

**Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**

**ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА
ТА ЗБАЛАНСОВАНЕ
РЕСУРСОКОРИСТУВАННЯ**

Науково-технічний журнал

№ 2 (26)

**Івано-Франківськ
2022**

Науково-технічний журнал
Засновник: Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу (ІФНТУНГ)
Заснований у 2010 році, виходить 2 рази на рік

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР – д-р техн. наук **О. М. Мандрик** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ).
ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР – д-р техн. наук **Л. М. Архипова** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ).

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

д-р техн. наук **Я. О. Адаменко** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ);
д-р геол.-мінерал. наук **О. М. Адаменко** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ);
д-р техн. наук **В. В. Вамболь** (Національний університет цивільного захисту України, м. Харків);
д-р техн. наук **Г. В. Кошлак** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ);
д-р техн. наук **І. М. Петрушка** (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів);
д-р техн. наук **Л. Я. Побережний** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ);
д-р техн. наук **М. С. Полутренко** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ);
д-р техн. наук **Я. М. Семчук** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ);
д-р техн. наук **Л. Є. Шкіца** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ);
д-р філ. **Алаа Ель Дін Махмуд** (Центр енергетики та хімії навколишнього середовища, Університет Фрідріха-Шиллера, м. Єна, Німеччина; Олександрійський університет, факультет науки, м. Олександрія, Єгипет);
д-р наук **Мірела Ана Коман** (Технічний університет Клуж-Напока, м. Бая-Маре, Румунія);
д-р наук **Даріуш Чишевський** (Краківська гірничо-металургійна академія, м. Краків, Польща);
д-р наук **Єва Кмієцик** (Краківська гірничо-металургійна академія, м. Краків, Польща);
д-р наук **Мохаммад Нафес** (Університет Пешавара, м. Пешавар, Пакистан);
д-р філ. **Предраг (Міодраг) Живкович** (Університет Ніш, м. Ніш, Сербія);
д-р філ. **Елена Попович-Чоржевич** (Белградський університет, м. Белград, Сербія);
д-р філ. **Аль-Халиди Хадіджа Абис Хмуд** (Університет Аль-Кадісія, м. Аль-Діванія, Ірак).

Свідectво про державну реєстрацію у Міністерстві юстиції України КВ № 24321-14161ПР від 02 грудня 2019 р.

Наукове фахове видання України категорії "Б" в галузі технічних наук, що відповідає таким пунктам Переліку наукових спеціальностей:

101 – Екологія;

183 – Технології захисту навколишнього середовища,

(наказ Міністерства освіти і науки України від 28.12.2019 р. №1643)

Адреса редакції: кафедра екології ІФНТУНГ, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019

Телефон: (0342) 721203; сайт журналу: <http://ebzr.nung.edu.ua/index.php/ebzr>.

Журнал включено до міжнародних науково метричних баз: EBSCO, ERIN PLUS, Scientific Indexing Services, Root Indexing, InfoBase Index

Тексти статей наведені в авторській редакції. Автори несуть повну відповідальність за зміст публікації, вибір, точність наведення та інтерпретацію фактів, цифр, цитат, власних імен та інших відомостей. Передрук статей тільки з дозволу редакції. Точка зору редколегії не завжди збігається з позицією авторів.

Е 45 Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування : науково-техн. журнал / Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (ІФНТУНГ) – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, № 2 (26). – 2022. – 156 с.

**Ministry of Education and Science of Ukraine
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas**

ECOLOGICAL SAFETY AND BALANCED USE OF RESOURCES

Scholarly Journal

Issue 2 (26)

**Ivano-Frankivsk
2022**

Scientific and technical journal
Founder: Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (IFNTUOG)
The journal was founded in 2010 and is issued twice a year

EDITOR-IN-CHIEF – Dr. Sc. (Tech.) **O. Mandryk** (IFNTUOG, Ivano-Frankivsk).

ASSISTANT EDITOR – Dr. Sc. (Tech.) **L. Arkhypova** (IFNTUOG, Ivano-Frankivsk).

EDITORIAL BOARD:

Dr. Sc. (Tech.) **Ya. Adamenko** (IFNTUOG, Ivano-Frankivsk);

Dr. Sc. (Geol.& Mineral.) **O. Adamenko** (IFNTUOG, Ivano-Frankivsk);

Dr. Sc. (Tech.) **V. Vambol** (National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv);

Dr. Sc. (Tech.) **H. Koshlak** (IFNTUOG, Ivano-Frankivsk);

Dr. Sc. (Tech.) **I. Petrushka** (Lviv Polytechnic National University, Lviv);

Dr. Sc. (Tech.) **L. Poberezhnyi** (IFNTUOG, Ivano-Frankivsk);

Dr. Sc. (Tech.) **M. Polutrenko** (IFNTUOG, Ivano-Frankivsk);

Dr. Sc. (Tech.) **Ya. Semchuk** (IFNTUOG, Ivano-Frankivsk);

Dr. Sc. (Tech.) **L. Shkitsa** (IFNTUOG, Ivano-Frankivsk);

PhD **Alaa El Din Mahmoud** (Center for Energy and Environmental Chemistry, Friedrich-Schiller University, Jena, Germany; Alexandria University, Alexandria, Egypt);

Dr. Sc. **Mirela Ana Coman** (North University Centre of Baia Mare – Technical University of Cluj-Napoca, Baia Mare, Romania);

Dr. Sc. **Dariusz Ciczewski** (AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland);

Dr. Sc. **Ewa Kmiecik** (AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland);

Dr. Sc. **Mohammad Nafees** (University of Peshavar, Peshavar, Pakistan);

PhD **Predrag (Miodrag) Zivkovic** (University of Nis, Nis, Serbia);

PhD **Jelena Popovic-Gjordjevic** (University of Belgrade, Belgrade, Serbia);

PhD **Khadeeja Abees Hmood Al-Khalidy** (University of AL-Qadisiyah, Al-Diwaniyah, Iraq).

The Certificate of State Registration in the Ministry of Justice of Ukraine KV No.24321-14161PR of December 02, 2019.

Ukraine scientific professional journal of category "B" in the field of technical sciences, which corresponds to the following specialties:

101 – Ecology;

183 – Environmental technologies,

(Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated December 28, 2019 No. 164)

Editorial office address: the Department of Ecology of IFNTUOG, 15 Karpatska str., Ivano-Frankivsk, 76019.

Phone: +380342721203; website of the journal: <http://ebzr.nung.edu.ua/index.php/ebzr>.

The journal has been included in international scientific metric databases: EBSCO, ERIH PLUS, Scientific Indexing Services, Root Indexing, InfoBase Index

The authors are fully responsible for the content of the publication, choice and accuracy of the provided and interpreted facts, figures, quotations, proper names and other data. The articles can be reprinted only with permission of the editorial board. The point of view of the editorial board does not always coincide with authors' positions.

E 45 Ecological safety and balanced use of resources : scientific and technical journal / Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (IFNTUOG) – Ivano-Frankivsk : IFNTUOG, Issue 2 (26). – 2022. – 156 p.

ЗМІСТ

ГЛОБАЛЬНІ ТА РЕГІОНАЛЬНІ ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ	7
<i>І. Б. КОРДУБА</i> Ядерно-екологічна безпека світової ядерної енергетики на етапі четвертого глобального енергетичного переходу	7
<i>М. М. РАДОМСЬКА МУШТА М.А.</i> Проект природничих рішень для адаптації району Осокорки міста Києва до змін клімату.....	15
<i>ГАРСІЯ КАМАЧО ЕРНАН УЛЛАНДТ, І. В. ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ</i> Знищення іхтіофауни Південного Бугу в результаті будівництва малих ГЕС.....	22
<i>О. М. ХОМЕНКО, О. О. МИСЛЮК, О. В. ЄГОРОВА</i> Аналіз впливу енергетичної галузі на стан довкілля Черкаської області.....	37
ЗБАЛАНСОВАНЕ РЕСУРСКОРИСТУВАННЯ.....	48
<i>Л. Ю. КОЗАК</i> Екологічні аспекти зростання енергетичних затрат транспортних систем	48
<i>В. В. ЛІНЧЕНКО, Д. О. ЖУК, Н. В. ЛИСЕНКО, С. А. СТЕПЕНКО, І. Ю. ЖУК</i> Зелена енергетика: проблеми охорони навколишнього середовища.....	58
<i>В. М. КЛАПЧУК, Я. С. КОРОБЕЙНИКОВА, Л. В. ПАЛІЙЧУК, О. В. ПОЗДНЯКОВ</i> Дослідження становлення та розвитку нафтогазопроводів у Галичині в кінці ХІХ поч. ХХ ст. в контексті формування програм промислового туризму.....	69
ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ.....	82
<i>О. М. ТУЦЬ</i> Екологічні наслідки впливів магістральних газопроводів на навколишнє середовище.....	82
ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ, ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ОЦІНКА СТАНУ ДОВКІЛЛЯ.....	91
<i>М. В. КОРЧЕМЛЮК</i> Застосування інструменту швидкої оцінки екосистемних послуг для водно-болотного угіддя «верхів'я річки Прут» Карпатського національного природного парку (Україна)	91
<i>Ю. Л. КОВАЛЕНКО, О. В. ХАНДОГІНА</i> Врахування кліматичних умов в процесі порівняльної еколого-економічної оцінки енергоносіїв	111
ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА ПРОМИСЛОВОСТІ.....	122
<i>В. В. СМАЛІЙ, Є. В. ТОЛОК</i> Модель випаровування багатокомпонентного розливу сформованого у результаті аварії.....	122
ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ	133
<i>Д. В. КУЛІКОВА</i> Моделювання процесу освітлення шахтних вод за вдосконаленою технологією очищення для умов водовідливу діючого вугледобувного підприємства.....	133
<i>В. Б. ГУЛЕВСЬКИЙ, Ю. О. ПОСТОЛ</i> Перспективи вдосконалення очищення стічних вод та технічних рідин	143
<i>В. М. ЧУПА, Я. О. АДАМЕНКО, К. О. ЧУПА</i> Дослідження термічного потенціалу різноманітних сумішей твердих побутових відходів до твердопаливних пелет	149
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ	155

CONTENTS

GLOBAL AND REGIONAL ENVIRONMENTAL PROBLEMS	7
<i>I. KORDUBA</i> Nuclear and Environmental Safety of World Nuclear Energy at the Stage of the Fourth Global Energy Transition	7
<i>M. RADOMSKA., MUSHTA M. A.</i> The NBS Project for the Adaptation of the Kyiv Osokorky District to Climate Changes	15
<i>GARCIA CAMACHO HERNAN ULLIANODT, I. VASYLKIVSKYI</i> Destruction of the Ichthiofauna of the Southern Bug as a Result of the Construction of Small Hydropower	22
<i>O. KHOMENKO, O. MISLYUK, O. YEGOROVA</i> Analysis of the Influence of the Energy Industry on the Environmental Condition of the Cherkassy Region	37
BALANCED USE OF RESOURCES	
<i>L. KOZAK</i> Environmental Aspects of Increase in Energy Intensity Transport Systems	48
<i>V. LINCHENKO, D. ZHUK, N. LYSENKO, S. STEPENKO, I. ZHUK</i> Green Energy: Problems of Environmental Protection.....	58
<i>V. KLAPCHUK, Ya. KOROBENYKOVA, O. PALIICHUK, O. POZDNYAKOV</i> Study of the Establishment and Development of Oil and Gas Pipelines in Halychyna in the Late XIX-Early XX Century in the Context of Forming Industrial Tourism Programs	69
ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE OIL AND GAS INDUSTRY	82
<i>O. TUTS</i> Environmental Consequences of Influences of Main Gas Pipes on the Environment.....	82
ECOLOGICAL MONITORING, FORECASTING AND ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENT STATE.....	91
<i>M. KORCHEMLYUK</i> Application of the Rapid Assessment of the Ecosystem Services Tool for the Wetland “Prut River Headwaters” in the Carpathian National Nature Park (Ukraine).....	91
<i>Yu. KOVALENKO, O. KHANDOGINA</i> Consideration of Climate Conditions in Comparative Environmental and Economic Assessment of Energy Carriers	111
TECHNOGENIC AND INDUSTRIAL SAFETY.....	122
<i>V. SMALII, E. TOLOK</i> Model of a Multi-Component Liquid Pool Evaporation Formed Due to Accidental Spills.....	122
ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGIES	133
<i>D. KULIKOVA</i> Modeling the Process of Mine Water Clarification Using Improved Purification Technology for Water Disposal Conditions of Operating Coal Mining Enterprise	133
<i>V. HULEVSKYI, Y. POSTOL</i> Prospects for Improving the Treatment of Wastewater and Technical Fluids	143
<i>V. CHUPA, Ya. ADAMENKO, K. CHUPA</i> Research of the Thermal Potential of Various Mixtures of Household Solid Waste to Wood Pellets	149
INFORMATION ABOUT AUTHORS	155

ГЛОБАЛЬНІ ТА РЕГІОНАЛЬНІ ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ

УДК 94:504+621.039.1

DOI: 10.31471/2415-3184-2022-2(26)-7-14

І. Б. Кордуба*Київський національний університет
будівництва і архітектури*

ЯДЕРНО-ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА СВІТОВОЇ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ НА ЕТАПІ ЧЕТВЕРТОГО ГЛОБАЛЬНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПЕРЕХОДУ

Для світової ядерної енергетики нинішній глобальний енергетичний перехід став найважчим випробувальним етапом за всю її історію. Його причиною стали сучасні демографічні процеси. Починаючи з 2011 р., в світовій ядерній енергетиці продовжуються проектні терміни експлуатації старих ядерних енергетичних блоків (ЯЕРБ), модернізуються старі та будуються нові ЯЕРБ. Але проблеми технологічної, експлуатаційної та ядерно-екологічної безпеки сучасного розвитку світової ядерної енергетики залишаються багато в чому не вивченими. Тому в роботі виконано аналіз стану та перспектив забезпечення ядерно-екологічної безпеки світового ядерного енергетичного комплексу (ЯЕК), виходячи з особливостей його еволюції в нинішню епоху четвертого глобального енергетичного переходу. Найбільшу загрозу для майбутнього існування світового ЯЕК несуть людський фактор та запроектовані ядерні аварії і катастрофи, які завжди були наслідком непередбачених проектами вкрай малоімовірних комбінацій вихідних аварійних подій. Для ліквідації наслідків цих аварій персонал не мав відповідної підготовки та обладнання. В наступні 20-30 років вклад ядерної енергетики в загальну світову електрогенерацію, більше як 10%, зможуть зберегти тільки Північна Америка, Європа, країни колишнього СРСР та розвинені країни Азії, але при можливому зменшенні цього показника до 6-4%. Світова ядерна енергетика продовжує існувати і розвиватися при наявності чималого списку невирішених проблем її ядерно-екологічної безпеки разом з відсутністю технологічно гарантованих надійних і безпечних ядерних енергетичних технологій серед усього пулу існуючих та розроблюваних нових проектів, що залишаються невирішеними і на сьогодні, та в перспективі на десятиліття. МАГАТЕ та провідні експерти світу, виходячи з нинішньої ситуації, що склалася в світовій ядерній енергетиці, акцентують на необхідності створення її абсолютної ядерно-екологічної безпеки.

Ключові слова: глобальний енергетичний перехід, ядерний енергетичний реакторний блок, ядерно-екологічна безпека.

Постановка проблеми в загальному вигляді. За останні 150 років світова енергетика пройшла три етапи свого розвитку. Тривалість першого, другого і третього етапів становила 70, 50 і 30 років, відповідно. Протягом кожного етапу зростали ціни на паливо і уповільнювалися темпи зростання енергоспоживання в 4,8, 4,2 і 1,6 рази. А в кінці кожного етапу виникали кризи енергоспоживання. На сьогодні світова енергетика знаходиться на новому черговому, четвертому історичному перехідному етапі своєї еволюції. Стратегічною, довгостроковою метою нинішнього енергетичного переходу є відмова від спалювання вугілля та інших не відновлюваних енергетичних ресурсів. За прогнозами нинішній енергетичний перехід повинен закінчитися стабілізацією, або відносно незначним помірним зростанням світового енергоспоживання. Новим небезпечним потужним фактором глобального впливу на світову енергетику стала російська агресія і війна проти України, що стала потужним тригером трансформації світових економік, ринків викопних енергоресурсів та критичної нестабільності регіональної і глобальної енергобезпеки. На думку міністра оборони США Л. Остіна, російське вторгнення в Україну може спонукати автократів по всьому світу до гонки в розробках ядерної зброї, що потенційно може призвести до небезпечної ери ядерного розповсюдження. Вони цілком можуть прийти до висновку, що отримання ядерної зброї дасть їм власні індульгенції для агресії. І це може розкрутити небезпечну спіраль ядерного розповсюдження [1].

Для світової ядерної енергетики нинішній енергетичний перехід став найважчим випробувальним етапом за всю її, майже 80-и річну історію. Цей етап збігся з необхідністю масового закриття та виведення з експлуатації ядерних енергетичних реакторних блоків (ЯЕРБ) у яких закінчився проектний термін експлуатації, масового продовження проектних ресурсів та модернізація старих, а також будівництво нових ЯЕРБ.

Однак багато складних питань технологічної, експлуатаційної та ядерно-екологічної безпеки сучасної світової ядерної енергетики все ще залишаються не достатньо вивченими.

Мета та завдання роботи. Метою роботи є проведення аналізу стану та перспектив забезпечення ядерно-екологічної безпеки світової та української ядерної енергетики на етапі четвертого глобального енергетичного переходу.

Викладення основного матеріалу. Головні рушійні фактори та особливості четвертого глобального енергетичного переходу. В основі сучасних глобальних демографічних процесів знаходиться падіння народжуваності та смертності від високих до низьких рівнів. В Європі демографічний перелом відбувся в 1970-х роках і розвинених країнах демографічні трансформації вже завершилися, але в інших країнах вони можуть тривати до 2040-2050 рр., і повинні закінчитися падінням природного світового приросту чисельності населення Землі приблизно удвічі.

Трансформація демографічного портрета нашої планети, скоріше за все, буде вимагати швидкого енергетичного та ресурсного наповнення заново густонаселених регіонів планети з енергодефіцитом при надлишку енергії в демографічно збіднених регіонах планети. Разом з демографічним зростанням локальної регіональної енергетичної напруженості в них виникнуть і нові негативні екологічні проблеми. Проте безумовне домінування в паливній корзині залишиться за вуглеводами. Їх доля у 2040-2050 роках складе близько 50% - це приблизно як і в 2010 році, (53,6%). При цьому очевидно, що в наступному десятилітті у світі будуть продовжуватися спроби зменшити залежність енергетики від викопного палива. А це означає, що забруднення атмосфери підприємствами енергетики, яке на сьогодні складає 70-80%, можна буде знизити лише застосуванням нових удосконалених фільтрових та інших очищувальних систем, що призведе до подорожчання електричної та теплової енергії.

Способи відмови від вугілля можуть бути різними, але вони залежатимуть від зеленої політики реального глобального енергетичного переходу. А поки що для створення нової енергетичної безпеки та її економіки використовуються економічні інструменти та технологічні переваги розвинених країн. У результаті нова зелена енергетична економіка для багатьох країн може стати недосяжною і особливо для держав з низьким рівнем доходу та великими запасами викопного палива. В наступні 2-3 десятиліття рівень ядерної електрогенерації, більше як 10%, зможуть зберегти тільки Північна Америка, Європа, країни колишнього СРСР та розвинені країни Азії. Тому на етапі четвертого глобального енергетичного переходу перед ядерними енергетичними країнами з помітною часткою атомної енергії стоїть завдання замінити перш за все старі ЯЕРБ та АЕС, що вибувають з експлуатації. Середній вік реактора в США та ЄС у середині 2020 року вже перевищив 35-40 років.

За останні 20 років у Європі було введено в експлуатацію тільки один ЯЕРБ на АЕС «Олкілуото» у Фінляндії який французька компанія EDF будувала 17 років. Сьогодні ця компанія продовжує будівництво ЯЕРБ «Фламанвіль-3» у Франції. Термін цього будівництва також може розтягнутися до 14 років, а загальна вартість обох блоків вже зросла до €30 млрд. З постійними затримками та судовими справами у США також будуються два енергоблоки на АЕС «Вогтль» за проектом компанії Westinghouse. Тому перспективні плани розвитку світової ядерної енергетики як в провідних, так і в інших країнах, носять певну декларативність своїх намірів в умовах несприятливих економічних, екологічних і соціальних проблем для їх реалізації. Для порівняння слід зазначити, що аналогічний вклад виробництва електроенергії з відновлювальних джерел на сьогодні становить 24,5%, тобто в середньому це вклад приблизно утричі перевищує обсяги глобального виробництва ядерної електроенергії при зростанні цього розриву.

Технологічні особливості сучасного оновлення світового парку ЯЕРБ. Продовження проектного ресурсу експлуатації ЯЕРБ. За даними бази даних PRIS на сьогодні у світі експлуатується 442 ЯЕРБ з загальною установленою потужністю приблизно в 392 000 МВт(е), що становить всього близько 50 Вт/людину. Ще 56 ядерних блоків знаходиться на стадії будівництва, 300 ЯЕРБ (68 % світового парку) перетнули свій 33-річний термін експлуатації, а 50 ЯЕРБ після Фукусімської катастрофи в Японії були зупинені.

Робота ядерних реакторів в подовженому режимі експлуатації призводить до додаткового старіння їх важливих елементів і, як наслідок, може збільшити ймовірність проектних і запроектованих аварій. При цьому механізми старіння реакторних матеріалів в умовах високих радіаційних, термічних та баричних навантажень вивчені недостатньо і їх важко прогнозувати. Однак, багато країн, в тому числі Україна, все ж таки продовжують встановлені проектом терміни експлуатації своїх ЯЕРБ.

МАГАТЕ прогнозує виведення з експлуатації безпрецедентної кількості ЯЕРБ. Очікується, що з 2014 по 2040 рр., буде закрито майже 200 ЯЕРБ. Отже тільки для збереження існуючих генеруючих потужностей щороку необхідно буде вводити в експлуатацію нових 10 гігаватних ЯЕРБ. Але в наступному десятилітті країни ОЕСР не мають намірів повністю компенсувати вибуваючі потужності новими ЯЕРБ. Тому виведення з експлуатації потужностей в країнах ОЕСР в 4 рази перевищить аналогічні виведення в країнах, що не входять до ОЕСР і які мають вже побудовані більш нові ЯЕРБ.

Для країн, що розвиваються, проблема проектного ресурсного виведення з експлуатації старих ЯЕРУ постане лише після 2050 року і тому ці країни зможуть збільшити свою долю у світовій ядерній електро- та теплогенерації до 49%. Майже три четверти цього збільшення забезпечать Індія та Китай.

В Україні останній ЯЕРБ з тих, що експлуатуються на сьогодні в понад проектному режимі, потрібно вивести в 2040 році, але більшість їх повинна бути виведена значно раніше.

Модернізація ЯЕРБ. Всі модернізації ЯЕРБ, що проводилися і проводяться сьогодні у світі, радикальних революційних принципів змін в конструкції реакторів, не внесли. Старі системи і елементи електромеханіки, електротехніки та приладового обладнання конструктори замінюють на нові покоління електронного та силового обладнання і апаратури [2]. Технологічна суть модернізації діючих у світі ЯЕРБ в основному здійснюється в напрямку збільшення тиску в реакторі, підвищення робочої температури і збільшення вигорання палива. Наслідком такої модернізації є прискорене старіння металу і певне, недостатньо вивчене, зниження надійності їхньої безпеки. Але стандарти ядерних підприємств не завжди враховують ці нові умови експлуатації.

Модернізація працюючих ЯЕРУ, як і тих, що проектується та будуються, з точки зору їх безпеки, збільшує їх складність, але не усуває так званий людський фактор. Системи протиаварійного захисту стають все складнішими і в них може спрацювати відомий закон складних технічних систем – закон збільшення частоти відмов, аварійних ситуацій і власне важких запроектованих аварій при збільшенні складності будь-якої технічної системи [3]. Мова тут йде про те, що ще в XIX столітті Карл Гаус установив, що ймовірність розподілу випадкових величин різної природи описуються однаковою математичною залежністю - а саме розподілом Гауса. Значення щільності ймовірності розподілу Гауса показують, що великі відхилення від середніх величин є рідкісним явищем і тому ними можна знехтувати. Наприклад, для нормально розподіленої випадкової величини справедливо, що не менше ніж з 99,7%-ною достовірністю значення такої випадкової величини лежать в діапазоні $[x - 3\sigma, x + 3\sigma]$, де x - математичне очікування випадкової величини, σ - середньоквадратичне відхилення.

Однак аналіз статистичних даних різних катастрофічних подій показує, що:

- великі катастрофи набагато частіші, ніж можна було очікувати, виходячи з розподілу Гауса;

- деякі характеристики природних катастроф і в т. ч. їхні наслідки, досить добре можна описати степеневим ймовірним розподілом, для якого, на відміну від розподілу Гауса, вже не можна знехтувати подіями, ймовірність яких лежить на краях степеневого розподілу, так звані розподіли з важкими хвостами;

- аварії на АЕС, АПЧ, в ракетній техніці, на авіаційних об'єктах показали, що мова йде не про випадково співпадіння технічних відмов, а про певну загальну властивість складних систем, яка починає проявлятися, якщо перевищено деякий критичний поріг складності.

На жаль в ядерній енергетиці відсутні показники покращення ядерно-екологічної безпеки в результаті модернізації сучасних ЯЕРУ та АЕС як і показники якості самої модернізації. При цьому будь-яка модернізація систем на об'єктах ядерної енергетики по своїй суті є для них своєрідним капітальним ремонтом. Проте, як відомо з тривалого практичного досвіду, якість таких ремонтів визначається показниками якості технічного післяремонтного/після модернізаційного обслуговування ЯЕРУ, часто вимагає кращого [4].

Типи ядерних реакторів в нових ЯЕРБ введених в експлуатацію та в тих, що будуються.

У 2007-2021 рр., за даними PRIS, було побудовано, здано в експлуатацію та знаходяться в процесі будівництва 148 нових ЯЕРБ з реакторами типу ВВЕР/PWR - 128 шт (86%), РНWR - 10 шт (6,7%), ВWR - 5 шт (3,4%), FBR - 4 шт (2,7%), НТGR - 1 шт (0,67%). Отже оновлення реакторного парку світової ядерної енергетики замість водо-водяних реакторів (ВВЕР) старих конструкцій, що належать до покоління II, відбувається за рахунок будівництва ЯЕРУ на базі тих же реакторів ВВЕР, але вже з оновленою периферією, що включає і пасивні системи аварійного охолодження, під назвою покоління III до яких належать і інноваційні реактори AP-1000 американської компанії Вестінгауз [5]. Саме на базі останніх планується розвиток української ядерної енергетики.

При цьому тренд реальної еволюції сучасної ядерної енергетики і її технологічне та ядерно-екологічне майбутнє закладається і визначається тривалістю повного життєвого циклу тих реакторів, які вводяться в експлуатацію сьогодні і будуть введені в наступні два десятиліття, тобто щонайменше на наступні 50-80 років, а можливо навіть на 100 років.

