. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри відкритих гірничих робіт Криворізького національного університету

Степанова Т.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології харчування Сумського національного аграрного університету

Стрелко О.Г. – доктор історичних наук, професор, професор кафедри «Технологій транспорту та управління процесами перевезень» Державного університету інфраструктури та технологій

Стріжельчик Г.Г. – кандидат геолого-мінералогічних наук, доцент, професор кафедри геотехніки, підземних та гідротехнічних споруд Харківського національного університету будівництва та архітектури

Суворова Н.О. – старший викладач кафедри організації авіаційних перевезень Національного авіаційного університету

Сук І.В. – кандидат технічних наук, викладач-методист, заступник директора Київського енергетичного коледжу

Суша І.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології природних і синтетичних полімерів, жирів та харчової продукції ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Сухий К.М. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій палив, полімерних та поліграфічних матеріалів ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Табачников С.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геотехніки, підземних та гідротехнічних споруд Харківського національного університету будівництва та архітектури

Терещенко М.Ф. – кандидат технічних наук, доцент кафедри Виробництва приладів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Тогачинська О.В. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, кафедра екології та збалансованого природокористування Національного університету харчових технологій

Урум Н.С. – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Державного університету інфраструктури та технологій

Ущановський Д.Ю. – кандидат технічних наук, асистент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Фоменко Г.Р. – кандидат технічних наук, доцент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

Хаврук В.О. – асистент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу Національного транспортного університету

Хом'як Е.А. – аспірант кафедри Фізики, електротехніки і електроенергетики Української інженерно-педагогічної академії

Христенко Г.М. – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри економіки підприємства Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

Цапенко В.В. – аспірант Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Чичулін В.П. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри конструкцій з металу, дерева і пластмас Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Чичуліна К.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри економіки, підприємництва та маркетингу Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Янь Жуй – магістр Сумського національного аграрного університету

НОТАТКИ

Науковий журнал

**ВЧЕНІ ЗАПИСКИ
ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Серія: Технічні науки

Том 32 (71) № 2 2021

Частина 2

Коректура • *Н. Пирог*

Комп'ютерна верстка • *Н. Кузнєцова*

Адреса редакції:

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

м. Київ, вул. Джона Маккейна, 33

Електронна пошта: editor@tech.vernadskyjournals.in.ua

Сторінка журналу: www.tech.vernadskyjournals.in.ua

Формат 60×84/8. Гарнітура Times New Roman.

Папір офсетний. Цифровий друк. Обл.-вид. арк. 25,62. Ум. друк. арк. 33,25. Зам. № 0621/238

Підписано до друку 23.04.2021. Наклад 150 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1

Телефон +38 (048) 709 38 69,

+38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08

E-mail: mailbox@helvetica.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 6424 від 04.10.2018 р.