Країни відмовники. Після Фукусімської катастрофи більше 10-и країн відмовляються від ядерної енергетики та повністю чи частково згорнули свої ядерні енергетичні програми. На фоні антиядерних протестів, професіонали ядерники визнають технологічну та ядерно-екологічну недосконалість існуючого ядерного паливного циклу.

Ядерний терор та воєнне тимчасове захоплення Запорізької та Чорнобильської АЕС України посилили кризу системи Договору про нерозповсюдження ядерної зброї (ДНЯЗ), котра може зруйнуватися остаточно, змінивши тим самим нинішню ядерну карту світу. І ряд країн вже задумався про свою ядерну безпеку, яка почала руйнуватися з моменту російського порушення Будапештського меморандуму і повністю закінчилася з початком російської агресії проти України.

Тому, зважаючи на суверенне право кожної держави світу на власну ядерну енергетику, її подальше розширення неможливе без технологічного вирішення кризових ядерних ядерно-екологічних небезпек і в першу чергу ядерних катастроф, нерозповсюдження і кримінального заволодіння ядерними матеріалами для виготовлення зброї, і найголовніше - при гарантованому безпечному вирішенні будь-яких енергетичних національних цивілізаційних проблем.

Основи ядерно-екологічної безпеки нових ЯЕРБ. В результаті технологічних, екологічних, людських, економічних, соціально-демографічних, медичних, політичних та інших внутрішніх і зовнішніх впливів разом з невирішеними технологічними та організаційними проблемами що стосуються ядерно-екологічної безпеки ядерної енергетики та всього ядерного паливного циклу, в останні 10-15 років остаточно сформувалося розуміння того, що незаперечним, вирішальним і найголовнішим імперативним пріоритетом сучасної та майбутньої ядерної енергетики повинен бути екологічний фактор [2].

Проте в результаті добре відомих недоліків існуючих реакторних технологій ВВЕР радіоекологічний вплив будь-якого ЯЕРБ відбувається постійно і навіть за нормальних умов їх експлуатації за відсутності будь яких аварій і катастроф [4]. Його зростання має глобальний характер. Радіаційний фон завжди вищий поблизу об'єктів ядерного військового промислового (ЯВПК) та ядерного енергетичного (ЯЕК) комплексів на яких використовуються радіоактивні речовини [6,7].

На фоні процесу пост фокусімського оновлення ядерної енергетики МАГАТЕ недавно надало свої висновки про те, що принципи безпеки визначаються системно недосконалими організаційними та інженерно-бар'єрними заходами і засобами. При цьому безпека ЯЕРБ як основного фундаментального виробничого об'єкта в симбіозі ВПК і ЯЕК повинна гарантуватися фізичними законами, які здатні на 100% забезпечити безпеку роботи активних зон реакторів та на фізико-хімічному рівні виключити виробництво будь-яких небезпечних відходів та викидів і скидів в небезпечних кількостях в навколишнє середовище і тими ж фізичними законами виключити можливість будь-яких ядерно-екологічних аварій і катастроф в результаті людського фактору чи зовнішніх природних екстремальних впливів”.

На жаль “міф про безпеку”, який і сьогодні підтримується як єдине знаряддя самозахисту ядерних чиновників і який засліпив та підвів японських ядерників, залишається неподоланим у багатьох ядерних і неядерних державах [2]. Цей міф ядерне лобі поширює і на ЯЕРУ з реакторами покоління III та III+.

Найголовнішим уроком, який повинен лягти в основу максимально безпечної експлуатації усіх без виключення існуючих у світі ЯЕРУ - це створити таку протиаварійну систему яка повинна містити спеціальний блок заходів та засобів з врахуванням людського фактора з постійною її

готовністю до аварії і не допустити її переростання в важку аварію і катастрофу [2]. В продовження цієї думки відразу після Фукусімської катастрофи, на основі аналізу причин та уроків більш радніших катастроф на АЕС Трі-Майл-Айленд в США та на Чорнобильській АЕС, у відомій заяві 16-и експертів з різних країн світу [8] для виключення всіх небезпечних проблем, пов'язаних з ядерно-екологічною безпекою на сучасних АЕС світу, було висловлено глибоке занепокоєння про майбутнє атомної енергетики у зв'язку з наслідками землетрусу та цунамі на японській АЕС "Фукусіма-Даїчі": - "Ми переконані, що тільки атомна енергетика, яка не становить загрози життю та добробуту населення та навколишнього середовища, є прийнятною для суспільства". На жаль, сьогодні ця Заява залишається недостатньо вивченою. Експерти з різних країн, які підписали Заяву про ядерну безпеку, тривалий час займалися науковими розробками, проектуванням, будівництвом, експлуатацією і регулюванням безпеки АЕС. По суті в їхньому експертному висновку, як і у висновках МАГАТЕ та в роботі [2] йдеться про необхідність створення абсолютної безпеки світової ядерної енергетики.

Уроки катастрофи на реакторі РБМК Чорнобильської АЕС висвітлювали серйозні недоліки проекту - нестабільність реактора, незадовільна конструкція стрижнів системи управління та захисту, незадовільні характеристики конфайнменту та низьку безпекову культуру персоналу.

Починаючи з аварії на АЕС Трі-Майл-Айленд і до сьогодні у світі було зроблено надзвичайно багато корисного для максимального підвищення в напрямку багатостороннього комплексного удосконалення ядерно-екологічної світової ядерної енергетики. Але, попри це, всього через 25 років після катастрофи на ЧАЕС, сталася чергова ядерна катастрофа на АЕС Фукусіма-1. Виявилося, що при проектуванні АЕС "Фукусіма-Даїчі" [9], а потім при виборі місця для її промислового майданчика не була належним чином врахована комбінація вкрай малоймовірних за своїми масштабами явищ - історично максимальний землетрус з історично максимальним цунамі, за якими прослідувала тривала втрата енергопостачання для всієї АЕС.

Фактично всі згадані вище, як і не згадані, ядерно-екологічні катастрофи були наслідком непередбачених у проектах комбінацій вихідних аварійних подій. До того ж для ліквідації наслідків цих аварій персонал не мав відповідної підготовки та обладнання.

Представлений в заяві увесь комплекс експертних пропозицій найдетальнішим чином дає уявлення про масштаби і обсяг робіт, які потрібно виконати для того, щоб традиційна ядерна енергетика реально по максимуму стала гарантовано безпечною на усіх її рівнях. Але очевидно, що повністю виконати увесь концептуально запропонований в заяві комплекс капітального оновлення ядерно-екологічної безпеки ядерної світової енергетики є вкрай не простою і важкою задачею навіть на світовому рівні. Саме розуміння цієї проблеми світовою громадськістю та на державних рівнях призвело до появи так званих країн-відмовників.

Аналізуючи всі перераховані експертами дії після кожної чергової ядерної катастрофи на АЕС та всі пропозиції на майбутнє, можна зробити висновок що всі реалізовані і нереалізовані поки що дії і пропозиції зводяться до: удосконалення шляхів запобігання прояви людського фактора на будь-якому рівні глобальної ядерної індустрії в планетарній системі "людина-АЕС"; до удосконалення і дотримання концепції захисту в глибину з метою ефективної протидії небезпечним наслідкам можливих нових ядерних аварій і катастроф; до нарощування та удосконалення системи управління на усіх рівнях світової ядерної енергетики.

При тому, що кожна ядерна держава може самостійно розв'язувати ядерно-екологічні проблеми на національному рівні, очевидно і те, що глобальна безпека світової ядерної енергетики не має національних кордонів. Тому є необхідність розробити та впровадити найефективніші заходи для подальшого зміцнення міжнародного режиму ядерної безпеки.

Проте поки що всі АЕС світу залишаються технологічно не захищеними від людського фактора, від метеоритних ударів, смерчів, землетрусів, цунамі, кліматичних змін і нарешті перед військовими захопленнями та терористичними атаками. Тому АЕС нових поколінь в майбутньому повинні забезпечувати безпеку, навіть якщо у персоналу не буде можливості вжити негайних дій у відповідь на аварійну ситуацію.

Безпека ядерної енергетики України в пост фукусімський період. Надзвичайно показовою для української ядерної енергетики стала Фукусімська катастрофа. 11 березня 2011 р., в Японії стався землетрус, хвиля 30-40 метрів затопила промисловий майданчик АЕС та призвела до довготривалого повного знеструмлення станції [10]. Всі подальші катастрофічні події, що виникали та розвивалися на ЯЕРБ станції виявили принципові недоліки проекту АЕС Fukushima-Daichi та технічну неможливість блокування переходу запроектованих аварій в стадію важкої

комплексної аварії/катастрофи; крім усього проявився людський фактор в недостатній підготовці та інструкційній забезпеченості персоналу саме з управління важкими аваріями з втратою тривалого електрозабезпечення у разі затоплення.

Результати аналізу головних причин та уроків Фукусімської катастрофи та стрес-тестів виявили на різних стадіях її розвитку недостатню захищеність проммайданчика станції та конструкцій ЯЕРБ від зовнішніх малоймовірних екстремальних впливів - землетрусів і цунамі. Отже, головним уроком Фукусімської ядерної катастрофи стало повне розуміння необхідності принципової зміни відношення до відносно малоймовірних екстремальних аварійних подій [12].

В Україні в травні 2011 року з боку ДІЯРУ та ГП НАЕК “Енергоатом” був прийнятий «План заходів з перевірки і підвищення безпеки АЕС, з урахуванням уроків ВА на Фукусіма-1, для уточнення і доповнення КзППБУ» в якому серед базових термінових заходів були стрес-тести для експрес оцінки поточного стану безпеки і обґрунтування додаткових до КзППБУ довгострокових заходів. В цих стрес-тестах були розглянуті питання, прямо пов’язані з подіями на АЕС Fukushima, а саме затоплення проммайданчиків при запроектних землетрусах; втрата електрозабезпечення та управління важкими аваріями.

Результати стрес-тестів на АЕС України у 2012 році в цілому були узгоджені з групою незалежних експертів європейських регуляторів ядерної безпеки ENSREG. При цьому було відмічено, що роботам з аналізу важких аварій в Україні необхідний найвищий пріоритет. Таким чином було офіційно “легалізовано” для подальших досліджень комплекс методів оцінки та обґрунтування безпеки ядерних енергоблоків для відносно малоймовірних подій на АЕС України [11, 12]

На завершення роботи необхідно зазначити, що подальша технологічна еволюція світової ядерної енергетики повинна прогнозуватися з урахуванням можливих технологічних проривів в світовій ядерній енергетиці. Але поки що реалізуються тільки певні зусилля, направлені на підвищення ефективності діючих АЕС шляхом їх модернізації і удосконалення периферійних систем нових ЯЕРБ та АЕС.

Висновки. Сучасне оновлення глобальної ядерної енергетики, що викликане старінням світового парку ЯЕРБ та необхідністю в короткі терміни їх масового виведення з експлуатації здійснюється в умовах чергового четвертого глобального енергетичного перехідного етапу, сутність якого визначається демографічними процесами, успішним швидким розвитком відновлювальної енергетики, інноваційним розвитком та технологічним переоснащенням, в тому числі проривними технологіями, нафто-газової енергетики.

Світова ядерна енергетика продовжує існувати і розвиватися при наявності чималого списку невіршених небезпечних проблем її ядерно-екологічної безпеки разом з відсутністю абсолютно надійних і безпечних ядерних енергетичних технологій серед усього пулу розроблених та розроблюваних нових проектів, модернізації старих ЯЕРБ та нових розробок, які залишаються невіршеними як на сьогодні, так і в перспективі на десятиліття.

Криза, викликана четвертим глобальним енергетичним переходом, значно погіршила перспективи розвитку ядерної енергетики. А російська агресія та війна в Україні і її можливе поширення за межі України змушує переглянути стійкість світової ядерної енергетики в умовах “офіційного” ядерного катастрофічного тероризму.

Література

1 Б. С. Пристер, А. А. Ключников, В. М. Шестопалов, В. П. Кухарь Проблемі безопасности атомной энергетики . Уроки Чернобыля. – Монография, - Под редакцией академика НААН Украины Б. С. Пристер, - Чернобыль, - 2013, - 200с.

2 В. І. Борисенко. Про деякі закономірності наслідків аврій на АЕС. - Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чернобыля, - 2012, - вип. 18, - с. 6-15.

3 Б.Г. Гордон. Идеология безопасности. - Труды НТЦ ЯРБ, - М., -2006, - 236с.

4 В.М. Ващенко, І.Б. Кордуба, О.Г. Жукова. Технологічні та експлуатаційні особливості реакторів АР-1000 покоління III+ та малих модульних реакторів МР-160, - Екологічна безпека та природокористування, - 2021, - № 4 (40), - с. 149 – 156.

5 А.З. Запісочний, А.А. Чумак, Д.А. Бази́ка та ін. Наукознавчий аналіз інформаційних потоків про малі дози іонізуючого випромінювання: причини недооцінки впливу на організм , безпека майбутнього – проблеми радіаційної медицини та радіобіології, - вип. 16, - с. 1-17.

6 V. Vashchenko, V. Skalozubov, O. Voloshkina, I. Korduba, and al. - Stipulating the radioecological impact of consequences of accidents at nuclear power facilities, - *Ukrainian Journal of Ecology*, - 11(10), - 2021,- с. 24-27.

7 Ніколи більше: найважливіша ціль ядерної безпеки. - Експертна група, - Інтернет ресурс, - опубліковано 05.04.2011.

8 Ключников А.А., Скалоzubов В.И., Ващенко В.Н., та ін. - Комментарии к проекту основных требований безопасности атомных станций с учетом уроков аварии на АЭС Fukushima-Daiichi, - Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля: наук.-техн. зб. – 2014. – Вип. 22. – с. 51–55.

9 Ващенко В. М., Скалоzubов В. І., Комаров Ю. О., Кордуба І. Б., Гриб В. Ю. Моделирование екологічно небезпечної аварії з тривалим знеструмленням на енергоустановках із ВВЕР ІЗ ВВЕР, - Колективна монографія: Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022»? - Опубліковано за результатами І-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022, - с. 218-230.

10 Скалоzubов В.И., Ващенко В.Н., Козлов И.Л., та ін.. - Гидродинамическая модель возможного затопления промплощадки Запорожской АЭС при экстремальных землетрясениях и ураганах, - Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля: наук.-техн. зб. – 2014. – Вип. 22. – С. 56–62.

11 Бондар О.І., Ващенко В.М., Азаров С.І., Лоза Є.А, Кордуба І.Б. та ін.- Чорнобиль четверте десятиліття – монографія.

12 https://web.archive.org/web/20121027171200/http://erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitstudie2011_bf.pdf

I. Korduba

Kyiv National University of Construction and Architecture

NUCLEAR AND ENVIRONMENTAL SAFETY OF WORLD NUCLEAR ENERGY AT THE STAGE OF THE FOURTH GLOBAL ENERGY TRANSITION

For world nuclear energy, the current global energy transition has become the most difficult test stage in its entire history. It was caused by modern global demographic processes. Starting from 2011, in the global nuclear power industry, the design terms of operation of old nuclear power units (NPPs) are being extended, old NPPs are being modernized and new NPPs are being built. But the problems of technological, operational and nuclear-environmental safety of the modern development of world nuclear energy remain largely unexplored. Therefore, the work analyzes the state and prospects of ensuring the nuclear and environmental safety of the world nuclear power complex (NEC), based on the peculiarities of its evolution in the current era of the fourth global energy transition. The biggest threat to the future existence of the world's NPP is the human factor and beyond-design nuclear accidents and catastrophes, which have always been the result of extremely unlikely combinations of initial emergency events unforeseen by projects. To eliminate the consequences of these accidents, the personnel did not have the appropriate training and equipment. In the next 20-30 years, only North America, Europe, the countries of the former USSR and the developed countries of Asia will be able to maintain the contribution of nuclear energy to the total world electricity generation, more than 10%, but with a possible reduction of this indicator to 6-4%. Global nuclear energy continues to exist and develop in the presence of a considerable list of unresolved problems of its nuclear and environmental safety, together with the absence of technologically guaranteed reliable and safe nuclear energy technologies among the entire pool of existing and new projects under development, that remain unresolved both today and in the future for decades. The IAEA and the world's leading experts, based on the current situation in the world's nuclear energy, emphasize the need to create its absolute nuclear and environmental safety.

Key words: global energy transition, nuclear power reactor unit, nuclear environmental safety.

References

1 B. S. Pryster, A. A. Kliuchnykov, V. M. Shestopalov, V. P. Kukhar Problemy bezopasnosti atomnoi enerhetyky . Uroky Chernobylia. – Monohrafiya, - Pod redaktsyei akademika NAAN Ukrainy B. S. Pryster, - Chernobyl, - 2013, - 200s.

- 2 V. I. Borysenko. Pro deiaki zakonomirnosti naslidkiv avrii na AES. - Prblemy bezpeky atomnykh elektrostantsii i Chornobyliya, - 2012, - vyp. 18, - s. 6-15.
- 3 B.H. Hordon. Ydeolohiya bezopasnosty. - Trudy NTTs YaRB, - M., -2006, - 236s.
- 4 V.M. Vashchenko, I.B. Korduba, O.H. Zhukova. Tekhnolohichni ta ekspluatatsiini osoblyvosti reaktoriv AR-1000 pokolinnia III+ ta malykh modulny reaktoriv MR-160, - Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannya, - 2021, - № 4 (40), - s. 149 – 156.
- 5 A.Z. Zapisochnyi, A.A. Chumak, D.A. Bazyka ta in. Naukozhnavchy analiz informatsiinykh potokiv pro mali dozy ionizuiuchoho vyprominiuvannya: prychny nedootsinky vplyvu na orhanizm , bezpeka maibutnoho lu – problemy radiatsiinoi medytsyny ta radiobiolohii, - vyp. 16, - s. 1-17.
- 6 V. Vashchenko, V. Skalozubov, O. Voloshkina, I. Korduba, and al. - Stipulating the radioecological impact of consequences of accidents at nuclear power facilities, - Ukrainian Journal of Ecology, - 11(10), - 2021,- s. 24-27.
- 7 Nikoly bilshe: naivazhlyvisha tsil yadernoi bezpeky. - Ekspertna hrupa, - Internet resurs, - opublikovano 05.04.2011.
- 8 Kliuchnykov A.A., Skalozubov V.Y., Vashchenko V.N., ta in. - Kommentaryy k proektu osnovnykh trebovaniy bezopasnosty atomnykh stantsiy s uchetom urokov avaryy na AES Fukushima-Daiichi, - Problemy bezpeky atomnykh elektrostantsii i Chornobyliya: nauk.-tekhn. zb. – 2014. – Vyp. 22. – c. 51–55.
- 9 Vashchenko V. M., Skalozubov V. I., Komarov Yu. O., Korduba I. B., Hryb V. Yu. Modeliuvannya ekolohichno nebezpechnoi avarii z tryvalym znestrumlenniam na enerheostanovkakh iz VVER IZ VVER, - Kolektyvna monohrafiia: Podolannya ekolohichnykh ryzykiv ta zahroz dlia dovkillia v umovakh nadzvychainykh sytuatsii – 2022»? - Opublikovano za rezultatamy I-oi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Podolannya ekolohichnykh ryzykiv ta zahroz dlia dovkillia v umovakh nadzvychainykh sytuatsii – 2022, - s. 218-230.
- 10 Skalozubov V.Y., Vashchenko V.N., Kozlov Y.L., ta in.. - Hydrodynamycheskaia model vozmozhnogo zatopleniya promploshchadky Zaporozhskoi AES pry ekstremalnykh zemletriasenyakh y urahanakh, - Problemy bezpeky atomnykh elektrostantsii i Chornobyliya: nauk.-tekhn. zb. – 2014. – Vyp. 22. – S. 56–62.
- 11 Bondar O.I., Vashchenko V.M., Azarov S.I., Loza Ye.A, Korduba I.B. ta in.- Chornobyl chetverte desiatylittia – monohrafiia.
- 12 https://web.archive.org/web/20121027171200/http://erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitstudie2011_bf.pdf

THE NBS PROJECT FOR THE ADAPTATION OF THE KYIV OSOKORKY DISTRICT TO CLIMATE CHANGES

Global climate changes have significant impact on cities around the world, although the exact threats can vary significantly depending on the geographic region. Kyiv is a capital city with large population and vast area, which faces different challenges imposed by changing climate. The analysis of climate models demonstrates vulnerability of Kyiv urban infrastructure to heat waves, urban heat island, increasing precipitations and negative weather phenomena. The research was conducted for the Osokorky district of Kyiv to determine its problem points and evaluate the resilience of infrastructure. The results of analysis show that in spite of novelty of the district it lacks sustainability components, has poorly developed green and blue infrastructure, as well as inefficient road network. All these factors combined with dense construction create favorable conditions for the thermal pressure at local population and other biotic components of the district. The suggested approach to the adaptation of Osokorky district to climate changes is through the implementation of nature-based solutions with the aim to expand green infrastructure and increase the volume of ecosystem services provided by urban plants. The green roofs design was developed for 15 sites around the district, based on their location and favorable technical conditions. The economic costs of the project were estimated and the payback period based on the value of ecosystem services provided was defined. In order to strengthen the resilience of the district a complex of additional organizational measures is necessary to support the progress towards safe urban environment.

Keywords: climate change, adaptation, urban ecosystem, nature-based solutions

Introduction. Climate change raises numerous challenges for cities and threatens functionality of municipal infrastructure, human health, urban flora and fauna. So far as we observe limited progress towards the reduction of greenhouse emissions, cities face the need to adapt to the effects of climate changes in the field of infrastructure resilience and population safety.

Problem statement. Methods of adaptation to climate changes in urban ecosystems are divided into urban technology solutions, urban nature-based solutions and urban social solutions [1]. The long – term achievements with moderate monetary investments and limited reconstruction of the existing facilities is provided by nature-based solutions for adaptation. Nature-based solutions (NBS) involve working with nature to solve societal problems and involving the protection, restoration or management of natural and semi-natural ecosystems; or creating new ecosystems in and around cities [2]. The variety of the given solutions has been already developed in many cities of the world, including Belgium, United Kingdom, Poland, Sweden, Denmark, Greece, Italy, Bulgaria, The Netherlands etc. However, the analysis of these cases demonstrates various scale of efficiency and their applicability should be always vigorously considered [3]. Thus, it is important to choose solutions according to the very specific conditions of each municipality and even its parts, since NBS are not fixed and work differently in each case [4]. Moreover, the NBS are able to provide different results in terms of environmental problems and they should be planned to target exactly adaptation to climate changes at first place with possible yield of positive side benefits for the solution of other environmental issues. For example, the NBS could be aimed at improving resources and energy efficiency in cities, thus giving limited effects for climate change adaptation [5]. Another important issue is that flaws in NBS planning can even cause social tension and raise the level of inequality in a city [6]. Thus, collaboration of all interested parties and open access process of planning are key preconditions for effective NBS as a part of urban adaptation to climate changes [7].

The first stage to the development of adaptation plan with nature-based solutions embodied should be the assessment of cities vulnerability, in particular, resilience of its infrastructure and factors contributing to the development of problems [8].

The prominent signs of climate changes in Kyiv will include rising temperature, precipitations and intensity of weather extremes, as it is shown in numerous publications by O.Shevchenko, S. Boichenko, S. Snizhko, Yu. Posudin and others. In particular, the expected temperature rise is up to 0.5-1.5°C [9] and the rainfall is expected to raise by 10-12% according to the estimations [10]. The results of the modeling

also predict the extreme weather phenomena, in particular heat waves, to become more severe and frequent for Kyiv by 25% [11].

To approach the problem the city administration has conducted the assessment of Kyiv vulnerability to climate change in the end of 2021 and the corresponding plan for adaptation has been announced later on (the relevant information is available on the official web-page of the Kyiv city council [12]). However, the final document hasn't been presented yet. The overview of the problem given by the National institute for strategic studies in 2016 included a range of recommendations on institutional and legislative initiatives necessary to enable municipalities to respond to climate change challenges. Unfortunately, adaptation to climate changes is only mentioned as a potential field of actions [13].

Kyiv is also a signatory of the Covenant of Mayors initiative, which aims to engage and support cities and towns to commit to reaching the EU climate mitigation and adaptation targets. Signatory cities pledge action to support implementation of the EU 40% greenhouse gas-reduction target by 2030 and the adoption of a joint approach to tackling mitigation and adaptation to climate change [14]. 310 other cities of Ukraine have joined the Convention, however, only one city has taken commitment to implement adaptation plan and this is not Kyiv, even though it has the biggest resources available. The action plans are developed by 164 cities (53% of signatory cities), but most of these plans (115 cities) are on hold due to insufficient data provided or lack of real actions, instead of declarative formulation. Thus, the task of developing and implementing adaptation strategies in cities of Ukraine is still far from completed.

The city of Kyiv has diverse natural conditions and level of infrastructure development. As a result vulnerability to climate change effects is different depending on the part of city. The aim of the given paper is to evaluate the vulnerability of the sample district of Kyiv to climate changes and develop a project for its adaptation using nature based solution.

Analysis of current situation. Osokorky residential district is the youngest massif in Kyiv - its construction began in 1993 on drained wetlands around the village Osokorky. It is located in Darnytskyi district, between the Dnieper River and Lake Vyrlytsia. Until the 1990s, the Osokorky were mostly floodplain meadows with streams, swamps and lakes. For the construction of the metro and residential facilities the wetlands were drained and alluvium was extracted. This has led to dramatic changes in local landscapes. On the territory of the private sector there is a chain of residual natural lakes, the largest of which are Zaryvakha, Pidbirna, Yaremne.

The transport infrastructure of this area is well developed, it includes subway line and the system of roads. However, their planning is based on the rectangular principles, when all the traffic flows run into one central road and then major avenue of the urban district. This creates continuous traffic complications and contributes to the thermal pollution of the area [15], exacerbated by high-rise buildings into local heat island. It is mostly mitigated by the Dnieper River, but in some areas the canyon effect is very pronounced due to lack of vegetation. The quality of air according to the data from the online monitoring system (Kyiv eco city) usually fluctuates between satisfactory and poor. This is also the result of transport emissions concentrated along the roadways and inefficient aeration in the central part of the district.

The structure of **residential estate** is quite diverse. These are mostly densely located high-rise buildings, with lack green elements along them. The eastern part of the district is made of the buildings of the Soviet time, many of which are in unsatisfactory condition. The auxiliary infrastructure includes several shopping malls (Pyramid and Aladdin), two hypermarkets (Epicenter and Metro), several large supermarkets (such as Novus). They are characterized by low level of landscaping and vast areas of parking zones with solid cover, prone to overheating in warm season.

The pressure from local industrial facilities (furniture, textile and automotive services) is not high, as compared with the magnitude of technogenic impact of the Bortnytsia aeration station and the waste incineration plant "Energia" from the neighboring district. Continuous construction also contributes to poor air quality.

Power supply in the district is centralized and almost exclusively electric, while the old-fashion buildings are provided with gas supply. Even though most buildings were constructed in this century the application of sustainable technologies, green architecture principles and alternative sources of power supply is very limited. Thus, only one new building is equipped with solar panels.

The system of water supply and sewerage experience high levels of wearing, since it is based on the initial network, planned for lower-rise buildings of the soviet times. The level of storm waters management is considered unsatisfactory as well and under the threat of growing precipitation levels due to climate changes there is a risk of flooding in the area.

Municipal solid waste management system is still underdeveloped as in all other parts of the city of Kyiv. Waste collection is unsatisfactory and there is no holistic system of separate waste collection. Despite the fact that newer buildings are provided with separate containers for waste sorting, their efficiency is limited by imperfect waste collection.

The land use planning in the district is mostly aimed at maximally dense construction of residential buildings. Such approach restricts the equal expansion of the green infrastructure in the district and further aggravates existing environmental issues and upcoming challenges, posed by climate changes.

Green infrastructure of the district is of limited coverage and lacks well-planned structure. There are no large green areas in the study area, there is only vegetation along the main streets and near houses. However, there are some green belts of the embankment of Lake Teglya, Lake Silver Circle, Lake Vyrlytsia, Lake Nebrezh, Lake Lebedyne and Lake Poznyaki. To the west of the study area there is the private sector with denser vegetation. But we believe that this is not enough to significantly reduce local temperature extremes and heat island expressiveness.

Blue infrastructure of the district is made of waterbodies (natural and artificial) around the district: lakes, ponds and the Dnieper system. However, there are no water bodies within the area. Those water bodies at the borders of the districts are characterized by numerous environmental issues, in particular, insufficient maintenance and waste management; low biodiversity of aquatic species, which makes water ecosystems vulnerable to future climate changes; pollution with urban runoff and industrial discharges; illegal extraction of construction materials; construction in floodplains. These factors considerably reduce the role of blue infrastructure in the improvement of environment condition at the study area.

Results and discussions. Accounting the above presented strengths and weaknesses of the Osokorky municipal facilities, to mitigate the effects of climate changes and to adapt the studied district to growing temperature, a plan of green infrastructure development, using green roofs, is suggested.

Technical solutions. Green roofs are divided into two types: extensive and intensive. **Extensive roofs** are those covered with a relatively thin layer of substrate with hardy plants (sedums, grasses, cereals), which minimizes the necessary care and maintenance of them). **Intensive roofs** ("roof gardens") require a larger layer of substrate, and therefore are suitable for all plants - perennials, shrubs and trees, - arranged playgrounds and recreation facilities. Consequently such roofs need much more intensive care and support.

There is a large number of low-rise buildings with flat roofs in the study area, suitable for alternative greening. We have selected 15 objects, including 5 schools, 2 parking spaces, 2 hypermarkets, 3 supermarkets, 2 shopping malls, and 1 commercial building (Fig. 1), offering specific solutions in terms of green roofs parameters for each site (Table 1).

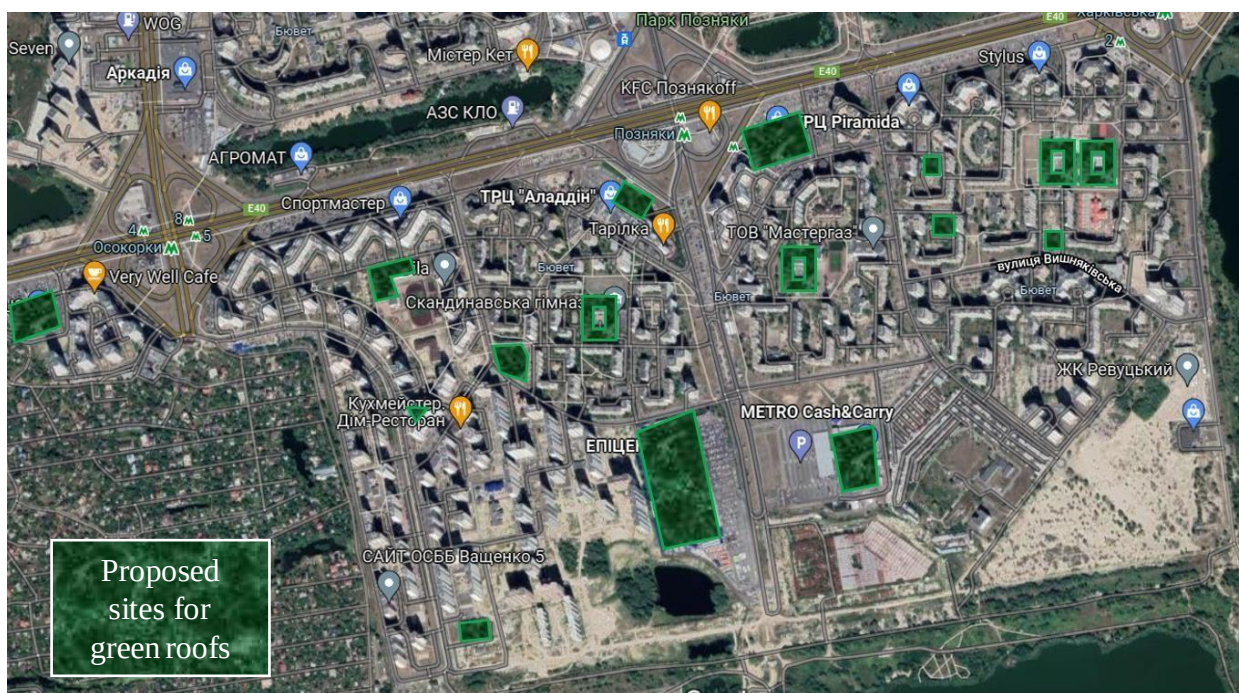


Fig. 1. Location of green roof in project

Table 1

Technical characteristics of the green roofs components

Type of system	Advantages	Recommended plant types	The selected sites on the project
Extensive roofs at 7 buildings			
Economical roof	- classic multilayer structure with drainage and storage element and system filter. - relatively low biodiversity: sedums are mainly used as a plant layer. - the most cost-effective system solution for a green roof. - can be used on inverted roofs, - requires minimal maintenance.	Sedum, Crassulaceae, and any flowering perennials with high tolerance to water and thermal stress.	1. Residence (Hmyria St., 7) 2. Parking (Rudenko St., 17) 3. Velmart (Vyshniakivska St.10) 4. VK Express (Rudenko St., 9) 5. NOVUS (Bazhan Ave, 8) 6. NOVUS (Hryshko St., 3)
Lightweight roof	- the easiest system solution for a green roof. - possibility to install an irrigation system. - can be used on flat roofs (without drainage slopes). - reliable anti-erosion solution; used only with a reliable waterproofing system. - higher maintenance and installation costs compared to the economical roof.	Sedums, Crassulaceae and perennials	7. Multi-storey car park (Chavdar St., 13)
Intensive roofs at 8 buildings			
Garden on the roof	- multilayer system solution with drainage and storage element; - recreational opportunity; - intensive type of landscaping; - automatic watering is possible; - can be used on inverted roofs.	Perennial herbaceous plants, small shrubs, trees with a maximum height of 2-4 meters.	1. Epicenter (Hryhorenko Ave.40)
Roof landscape	- the "greenest" system solution with relatively low weight; - unique landscape design is possible; - can be used on inverted roofs.	Pine-tree, Birch, maple, oak (dwarf subtypes), willow, juniper, honeysuckle, spirea, lilac, brier + lawn (moss, oregano, cloves, lavender)	2. Piramida shopping mall (Myshuhy St., 4) 3. Gymnasium "Kyivska Rus" (Borysa Hmyri St., 2B) 4. Scandinavian Gymnasium (Hmyri St., 3B) 5. Lyceum "Intellect" (Bazhan Ave, 34A) 6. School №316 (Bazhan Ave. 32A) 7. Gymnasium of International Relations №323 (Myshuha St., 5) 8. METRO Cash&Carry (Hryhorenko Ave, 43)

The plants, selected for the given types of roofs, are the general recommendations, as it is impossible to list all candidates. These plants and other potentially suitable species can be found by looking at the microclimate (media depth, solar levels, water availability, etc.) of the green roof in question and comparing it to a plant's native habitat [16]. The other important plants characteristics, taken into account, are rate of establishment, longevity, ground cover density, and disease and pest resistance. The ideal species are long-lived, drought tolerant, self-pollinating or spread vegetatively. However, drought-tolerant species that rely on deep taproots to obtain moisture should be avoided, since such conditions do not exist on shallow green roofs [17].

Additionally we offer to install solar panels at some sites. The modern trends in the sustainability for cities include development of the decentralized power supply sources, including those based on alternative solutions. Since the construction of the district is an ongoing process, wider application of alternative decentralized power supply would provide a range of valuable benefits to the district, including higher energy independence and stability of supply, lower carbon footprint of utilities and additional reserves for local business development.

The pilot facility could be the roof of the Epicenter shopping mall due to its considerable area, availability of resources for in-time maintenance and well regulated power consumption. Growing plants under the solar panels is possible, if the shade tolerant plants are chosen (e.g. woodland bulbs (bluebells, aconites etc), woodland grasses, red or white dead nettle and primrose).

The climate conditions, accounting expected rise in precipitations, are favorable for green roofs, since they need minimal irrigation. The possible drawback is that some of the chosen sites are low buildings and are partially shaded by high rise apartment blocks.

Economic parameters of the project. The cost of a green roof includes: design and project permission acquisition; installation; materials; plants seedlings and seeds; transportation; preparation of the object (repair, if the site needs it); additional materials to create a recreational area. Also, it is important to (take into) account the running costs of the maintenance of green areas, which is also paid. The price also depends on the location, based on research data [18-20] and information from companies providing this type of works in Europe the average cost of roofs can be accepted as follows:

- Economical roof: 14-17 €/m²;
- Lightweight roof: 17-20 €/m²;
- Roof landscape and Garden on the roof: 35 €/m².

Approximate roof area of objects and price (without additional materials for repairs, cost of maintenance and documentation):

- Epicenter = 37800 m² = 1970696 € (including solar panels)
- Pyramid shopping mall = 11004 m² = 385140 €
- Gymnasium "Kyivska Rus" = 5372 m² = 188020 €
- Scandinavian Gymnasium = 4000 m² = 140000 €
- Lyceum "Intellect" = 3950 m² = 138250 €
- School №316 = 3520 m² = 123200 €
- Gymnasium of International Relations №323 = 5200 m² = 182000 €
- Multi-storey car park = 1750 m² = 29720 €
- METRO Cash & Carry = 15200 m² = 304000 €
- Borys Hmyria St., 7 = 4420 m² = 61880 €
- Covered parking (Larysa Rudenko St., 17) = 1650 m² = 23100 €
- Velmart = 1540 m² = 21560 €
- VK Express = 1820 m² = 25480 €
- NOVUS (Prospect Mikoli Bazhana, 8) = 9650 m² = 135100 €
- NOVUS (3 Mykhailo Hryshko St.) = 3260 m² = 45640 €

This project is designed for the long term perspective. Therefore, the payback will take about 15-20 years on average, depending on the object, but it will be very beneficial in terms of ecosystem resilience and human health. The project is not a platform for direct earnings, but a tool for improving the environment, which in turn will save money in the future. As such the "income" part of the payback period is based on oxygen production, carbon fixation and cooling effect, provided by green roofs in the form of ecosystem services. The period may be reduced, if the entrance to the green zone is charged.

Of course the cost of the projects is quite high and cannot be invested from the city budget, but the given calculations could be used as a reference point for similar projects, as the choice of materials will have a profound effect on the cost of their implementation.

Since the aim of the project is to reduce local temperature and mitigate the effects of climate change, the additional solutions could be recommended:

- landscaping by the principle "15 minutes walk";
- installation of green fences where possible (for example, the fence of the gymnasium "Kyivska Rus");
- painting "dark" roofs and buildings in light color (almost all buildings in the area are dark, which increases the local temperature when heated. This is a low-cost, but very effective measure);

- allocation of area for blue infrastructure, which will contribute to the reduction of thermal pressure and improve the quality of air;
- distribution of information on the threats from climate change and need for adaptation efforts and investments.

The complex of the suggested solutions will enable adaptation to the adverse effects of climate change and increase district resilience.

Conclusions. The urgency of climate change is raising concerns in cities about their vulnerability and pressing the need for adaptation efforts. Densely build up areas of big cities are the hotspots of climate change effects in terms of urban heat island formation and amplified air pollution.

The Osokorky district is a prominent example of the outlined problem. Its area undergoes thermal pressure and properties of its urban structure reduce its resilience and impose additional threats for the population.

In order to adapt the district to climate changes the pilot project of green roofs on 15 buildings of the district is offered. The technical parameters of the green roofs are tailored to the properties of the chosen objects. The expected benefits from these roofs include reduction of thermal pollution and heat island, additional recreation opportunities and improvement of the overall air quality. The costs of the project by facilities range from almost 2 million to slightly above 20000. The probable payback period is estimated in the range from 15 to 20 years, depending on the type of roof created and changes for roof usage, if implemented. The recommended types of green roofs could be changed to a more cost efficient, but the general idea will be pursued if the district is to respond efficiently to the upcoming exacerbation of climate change effects on urban environment.

References

- 1 Carter, J. G., Cavan, G., Connelly, A., Guy, S., Handley, J., Kazmierczak, A. Climate change and the city: Building capacity for urban adaptation. *Progress in Planning*. 2015. № 95. P. 1-66. <https://doi.org/10.1016/j.progress.2013.08.001>
- 2 Kabisch N., Korn H., Stadler J., Bonn A. *Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas: Theory and Practice of Urban Sustainability Transitions*. Springer, 2017. 337 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5>
- 3 Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action / Kabisch, N. et al. // *Ecology and Society*. 2016, Vol. 21, No. 2. 39. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-08373-210239>
- 4 Effectiveness of Nature-Based Solutions on Pluvial Flood Hazard Mitigation: The Case Study of the City of Eindhoven (The Netherlands) / Costa S. et al. // *Resources*. 2021. Vol. 10. 24. <https://doi.org/10.3390/resources10030024>
- 5 Implementing nature-based solutions for creating a resourceful circular city / Langergraber G. et al. // *Blue-Green Systems*. 2020. Vol. 2, No. 1. P. 173–185. <https://doi.org/10.2166/bgs.2020.933>
- 6 Whose city? Whose nature? Towards inclusive nature-based solution governance / Tozer L. et al. // *Cities*. 2020. Vol. 107. 102892. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.102892>
- 7 Frantzeskaki N. Seven lessons for planning nature-based solutions in cities // *Environmental Science & Policy*. 2019. Vol. 93. P. 101-111. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.033>
- 8 Geneletti, D., Zardo, L., Cortinovis, C. Promoting nature-based solutions for climate adaptation in cities through impact assessment. In *Handbook on biodiversity and ecosystem services in impact assessment*. Edward Elgar Publishing, 2016. P. 428-452. <https://doi.org/10.4337/9781783478996.00025>
- 9 Temperature projections in Ukraine in the 21st century with RCP-scenarios / Snizhko S. et al. // *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*. 2019. Vol. 3, No. 54. P. 157-158.
- 10 Ivanyuta S.P., Kolomiets O.O., Malinovskaya O.A., Yakushenko L.M. (2020). Climate change: consequences and measures of adaptation: analytic report. Kyiv: NISD, 2020. [In Ukrainian].
- 11 National climate vulnerability assessment: Ukraine / Shevchenko O., Vlasjuk O., Stavchuk I., et al. *Climate Forum East (CFE) and NGO Working Group on Climate Change*, 2014. 71 p.
- 12 Prezentatsiia rezultativ doslidzhennia «Otsinka vrazlyvosti mista Kyieva do zminy klimatu» // Official portal of the Kyiv City Council. Kyiv, 2021. URL: <https://cutt.ly/W0tx9vS> (viewed on 09.12.2022)
- 13 Ivaniuta S.P. *Adaptatsiia do zmin klimatu v Ukraini: problemy i perspektyvy: analytical report*. National institute for strategic studies. Series «Natsionalna bezpeka», №32. Kyiv, 2016. <https://cutt.ly/a0tnkUO> (viewed on 09.12.2022).

- 14 Adapting to climate change in European cities: Towards smarter, swifter & more systemic action. The Covenant of Mayors. Europe Office, 2021.
- 15 Sentinel-3 Urban Heat Island Monitoring and analysis for Kyiv Based on Vector Data / Shumilo L., Kussul N., Shelestov A., et al. // *10th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*. 2019. P. 131-135. <https://doi.org/10.1109/DESSERT.2019.8770042>
- 16 Monterusso M. A., Rowe D. B., Rugh C. L. Establishment and Persistence of Sedum spp. and Native Taxa for Green Roof Applications // *HortScience*, Vol. 40, No. 2. P. 391-396. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.2.391>
- 17 Snodgrass, E., and L. Snodgrass. Green Roof Plants: A Resource and Planting Guide. Portland, Oregon: Timber Press, Inc., 2006. 220 p.
- 18 Scaling of Economic Benefits from Green Roof Implementation in Washington, DC / Niu H. et al. // *Environmental Science and Technologies*. 2010. Vol. 44, No. 11. P. 4302-4308. <https://doi.org/10.1021/es902456x>
- 19 Green roof and green wall benefits and costs: A review of the quantitative evidence / Manso M., et al. // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021. Vol. 135. 110111. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110111>.
- 20 Li W.C., Yeung K.K.A. A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective // *International Journal of Sustainable Built Environment*. 2014. Vol. 3, No. 1. P. 127-134. <https://doi.org/10.1016/j.ijbs.2014.05.001>.

М. М. Радомська, Мушта М.А.
Національний авіаційний університет

ПРОЕКТ ПРИРОДНИЧИХ РІШЕНЬ ДЛЯ АДАПТАЦІЇ РАЙОНУ ОСОКОРКИ МІСТА КИЄВА ДО ЗМІН КЛІМАТУ

Глобальні кліматичні зміни мають значний вплив на міста в усьому світі, хоча точні загрози можуть значно відрізнятися залежно від географічного регіону. Київ – столиця з великою кількістю населення та величезною територією, яка стикається з різними викликами, пов'язаними зі зміною клімату. Аналіз кліматичних моделей демонструє вразливість міської інфраструктури Києва до хвиль спеки, міського острова тепла, збільшення кількості опадів та негативних погодних явищ. Для району Осокорки м. Києва проаналізовано інформацію щодо основних проблем та оцінки стійкості його інфраструктури в умовах кліматичних змін. Результати аналізу показують, що, незважаючи на новизну району, в ньому відсутні складові стійкості, слабо розвинена зелена та блакитна інфраструктура, а також неефективна мережа доріг. Усі ці фактори в поєднанні з щільною забудовою створюють сприятливі умови для підвищеного теплового навантаження на місцеве населення та інші біотичні компоненти району. Пропонований підхід до адаптації району Осокорки до кліматичних змін полягає у впровадженні природничих рішень з метою розширення зеленої інфраструктури та зменшення передумов для формування острова тепла. Запропоновано створити зелені дахи на 15 об'єктах району, в якому визначені типи дахів, їх технічні характеристики та вартість. Для посилення стійкості району розроблено комплекс додаткових організаційних заходів для підтримки просування району і міста в цілому до створення безпечного міського середовища.

Ключові слова: зміна клімату, адаптація, міська екосистема, природничі рішення.

*Гарсія Камачо Ернан Улліанодт,
І. В. Васильківський*

Вінницький національний технічний університет

ЗНИЩЕННЯ ІХТІОФАУНИ ПІВДЕННОГО БУГУ В РЕЗУЛЬТАТІ БУДІВНИЦТВА МАЛИХ ГЕС

Роботу присвячено вирішенню екологічних проблем Південного Бугу, які виникли внаслідок будівництва і експлуатації гідроелектростанцій та пошуку шляхів відновлення і збереження втраченої іхтіофауни.

Встановлено, що десятиліття господарської експлуатації водних ресурсів басейну Південного Бугу здійснили нищівний вплив на біорізноманіття іхтіофауни. Багато цінних видів були знищені.

Початком деградації Південного Бугу стало масове будівництво гідроелектростанцій, яке виявилось грандіозним стаціонарно-деструкційним забрудненням. Південний Буг перетворився на каскад застійних водосховищ, що повністю змінило і погіршило умови існування видів іхтіофауни і призвело до їх подальшого зникнення.

Будівництво гідроелектростанцій мало сильний структурний та експлуатаційний вплив на річкову екосистему Південного Бугу і призвело до порушення фундаментальних екологічних законів: закону мінімуму Ю. Лібіха, згідно з яким відносна дія окремого екологічного фактора буде тим сильнішою, чим більше цей фактор, у порівнянні з іншими екологічними факторами, буде наближатися до свого кількісного мінімуму; закону толерантності Шелфорда, згідно з яким присутність або процвітання популяції будь-яких організмів у даному місцезнаходженні залежить від комплексу екологічних факторів, до кожного з яких в організмі існує певний діапазон толерантності (витривалості); закону зворотного зв'язку взаємодії людина – біосфера, вперше сформульований П. Дансеро, згідно з яким будь-яка зміна в природному середовищі, викликана господарською діяльністю людини, «повертається» і має небажані наслідки, що впливають на економіку, соціальне життя і здоров'я людей.

Процеси знищення Південного Бугу зумовлені величезною зарегульованістю і значним забрудненням продовжуються, що негативно позначається на його мешканцях, зокрема до категорії зникаючих і зниклих додаються нові представники іхтіофауни.

Пропонується ряд першочергових природоохоронних заходів, які допоможуть зупинити процес остаточного знищення Південного Бугу, відновити його водні ресурси, і відтворити втрачену іхтіофауну.

Ключові слова: Південний Буг, гідроелектростанція, іхтіофауна, родина осетрових, природоохоронні заходи.

Постановка проблеми. Чому хворіє тисячолітній Південний Буг і гинуть його славні мешканці? Відповідь очевидна. Південний Буг найбільше страждає від господарської діяльності.

У басейні Південного Бугу налічується 6582 малих річок, загальною довжиною близько 20 тис. км, 11 середніх річок загальною довжиною понад 1,6 тис. км та 1 велика річка Південний Буг.

Масштабне господарське освоєння річки Південний Буг почалося у 1929 році із введенням в експлуатацію першої ГЕС і водосховища біля м. Первомайська. Відтоді на річці Південний Буг, споруджено і функціонують десятки малих ГЕС потужністю до 10 МВт (табл. 1). Енергетичний потенціал річки Південний Буг складає 27,735 МВт [1]. Наразі, через значну зарегульованість і величезну кількість штучних водойм у водозбірному басейні, реальна вироблена потужність всіх малих ГЕС коливається в межах 25-40%, від планових значень. Процедура проведення оцінки впливу на довкілля господарської діяльності з'явилася майже через 50 років після початку будівництва перших гідроелектростанцій.

Якщо підійти до греблі Сабарівської ГЕС, то можна побачити, що річка Південний Буг вся зелена та цвіте. У повітрі є запах квітучої води. Шлюзи перекриті на Сабарівській ГЕС повністю, вода в річці стоїть (рис. 1 і 2). На Сабарівській ГЕС тримають потрібний рівень, щоб Вінниця не залишилася без води. Коли спускають воду зі ставків у Хмельницькій області то кожен день її рівень у Південному Бугі піднімається на пару сантиметрів. Коли Сабарівське водосховище наповняється водою вище норми, її спускають через греблю, щоб вода не застоювалася. Кожного місяця вода береться на аналіз. Вода абсолютно підходить для пиття та побутових потреб, –

запевнює керівництво БУВР Південного Бугу [2]. Однак, продемонструвати придатність води для пиття керівництво не наважується.

Таблиця 1

Малі ГЕС на річці Південний Буг

№ п/п	МГЕС	Потужність, кВт	№ п/п	МГЕС	Потужність, кВт
1	Ладизинська (діюча)	7500	9	Березівська (діюча)	300
2	Сабарівська (діюча)	1050	10	Савранська (діюча)	450
3	Брацлавська (діюча)	400	11	Гайворонська (діюча)	5700
4	Глибочанська (діюча)	6130	12	Сутиська (діюча)	1400
5	Чернятська (діюча)	1400	13	Первомайська	600
6	Сандрацька (діюча)	640	14	Костянтинівська	400
7	Новокостянтинівська (діюча)	525	15	Мигійська (діюча)	600
8	Щедрівська (діюча)	640		Всього	27735

Характерною особливістю басейну Південного Бугу, що виділяє його з поміж інших великих річок є дуже велика його зарегульованість. На самому руслі річки Південний Буг побудовано 16 водосховищ місткістю 316 млн. м³, які використовуються для потреб гідроенергетики, водопостачання та рекреації. В басейні створено 170 водосховищ місткістю 578 млн.м³, загальною площею водного дзеркала майже 30 тис. га, та понад 10 тисяч штучних водойм (ставків), загальною площею понад 56,4 тис. га, та сумарним об'ємом 644 млн.м³, що практично дорівнює стоку в маловодний рік 95% забезпеченості. У басейні Південного Бугу немає жодної малої річки або струмка, які би не були перегороджені кількома греблями рибогосподарських безстічних ставків. Це підвищує об'єми випаровування і рівень забруднення води. Вода із рибогосподарських ставків скидається тільки під час вилову риби. В результаті, площі басейнів малих річок і струмків, практично виключаються із площі басейну Південного Бугу [2,3].



Рис. 1. Південний Буг «цвіте і пахне» біля греблі Сабарівської МГЕС у м. Вінниці [2]



Рис. 2. Результат евтрофікації водойми

Щорічно екологи відзначають зниження рівня води річки Південний Буг. Явище обміління особливо очевидне в районі села Мигія Первомайського району, яке відоме знаменитими бузькими порогами (рис. 3). Темно-зелений колір річкової води (див. рис.3) свідчить про значну евтрофікацію в середній і нижній течії Південного Бугу. Крім того, Південний Буг замулюється, прісної води стає менше, її якість погіршується, а береги заростають очеретом. За даними Південного управління басейну Південного Бугу, водосховища, які знаходяться вище по течії, забирають воду для санітарних попусків і тим самим зневоднюють Південний Буг [4].



Рис. 3. Пороги в районі села Мигія Первомайського району Миколаївської області

Аналіз даних міністерства розвитку громад та територій України (табл. 2) показує, що в 3738 населених пунктах Хмельницької, Вінницької і Миколаївської областей, де проживає понад 1,6 млн сільського населення, відсутнє централізоване водовідведення [5]. В обласних центрах Хмельницькому, Вінниці і Миколаєві очисні споруди каналізації охоплюють тільки половину міського населення.

Більшість обласних департаментів екології та природних ресурсів у своїх щорічних регіональних доповідях про стан довкілля сором'язливо уникають інформації про кількість і стан очисних споруд каналізації. Незадовільний стан застарілих очисних споруд каналізації і відсутність зливової каналізації посилює антропогенне навантаження на басейн Південного Бугу. В результаті природні водні екосистеми повністю трансформувались в антропогенні водні об'єкти, які в процесі своєї еволюції виявилися абсолютно непридатними для існування аборигенних осетрових видів іхтіофауни.

Іхтіофауна Південного Бугу нараховує 75 видів риб. Основними видами риб, є: бичок, тарань, карась, короп, плітка, кранспірка, щука, окунь, лящ, плоскирка, білий амур, товстолобик, сом, судак. У верхній течії Південного Бугу мешкають сазан, лящ, карась, лин, плоскирка, плітка, краснопірка, головень, верховодка, пічкур, вівсянка, гірчак, щука, окунь, йорж, щипівка, в'юн, бички. У середній течії, крім зазначених риб, трапляються також марена, підуст, судак, сом та минь. У нижній течії рибне населення поповнюється вирезубом, який останнім часом зустрічається дуже рідко. З Дніпровсько-Бузького лиману та Чорного моря сюди заходять деякі прохідні й напівпрохідні риби - білуга, осетер, севрюга, тюлька, оселедець, пузанок, тарань, шемая, рибець, чехоня, вугор, судак морський і деякі інші. Однак вище с. Олександрівни вони не піднімаються через наявність греблі [6].

Створення водосховищ порушує століттями сформовані умови життя і розмноження іхтіофауни. Підвищення інтенсивності евтрофікації у штучних водосховищах на річках є свідченням постійного притоку неочищених стічних вод, що позначається на зміні видового і кількісного складу іхтіофауни. Очевидним є факт скорочення кількості видів іхтіофауни Південного Бугу. В першу чергу зникають види іхтіофауни існування яких стає нестерпним і неможливим при погіршенні гідрофізичних, гідрохімічних, гідробіологічних і мікробіологічних показників річкової води.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемі збереження іхтіофауни Південного Бугу присвячена відносно невелика кількість публікацій. Антропогенний вплив на річки України

та проблеми гідроекології розглянуто в роботах В.Вишневецького, В.Романенко. Водні антропогенні ландшафти Поділля досліджувались Г.Денисюком. Дослідження, охорона, відновлення малих річок розглядались у працях Р.Хімко, О.Мережко, Р.Бабко. Сучасні проблеми збереження різноманіття іхтіофауни України розглядались у працях А.Щербуха. Екологічна оцінка стану, моніторинг природокористування та стратегія реабілітації порушених екосистем річкових басейнів рівнинної частини території України розглядались у працях Й.Гриба, В.Сондака. Сучасні проблеми теоретичної та практичної іхтіології досліджувались у роботах М.Євтушенко, П.Шевченко, В.Мальцева, М.Хижняка, В.Цедика, І.Курбатова, Н.Рудика. Наукова еколого-експертна оцінка проектів малих ГЕС в Івано-Франківській області розглядалась в праці Я.Адаменко, Л.Архипової, С.Пернеровської. Найбільш перспективною сучасною концепцією збереження Південного Бугу є планомірне зменшення антропогенного навантаження і відновлення природної екосистеми річки, яка стане комфортною для відродження знищеної іхтіофауни.

Таблиця 2

Відсутнє централізоване водовідведення

№ п/п	Адміністративні території	Чисельність населення		Чисельність н/п, усього			Відсутнє централізоване водовідведення		
		міське населення	сільське населення	міста	сmt	села	міста	сmt	села
1.	Вінницька	799 385	746 031	18	29	1456		10	1451
2.	Волинська	539 179	492 242	11	22	1054	2	4	1029
3.	Дніпропетровська	2 668 744	507 904	20	46	1372	1	13	1343
4.	Донецька	3 754 349	377 459	40	72	128		34	114
5.	Житомирська	716 457	491 755	12	43	1613		8	1596
6.	Закарпатська	465 904	787 887	11	19	579		2	563
7.	Запорізька	1 306 231	381 170	14	22	914		11	896
8.	Івано-Франківська	606 764	761 333	15	24	765		13	756
9.	Київська	1 105 383	675 661	26	30	1126		5	1068
10.	Кіровоградська	591 944	341 165	12	27	991	1	9	985
11.	Луганська	1 859 590	276 323	12	24	497		15	494
12.	Львівська	1 534 040	978 044	44	34	1850	5	17	1839
13.	Миколаївська	768 022	351 840	9	17	885			866
14.	Одеська	1 597 062	780 168	19	33	1124		19	1110
15.	Полтавська	867 201	519 777	16	20	1810		3	1773
16.	Рівненська	548 088	604 873	11	16	999		1	978
17.	Сумська	741 430	326 817	15	20	1458		8	1445
18.	Тернопільська	473 727	564 968	18	17	1023	1	7	1017
19.	Харківська	2 158 121	500 340	17	61	1673	1	22	1636
20.	Херсонська	631 317	396 596	9	31	658		12	588
21.	Хмельницька	720 752	533 950	13	24	1414		9	1402
22.	Черкаська	678 682	513 455	16	15	824		10	810
23.	Чернівецька	390 551	511 081	11	8	398	2	1	398
24.	Чернігівська	649 063	342 231	16	29	1465	1	15	1454
	Україна	30 735 929	13 521 035	406	683	26076	14	248	25611

Мета роботи. Метою роботи є розробка природоохоронних заходів для відновлення і збереження втраченої іхтіофауни Південного Бугу.

Завдання роботи. Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні задачі:

1) Аналіз техногенного впливу малих ГЕС на іхтіофауну Південного Бугу.

2) Розробка природоохоронних заходів для відновлення втраченої іхтіофауни Південного Бугу.

Наукова новизна роботи полягає у пошуку і розробці моделі сталого природокористування водними ресурсами Південного Бугу, яка дозволить зупинити тривалий процес деградації водної екосистеми і знайти оптимальні умови для відновлення знищеної іхтіофауни.

Виклад основного матеріалу. Південний Буг, протягом сторіч вважався однією з найбагатших на рибу річок. Рибальство було найважливішою галуззю всіх промислів низових козаків і поставляло їм найуживаніший продукт харчування й торгівлі, а річка Південний Буг вважалася одним з найкращих місць для рибної ловлі. У Бузі, Інгулі, лимані, козаки ловили стерлядь (*Acipenser ruthenus*), севрюгу (*Acipenser stellatus*), білугу чорноморську (*Huso ponticus*), осетра російського (*Acipenser gueldenstaedtii*), сома європейського (*Silurus glanis*), ляща звичайного (*Abramis brama*), тараню (прохідна форма *Rutilus rutilus*) та річкову камбалу чорноморську (*Platichthys flesus luscus*). Але протягом XX ст. Південний Буг було перегороджено декількома греблями, які практично скалічили річку і перетворили її на низку суцільних водосховищ-відстійників, які поступово забруднюються і замулюються, що створює непридатні умови для життя представників іхтіофауни [6]. Дамби ГЕС не тільки перекривають прохідним риbam шлях до місць нересту. Вони впливають і на самі нерестовища. Прохідні осетрові, наприклад, відкладають ікру в місцях швидкої течії на кам'янисте або галькове дно, до якого вона приклеюється. Великі водосховища поглинають більшість таких місць, замулюють їх і виводять з ладу як нерестовища. При підпорі річок відбувається замулювання ґрунту, і нерестовища за таких умов втрачають своє значення. Шлях до місць нересту прохідних риб нерідко буває досить довгим і тривалим. Нерестовища деяких видів розташовані у верхів'ях річок, далеко від гирла. До числа риб, що йдуть на нерест з моря в річки, відносяться: осетрові – білуга, осетер, севрюга; стерлядь, осетер-шип, чорноморський оселедець; деякі коропові, наприклад, сирть або рибець та ін.

Давайте проаналізуємо, яких представників іхтіофауни ми втратили, створивши для них нестерпні умови нересту та існування. Осетрові – прадавня родина прісноводних риб, що з'явилася 200-250 мільйонів років тому. За даними палеонтологічних досліджень рід людей з'явився близько 2.8 млн років тому, а людина розумна, взагалі має вік всього 160 тис. років. Однак, самий молодий вид в біосфері Землі – людина розумна, менш чим за 100 років, зуміла майже повністю винищити родину осетрових, яка була окрасою гідросфери і в якій практично не було природних ворогів, окрім людини. Без відповіді залишається етичне питання: «Чому, біологічний вид людина розумна (*Homo sapiens*) вирішив, що має право вирішувати, який біологічний вид корисний для Земної біосфери, а який не корисний, який вид треба зберегти, а який можна нещадно знищити, порушуючи фундаментальні екологічні закони».

Знищені природні ареали поширення осетрових риб представлені на (рис. 4). До родини осетрових, які мешкали у річках України відносяться: білуга, осетер російський, севрюга, стерлядь і осетер шип.



Рис. 4. Знищені природні ареали осетрових риб

Білуга (*Huso huso*) – найбільша прісноводна риба на Землі (рис. 5) і цінна промислова риба. В Україні цей вид раніше розглядався в ранзі окремого підвиду – Білуга чорноморська. Чисельність білуги дуже низька, тому природоохоронний статус виду: зникаючий [7-9]. Білуга – прохідна придонно-пелагічна риба, яка постійно живе в морі, а на нерест заходить у річки. У Чорноморському басейні білуга здійснювала нерестові міграції у великі річки: Дунай (більше 2000 км від гирла), Дніпро, Південний Буг, Дністер і Ріоні. Тривалість життя білуги – до 100 років. Статевої зрілості вона досягає пізніше за інші види осетрових риб: самці в 12-14 років, самиці до 16-18 років. Міжнерестовий інтервал складає 4-5 років.

Нерестові міграції відбуваються двічі на рік: навесні (друга половина березня – квітень, при температурі води 4–5°), і восени (вересень – листопад) – нерестує навесні наступного року. Самці стають статевозрілими у віці 12–14 років при довжині понад 120 см, самки в 16–18 років при довжині понад 150 см. Найбільша довжина тіла понад 5 м, маса 1000 кг (зазвичай ловлять особин до 2,5 м і до 200–300 кг), тривалість життя до 100 років. Нерест з кінця квітня до початку червня при температурі води 8-17°C у глибоких місцях із швидкою течією і кам'янистим або піщано гальковим ґрунтом. Плодючість 360 тис. – 7,7 млн ікринок. Ікра донна, клейка. Після нересту дорослі, а згодом і молодь, скочуються в море. Мальки споживають ракоподібних, черв'їв, личинок комах, мальків риб; дорослі особини живляться переважно рибою.



Рис. 5. Білуга – риба-цар. Повністю знищена у річці Південний Буг

Основна частина чорноморської популяції білуги йшла на нерест в Дунай, Дніпро, Дністер і Південний Буг. У першій половині ХХ ст. була промисловою рибою майже на всьому морському узбережжі. У Дніпрі великих особин (до 300 кг) ловили між сучасним Дніпром та Запоріжжям, а екстремальні заходи відзначались у Києві і вище: по Десні білуга доходила до села Вишеньки, а по Сожу - до Гомеля, де в 1870-х рр. була спіймана особина вагою 295 кг. У Дунаї, в минулому вид був досить звичайний і піднімався до Сербії, а в далекому минулому доходив до міста Пассау в східній Баварії. По Дністру нерест білуги відмічався біля міста Сороки на півночі Молдови і вище Могиліва-Подільського. По Південному Бугу білуга піднімалася до Вознесенська (північ Миколаївської області). У природі білуга гібридизує зі стерляддю, севрюгою, шипом та осетром [7-9]. Найбільша будь-коли спіймана білуга показана на (рис. 6).



Рис. 6. Найбільша будь-коли спіймана білуга важила 1571 кг і сягала у довжину 7,2 м

Зникнення білуги відбулося в результаті зміни гідрологічного, хімічного, біологічного режимів водойм, спричиненої гідротехнічним будівництвом, забрудненням води та надмірним виловом. Поодинокі білуга трапляється поблизу берегів Кримського п-ва, дещо частіше в Дунаї та біля його гирла. Фактично зникла у пониззі Дніпра, Пд. Бугу і Дністра, а також у Сів. Дінці [8].

Будівництво ГЕС негативно вплинуло на всю родину українських осетрових: білугу чорноморську, осетра російського, севрюгу, стерлядь і осетра шипа.

Осетер російський (*Acipenser gueldenstaedtii*) – прохідна придонна риба, яка постійно живе в морі, а на нерест заходить у річки (рис. 7). Природоохоронний статус виду: вразливий [8, 9]. Осетер російський – цінна промислова риба, чисельність якої в останні 25–30 років невпинно падає. У невеликій кількості заходить у Дунай, поодиночі в Дніпро, зрідка в Дністровський лиман і фактично не заходить в Південний Буг, Сів. Донець і річки Пн. Приазов'я [8-11].

Осетер російський має довге, веретеноподібне, товсте тіло. Найбільша довжина понад 2 м, маса понад 100 кг, в уловах зустрічаються особини завдовжки 1,3–1,6 м і масою близько 30–40 кг; тривалість життя понад 50 років. Верхня третина тіла темно-сіра, бурувата, часто майже чорна, боки сіруваті, молочно-сірі з блакитним вилиском, зрідка зеленкуваті, черево жовтувате або молочно-біле. Зникнення осетра російського пов'язано із зміни гідрологічного, хімічного, біологічного режимів водойм, спричинених гідротехнічним будівництвом; забруднення води, надмірним виловом [8].

Севрюга (*Acipenser stellatus*) – прохідна придонна риба, яка поширена біля пн. берегів Азовського моря, вздовж Кримського п-ва та у пн.-зх. частині Чорного моря (рис. 8). Чисельність севрюги з кінця XX ст. невпинно падає. В Україні дуже малочисельна, була об'єктом промислу заради цінної чорної ікри. Існують гібриди севрюги з осетром, шипом, стерляддю. Природоохоронний статус виду: вразливий [8, 9]. Зараз у невеликій кількості заходить у Дунай, зрідка поодиночі в Дніпровський і Дністровський лимани і фактично не заходить в Дністер, Південний Буг, Дніпро і річки Північного Приазов'я.

Севрюга має видовжене, веретеноподібне тіло. Вусики короткі, не торочкуваті. Рило мечовидне, довге, його довжина складає понад 60% довжини голови. Найбільша довжина до 220 см, маса – до 80 кг, зазвичай ловляться особини завдовжки до 150 см масою 25–30 кг; тривалість життя близько 30 років. Верхня третина тіла темна, сірувато-блакитна або, майже чорна, боки білувато- або сріблясто-сірі, черево жовтувате чи молочно-біле.

Севрюга постійно живе в морі, а для розмноження двічі на рік заходить у річки: восени (з кінця вересня до кінця листопада) і навесні (з березня до кінця квітня – початку травня). Зникнення севрюги відбулося в результаті зміни гідрологічного, хімічного, біологічного режимів водойм, спричиненої гідротехнічним будівництвом, забрудненням води, надмірним виловом [8].

Стерлядь (*Acipenser ruthenus*) – цінна промислова риба, господарське значення якої через малу чисельність втрачено (рис. 9). Природоохоронний статус виду: зникаючий. З другої половини XX ст. різко скоротила свою чисельність і ареал. В Україні траплялася в корінному руслі і в великих притоках усіх великих річок. Зникла в Сів. Дінці, Південному Бузі та в більшій частині басейнів Дніпра і Дністра. Зараз відзначається в пониззі Дунаю і басейнах Середнього і Верхнього Дністра, можливо, є в Дніпровському водосховищі.

Стерлядь має видовжене, веретеноподібне, невисоке тіло. Нижня губа посередині перервана, вусики торочкуваті. Найбільша довжина до 1–1,2 м, маса до 16 кг, зазвичай в уловах траплялися риби завдовжки до 40–60 см і масою 0,4–1 кг, тривалість життя близько 30 років. Верхня частина тіла темна, сірувато-бура, часто із зеленкуватим чи синюватим вилиском, боки сіруваті, сталевосріблясті, черево жовтувате або молочно-біле. Зникнення стерляді відбулося в результаті зміни гідрологічного, хімічного та біологічного режимів водойм, спричиненої гідротехнічним будівництвом, забрудненням води і непомірним виловом [8, 9].

Осетер шип (*Acipenser nudiiventris*) – прохідна придонна риба, постійно живе у морі, заходить у річки на нерест (рис. 10). Природоохоронний статус виду: зниклий. Осетер шип – цінний об'єкт промислу, в Україні зустрічався в Чорному морі біля узбережжя Кримського пів-ва (масив Кара-Даг, Каркінітська затока) та в морських водах поблизу гирлових ділянок Дніпра, Південного Бугу, Дністра і Дунаю. У першій половині XX ст. зустрічався поодиночі, з 1960-х рр. в уловах не траплявся.

Осетер шип має довге, веретеноподібне, високе і масивне тіло. Найбільша довжина понад 2 м, маса – понад 40–70 кг (частіше траплялися особини масою 8–10 кг), тривалість життя понад 30 років. Верхня третина тіла темно-сіра, іноді майже чорна, з темно-блакитним чи бурим вилиском, боки світло-сірі, черево молочно- чи брудно-біле. Нерест з кінця квітня до кінця травня при температурі води 10–15°C, на ділянках річок із швидкою течією і твердим, гальковим або піщаним ґрунтом [8-10]. Зникнення осетра шипа зумовлено зміною гідрологічного, хімічного, біологічного

режимів водойм, спричиненої гідротехнічним будівництвом; забруднення води і надмірним виловом [8].

У Червоній книзі України навпроти представників виду осетрових вказано – зникаючі або зниклі [8]. Терміни зникаючі або зниклі є неточними і навіть лукавими. Українські осетрові не зникли самі по собі, оскільки немає жодних природних причин їх зникнення. Українські осетри були знищені внаслідок сукупності рукотворних антропогенних факторів: будівництва ГЕС і незліченної кількості штучних водойм-ставків на притоках, постійне скидання неочищених стічних вод і створення непридатних умов для існування осетрових видів. Сучасні показники якості води Південного Бугу не відповідають необхідними показниками якості води для забезпечення нормальної життєдіяльності родини осетрових. Знищення у Південному Бугу представників виду осетрових було тільки першим етапом вимирання аборигенної іхтіофауни. Зараз триває другий етап знищення природної іхтіофауни, пов'язаний із збільшенням забруднення річкової води і поступовим погіршенням умов існування. Рідкісними стали види, для яких умови існування суттєво погіршилися. На межі вимирання знаходяться, менш вибагливі у порівнянні із осетровими види іхтіофауни, які представлені на (рис. 11-13).



Рис. 7. Осетер російський



Рис. 8. Севрюга



Рис. 9. Стерлядь



Рис. 10. Осетер шип

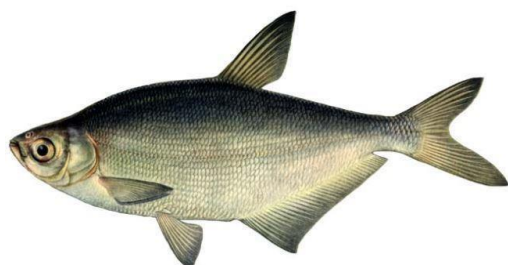


Рис. 11. Синець звичайний



Рис. 12. Чехоня

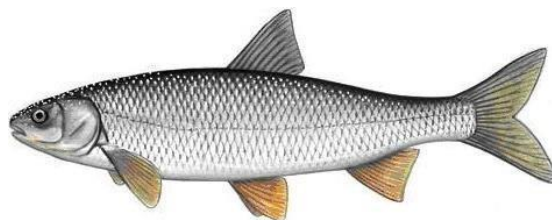


Рис. 13. Вирозуб, також вирезуб

Синець звичайний (*Ballerus ballerus*) – риба родини корошових (рис. 11). Промислова риба. Довжина до 30 см (іноді більше), вага до 1 кг (найчастіше 200-300 г). Тіло синця стиснуте з боків і більш витягнуто в довжину, ніж у ляща. Поширений у річках і великих озерах басейнів Балтійського, Каспійського, Чорного і Азовського морів. Через значне забруднення Південного Бугу синець малочисельний [8-13].

Чехоня (*Pelecus cultratus*) – риба з родини корошових (рис. 12). Промислова риба. Єдиний вид роду Чехоні (*Pelecus*). До 35 см довжиною, вага – 300-400 г, іноді й більше. Поширена в басейнах Чорного і Азовського морів, також у Каспійському, Аральському морях та водах їхніх

басейнів. Чехоня дуже вимоглива до умов розмноження. Вона нереститься в місцях із значними швидкостями течії води, на ділянках з щільно задернованим дном, протягом двох-трьох діб, що залежить від температури води. Через значне забруднення водойм – на межі зникнення [8].

Плітка-вирозуб, вирозуб, також вирезуб (*Rutilus frisii*) – вид риб роду плітка родини коропових (рис. 13). Вид занесений в Червону книгу України [8]. Загалом це велика рибина, довжина тіла сягає 70 см, а вага 6 кг. У нього струнке, валькувате, видовжене тіло, вкрите дрібною лускою. Вирезуб поширений у басейні Чорного та Азовського морів, також у південній частині Каспійського моря. Вирезуб харчується в опріснених ділянках моря, а для нересту повертається в річки. Свою назву риба отримала через міцні глоткові кістки і потужні зуби, які з легкістю можуть розкусити великі раковини моллюсків. У недалекому минулому був поширений у багатьох річках України, а в пониззі Південного Бугу вважався промисловою рибою. Внаслідок зарегулювання стоку річок і забруднення їх вод чисельність цього виду значно зменшилась, він став рідкісною і одночасно рибою що зникає. Риби, які постійно живуть у прісних водах, які не можуть виходити в пригирлові лимани річок, де кормова база значно багатша, ростуть повільніше. Існує потреба в охороні і навіть штучному розведенні вирезуба. Без цього він може зникнути. Одним із заходів, спрямованих на збереження вирезуба, є заборона його вилову [8-10].

Інтродукція далекосхідної іхтіофауни. Рибицтво займає важливе значення у вирішенні продовольчої безпеки України. Завдяки штучному вселенню у водосховища представників далекосхідної іхтіофауни: білий амур (*Ctenopharyngodon idella*), амурський чебачок (*Pseudorasbora parva*), білий (*Hypophthalmichthys molitrix*) і строкатий (*Aristichthys nobilis*) товстолобики, набули промислового значення і активно використовуються в рибицтві за рахунок їх вирощування в полікультурі з коропом – традиційним об'єктом рибицтва.

Білий амур (*Ctenopharyngodon idella*) – вид риб роду *Ctenopharyngodon*, родини *Cyprinidae* (рис. 14). Це велика та швидка риба, може сягати в довжину 1-2 метри, а важити 33 кг і навіть більше. Білий амур має продовгувату сплюснену по бокам форму тіла, гострі зуби призначені для подрібнення рослинності. У риби досить крупна луска, з темним забарвленням. Зазвичай Білий амур мешкає у прісноводних водоймах азіатських річок. Акліматизований у багатьох країнах Азії, Європи, Америки, Африки. Білий амур це – промислова риба, що культивується в ставкових господарствах, де розведення повністю штучне із застосуванням гормонального стимулювання дозрівання зрілих риб, інкубації ікри в апаратах. Використовується в каналах як природний меліоратор для боротьби із заростанням. В даний час риба активно розводиться у прісноводних водоймах України [8,10].

Чебачок амурський (*Pseudorasbora parva*) – вид риб роду *Pseudorasbora*, родини *Cyprinidae* (рис. 15). Маленька рибка, що має схожість з однолітками білого амура. Чебачок має продовгувате тіло, луску середнього розміру. Довжина тіла сягає 5-9 см, рідко 12 см. Чебачок амурський – стайна риба, що полюбляє спокійні, чисті водойми. В основному заселяє річки, озера, затоки та ставки. Непромислова риба. У ставкових господарствах є масовою мусорною рибою. Використовується у рибальстві як живець для ловлі хижака [8-10].

Товстолобик (*Hypophthalmichthys molitrix*) – вид риб роду *Hypophthalmichthys*, родини *Cyprinidae* (рис. 16, 17). Тіло у товстолобика досить високе, помірно довге, голова широка. Товстолобик велика, стайна риба у довжину може сягати більше 1 м. і масою тіла 40 кг. Риба живе в ставках з не сильною течією [8,10].

Рослиноїдні білий амур і товстолобики вселені у водосховища Південного Бугу з метою підвищення їх рибопродуктивності, а амурський чебачок завезений випадково (приклад випадкової повної акліматизації). Однак, через постійне значне зростання забруднення акваторії, виробництво рибопродукції не збільшується.

Міграція іхтіофауни відбувається з метою пошуку найбільш оптимальних умов існування, кормової бази і нересту. Для переважної більшості риб греблі гідроелектростанцій становлять серйозну загрозу. Якщо шляхи міграції штучно перекриваються греблями ГЕС, то природна популяція повністю гине.

Осетри, які змушені здійснювати тривалі міграції вгору за течією до нересту, піддається особливому ризику. Фактично, майже 50% риб гине при проходженні через гідроелектростанції. Риба гине не тільки тому, що вона фізично зіштовхується з лопатями турбіни, але також через швидку декомпресію або зміна тиску, що створюється ними. При проходженні через турбіни ГЕС у риб спостерігаються механічні та біологічні пошкодження, а також аномальна поведінка. Візуальні обстеження тіла, а також результати розтину загиблих риб дозволили виявити такі

основні види травм: випинання очей, рвані рани і розрізи, пошкодження покривів тіла, бульбашки газу в м'язах спини, на зябрових пелюстках, плавниках і в кровоносних судинах, крововиливи в очах, в основах плавників, м'язах, органах черевної порожнини і в мозку, баротравми плавального міхура, розрив стінок плавального міхура, аритмія дихання.



Рис. 14. Білий амур



Рис. 15. Чебачок амурський

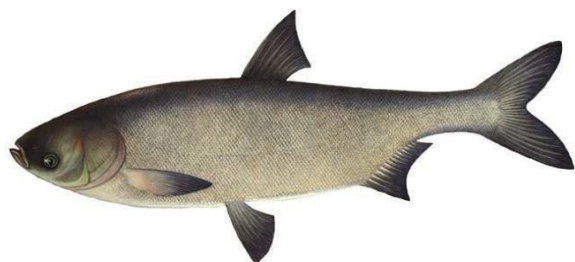


Рис. 16. Товстолобик білий

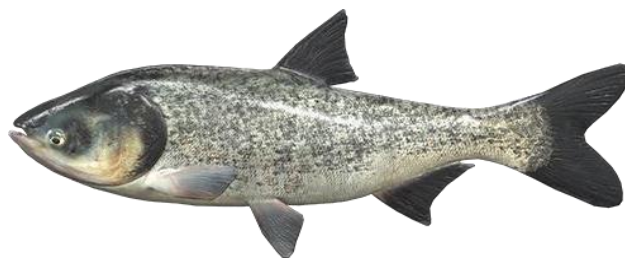


Рис. 17. Товстолобик строкатий

У деяких загиблих риб спостерігалось знебарвлення тіла, а в інших, навпаки, його підвищена пігментація. У більшості випадків у риб відзначалися крововиливи в тканинах і органах. Характер травм багато в чому залежить від розмірів тіла риб. У дрібних риб найбільш сильно ушкоджувався плавальний міхур, а у великих – крім того, спостерігалось порушення покривів тіла, розрив м'язів і перелом хребта. У загиблих риб спостерігаються: рубані рани, пошкодження тулуба, відсутність частин тіла (рис. 18).



Рис. 18. Фото смертельних пошкоджень загиблих риб, які вимушені йти на нерест через греблі ГЕС

В Україні, для перешкодження потрапляння риби у турбіни ГЕС, використовуються варварські електрозагороджувальні пристрої для відлякування риб (рис. 19). В результаті риба отримує електротравми наслідки яких досі не досліджені. Використання електрозагороджувальних пристроїв можливо тільки після проведення додаткових досліджень поведінки риб в електричних полях.

Річки – єдині, комфортні, природні ареали існування представників іхтіофауни річок. Будь-яка зміна природного, гідрологічного режиму річки обов'язково відображається на умовах існування видів, які її населяють. Перетворення річок на суцільний каскад водосховищ із сповільненою течією призводить: до підвищення рівня забруднення води; зміни температурного

режиму; підвищення процесу евтрофікації; замулення русла; зупинення шляхів міграції, знищення природних нерестовищ і кормової бази представників іхтіофауни.



Рис. 19. Електрозагороджувальні пристрої

Проблема міграції іхтіофауни вперше була вирішена в 1909 році бельгійським вченим Г. Денілом, який запропонував конструкцію рибиходу (рис. 20). Перегородки розташовувались таким чином, щоб створювати зворотний потік у стінок і дна, що в свою чергу уповільнює основний потік. Рибихід в такому випадку може бути встановлений на відносно крутому схилі, зазвичай з відношенням висоти до довжини 6/1 і зберігати максимальну швидкість менше 1,21 м/сек. Ці моделі рибиходів ефективно застосовуються в місцях, де мало простору [1, 14, 15].

Для створення нормальних умов міграції представників іхтіофауни у розвинених країнах на ГЕС застосовуються fish-friendly турбіни (рис. 21) і рибиходи (рис. 22).

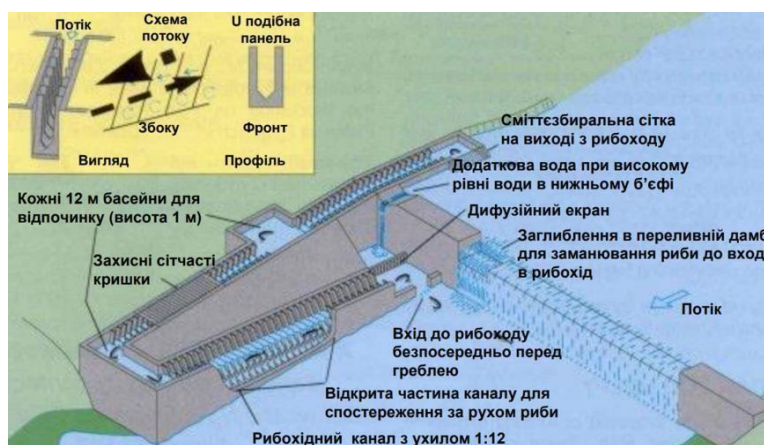


Рис. 20. Конструктивні особливості рибиходу Деніла [1]

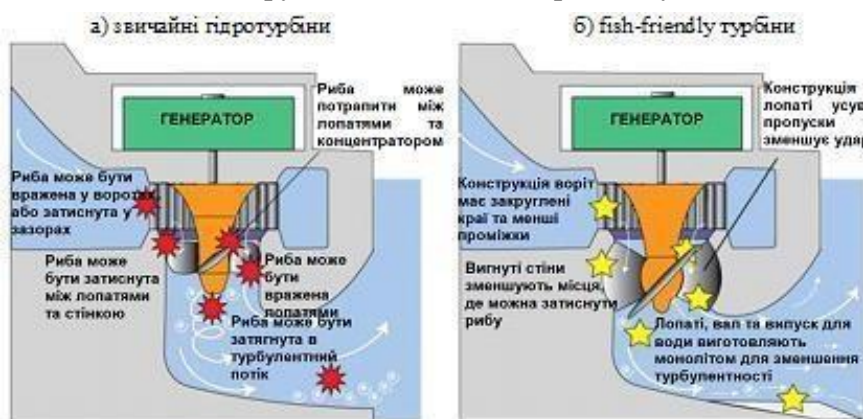


Рис. 21. Конструктивні особливості звичайних гідротурбін та fish-friendly турбін [1]

Загальні наслідки гідротехнічного будівництва можна поділити на такі типи:

- 1) морфометричні – зміна окреслення та протягу берегових ліній, перерозподіл глибин, зміна площі-водного дзеркала;
- 2) гідрофізичні – збільшення та зменшення водності, перерозподіл водного стоку у просторі та часі, зміна швидкості течії, зміна водообміну та терморегіму;

3) гідрохімічні – зміна загальної мінералізації та іонного вмісту, зміна газового (кисневого) режиму, збільшення вмісту органічних та біологічних речовин;

4) токсикоекологічні та радіоекологічні: збільшення вмісту важких металів, пестицидів, радіонуклідів, збільшення індексів біотестів;

5) гідробіологічні та біопродуктивні: зміна флори та фауни, в тому числі зменшення рідкісних, цінних та важливих господарських видів, розвиток шкідливих видів, поява цвітіння води, заростання та заболочення, погіршення умов самоочищення.



Рибохід ГЕС Джон Дей на річці Колумбія
штат Вашингтон в США



Невеликий рибохід на річці Оттер у
Великобританії



Рибохід із відновленим природним рельєфом на річці Рейн у Німеччині

Рис. 22. Рибоходи [1]

Висновки. Всі стаціонарно-деструкційні зміни Південного Бугу і річок України, здійснені заради отримання «дешевого» кіловата електроенергії, у підсумку, призвели до знищення і втрати цінних природних видів іхтіофауни. Під час будівництва малих ГЕС про екологічні наслідки ніхто не думав, тому була допущена низка екологічних помилок, що призвели до катастрофічного збільшення смертності іхтіофауни Південного Бугу. Знищена осетрова іхтіофауна Південного Бугу виявилася живим біоіндикатором, який продемонстрував складність екологічних проблем, які виникли в результаті гідротехнічного будівництва і надмірного господарського використання водних ресурсів. Більшість риб, що зникли з Південного Бугу, – проходні риби, які мешкали в басейні Чорного моря, а на нерест піднімалися «проходили» у річки. Це – білуга, осетер російський, севрюга, стерлядь, осетр шип, синець, чехоня, вирозуб, тараня та ін. Ці риби майже припинили своє існування у річках Південний Буг, Дністер через будівництво дамб ГЕС, які перешкоджали риbam проходити на нерест.

Допущені екологічні помилки у природокористуванні, які призвели до знищення родини осетрових Південного Бугу, потрібно виправити. Екологи і природоохоронці зобов'язані створити умови для відновлення і відродження знищеної іхтіофауни Південного Бугу. Для відновлення

втраченої іхтіофауни Південного Бугу і українських річок необхідно здійснити наступні першочергові заходи:

- 1) провести реконструкцію і будівництво нових ОСК та припинити скид стічних вод без очистки;
- 2) збудувати рибохідні канали і створити умови для міграції прохідних видів риб через греблі ГЕС;
- 3) розчистити замулені водосховища і русла річок, та облаштувати нерестовища для прохідних видів риб;
- 4) заборонити використання на ГЕС електрозагороджувальних пристроїв, які завдають електротравми личинкам і молоді риб;
- 5) замінити звичайні гідротурбіни ГЕС та fish-friendly турбіни;
- 6) провести інвентаризацію об'єктів інфраструктури в зоні санітарної охорони водного об'єкта і досягнути виконання вимог водного кодексу України;
- 7) збільшити кількість штучно вирощуваного малька цінних порід риб і зарибнити чисті водойми.

Література

- 1 Вовчак В., Тесленко О., Самченко О. Мала гідроенергетика України. Аналітичний огляд. Том II / Інститут проблем екології та енергозбереження Київ. 2018. 181 с.
- 2 <http://vlasno.info/spetsproekti/2/ecology/item/6279-na-vinnychchyni-pivdennyi-buh-tsvite-i-pakhne>
- 3 3 Pivdenny Bug River Basin Management Plan: River Basin Analysis and Actions / Eds.: S. Afanasyev, A. Peters, V. Stashuk, O. Iarochvitch
- 4 <https://buvrpb.davt.gov.ua/vodni-resursy/hidrografichna-merezha>
- 5 Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2019 році.
- 6 <https://www.adm-km.gov.ua/wp-content/uploads/2021/05/Науково-біологічне-обґрунтування-1.pdf>
- 7 <http://wiki.kubg.edu.ua/Білуґа>
- 8 Червона книга України. Тваринний світ. / Під загальною ред. чл. - кор. І.А. Акімова. – К.: Глобалконсалтинг, 2009. – 600 с.
- 9 Л. С. Берг. Риби прісних вод СРСР і суміжних країн. 4-е изд. Ч. 1. - М.-Л.: Изд-во АН СРСР, 1948. - 466 с. (Визначники по фауні СРСР, вип. 27).
- 10 Мовчан Ю. В. Риби України. – К., 2011. 444 с.
- 11 Павлов П. Й. Фауна України. Т.8. Риби. Вип.1. – К.: Наукова думка, 1980. 352 с.
- 12 Середнє Побужжя / За ред. Г. І. Денисика. Вінниця: Гіпаніс, 2002. 280 с.
- 13 Залуми С. Г. Изменения в ихтиофауне низовьев Днепра и Днепро-Бугского лимана в связи с гидростроительством // Вестн. зоологии. – 1967. – С. 66–69.
- 14 Наукова еколого-експертна оцінка проектів малих ГЕС в Івано-Франківській області / Я. О. Адаменко, Л. М. Архипова, С. В. Пернеровська // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. - 2013. - № 2. - С. 26-31. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ebzp_2013_2_6
- 15 Fish Friendly Technology. <https://sites.google.com/site/betasaveourdams/fish-friendly-technology>
- 16 Гарсія Е., Васильківський І. Втрачена іхтіофауна Південного Бугу в результаті будівництва малих ГЕС // Вплив виробництва, передачі, розподілу та використання електроенергії на навколишнє середовище: збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції (Івано-Франківськ, 24-25 листопада 2022 р.) / за заг. ред. проф. Я.О. Адаменка. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2022. – С. 103-107. - Режим доступу: <https://nung.edu.ua/sites/default/files/2022-12/Abstracts%20of%20the%20conference%200022.pdf>

**Garcia Camacho Hernan Ullianodt,
I. Vasylykivskyi**
Vinnytsia National Technical University

DESTRUCTION OF THE ICHTHIOFAUNA OF THE SOUTHERN BUG AS A RESULT OF THE CONSTRUCTION OF SMALL HYDROPOWER

The work is devoted to solving the environmental problems of the Southern Bug, which arose as a result of the construction and operation of hydroelectric power plants and the search for ways to restore and preserve the lost ichthyofauna.

It was established that decades of economic exploitation of the water resources of the Southern Bug basin had a devastating effect on the biodiversity of ichthyofauna. Many valuable species were destroyed.

The beginning of the degradation of the Southern Bug was the massive construction of hydroelectric power stations, which turned out to be a huge permanent and destructive pollution. The Southern Bug turned into a cascade of stagnant watercourses, which completely changed and worsened the conditions for the existence of ichthyofauna species and led to their subsequent disappearance.

The construction of hydroelectric power plants had a strong structural and operational impact on the river ecosystem of the Southern Bug and led to the violation of fundamental environmental laws: Yu. Liebig's law of the minimum, according to which the relative effect of a separate environmental factor will be stronger, the greater this factor is compared to other environmental factors, will approach its quantitative minimum; Shelford's law of tolerance, according to which the presence or prosperity of a population of any organisms in a given location depends on a complex of environmental factors, to each of which there is a certain range of tolerance (endurance) in the organism; the feedback law of the interaction between man and the biosphere, first formulated by P. Dansero, according to which any change in the natural environment caused by human economic activity "comes back" and has undesirable consequences that affect the economy, social life and health of people.

The processes of destruction of the Southern Bug due to huge regulation and significant pollution continue, which negatively affects its inhabitants, in particular, new representatives of ichthyofauna are added to the category of endangered and disappeared.

A number of priority environmental protection measures are proposed, which will help stop the process of final destruction of the Southern Bug, restore its water resources, and reproduce the lost ichthyofauna.

Key words - Southern Bug, hydroelectric power station, ichthyofauna, sturgeon family, environmental protection measures.

References

- 1 Vovchak V., Teslenko O., Samchenko O. Mala hidroenerhetyka Ukrainy. Analichnyi ohliad. Tom II / Instytut problem ekolohii ta enerhozberezhennia Kyiv. 2018. 181 s.
- 2 <http://vlasno.info/spetsproekti/2/ecology/item/6279-na-vinnychchyni-pivdennyi-buh-tsvite-i-pakhne>
- 3 Pivdenny Bug River Basin Management Plan: River Basin Analysis and Actions / Eds.: S. Afanasuev, A. Peters, V. Stashuk, O. Iarochevitch
- 4 <https://buvrpb.davr.gov.ua/vodni-resursy/hidrografichna-merezha>
- 5 Natsionalna dopovid pro yakist pytnoi vody ta stan pytnoho vodopostachannia v Ukraini u 2019 rotsi.
- 6 <https://www.adm-km.gov.ua/wp-content/uploads/2021/05/Naukovo-biologichne-obhruntuvannia-1.pdf>
- 7 <http://wiki.kubg.edu.ua/Biluha>
- 8 Chervona knyha Ukrainy. Tvarynni svit. / Pid zahalnoi red. chl. - kor. I.A. Akimova. – K.: Hlobalkonsaltnykh, 2009. – 600 s.
- 9 L. S. Berh. Ryby prisnykh vod SRSR i sumizhnykh krain. 4-e yzd. Ch. 1. - M.-L.: Yzd-vo AN SRSR, 1948. - 466 s. (Vyznachnyky po fauni SRSR, vyp. 27)
- 10 Movchan Yu. V. Ryby Ukrainy. – K., 2011. 444 s.
- 11 Pavlov P. Y. Fauna Ukrainy. T.8. Ryby. Vyp.1. – K.: Naukova dumka, 1980. 352 s.
- 12 Serednie Pobuzhzhia / Za red. H. I. Denysyuka. Vinnytsia: Hipanis, 2002. 280 s.
- 13 Zalumi S. G. Izmeneniya v ihtiofaune nizov'ev Dnepra i Dneprovsko-Bugskogo limana v svyazi s gidrostroytel'stvom // Vestn. zoologii. – 1967. – S. 66–69.

14 Naukova ekoloho-ekspertna otsinka proektiv malykh HES v Ivano-Frankivskii oblasti / Ya. O. Adamenko, L. M. Arkhypova, S. V. Pernerovska // Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannia. - 2013. - № 2. - S. 26-31. - Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ebzp_2013_2_6

15 Fish Friendly Technology. <https://sites.google.com/site/betasaveourdams/fish-friendly-technology>

16 Harsiia E., Vasylykivskyi I. Vtrachena ikhtiofauna Pivdennoho Buhu v pezultati budivnytstva malykh HES // Vplyv vyrobnytstva, peredachi, rozpodilu ta vykorystannia elektroenerhii na navkolyshnie seredovyshche: zbirnyk materialiv Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (Ivano-Frankivsk, 24-25 lystopada 2022 r.) / za zah. red. prof. Ya.O. Adamenka. – Ivano-Frankivsk: IFNTUNH, 2022. – S. 103-107. - Rezhym dostupu: <https://nuing.edu.ua/sites/default/files/2022-12/Abstracts%20of%20the%20conference%200022.pdf>

О. М. Хоменко, О. О. Мислюк, О. В. Єгорова
Черкаський державний технологічний університет

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ГАЛУЗІ НА СТАН ДОВКІЛЛЯ ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Роботу присвячено дослідженню впливу вугільних теплових електростанцій на стан довкілля. Проведено короткий аналіз наукових праць, присвячених дослідженню впливу теплових електростанцій на довкілля. Аналіз публікацій свідчить, що негативний вплив ТЕЦ на стан довкілля є досить складним, оскільки включає як забруднення атмосферного повітря газовими й аерозольними викидами, так і викиди теплової енергії в навколишнє середовище та забруднення ґрунту. Проаналізовано обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря Черкаської області підприємствами постачання електроенергії та динаміку комплексного індексу забруднення атмосфери, який показав, що за останні роки спостерігається тенденція стрімкого росту цього показника. За допомогою моделі картографічного зонування території міста за показником сумарного екологічного навантаження, який є індикатором аеротехногенного забруднення ландшафтів, виконане з використанням програмного пакету SURFER, визначено, що місто зазнає значного аерогенного навантаження, розповсюдження аеротехногенного забруднення від південної промислової агломерації сягає значної відстані і за радіусом дії охоплює всю територію міста. Дослідження оцінки ризику здоров'ю населення за середньорічними показниками за хронічного впливу забруднення атмосфери, показало, що величина популяційного ризику в 12,4 рази перевищує граничне значення. Загальний не канцерогенний ризик становить 7,75 (існує ризик розвитку несприятливих ефектів у більшій частини населення). Найбільший вплив зазнають органи дихання ($HQ=7,42$) та імунна система ($HQ=2,67$).

Ключові слова: атмосферне повітря, енергетична галузь, теплові електростанції, забруднюючі речовини, індекс забруднення атмосфери, аеротехногенне забруднення.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Енергетична галузь є однією з основних джерел забруднення повітряного басейну викидами, що надходять до атмосферного повітря від роботи паливовикористовуючого обладнання. Основними наслідками екологічного впливу електроенергетичних об'єктів на довкілля в першу чергу є забруднення атмосферного повітря шкідливими речовинами, зокрема діоксидом сульфуру, оксидами нітрогену, твердими частками і важкими металами. Викиди парникових газів, що включають вуглекислий газ, метан та оксид нітрогену, сприяють глобальним змінам клімату.

Однією із фундаментальних ланок забезпечення України електроенергією є теплові електростанції (ТЕЦ), що виробляють близько 60 – 70 % електричної енергії. Проте діяльність ТЕЦ негативно впливає на всі компоненти довкілля, зокрема атмосферне повітря, водні ресурси та ґрунти. Негативний вплив ТЕЦ на стан довкілля є досить складним, оскільки включає як забруднення атмосферного повітря газовими й аерозольними викидами, так і викиди теплової енергії в навколишнє середовище та забруднення ґрунтових вод. ТЕЦ викидають у атмосферу близько 30% загального обсягу всіх забруднюючих речовин від промислових підприємств різних галузей народного господарства, що в свою чергу порушують рівновагу природного середовища як в локальному та регіональному, так і глобальному масштабах. В зв'язку з цим проблеми досліджень впливу ТЕЦ як на стан навколишнього природного середовища так і стан захворюваності населення, є досить актуальними.

Аналіз досліджень і публікацій. В роботах [1, 2] вказано, що більша частка електроенергії (понад 70%) виробляється на теплових електростанціях саме за рахунок спалювання викопного органічного палива, причому в останні роки як в Україні, так і в усьому світі, прослідковується стійка тенденція до збільшення використання в теплоенергетиці частки вугілля з низькою його якістю. Авторами робіт [3, 4] доведено, що використання такого вугілля для потреб енергетики при умові низької ефективності роботи електрофільтрів на ТЕЦ, призводить до значних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря. В роботі [5] авторами розроблено модель впливу теплової електростанції на якість повітря в регіональному масштабі, де серед основних забруднювачів виділено NO_x . В роботі [6] досліджено вплив вугільних ТЕЦ на регіон енергетичної столиці Індії – Сінграул. За допомогою супутникових даних вченими було проаналізовано варіації забруднювачів атмосфери, побудовано мультиплікативну модель та з

використанням лінійної регресії спрогнозовано максимальні концентрації діоксидів карбону, нітрогену, сульфуру та метану на період до 2025 року [6]. Також проведено дослідження геоаккумуляційного індексу наявності різних забруднювачів у ґрунті даного регіону, за результатами яких показано, що ґрунт поблизу ТЕЦ є значно забрудненим важкими металами та становить загрозу для населення, що проживає в регіоні, що корелює з проведеними раніше нами результатами експериментальних досліджень [7]. Автори [8], досліджуючи первинні та вторинні газоподібні аерозольні забруднюючі речовини, що утворюються в результаті діяльності ТЕЦ, встановили, що вугільні теплові електростанції є джерелом викиду значної кількості сірчистих сполук, які за рахунок хімічної взаємодії з іншими домішками повітря, здатні змінювати окислювальну здатність атмосфери, її хімічний склад і властивості, що призводить до прискореного утворення туману та інші наслідків забруднення повітря. Дослідниками проведено дисперсійне моделювання та представлено прямий зв'язок впливу викидів SO_2 на здоров'я людини та на стан довкілля.

Проблеми екологічних аспектів функціонування Черкаської ТЕЦ розглянуто нами в роботі [9], в якій проведено аналіз ефективності роботи пилоочисного обладнання ТЕЦ – одного з основних джерел аеротехногенного забруднення міста важкими металами та доведено його низьку ступінь очистки газів. В подальшому нами в роботі [10] вперше з використанням програмного пакету SURFER проведено картографічне зонування території міста Черкаси за кислотністю ґрунтів, що дозволило виявити локальні зони забруднення на території міста в прив'язці до техногенних об'єктів, зокрема Черкаської ТЕЦ ПрАТ «Черкаське хімволокно». Тому проблема подальших досліджень впливу Черкаської ТЕЦ ПрАТ «Черкаське хімволокно», як однієї із найбільших виробників електроенергії м. Черкаси, на стан довкілля, та виявлення кореляції викидів ТЕЦ із структурою захворюваності населення міста, є актуальною.

Постановка завдання. Збільшення частки вугільних теплоелектростанцій у системі енергозабезпечення України з одночасним погіршенням якості викопного органічного палива, яке використовується в енергетичній галузі, використання застарілого, неефективного обладнання і технологій, збільшує кількість поллютантів, що надходять в усі геосфери, та дестабілізує стан навколишнього середовища. Тому завданням роботи є проведення аналізу впливу діяльності Черкаської ТЕЦ ПрАТ «Черкаське хімволокно» на стан довкілля, створення моделі картографічного зонування території міста за показником сумарного екологічного навантаження з використанням програмного пакету SURFER та оцінка ризику здоров'ю населення за середньорічними показниками за хронічного впливу забруднення атмосфери.

Виклад основного матеріалу. Місто Черкаси з розвинутою хімічною та машинобудівною промисловістю посідає значне місце серед інших міст України, для яких проблема забруднення довкілля є досить актуальною. До основних факторів, що впливають на формування несприятливої екологічної ситуації в місті, можна віднести високу освоєність території, розвиток галузей народного господарства, що спричиняють значний антропогенний тиск на довкілля, інтенсивний процес урбанізації та несприятливі природні умови регіону щодо розсіювання домішок [9].

У попередніх роботах [7, 10-12] нами обґрунтовано, що в комплексі антропогенних чинників, які сприяють надходженню важких металів до урболандшафтів м. Черкаси, важливе місце за ступенем впливу на довкілля, посідає техногенне забруднення атмосфери викидами ТЕЦ (75% загальної кількості важких металів, що надходять від стаціонарних джерел, а за викидами Pb, Cu, та Zn частка ТЕЦ складає 85%).

Черкаська ТЕЦ ПрАТ «Черкаське хімволокно» та Канівська ГЕС відносяться до основних постачальників електричної енергії в Черкаській області, якими вироблено в 2021 році 796,3 млн кВт·год та 573,2 млн кВт·год відповідно. Найбільш потужними забруднювачами атмосферного повітря серед електроенергетичних об'єктів є теплові електростанції на органічному паливі, до яких відноситься Черкаська ТЕЦ.

Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря Черкаської області за видами економічної діяльності наведено в табл. 1.

Отже, згідно даних табл.1 обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря Черкаської області підприємствами постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря у 2021 році склали 17,7 тис. т, що становить 37,2 % від загального обсягу викидів від стаціонарних джерел області. З них валовий викид забруднюючих речовин в атмосферне повітря

від Черкаська ТЕЦ ПрАТ «Черкаське хімволокно» у 2021 році становив 16,386 тис. т, що складає 92,5 % від загального обсягу викидів підприємств енергетичної галузі області [13].

Таблиця 1

Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря Черкаської області за видами економічної діяльності (2021 р.)

Види економічної діяльності	Обсяги викидів по регіону	
	тис. т	у % до підсумку
Усі види економічної діяльності, у тому числі:	47,6	100
сільське, лісове та рибне господарство	10,3	21,6
добувна промисловість і розроблення кар'єрів	0,4	0,8
переробна промисловість	13,6	28,6
постачання електроенергії, газу, пари та кондиціонування повітря	17,7	37,2
будівництво	0,04	0,1
оптова та роздрібна торгівля, ремонт автотранспортних засобів і мотоциклів	0,3	0,6
транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність	1,2	2,5
державне управління й оборона; обов'язкове соціальне страхування	0,1	0,2
інші	3,96	8,4

Черкаська ТЕЦ розташована у південно-східній частині міста у промисловій зоні, на території 68 га колишнього заводу хімічних волокон. На ТЕЦ встановлено 14 котельних агрегатів (9 силових та 5 водогрійних), що об'єднані в технологічні блоки. Причому 9 котлоагрегатів розподілені на двох чергах, а саме 4 котли - на першій черзі та 5 - на другій, кожна з яких має окремо свою димову трубу заввишки по 180 м. Перша черга ТЕЦ була призначена для покриття теплових і електричних навантажень підприємства «Черкаське хімволокно» й була запрограмована і побудована по традиційній схемі з використанням традиційного обладнання: 4 енергетичні газові котли і турбіни – конденсаційна (з промисловим і теплофікаційним відборами) і турбіна з протитиском. На початку 21 сторіччя котли переобладнані таким чином, що за необхідністю можуть працювати на природному газі, вугіллі й на мазуті. Друга черга будувалась для реалізації задач не тільки тепло- і енергозабезпечення міста, але й для збагачення леткої золи сполуками германію для наступного промислового вилучення їх із золи і переробкою в германій, що використовується в напівпровідниковій техніці. З метою реалізації цієї мети використано схему спалювання твердого палива в циклонних передтопках котлів БКЗ-220-100ГЦ. Для очищення димових газів діють 15 установок, основні з яких включають труби Вентурі та мультициклони. З 2006 року Черкаська ТЕЦ практично відмовилась від використання природного газу, здійснивши перехід на використання кам'яного вугілля, що сприяло збільшенню викидів забруднюючих речовин в атмосферу [13, 14]. Рівні викидів пилу, NO_x, SO₂ не відповідають вимогам як українського законодавства так і вимогам ЄС.

В табл. 2 наведено дані по викидам забруднюючих речовин в атмосферне повітря області від основних підприємств - забруднювачів атмосферного повітря, серед яких Черкаська ТЕЦ посідає перше місце (частка викидів становить 34,4 % від загального обсягу викидів основних підприємств Черкаської області).

Таблиця 2

Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від основних підприємств – забруднювачів Черкаської області (2021 р.)

Назва підприємства	Частка викидів від загального обсягу викидів по області, %	Викиди забруднюючих речовин, тис. т
Черкаська ТЕЦ ПрАТ «Черкаське хімволокно»	34,4	16,386
ПрАТ «Миронівська птахофабрика»	13,7	6,532
ПрАТ «Азот» м. Черкаси	7,4	3,537
Інші	44,5	21,196

Найбільш вагомими серед викидів забруднюючих речовин і парникових газів до атмосферного повітря при роботі теплових електростанцій, що спалюють органічне паливо, є викиди оксидів сульфуру, нітрогену, карбону і важких металів, зокрема миш'яку, кадмію, хрому,

міді, ртуті, нікелю, свинцю, селену, цинку та в разі використання мазуту – ванадію). Менш вагомими є викиди неметанових летких органічних сполук, метану CH_4 , оксиду нітрогену N_2O , оксиду карбону CO й аміаку NH_3 .

ПАТ «Черкаське хімволокно» (Черкаська ТЕЦ) за підсумками 2018 року потрапило до списку «Топ-20 забруднювачів повітря», який склало Міністерство енергетики та захисту довкілля України, <https://mepr.gov.ua/news/34251.html>. За результатами перевірок Державної екологічної інспекції України протягом 2019 – 2020 року ПАТ «Черкаське хімволокно» увійшло в сотню підприємств, які найбільше забруднюють атмосферне повітря України (табл. 3).

Таблиця 3

Валові викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря ПАТ «Черкаське хімволокно»

Підприємство-забруднювач	Вид економічної діяльності	Валовий викид, т.		Зменшення/-збільшення/+	Причина зменшення/збільшення
		2021 р.	2020 р.		
ПАТ «Черкаське хімволокно»	Постачання електроенергії, газу, пари та кондиціювання повітря (виробництво електроенергії)	16385,7	13892,7	+2493,0	збільшення використання вугілля

В 2021 р. індекс забруднення атмосфери (ІЗА) міста Черкаси, для розрахунку якого використовувались 5 найбільш пріоритетних домішок, таких як пил (3 клас небезпеки), діоксид нітрогену (3 клас небезпеки), аміак (4 клас небезпеки), формальдегід (2 клас небезпеки) та оксид нітрогену (3 клас небезпеки)) становив 7,36, що вважається високим рівнем забруднення атмосферного повітря (при ІЗА від 7 до 13). ПАТ «Черкаське хімволокно» (Черкаська ТЕЦ) вносить значний вклад у надходження в атмосферу міста таких викидів забруднюючих речовин як діоксиду нітрогену, оксиду нітрогену та аміаку.

Аналіз динаміки комплексного індексу забруднення атмосфери (рис. 1) показав, що за останні роки спостерігається тенденція стрімкого росту цього показника.

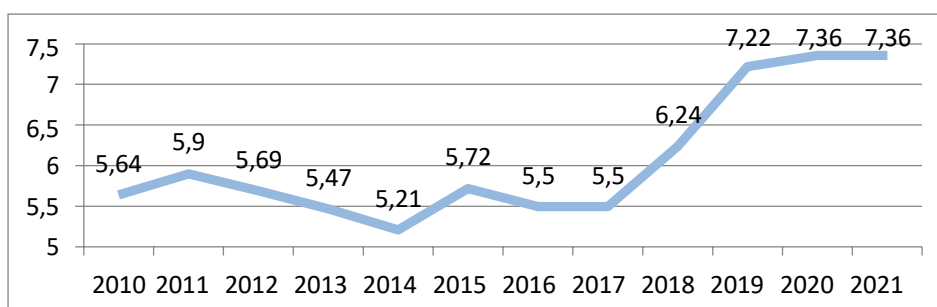


Рис.1. Динаміка зміни показника ІЗА м. Черкаси за 2010-2021 рр.

Слід відзначити, що м. Черкаси за цим показником посіло 11 позицію серед найбільш забруднених міст України, серед яких Кривий Ріг, Одеса, Київ, Миколаїв, Херсон, Запоріжжя, Краматорськ, Вінниця (рис. 2). Більшість міст з дуже високим та високим рівнем забруднення атмосферного повітря знаходиться у Дніпропетровській та у Донецькій областях, а інші міста – це шість обласних центрів та столиця України.

Також аналіз даних рис.3 підтверджує високий рівень забруднення атмосферного повітря міста Черкаси.

Тенденція зміни середнього рівня забруднення атмосферного повітря за останні 5 років характеризувалася збільшенням концентрацій по діоксиду та оксиду азоту, аміаку та формальдегіду.

Іншим компонентом довкілля, який зазнає вагомого впливу від діяльності Черкаської ТЕЦ, є ґрунти м. Черкаси. Аеротехногенне забруднення призводить до трансформації фізико-хімічних властивостей урболандшафтів (залуження ґрунту (рис. 4), несприятливих окисно-відновних та буферних властивостей, порушення оптимального співвідношення кальцію і магнію у ґрунтового-вбирному комплексі, порушенні функціонування біогеоценозів [15, 16].

При аналізі кислотно-основних властивостей ґрунтів використано сучасні засоби та методи аналізу інформації із застосуванням ГІС-технологій. Програмний пакет SURFER використано з метою виявлення просторових закономірностей формування зон залуження урбоземів м Черкаси.

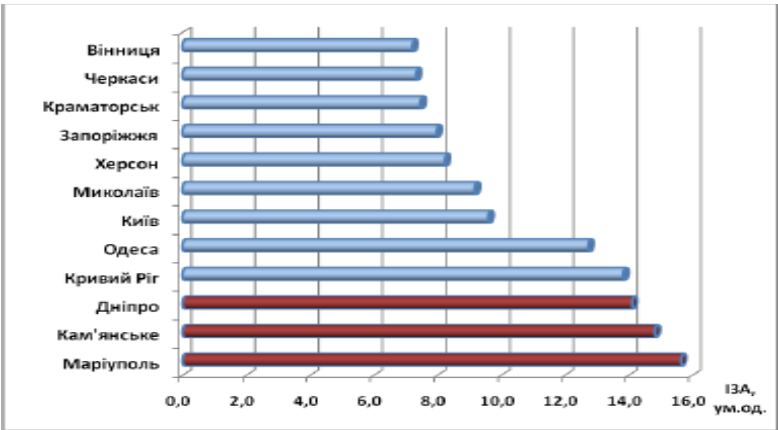


Рис. 2. Значення індексу забруднення атмосфери (ІЗА) в найбільш забруднених містах України



Рис. 3. Карта рівнів забруднення атмосферного повітря міст України

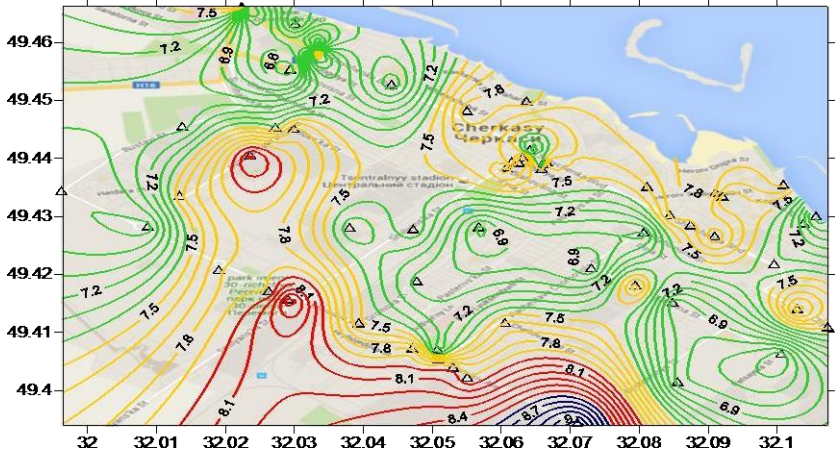


Рис. 4. Карта кислотності (рНвод.) ґрунтів м. Черкаси

Зони сильної токсичності ґрунтів (рНвод>8,5) на карті зображені синім кольором, середньої (рНвод=8,0-8,5) – червоним кольором та відносяться до промислової зони південного промислового вузла міста, де знаходиться Черкаська ТЕЦ ПрАТ «Черкаське хімволокно».

Картографічне зонування території міста (рис. 5) за показником сумарного екологічного навантаження, який є індикатором аеротехногенного забруднення ландшафтів, виконане з використанням програмного пакету SURFER, свідчить, що місто зазнає значного аерогенного навантаження, розповсюдження аеротехногенного забруднення від південної промислової агломерації сягає значної відстані і за радіусом дії охоплює всю територію міста. На основі проведених нами досліджень, за показником сумарного екологічного навантаження 21 % території

міста характеризується як сильно забруднена ($100 \text{ т/км}^2 \cdot \text{рік} < N_{\text{сум.}} < 200 \text{ т/км}^2 \cdot \text{рік}$), 4% території – з перевищенням гранично допустимого навантаження ($N_{\text{сум.}} > 200 \text{ т/км}^2 \cdot \text{рік}$) (рис. 5).

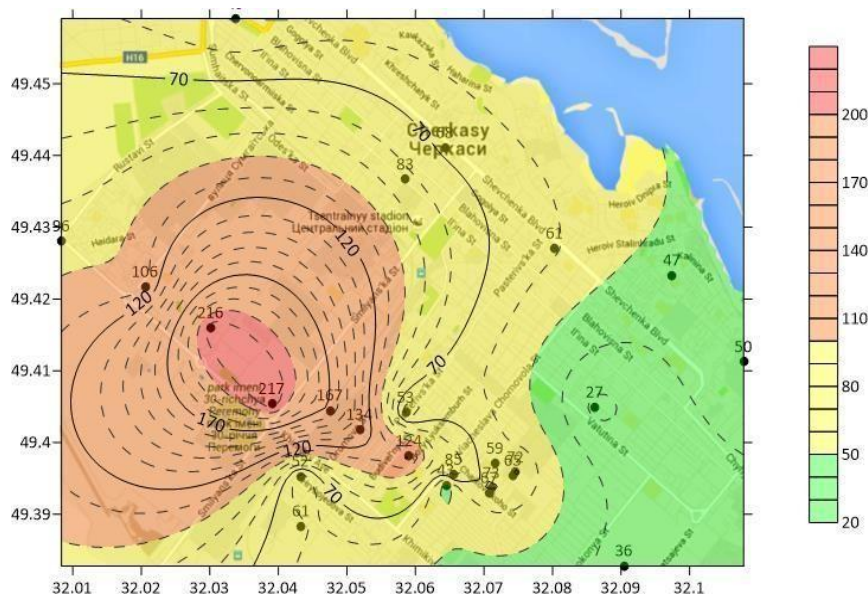


Рис. 5. Аеротехногенне забруднення міста Черкаси за показником сумарного екологічного навантаження, $\text{т/км}^2 \cdot \text{рік}$

Пріоритетними забруднюючими домішками у випаданнях є сульфат-іони (в якості палива на Черкаській ТЕЦ використовується як природний газ, так і вугілля), на другому місці знаходяться гідрокарбонат-, на третьому – нітрат-іони і зважені частинки (табл. 4).

Таблиця 4

Екологічне навантаження по забруднюючим речовинам

Реперні точки	SO_4^{2-}		NO_3^-		HCO_3^-		Cl^-		тверді частинки		Сумарне екологічне навантаження, $N_{\text{сум.}}$, $\text{т/км}^2 \cdot \text{рік}$	Відносне сумарне екологічне навантаження, $A_{\text{сум.}}$
	N , $\text{т/км}^2 \cdot \text{рік}$	A	N , $\text{т/км}^2 \cdot \text{рік}$	A	N , $\text{т/км}^2 \cdot \text{рік}$	A	N , $\text{т/км}^2 \cdot \text{рік}$	A	N , $\text{т/км}^2 \cdot \text{рік}$	A		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	9,9	3,8	1,3	6,5	15,3	21,9	4,9	2,9	4,7	2,0	36,1	4,8
2	19,4	7,5	1,0	5,0	6,1	8,7	4,9	2,9	7,5	3,1	38,9	5,1
3	20,7	8,0	1,4	7,0	8,2	11,7	2,4	1,4	6,0	2,5	38,7	5,1
4	19,4	7,5	1,6	8,0	7,3	10,4	4,4	2,6	4,4	1,8	37,1	4,9
5	6,3	1,7	0,9	4,5	12,3	17,6	4,0	2,4	3,2	1,3	26,7	3,5
6	24,0	9,2	0,9	4,5	7,7	11,0	5,3	3,1	23,9	10,0	61,8	8,1
7	45,3	17,4	1,2	6,0	2,4	3,4	4,2	2,5	5,9	2,5	59,0	7,8
8	46,5	17,9	2,1	10,5	3,0	4,3	3,5	2,1	18,2	7,6	73,3	9,6
9	48,3	18,6	2,0	10,0	2,9	4,1	3,5	2,1	10,9	4,5	67,6	8,9
10	50,7	19,5	1,7	8,5	2,3	3,3	3,7	2,2	7,4	3,1	65,8	8,7
11	50,7	19,5	2,2	11,0	3,8	5,4	4,2	2,5	11,5	4,8	72,4	9,5
12	25,2	9,7	1,3	6,5	7,6	10,9	3,1	1,8	5,9	2,5	43,1	5,7
13	74,1	28,5	0,8	4,0	2,0	2,9	2,3	1,4	6,4	2,7	85,6	11,3
14	108,0	41,5	0,7	3,5	1,8	2,6	2,3	1,4	11,8	4,9	124,6	16,4
15	116,5	44,8	0,8	4,0	2,1	3,0	4,1	2,4	10,9	4,5	134,4	17,7
16	153,0	58,8	0,9	4,5	2,3	3,3	2,7	1,6	9,6	4,0	167,5	22,0
17	204,4	78,6	0,9	4,5	2,4	3,4	2,8	1,6	6,7	2,8	217,2	28,6
18	174,6	67,2	1,2	6,0	14,9	21,3	4,2	2,5	21,2	8,8	216,1	28,5

Продовження табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
19	68,1	26,2	1,0	5,0	11,2	16,0	5,5	3,2	20,2	8,4	106,0	13,9
20	58,8	22,6	0,9	4,5	12,6	18,0	4,4	3,5	19,3	8,0	96,0	12,6
21	29,7	11,4	1,0	5,0	8,5	26,4	5,9	3,5	8,0	3,3	53,1	7,0
22	12,0	4,6	1,2	6,0	4,6	6,6	4,4	2,6	4,5	1,9	26,7	3,5
23	16,8	6,5	1,5	7,5	11,6	16,6	3,7	2,2	16,4	6,8	50,0	6,6
24	16,2	6,2	1,0	5,0	3,9	5,6	6,6	3,9	20,2	8,4	47,9	6,3
25	28,8	11,1	1,1	5,5	5,0	7,0	4,6	2,7	12,8	5,3	52,3	6,9
26	15,6	6,0	1,3	6,5	7,8	11,1	5,9	3,5	31,2	13,0	61,8	8,1
27	23,4	9,0	1,4	7,0	16,9	24,1	7,5	4,4	34,1	14,2	83,3	11,0
28	16,5	6,3	1,2	6,0	10,9	15,6	6,2	3,6	33,4	13,9	68,2	9,0
29	25,5	9,8	1,0	5,0	3,1	4,4	3,1	1,8	16,7	7,0	49,4	5,2
фон	2,6		0,2		0,7		1,7		2,4		7,6	

Згідно розроблених Об'єднаною національною екологічною комісією Європи рівні критичних навантажень [17], що впливають на рослинність і водні екосистеми (табл. 5), за сполуками сульфуру екологічне навантаження відповідає екологічному лиху, за сполуками нітрогену спостерігається перевищення норми у 2,2-6,9 разів.

Таблиця 5

Критичні навантаження по речовинам, що впливають на рослинність і водні екосистеми, т/км²·рік

Показники	Екологічне лихо	Надзвичайна екологічна ситуація	Норма
Сполуки Сульфуру	> 5	3-5	<0,32
Сполуки Нітрогену	> 4	2-4	<0,28

Найбільше екологічне навантаження спостерігається по сульфатам за пануючими напрямками вітрів на відстані 2000 м від санітарно-захисної зони (СЗЗ) ТЕЦ – 204,4т/км²·рік, що в 78,6 разів більше за фонове, далі навантаження зменшується, але навіть на відстані 6000 м від СЗЗ ТЕЦ воно в 22,6 рази перевищує фонове.

Викиди забруднюючих речовин від Черкаська ТЕЦ ПрАТ «Черкаське хімволокно», а саме SO₂, NO_x, CO, негативно впливають не лише на стан довкілля області, а й на стан захворюваності населення, зокрема хвороби органів дихання, що корелює із даними, що наведено на рис.6.

Структуру загальної захворюваності дорослого населення Черкаської області за 2020 рік представлено на рис.6.

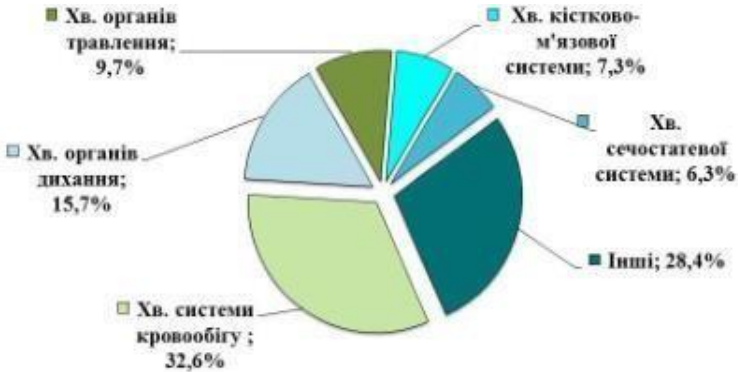


Рис. 6. Структура загальної захворюваності дорослого населення Черкаської області у 2020 році

У рейтингу загальної захворюваності населення області хвороби органів дихання займають друге місце [18]. Дослідження оцінки ризику здоров'ю населення за середньорічними показниками за хронічного впливу забруднення атмосфери, проведене за методикою [19], показало, що величина індивідуального канцерогенного ризику для здоров'я населення м. Черкаси, який може спричиняти формальдегід, буде складати ($R=4,6 \cdot 10^{-5}$) – припустимий. Величина популяційного ризику в 12,4 рази перевищує граничне значення. Загальний не канцерогенний ризик (табл. 6) становить 7,75 (існує ризик розвитку несприятливих ефектів у

більшої частини населення). Найбільший вплив зазнають органи дихання ($HQ=7,42$) та імунна система ($HQ=2,67$). Пріоритетними поллютантами є формальдегід і пил (табл.7).

Таблиця 6

Оцінка не канцерогенного ризику

Речовина	Концентрація, мг/м ³	RfD, мг/кг	HQ	Орган/система
Пил	0,1	0,05	2,00	органи дихання
Діоксид сульфуру SO ₂	0,012	0,08	0,15	органи дихання
Оксид карбону CO	1,0	3	0,33	ЦНС, кров, серцево-судинна система
Сірководень H ₂ S	0,001	0,001	1,00	органи дихання
Оксид нітрогену NO _x	0,04	0,04	1,00	органи дихання
Аміак NH ₃	0,06	0,1	0,60	органи дихання
Формальдегід	0,00800	0,003	2,67	органи дихання, імунна система
Сумарний ризик		HI загальний	7,75	
		HI органи дихання	7,42	
		HI імун	2,67	
		HI кров	0,33	
		HI цнс	0,33	
		HI серцево-судинна	0,33	

Таблиця 7

Ранжування речовин за рівнем небезпеки

Речовина	HQ	Рівень небезпеки
Формальдегід	2,67	Середній (неприпустимий для населення, існує ризик розвитку шкідливих ефектів в особливо чутливих підгруп населення)
Пил	2,00	
Оксид нітрогену NO _x	1,00	
Сірководень H ₂ S	1,00	
Аміак NH ₃	0,60	Низький (ризик виникнення шкідливих ефектів є зневажливо малим)
Оксид карбону CO	0,33	
Діоксид сульфуру SO ₂	0,15	

За даними проведених результатів розрахунку побудовано діаграму ранжування забруднюючих речовин за рівнем небезпеки (рис.7).

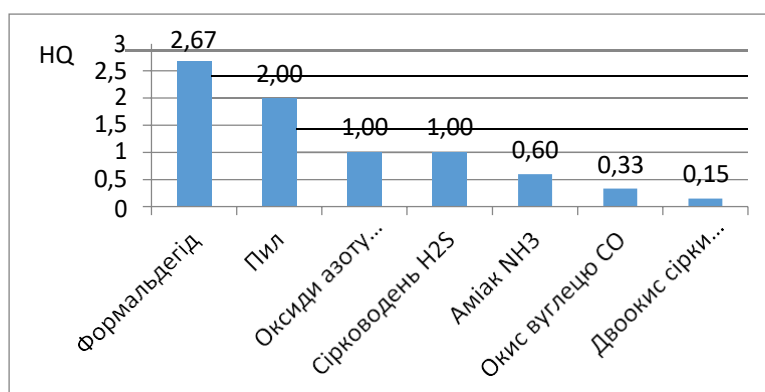


Рис. 7. Ранжування речовин за рівнем небезпеки

Зменшенню антропогенного навантаження на навколишнє природне середовище сприятимуть саме розширення обсягів використання нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії, до яких відноситься вітрова, сонячна енергія та біопаливо, зокрема для опалення та постачання теплої води і виробництва електроенергії. Необхідний розвиток сучасних

енергетичних технологій, пов'язаних так званою «малою» децентралізованою генерацією, ставить перед сучасним суспільством новий виклик. Частка відновлювальної енергетики в Україні у загальному балансі виробництва електричної енергії хоча і зросла за останній рік на 25%, але досягає лише 1,23% в загальному обсязі виробництва [20, 21]. Тому особливу увагу слід приділяти децентралізації української енергетичної системи.

Висновки. Розташована в місті Черкаси Черкаська ТЕЦ ПрАТ «Черкаське хімволокно» за кількістю викидів залишається основним забруднювачем повітряного басейну не лише району, а й області твердими та газоподібними речовинами. Найбільш вагомими серед викидів забруднюючих речовин і парникових газів до атмосферного повітря при роботі теплових електростанцій, що спалюють органічне паливо, є викиди оксидів сульфуру, нітрогену, карбону і важких металів, зокрема миш'яку, кадмію, хрому, міді, ртуті, нікелю, свинцю, селену, цинку та в разі використання мазуту – ванадію. Менш вагомими є викиди неметанових летких органічних сполук, метану CH_4 , оксиду нітрогену N_2O , оксиду карбону CO й аміаку NH_3 . В 2021 р. індекс забруднення атмосфери міста Черкаси, для розрахунку якого використовувались 5 найбільш пріоритетних домішок, таких як пил (3 клас небезпеки), діоксид нітрогену (3 клас небезпеки), аміак (4 клас небезпеки), формальдегід (2 клас небезпеки) та оксид нітрогену (3 клас небезпеки) становив 7,36, що вважається високим рівнем забруднення атмосферного повітря (при ІЗА від 7 до 13). Картографічне зонування території міста за показником сумарного екологічного навантаження, який є індикатором аеротехногенного забруднення ландшафтів, виконане з використанням програмного пакету SURFER, свідчить, що місто зазнає значного аерогенного навантаження, розповсюдження аеротехногенного забруднення від південної промислової агломерації сягає значної відстані і за радіусом дії охоплює всю територію міста.

Зменшенню антропогенного навантаження на навколишнє природне середовище сприятимуть можливе за рахунок розширення обсягів використання нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії, до яких відноситься вітрова, сонячна енергія та біопаливо.

Література

- 1 Корчевой Ю.П., Вольчин И.А., Горбунов В.С и др. Экологические аспекты развития теплоэнергетики Украины // Энергетика и электрификация. – 2003. - №2. – С. 45-50.
- 2 Куцан Ю.Г. Щодо проекту концепції енергетичної політики України на період до 2030 року. //Енергетика и электрификация. – 2001. - №3. – С. 2- 11.
- 3 Борисенко С.В., Малый Л.П., Быковченко Г.И., Миненков Н.Л. Золоуловитель для сухой очистки дымовых газов ТЭС // Энергетика и электрофикация. – 1999. -№5. – С. 41-43.
- 4 Энергетика и охрана окружающей среды /Под ред. Н.Г. Залогина. – М.: Энергия, 1999.– 352 с.
- 5 Chen L., Wang T., Bo X., Zhuang Z., Qu J., Xue X., Tian J., Huang M., Wang P., Sang M. Thermal Power Industry Emissions and Their Contribution to Air Quality on the Fen-Wei Plain. Atmosphere – 2022. – Vol.13. – P. 652. – 680.
- 6 Romana H.K., Singh R.P., Dubey C.S., Shukla D.P. Analysis of Air and Soil Quality around Thermal Power Plants and Coal Mines of Singrauli Region, India. International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2022. – Vol.19. – P. 11560 – 11582.
- 7 Kornelyuk N.M., Khomenko O.M. Bioaccumulation of heavy metals by the urban trees around Cherkassy thermal power plant. Ukrainian Journal of Ecology. – 2018. - Vol.8(1). – P. 953 – 960.
- 8 S.K. Guttikunda, P. Jawahar. Evaluation of Particulate Pollution and Health Impacts from Planned Expansion of Coal-Fired Thermal Power Plants in India Using WRF-CAMx Modeling System. Aerosol and Air Quality Research. – 2018. – V.18. – P. 3187–3201.
- 9 Мислюк О.О., Н.М. Корнелюк. Екологічні аспекти функціонування Черкаської ТЕЦ. Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. – 2008. - №1 (48). – С. 111 – 115.
- 10 Мислюк О.О., Хоменко О.М., Єгорова О.В. Екологічна оцінка кислотно-основних властивостей ґрубоземів м. Черкаси. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – 2019. - № 4 (117). – С. 53 – 59.
- 11 Корнелюк Н.М., Хоменко О.М., Мислюк О.О. Еколого-геохімічна оцінка забруднення ґрунтів м. Черкаси важкими металами. Екологічна безпека. - 2019. - №2 (28). – С. 44-51.
- 12 Мислюк О.О. Хоменко О.М., Єгорова О.В., Пидоренко В.І. Екологічні аспекти стану урбаноземів. Вісник ЧДТУ. - 2019. -№2. – С. 126-133.

13 Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Черкаській області у 2021 році. – Ч.: Управління екології та природних ресурсів Черкаської обласної державної адміністрації, 2022. – 233 с.

14 Мислюк О., Мислюк Є., Соломка Л. Оцінка впливу викидів Черкаської ТЕЦ на стан урболандшафтів. Вісник ОНУ. Хімія. - 2010. - Т. 15. Вип. 12-13. - С. 47-53.

15 Hovorun A., Myslyuk O. Acid-base properties of urban soils in Cherkassy: Proceedings of the 19th Conference of Junior Researchers "Science – Future of Lithuania" Environmental Protection Engineering. Vilnius Gediminas Technical University. - 2016. - P. 58-66.

16 Chemerys I., Myslyuk O., Chemerys V. Effect of vehicle emissions on the morphological and physiological changes of *Taraxacum officinale* web. Ukrainian Journal of Ecology. - 2020. - №10(1). - P. 7-17.

17 Hetteling J. P. et al. Mapping critical loads for Europe. – CCE Technical Report № 1, 1991, UN ECE, Bilthoven, the Netherlands.

18 Статистичний щорічник Черкаської області за 2020 рік / За редакцією В.П. Приймак. – Черкаси, 2021. – 420 с.

19 Методичні рекомендації «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря», Затв. наказом МОЗ України 13.04.2007 р. № 184. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://ua-info.biz/legal/baseuw/ua-qmwote/index.htm>

20 Бобров Є.А. Аналіз впливу децентралізації генерації електричної енергії на енергетичну безпеку держави / Є. А. Бобров // Вчені записки Університету "КРОК". Серія "Економіка". - 2017. - Вип. 47. - С. 4-11.

21 Дороніна І.І., Криштоф Н. С. Використання відновлювальних джерел енергії в умовах децентралізації систем енергопостачання в Україні. Держава та регіони. Серія: Державне управління. – 2020. - № 2 (70). - С.75-82.

O. Khomenko, O. Mislyuk, O. Yegorova
Cherkassy State Technological University

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE ENERGY INDUSTRY ON THE ENVIRONMENTAL CONDITION OF THE CHERKASSY REGION

The work is devoted to the study of the impact of coal thermal power plants on the environment. A brief analysis of scientific works dedicated to the study of the impact of thermal power plants on the environment was conducted. The analysis of publications shows that the negative impact of thermal power plants on the environment is quite complex, as it includes both atmospheric air pollution by gas and aerosol emissions, as well as thermal energy emissions into the environment and soil pollution. The volume of emissions of polluting substances into the air of Cherkassy region by electricity supply enterprises and the dynamics of the comprehensive air pollution index were analyzed, which showed that in recent years there has been a trend of rapid growth of this indicator. With the help of the cartographic zoning model of the city territory and the indicator of the total environmental load, which is an indicator of aerotechnogenic pollution of landscapes, performed using the SURFER software package, it was determined that the city undergoes a significant aerogenic load, the spread of aerotechnogenic pollution from the southern industrial agglomeration reaches a significant distance and within the radius of action covers the entire territory of the city. A study of population health risk assessment based on annual averages for chronic exposure to atmospheric pollution showed that the population risk is 12.4 times higher than the limit value. The overall non-carcinogenic risk is 7.75 (there is a risk of developing adverse effects in most of the population). The respiratory organs ($HQ=7.42$) and the immune system ($HQ=2.67$) are most affected.

Key words: atmospheric air, energy industry, thermal power plants, pollutants, air pollution index, aerotechnological pollution.

References

1 Korchevoi Y.P., Volchin I.A., Gorbunov V.S. et al. Ekologicheskiye aspekty razvitiya teploenergetiki Ukrainy // Energetika i elektrifikatsiya. – 2003. - №2. – S. 45-50.

2 Kucan Y.G. Shchodo proektu kontseptsiyi enerhetychnoyi polityky Ukrayiny na period do 2030 roku. // Energetika i elektrifikatsiya. – 2001. - №3. – S. 2- 11.

3 Borysenko C.V., Malyy L.P., Bykovchenko G.I., Minenkov N.L. Zoloulovitel' dlya sukhoy ochistki dymovykh gazov TES // Energetika i elektrifikatsiya. – 1999. - №5. – S. 41-43.

- 4 Energetika i okhrana okruzhayushchey sredy / Pod red. N.H. Zalohyna.– M.: Energiya, 1999.– 352 s.
- 5 Chen L., Wang T., Bo X., Zhuang Z., Qu J., Xue X., Tian J., Huang M., Wang P., Sang M. Thermal Power Industry Emissions and Their Contribution to Air Quality on the Fen-Wei Plain. Atmosphere – 2022. – Vol.13. – P. 652. – 680.
- 6 Romana H.K., Singh R.P., Dubey C.S., Shukla D.P. Analysis of Air and Soil Quality around Thermal Power Plants and Coal Mines of Singrauli Region, India. International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2022. – Vol.19. – P. 11560 – 11582.
- 7 Kornelyuk N.M., Khomenko O.M. Bioaccumulation of heavy metals by the urban trees around Cherkassy thermal power plant. Ukrainian Journal of Ecology. – 2018. - Vol.8(1). – P. 953 – 960.
- 8 S.K. Guttikunda, P. Jawahar. Evaluation of Particulate Pollution and Health Impacts from Planned Expansion of Coal-Fired Thermal Power Plants in India Using WRF-CAMx Modeling System. Aerosol and Air Quality Research. – 2018. – V.18. – P. 3187–3201.
- 9 Mislyuk O.O., Kornelyuk H.M. Ekolohichni aspekty funktsionuvannya Cherkas'koyi TES. Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskoho. – 2008. - №1 (48). – S. 111 – 115.
- 10 Mislyuk O.O., Khomenko O.M., Yehorova O.B. Ekolohichna otsinka kyslotno-osnovnykh vlastyvostey urbozemiv m. Cherkasy. Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskoho. – 2019. - № 4 (117). – S. 53 – 59.
- 11 Kornelyuk N.M., Khomenko O.M., Mislyuk O.O. Ekoloho-heokhimichna otsinka zabrudnennya gruntiv m. Cherkasy vazhkymy metalamy. Ekolohichna bezpeka . - 2019. - №2 (28). – S. 44-51.
- 12 Mislyuk O.O., Khomenko O.M., Yehorova O.B., Pydorenko V.I. Ekolohichni aspekty stanu urbanozemiv. Visnyk CHDTU. - 2019. - №2. – S. 126-133.
- 13 Rehional'na dopovid' pro stan navkolyshn'oho pryrodnoho seredovyshcha v Cherkas'kiy oblasti u 2021 rotsi. – Ch.: Upravlinnya ekolohiyi ta pryrodnykh resursiv Cherkas'koyi oblasnoyi derzhavnoyi administratsiyi, 2022. – 233 s.
- 14 Mislyuk O., Mislyuk E., Solomka L. Otsinka vplyvu vykydiv Cherkas'koyi TES na stan urbolandshaftiv. Visnyk ONU. Khimiya.- 2010. - T. 15. Vup. 12-13. - S. 47-53.
- 15 Hovorun A., Myslyuk O. Acid-base properties of urban soils in Cherkassy: Proceedings of the 19th Conference of Junior Researchers “Science – Future of Lithuania” Environmental Protection Engineering. Vilnius Gediminas Technical University. - 2016. - P. 58-66.
- 16 Chemerys I., Myslyuk O., Chemerys V. Effect of vehicle emissions on the morphological and physiological changes of Taraxacum officinale web. Ukrainian Journal of Ecology. - 2020. - №10(1). - P. 7-17.
- 17 Hetteling J. P. et al. Mapping critical loads for Europe. – CCE Technical Report № 1, 1991, UN ECE, Bilthoven, the Netherlands.
- 18 Statystychnyy shchorichnyk Cherkas'koyi oblasti za 2020 rik / Za redaktsiyeyu V.P. Pryymak. – Cherkasy, 2021. – 420 s.
- 19 Metodichni rekomendatsiyi «Otsinka ryzyku dlya zdorov'ya naselennya vid zabrudnennya atmosferного povitrya», Zatv. nakazom MOZ Ukrayiny 13.04.2007 r. № 184. [Elektronnyy resurs]. - Rezhym dostupu: <http://ua-info.biz/legal/baseuw/ua-qmwote/index.htm>
- 20 Bobrov Y.A. Analiz vplyvu detsentralizatsiyi heneratsiyi elektrychnoyi enerhiyi na enerhetychnu bezpeku derzhavy / Y. A. Bobrov // Vcheni zapysky Universytetu "KROK". Seriya "Ekonomika". - 2017. - Vup. 47. - S. 4-11.
- 21 Doronina I.I., Kryshtof N. S. Vykorystannya vidnovlyuval'nykh dzherel enerhiyi v umovakh detsentralizatsiyi system enerhopostachannya v Ukrayini. Derzhava ta rehiony. Seriya: Derzhavne upravlinnya. – 2020. - № 2 (70). - S.75-82.

ЗБАЛАНСОВАНЕ РЕСУРСОКОРИСТУВАННЯ

УДК 536.7

DOI: 10.31471/2415-3184-2022-2(26)-48-57

*Л. Ю. Козак**Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗРОСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАТРАТ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

У статті розглянуто важливі питання ефективного використання енергії та екологічної безпеки довкілля, що тісно пов'язані між собою. Проаналізовано перспективи ефективного використання палива за збільшення загального числа транспортних засобів і підвищення їх швидкісних характеристик. Для цього проведено аналіз енергозатрат для двох випадків - міської транспортної системи і високошвидкісних міжміських сполучень. Досліджували вплив різних чинників - швидкості, опору повітря і тертя на втрати енергії транспортними засобами і шляхи їх зниження. Розглянуто транспортну систему зі спеціальним профільованим шляхопроводом, яким транспортний засіб рухається під дією сил гравітації. У такій транспортній системі енергія для руху періодично накопичується шляхом підняття транспортного засобу на певну висоту на маршрутних зупинках. За рахунок накопичення потенціальної енергії підтримується рух транспортного засобу. Для його розгону до необхідної швидкості використовується енергія гальмування. Повна рекуперація енергії під час гальмування та зниження коефіцієнта тертя кочення зумовлює значне зниження загальних витрат енергії на переміщення транспортних засобів. Наведено результати аналізу витрат енергії для традиційного міського транспорту в порівнянні із запропонованою транспортною системою. Додатково вивчали вплив розрідження повітря в спеціальних шляхопроводах на ефективність споживання енергії транспортними засобами. За значної економії енергії, використання запропонованої транспортної системи дозволить знизити хімічні та теплові викиди і значно покращити екологію.

Ключові слова: екологія, енергоефективність, профільовані шляхопроводи, теплові та хімічні викиди, рекуперація енергії, міський транспорт.

Постановка проблеми. Жодна проблема, мабуть, не хвилює сьогодні людство так як енергетична криза і тісно пов'язана з нею екологічна небезпека для довкілля. Зростання споживання енергії має найбільший вплив на довкілля, екосистему та біосферу загалом [1,2].

Однією з причин, що впливає на зростання споживання енергоресурсів є збільшення загального числа транспортних засобів і підвищення їх швидкісних характеристик. Розвиток світового науково-технічного прогресу, зростання чисельності населення і покращення його добробуту призвели до різкого збільшення енергоспоживання, зворотною стороною якого є виснаження вуглеводневих сировинних ресурсів. Припускають, що середньорічний світовий попит на первинну енергію щорічно зростає на 1,5%. Це призведе до загального зростання попиту на енергію на 40% до 2030 року. Різні сектори використання енергоресурсів сприятимуть зростанню попиту, але транспорт залишатиметься найбільшим споживачем енергії [3,4].

Поточний стан світової енергетики, що ґрунтується переважно на використанні органічного палива, стимулює пошук нових енергетичних джерел, зокрема нетрадиційних або відновлюваних. Окреме місце займають дослідження керованого термоядерного синтезу, які в перспективі дадуть змогу одержати екологічно чисте, практично безпечне та невичерпне джерело енергії [6].

Ще одна небезпека для навколишнього середовища, це є теплове забруднення. Основними джерелами теплового забруднення довкілля є викиди в атмосферу автомобільними двигунами, міськими котельнями та відпрацьованими водами теплоелектроцентралей (ТЕЦ). Для урбанізованих територій характерна поява над ними «теплової шапки». Глобальне теплове забруднення пов'язують з парниковим ефектом. Загалом теплове забруднення є різновидом

фізичного забруднення навколишнього середовища. Воно характеризується підвищенням температурного рівня, що перевищує природний рівень та має згубний вплив на всю екосистему [3].

Зі зростанням споживання енергії збільшуються теплові викиди в навколишнє середовище. Разом з парниковим ефектом це загрожує «тепловою смертю», але не всесвіту як передрікав Р. Клаузіус, а біосфері нашої Землі. І навіть, якщо людству вдасться вирішити питання забезпечення безмежною кількістю енергії за рахунок термоядерного її виробництва [6], то екологічні проблеми теплового забруднення навпаки зростуть. В обох випадках, чи через енергетичну кризу, чи навпаки за значних обсягів енергії одержаної за рахунок керованого термоядерного синтезу, слід обмежити споживання енергії у всіх галузях. Транспорт і промисловість повинні стати більш енергозберігаючими та «зеленими», безпечними і «дружніми» до споживача та навколишнього природного середовища.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Найгостріші екологічні проблеми (зміна клімату, кислотні опади, загальне забруднення середовища та інші) безпосередньо чи опосередковано пов'язані з виробництвом, або з використанням енергії. Енергетиці належить першість у хімічному та інших видах забруднення: тепловому, аерозольному, електромагнітному, радіоактивному. Тому не буде перебільшенням сказати, що від вирішення енергетичних проблем залежить можливість вирішення основних екологічних проблем [1,2].

Найбільше енергії використовує транспорт, без якого неможливий би був розвиток науково-технічного прогресу. Разом з тим він є джерелом проблем, що пов'язані з виникненням енергетичної кризи та тепловим і хімічним забрудненням довкілля [2-4].

За останні десятиліття глобальне використання енергії транспортом неухильно зростало. З 1971 по 2021 рік споживання енергії в транспортному секторі щорічно зростало між 2,0 і 2,5%. Тоді як в промислово розвинених країнах споживання енергії зараз стабілізувалось на високому рівні або незначно спадає, то темпи зростання споживання енергії транспортом у мало розвинених країнах становили 4,3% і цей рівень буде продовжувати зростати. Енергоефективність транспорту є величезним потенціалом для зменшення попиту як на нафту, так і на енергію загалом [3-5].

Світові тенденції розвитку транспортних систем свідчать про стрімкий розвиток транспортних технологій і регіональних проєктів мобільності. Зростання швидкості, економічності та екологічності транспортних засобів є основною тенденцією на всіх видах транспорту. Залізничні перевезення зі швидкістю 350 кілометрів на годину стають реальністю [8], а технології «Маглев» вже зараз забезпечують швидкість 500 і більше кілометрів на годину [9].

Але зростання швидкості транспортних засобів, підвищення інтенсивності міського і приміського руху пов'язано зі збільшенням використання енергії і відповідно зі зростанням хімічних та теплових викидів. Настав час задуматись над стратегією сталого розвитку для транспортних систем [10,11]. Тому необхідно їх технологічний розвиток обмежувати зростанням споживання енергії. Це стосується як міського так і міжміського транспорту [3,4]. В цьому плані цікавою є пропозиція, що наведена в роботі [12]. Загалом основна мета розвитку транспортних систем підвищення швидкісних характеристик, що пов'язано з підвищенням енергозатрат. Це в свою чергу викликає поглиблення енергетичних та екологічних проблем [1-3]. Зниженню споживання енергії транспортними системами присвячено ряд наукових праць [15-17].

Постановка завдання. У всьому світі транспорт споживає 22% світового виробництва енергії. Більшість транспорту працює на паливі, що отримується з нафти. Двигуни різних видів транспорту - найбільші споживачі нафтових продуктів. І вони ж є найбільшим джерелом викидів CO_2 в світі - близько 27% [3].

Міжнародне енергетичне агентство підрахувало, що за рахунок передових технологій та альтернативних видів палива (гібридні транспортні засоби, електромобілі та транспортні засоби на паливних елементах) можуть зменшити енергоємність транспорту на 20-40% до 2050 року. Такі досягнення можуть також зменшити вдвічі потребу у викопному паливі. Однак, навіть якщо енергоємність знижується, загальний попит на енергію все одно може зрости вище нинішніх рівнів через загальне збільшення попиту на транспорт та автомобілізацію. Щоб скоротити майбутній попит з нинішніх рівнів, необхідно не лише перейти до більш ефективних видів транспорту, але й обмежити загальний попит на транспортні перевезення [3].

Сьогодні збільшується занепокоєння прийняттям конкретних заходів у зв'язку зі зростаючою необхідністю зменшення викидів CO_2 . Уже пропонували популяризувати громадський транспорт, створювали перехоплюючі парковки, встановлювали черговість

використання автотранспорту (по парних і непарних днях) і т.і., але населення як і раніше надає перевагу особистому транспорту. У багатьох країнах прийняті екологічні закони, що обмежують викиди шкідливих речовин транспортними засобами, такими як оксид сірки (SOx) і оксид азоту (NOx). Ці законопроекти допомогли зменшити утворення смогів і інші наслідки забруднення атмосфери. Однак тільки зараз, коли глобальне потепління визнано на загальносвітовому рівні, почали застосовувати конкретні дії для зменшення викидів CO₂. Використання нових транспортних засобів, що споживають менше палива, зменшує обсяги викидів в атмосферу. Це наприклад, автомобілі з більш ефективними тепловими двигунами та з гібридним приводом. Такі автомобілі обладнані як двигуном внутрішнього згоряння, що працює на бензині або дизпаливі, так і електродвигуном, що живиться від акумулятора [7]. На стадії тестування перебувають транспортні засоби з паливними елементами. У паливних елементах використовують водень. Під час його згоряння утворюється лише вода, проте сам водень переважно отримують з вуглеводневих видів палива.

Загалом пропонується провести аналіз впливу різних чинників (швидкості, інтенсивності руху, опору повітря і тертя кочення) для вирішення проблем енергетичної і екологічної кризи для транспорту, що дозволить розвивати транспортні системи за умови обмеженого споживання енергоресурсів.

Виклад основного матеріалу. Перспективи підвищення енергоефективності міського транспорту Для міського транспорту найбільшу ефективність зі споживання палива і зниження впливу на навколишнє середовище можна одержати у разі переходу на використання електротранспорту (тролейбусів, трамваїв, метрополітену) замість автотранспортних засобів із двигунами внутрішнього згоряння [12 - 14]. Проте в результаті високої інтенсивності руху на вулицях міст наземний транспорт втрачає свою енергетичну ефективність і швидкість доставки пасажирів. Щоб вирішити проблему транспортних заторів у містах, вуличний рух потрібно перевести з двохмірної площини у трьохмірний простір. А це можна вирішити або створенням літаючих машин, або створенням тунелів. На відміну від літаючих транспортних засобів, тунелі є незалежними від погодних умов, транспорт не потрапляє у поле зору і є більш безпечним. Велика мережа багаторівневих тунелів допоможе зменшити затори в будь-якому місті. Незалежно від того наскільки зростуть розміри міста і транспортний рух, завжди можна прокопати додаткові тунелі. Тому все більше озвучуються ідеї зі створення надземних чи підземних транспортних систем.

Хорошим прикладом вирішення питання ефективності підземного транспорту є метрополітен. Але цей вид транспорту є інвестиційноємким і тільки частково вирішує питання з наземним транспортом.

Альтернативою метрополітену є пропозиції Ілона Маска, що вже реалізуються в дослідно-експериментальних установках підземного транспорту [18]. Він пропонує під територією міста прокладати тунелі на різних рівнях для переміщення міського автотранспорту.

Автомобілі в цих тунелях будуть переміщуватися на спеціальних візках. Для окремих пасажирів та вантажів використовуватимуть спеціальні капсули. На вулицях міста планують розмістити спеціальні площадки, з яких автомобілі опускатимуться в тунель чи підніматимуться вгору ліфтом.

В тунелях переміщення буде значно швидшим і більш економічним ніж вулицями, особливо коли потрібно буде дістатись з одного кінця міста в інший. Сьогодні така ідея вже не здається фантастичною, адже для її реалізації Ілон Маск заснував компанію «The Boring Company», що швидко прокладає безпечні та недорогі транспортні тунелі [18].

Пропозиції підвищення енергоефективності міського транспорту Міський електротранспорт має переваги над транспортними засобами (ТЗ) з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ) у ефективності споживання енергії. Проте в обох випадках у них є спільний недолік – це значні втрати енергії на розгін ТЗ, яка пізніше розсіюється в навколишнє середовище під час гальмування.

Загалом рух як приватного, так і міського маршрутного транспорту складається з трьох основних циклів: розгін від нерухомого стану до необхідної швидкості, рівномірний рух і гальмування. Перші два цикли потребують затрати енергії. В третьому циклі (гальмування) кінетична енергія ТЗ розсіюється у навколишнє середовище у вигляді теплової енергії.

Переміщення транспорту вулицями міста пов'язано з плановими зупинками для посадки та висадки пасажирів і зупинками через різного роду перешкоди - на перехрестях, пішохідних переходах, заторах зумовлених значною кількістю транспорту в години пік і т. ін. Внаслідок частих

зупинок втрачається значна кількість енергії, яка розсіюється в навколишнє середовище. В деяких випадках незначна частка цієї енергії утилізується за рахунок рекуперації.

Для підвищення ефективності роботи транспортної системи в роботі [10] запропоновано створити і використовувати для переміщення спеціальні профільовані шляхопроводи (рис. 1). Такими шляхопроводами може бути розгалужена сітка багаторівневих тунелів зі спеціальними поздовжніми профілями, подібних до тих, що пропонує Ілон Маск [5].

Шляхопровід (рис. 1) має три ділянки: розгону - I, рівномірного руху – II, гальмування – III. Шляхопроводом переміщуються спеціальні візки, що перевозять автомобілі, пасажирів і вантажі. Візки спочатку розганяються і рухаються на ділянках I і II за рахунок нахилу шляхопроводу. На ділянці III їх швидкість сповільнюється до повної зупинки, після чого візки піднімаються в ліфті. Такі шляхопроводи можуть бути підземними, надземними, а також поміщатись в герметичну трубу з розрідженим повітрям для зменшення опору повітря. Профіль різних ділянок шляхопроводу визначається швидкістю ТЗ і відстанню між зупинками.

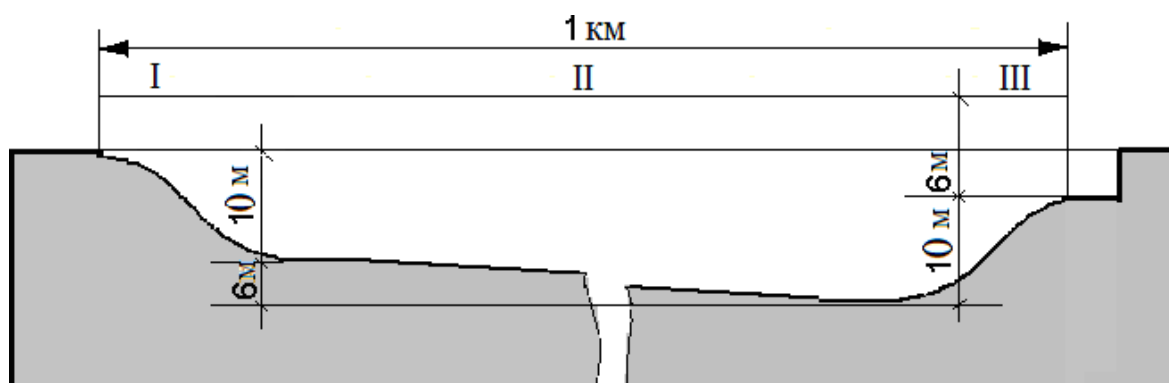


Рис. 1. Профільований шляхопровід транспортної системи [12]

Перевагою запропонованої транспортної системи є відсутність затрат кінетичної енергії для розгону транспортних засобів, оскільки розгін відбувається за рахунок переміщення на похилій ділянці I. Рівномірний рух на ділянці II підтримується також її нахилом. На ділянці III рух ТЗ сповільнюється за рахунок підняття на відповідну висоту. Замість втрат під час гальмування кінетична енергія ТЗ перетворюється в потенціальну і використовується для наступного розгону. Під час руху таким шляхопроводом відбувається повна рекуперація кінетичної енергії.

Нижче наведено аналіз енергетичних втрат запропонованої транспортної системи і міського автобуса під час їхнього переміщення між двома зупинками з різною швидкістю. Приймемо, що автобус між зупинками має додатково ще дві зупинки через перешкоди.

Графіки залежності затрати енергії на переміщення автобуса від зупинки до зупинки на відстань 1 км наведено на рисунку 2а. (На рисунку 2 і на наступних рисунках 3 і 4 загальна втрата енергії позначена кривою А. Криві 1, 2, 3 відображають складові повної затрати енергії на переміщення: 1 – затрати кінетичної енергії на розгін; 2 – затрати енергії на опір коченню; 3 – затрати енергії на опір повітря). Графіки залежності затрати енергії на переміщення цього ж автобуса від зупинки до зупинки на відстань 1 км запропонованим шляхопроводом наведено на рисунку 2б. Обидва рисунки 2а і 2б виконані в одному масштабі, щоб можна було візуально порівняти наскільки нижчими є енерговитрати на пересування автобуса у випадку його руху профільованим шляхопроводом.

Розглянемо витрати енергії на пересування автобуса звичайним маршрутом і автобуса на візку запропонованим шляхопроводом зі зміною швидкості від нуля до 50 км/год (14 м/с). З розрахунків отримано, що максимальні енергетичні затрати у першому разі становлять 2652 кДж, а в другому – 300.3 кДж. Отже затрати енергії на пересування за швидкості 50 км/год шляхопроводом зі спеціально створеним рельєфом знижуються майже у 9 разів (11.3%) від затрат пересування автобуса міським маршрутом.

Крім цього, з аналізу повної витрати енергії за її складовими виявлено, що у першому разі (рис.2а) частка енергії, що затрачається під час руху на переборювання тертя кочення (36.9%) та опору повітря (7.7%, разом 44.6%) менша частки енергії, що затрачається для розгону автобуса (55.4%). Це означає, що в умовах міського руху основна енергія (55.4%) тратиться на розгін ТЗ. Ці дані показують наскільки важливою є рекуперація енергії розгону ТЗ.

У другому випадку (рис.2б) низькі затрати енергії зумовлені тим, що енергія для розгону ТЗ не втрачається завдяки її рекуперації, що забезпечує спеціальний профіль шляхопроводу. На рисунку 1 наведено приблизні розміри для ділянок профільного шляхопроводу розрахованих за величиною затрати енергії на пересування візків з пасажирами, чи вантажем у разі, коли максимальна швидкість становить близько 50 км/год (14 м/с). Відповідно до розрахунків для досягнення такої швидкості на ділянці I достатньо перепаду висоти 10 м, а для підтримки переміщення ТЗ з цією швидкістю ділянкою II достатньо перепаду висоти всього 6 м.

Отже під час пересування містом менше половини енергії витрачається для руху ТЗ, а інша частина розсіюється в навколишнє середовище. Нераціональний рух ТЗ вулицями міста через часті зупинки/розгони і високу інтенсивність руху призводить до значних втрат енергії. Тому навіть підвищення паливної ефективності ТЗ на 10-20%, що практично є неможливим, не зможе компенсувати значні витрати палива міським транспортом.

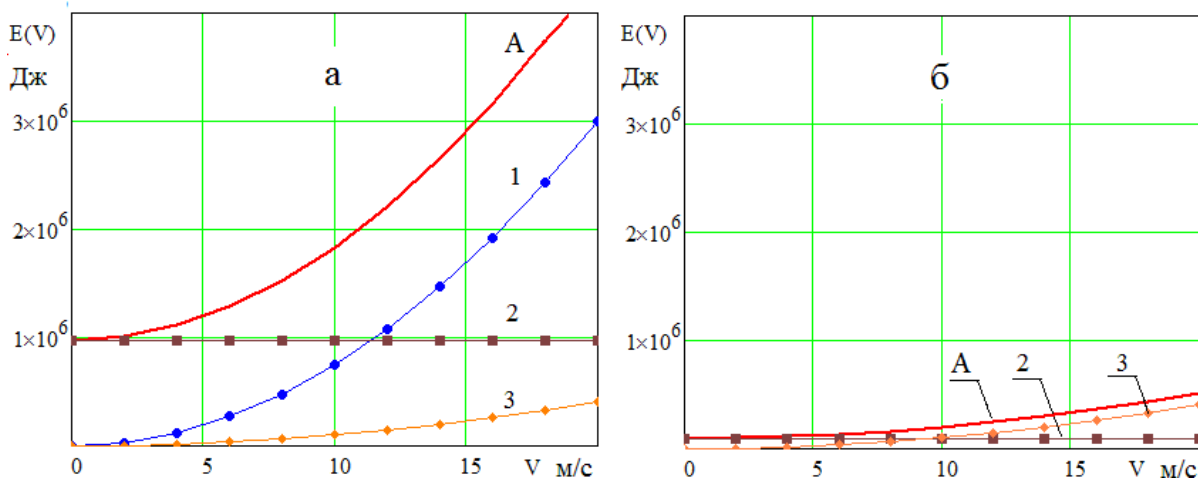


Рис. 2. Графіки залежності затрати енергії на переміщення автобуса від зупинки до зупинки на відстань 1 км непрофільованим – а і профільованим – б шляхопроводами.

А всі досягнення у ефективності, що виражається довжиною пробігу ТЗ на одиницю кількості палива, втрачають сенс під час їхнього пересування містом з його регульованими перехрестями, заторами, скупченням транспорту і частими зупинками. Під час руху містом загальний коефіцієнт корисної дії теплових двигунів ТЗ падає нижче 5%.

Використання запропонованої транспортної системи у містах дозволить значно знизити споживання енергії, що зумовить зменшення теплових та шкідливих хімічних викидів в тому числі і CO_2 .

Підвищення енергоефективності швидкісних транспортних систем Основна мета при створенні транспортних систем – це досягнення високих швидкостей. Так, сьогодні є вже наземні транспортні системи за технологією «Маглев», транспортні засоби яких досягають швидкостей 500-600 км/год. Ілон Маск запропонував транспортну систему майбутнього - Hiperloop зі швидкістю пересування близькою 1000 км/год [18]. Очевидно, що розробляючи надшвидкі транспортні системи проблематично досягнути високих показників енергоефективності. За високих швидкостей затрати енергії різко зростають. Розглянемо це питання більш детально.

Проведемо оцінку втрати енергії на пересування надшвидких традиційних рейкових потягів, наприклад, TGV (Train à Grande Vitesse) [8]. Потяги TGV рухаються з швидкістю близько 320 км/год. Максимальної швидкості близько 575 км/год для таких потягів було досягнуто в 2007 році [8]. Розглянемо енергетичні втрати міжміських швидкісних транспортних систем. У розрахунку приймемо: маса поїзда 100 т, максимальна швидкість 100 м/с (360 км/год.), відстань між зупинками 50 км, коефіцієнт опору повітря $k = 0.3$, лобова площа 4 м^2 , коефіцієнт опору кочення $K = 0.002$. На рисунку 3 наведено графіки залежності витрати енергії для рейкових потягів в залежності від їх швидкості.

Аналіз кривих графіків (рис. 3) свідчить, що основні втрати енергії за високих швидкостей зумовлені опором повітря та на розгін ТЗ. Тоді як витрати енергії на переборювання тертя кочення сталіне колесо-рейка для швидкостей більших за 100 м/с (360 км/год) є незначними у загальних втратах на пересування ТЗ. Так, за швидкості 150 м/с (540 км/год) і відстані між зупинками 50 км,

частка втрати енергії на тертя у традиційних ТЗ становить менше 4.7% від загальних втрат енергії. Тому транспортна система «Маглев», у якій відсутні втрати на тертя кочення завдяки магнітній левітації, значної переваги над традиційними рейковими ТЗ не мають.

Крім цього досліджено, що за швидкостей близьких до 200 м/с (720 км/год) втрати енергії на опір повітря (крива – 3, рис. 3 а) і на розгін ТЗ (крива – 1) на порядок перевищують втрати на тертя кочення (крива – 2). І якщо останні усунути, то це мало вплине на загальні енергетичні втрати. Найбільшими є витрати енергії на розгін ТЗ. Проте зі збільшенням відстані між зупинками ці втрати знижуються (рис.3б). Але навіть за відстані між зупинками у 50 км і швидкості 100 м/с втрати на розгін ТЗ перевищують всі інші втрати енергії і становлять близько 51% від загальних втрат (рис.3 б).

Додатково встановлено, що кінетична енергія витрачається на початку руху на дуже короткій дистанції, оскільки її втрати у загальних витратах енергії зменшується зі збільшенням відстані між зупинками і, навпаки, зростає зі зменшенням відстані між зупинками (рис. 3 б). Найбільше падіння (на 70 %) частки затрат енергії для розгону до швидкості 100 м/с має місце в діапазоні відстаней між зупинками до 10^5 м (100 км). Подальше падіння втрат енергії на розгін ТЗ пологіше. Отже для економії енергії швидкісних ТЗ відстань між їх зупинками повинна бути більше 100 км. Очевидно, що зі зростанням швидкості руху ТЗ ця відстань повинна зростати.

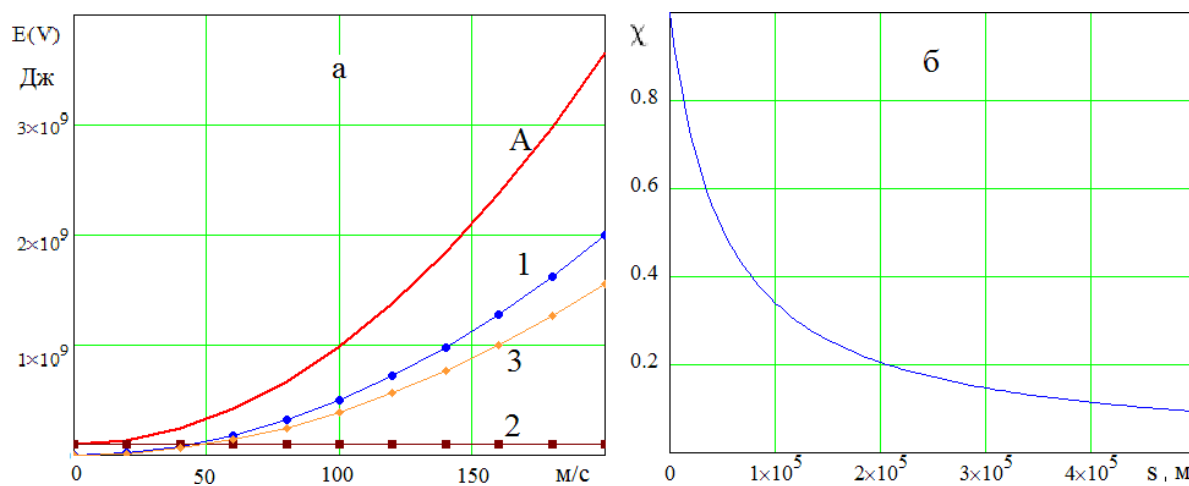


Рис. 3. Графіки залежності втрати енергії на переміщення ТЗ між зупинками у 50 км в залежності від його швидкості - а. Графік б - співвідношення втрати енергії на розгін до повної витрати енергії χ в залежності від дистанції між зупинками s

Ефективним заходом для зниження енергетичних втрат на рух ТЗ є зниження опору повітря. На рисунку 4а показано загальні втрати енергії ТЗ у двох випадках: при густині повітря за нормальних умов - 1.29 кг/м^3 (крива А) і за зниженої густини на порядок - до 0.13 кг/м^3 (падіння тиску від 10^5 до 10^4). Розрахунки виконані за умови, що швидкість ТЗ становила 200 м/с (720 км/год), а відстань між зупинками 50 км. Відповідно до одержаних розрахунків встановлено, що достатньо незначного розрідження до 10^4 Па ($\rho = 0.13 \text{ кг/м}^3$) для відчутного падіння опору повітря. За більш високого розрідження нижче 10^4 Па ($\rho = 0.13 \text{ кг/м}^3$) цей вплив незначний.

Втрати енергії на розгін ТЗ є найбільш високими (крива 1, рис. 3а). Щоб знизити ці втрати необхідно використовувати рекуперацію енергії під час гальмування ТЗ. І в цьому випадку найбільшу ефективність забезпечить запропонований шляхопровід спеціального профілю (рис. 1), оскільки в цьому разі можлива 100% рекуперація енергії гальмування. Через це крива затрати кінетичної енергії 1 на рисунку 4б відсутня, а крива загальної витрати енергії В розміщена значно нижче кривої А. Особливо це проявляється після досягнення швидкості 100 м/с.

На рисунку 4а наведено графіки втрат енергії у разі переміщення ТЗ непрофільованим шляхопроводом з розрідженим повітрям до 10^4 Па. Крива А на рисунку 4 запозичена з рисунку 3а. Крива А - витрати енергії на переміщення ТЗ між зупинками у 50 км прямим шляхопроводом в залежності від його швидкості за нормального тиску. Крива В – повна витрата енергії на пересування ТЗ профільованим шляхопроводом з розрідженим повітрям.

З графіків (рис. 4, крива А) видно, що повні затрати на рух ТЗ зростають вже за швидкостей вище 30 м/с (108 км/год). Подальше зростання швидкості потребує більших затрат енергії, а після швидкостей за 100 м/с ці витрати зростають на порядок. У випадку використання профільних

шляхопроводів з пониженим тиском повітря (рис. 4, крива В) втрати наростають значно повільніше і суттєво нижчі, аж до швидкостей у 200 м/с (720 км/год). Це зумовлено повною рекуперацією затрат енергії на розгін ТЗ і малим опором розрідженого повітря.

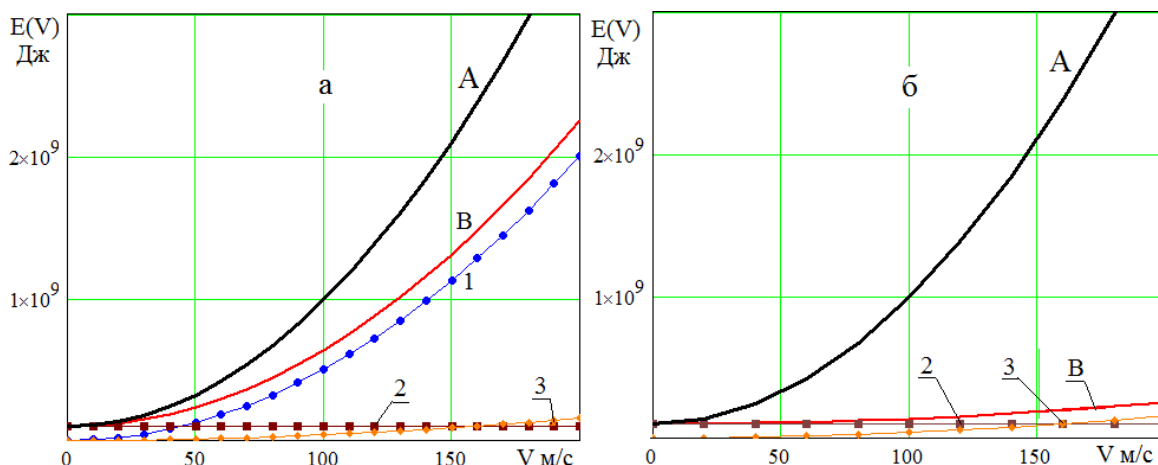


Рис. 4. Графіки залежності втрати енергії на переміщення ТЗ в розрідженому повітрі (10^4 Па) непрофільованим шляхопроводом залежно від його швидкості - а. Графіки залежності втрати енергії на переміщення ТЗ профільованим шляхопроводом в розрідженому повітрі (10^4 Па) залежно від його швидкості - б

Графіки на рисунку 3 і 4 побудовані в однаковому масштабі, щоб візуально показати значну різницю витрати енергії під час руху двома різними шляхопроводами.

Отже, суттєве зниження енергозатрат у високошвидкісних транспортних системах можна досягнути за одночасного використання профільних шляхопроводів і пониженого тиску, або хоча б за однієї з умов. Тому для транспортної системи Hyperloop, щоб досягнути швидкостей близьких до 1000 км/год (300 м/с), планують використати непрофільований шляхопровід з пониженим тиском (крива В, рис. 4а). Проте використання профільованих шляхопроводів дозволить значно більше знизити витрати енергії на рух ТЗ (крива В, рис. 4а).

За низьких і середніх швидкостей ТЗ (до 100 м/с) опір повітря менший, тоді як втрати енергії для розгону залишаються високими. В цьому випадку можна обійтись без зниження тиску повітря, що дозволить значно знизити затрати коштів на побудову та експлуатацію герметичних шляхопроводів.

Висновки Приведений аналіз свідчить про необхідність кардинальних змін в транспортних технологіях. Зростання швидкостей, з одночасним підвищенням економічності та екологічності транспортних засобів повинно бути основною тенденцією для всіх видів транспорту. Забезпечення досягнення цієї мети можливо у разі запровадження відповідних заходів, що запропоновані в статті.

Для міського транспорту вуличний рух потрібно перевести з двохмірної площини у трьохмірний простір. Найбільш ефективно це можна вирішити шляхом створення багатоповерхових естакад і багаторівневих тунелів, що дозволить значно зменшити інтенсивність вуличного руху і підвищити середню швидкість пересування містом.

Аналіз затрат енергії на пересування ТЗ показав, що значна частина з загальних затрат енергії витрачається на розгін ТЗ, особливо за високих швидкостей і коротких відстаней між зупинками. Тому для підвищення енергетичної ефективності ТЗ слід використовувати рекуперацію енергії, що втрачається під час їх гальмування. Це можуть бути найрізноманітніші механічні, електричні, пневматичні та гідравлічні накопичувачі енергії.

Найбільш ефективною регенерацією з накопиченням енергії є використання спеціально профільованих шляхопроводів – це так звана гравітаційна транспортна система. Така транспортна система дозволить повністю, або частково усунути витрати енергії на розгін ТЗ.

За надвисоких швидкостей, більше за 500 км/год енергоефективним буде використання тунелів чи трубопроводів з розрідженим повітрям. У таких трубопроводах досить незначного розрідження повітря (зменшення густини повітря на порядок) для суттєвого усунення енергетичних втрат на опір повітря.

Комплексне застосування заходів зі зниження енергозатрат на розгін ТЗ, зменшення густини повітря і технології маглев в десятки і сотні разів знизить енергозатрати на пересування надшвидкісних (близько 1000 км/год) транспортних засобів.

Загалом використання згаданих вище заходів дозволить зменшити інтенсивність руху в містах та підвищити середню швидкість пересування і створити міжміські високошвидкісні енергоефективні транспортні системи з пониженим споживанням енергії, що обмежить кількість викидів CO₂ та негативний вплив на навколишнє середовище.

Література

- 1 The Global Competitiveness Report 2019./Geneva: World Economic Forum, 2019. 648 p. URL: <https://www.weforum.org/>
- 2 Як енергетична криза може заволодіти світом. URL: <https://mind.ua/publications/20244524-yak-energetichna-kriza-mozhe-zavoloditi-svitom>
- 3 S. Boehler-Baedeker, Hueging H. Urban Transport and Energy Efficiency// Eschborn, Germany, 2012 URL: https://energypedia.info/wiki/Urban_Transport_and_Energy_Efficiency
- 4 Макаров В.А., Макарова Т.В. Поліпшення функціонування автотранспортної системи регіону в умовах повороту розвитку транспорту. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wpcontent/uploads/2020/11/51.pdf>
- 5 C. S. Sherwood , R. Bruns. Solving international transportation problems //Transportation Journal - №1. USA. – 2009. – 35с.
- 6 Сучасні досягнення в галузі керованого термоядерного синтезу https://www.nas.gov.ua/siaz/Ways_of_development_of_Ukrainian_science/article/14016.3.002.pdf
- 7 Нові автомобільні технології URL: <https://www.autocentre.ua/ua/news/sobytie/novye-avtomobilnye-tehnologii-predstavlenye-na-vystavke-ces-2016-314100.html>
- 8 Пасажирські потяги з електричним приводом. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/TGV#>
- 9 Технології “Маглев”. URL: <https://epa.kpi.ua/science/interesting-info/maglev/>
- 10 Luqi Wang, Xiaolong Xue, Zebin Zhao, and Zeyu Wang The Impacts of Transportation Infrastructure on Sustainable Development: Emerging Trends and ChallengesInt// J Environ Res Public Health. 2018 Jun; 15(6): 1172. doi: 10.3390/ijerph15061172 URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6025045/>
- 11 Kammen D.M., Sunter D.A. City-integrated renewable energy for urban sustainability// Science. 2016; 352: з URL: p. 922–928. doi: 10.1126/science.aad9302.
- 12 Козак Л.Ю., Мулик О.Л. Зниження обсягів використання нафтових палив на міському транспорті// Науковий вісник ІФНТУНГ. 2008 № 2(18)
- 13 Як покращити транспортну мобільність у наших містах. URL: <https://commons.com.ua/ru/yak-pokrashiti-transportnu-mobilnist-v-ukrayinskih-mistah/>
- 14 Tasic I., Porter R.J. Modeling spatial relationships between multimodal transportation infrastructure and traffic safety outcomes in urban environments// Saf. Sci. 2016; 82: p.325–337. doi: 10.1016/j.ssci.2015.09.021.
- 15 Гордієнко О.С. Енергозбереження транспортних підприємств.// Энергетика и энергосбережение. Технологический аудит и резервы производства ISSN 2226-3780. 2012. No 5/1(7). С. 13–14.
- 16 Далека В.Х. Методологічні аспекти ресурсозбереження на міському електричному транспорті// Коммунальное хоз-во городов. Вып. 49. 2003. С. 179–184.
- 17 Можаровський М.М. Екологічні перспективи та деякі проблеми використання акумуляторів кінетичної енергії, // Вісник ДААУ. – 1998. – №2 – С.55 – 65. 2.
- 18 The Boring Company URL: <https://www.boringcompany.com/projects#rw>

**ENVIRONMENTAL ASPECTS OF INCREASE IN ENERGY INTENSITY
TRANSPORT SYSTEMS**

The article deals with important issues of efficient use of energy and ecological safety of the environment, which are closely related to each other. Prospects for efficient use of fuel for increasing the total number of vehicles and increasing their speed characteristics have been analyzed. To do this, an analysis of energy consumption was carried out for two cases - the urban transport system and high-speed intercity connections. They studied the influence of various factors - speed, air resistance and friction on energy losses by vehicles and ways of reducing them. A transport system with a special profiled overpass, along which the vehicle moves under the influence of gravity, is considered. In such a transport system, energy for movement is periodically accumulated by raising the vehicle to a certain height at route stops. Due to the accumulation of potential energy, the movement of the vehicle is supported. Braking energy is used to accelerate it to the required speed. Due to the full recuperation of braking energy and a reduction in the rolling friction coefficient, a significant reduction in the total energy consumption for the movement of vehicles is achieved. The results of a comparative analysis of energy consumption for traditional urban transport with the proposed transport system are presented. In addition, the effect of rarefaction of air in special overpasses on the efficiency of energy consumption by vehicles was studied. With significant energy savings, the use of the proposed transport system will reduce chemical and thermal emissions and significantly improve the environment.

Keywords: ecology, energy efficiency, transport system, thermal and chemical emissions, energy recovery, urban transport.

References

- 1 The Global Competitiveness Report 2019./Geneva: World Economic Forum, 2019. 648 r. URL: <https://www.weforum.org/>
- 2 Іак енергетична криза може заволодити світом. URL: <https://mind.ua/publications/20244524-yak-energetichna-kriza-mozhe-zavoloditi-svitom>
- 3 S. Boehler-Baedeker, Hueging H. Urban Transport and Energy Efficiency// Eschborn, Germany, 2012 URL: https://energypedia.info/wiki/Urban_Transport_and_Energy_Efficiency
- 4 Makarov V.A., Makarova T.V. Polipshennia funktsionuvannia avtotransportnoi systemy rehionu v umovakh povorotu rozvytku transportu. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wpcontent/uploads/2020/11/51.pdf>
- 5 C. S. Sherwood , R. Bruns. Solving international transportation problems //Transportation Journal - №1. USA. – 2009. – 35s.
- 6 Suchasni dosiahnennia v haluzi kerovanoho termoiadernoho syntezu https://www.nas.gov.ua/siaz/Ways_of_development_of_Ukrainian_science/article/14016.3.002.pdf
- 7 Novi avtomobilni tekhnologii URL: <https://www.autocentre.ua/ua/news/sobytie/novye-avtomobilnye-tehnologii-predstavlenye-na-vystavke-ces-2016-314100.html>
- 8 Pasazhyrski potiahy z elektrychnym pryvodom.URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/TGV#>
- 9 Tekhnologii “Mahlev”. URL: <https://epa.kpi.ua/science/interesting-info/maglev/>
- 10 Luqi Wang, Xiaolong Xue, Zebin Zhao, and Zeyu Wang The Impacts of Transportation Infrastructure on Sustainable Development: Emerging Trends and ChallengesInt// J Environ Res Public Health. 2018 Jun; 15(6): 1172. doi: 10.3390/ijerph15061172 URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6025045/>
- 11 Kammen D.M., Sunter D.A. City-integrated renewable energy for urban sustainability// Science. 2016; 352: z URL: r. 922–928. doi: 10.1126/science.aad9302.
- 12 Kozak L.Iu., Mulyk O.L. Znyzhennia obsiahiv vykorystannia naftovykh palyv na miskomu transporti// Naukovyi visnyk IFNTUNH. 2008 № 2(18)
- 13 Іак pokrashchyty transportnu mobilnist u nashykh mistakh.URL: <https://commons.com.ua/ru/yak-pokrashchiti-transportnu-mobilnist-v-ukrayinskih-mistah/>
- 14 Tasic I., Porter R.J. Modeling spatial relationships between multimodal transportation infrastructure and traffic safety outcomes in urban environments// Saf. Sci. 2016; 82: r.325–337.doi: 10.1016/j.ssci.2015.09.021.

15 Hordiienko O.S. Enerhozberezhennia transportnykh pidpriemstv.// Enerhetyka i enerho-sberezhenye. Tekhnolohycheskyi audyt y rezervy proyzvodstva ISSN 2226-3780. 2012. No 5/1(7). S. 13–14.

16 Daleka V.Kh. Metodolohichni aspekty resursozberezhennia na miskomu elektrychnomu transporti// Kommunalnoe khoz-vo horodov. Выр. 49. 2003. S. 179–184.

17 Mozharovskyi M.M. Ekolohichni perspektyvy ta deiaki problemy vykorystannia akumuliatoriv kinetychnoi enerhii, // Visnyk DAAU. – 1998. – №2 – S.55 – 65. 2.

18 The Boring Company URL: <https://www.boringcompany.com/projects#rw>

*В. В. Лінченко^{1,2}, Д. О. Жук¹,
Н. В. Лисенко³, С. А. Степенко³, І. Ю. Жук⁴*
*¹Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, м. Миколаїв*
*²ТОВ «Миколаївська електропостачальна
компанія», м. Миколаїв*
*³Національний університет
«Чернігівська політехніка», м. Чернігів*
*⁴Чорноморський національний університет
імені Петра Могили, м. Миколаїв*

ЗЕЛЕНА ЕНЕРГЕТИКА: ПРОБЛЕМИ ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Сьогодні важливою науково-практичною задачею для державних електропостачальних компаній і підприємств, які безпосередньо відносяться до паливно-енергетичного комплексу України (сектор електроенергетики), є забезпечення енергетичної безпеки нашої держави. Вирішення такого питання пов'язане з утворенням надійної мережі комплексів альтернативної генерації і потребує проведення попереднього аналізу, дослідження, вдосконалення засобів інтеграції (сполучення) вітро-, сонячних, біо-, гідроелектростанцій з промисловими мережами в інфраструктурі України тощо.

Крім удосконалення технічної частини інтегрованих комплексів за схемою «джерело альтернативної генерації – перетворювальна станція – промислова електрична мережа» актуальними є екологічні аспекти «зеленої енергетики». Тому виникає нагальне питання щодо дослідження впливу на зовнішнє екологічне середовище об'єктів альтернативної енергетики або їх позитивна частка щодо зменшення негативного впливу на екологію від традиційної генерації електроенергії. Авторський аналіз визначення динаміки та структури виробітку електричної енергії підприємствами альтернативної енергетики в Україні дозволяє визначитися з обсягами виробітку електричної енергії об'єктами альтернативної енергетики та визначитися з обсягами електричної енергії, які були частково заміщені відновлюваною енергетикою.

В роботі розглянуто динаміку розвитку відновлювальних джерел енергетики (ВДЕ) в Україні, зокрема обсяги виробництва електроенергії «зеленої енергії» та «шкідливої енергії». Виконано аналіз відповідних нормативних документів та наявного стану щодо впровадження ВДЕ в Україні протягом 2015-2021 рр. Окрема увага приділяється вивченню показників граничних обсягів викидів забруднюючих речовин у процесі виробництва електричної енергії.

Розглянуто питання використання енергозберігаючих технологій у контексті забезпечення економічної безпеки України.

Ключові слова: відновлювальні джерела електроенергії, альтернативна генерація, навколишнє екологічне середовище.

Постановка проблеми. Питання зменшення запасів паливних корисних копалин, та обмеженості використання енергетичних ресурсів стимулює пошук ефективних способів використання альтернативних джерел енергії та з кожним роком набувають все більшої ваги. У світі вживаються активні дії щодо зменшення негативного впливу людини на планету, підвищення ефективності використання наявних ресурсів та пошуку нових, більш ефективних джерел енергії. Проте основними чинниками впливу вітроенергетики на навколишнє середовище є вилучення земельних територій, шумові ефекти, висока металоємність вітроенергетичних установок і загибель перелітних птахів; використання сонячної енергії пов'язано з деякими екологічними проблемами, по-перше, потреба у порівняно великій кількості площ, по-друге, виробництво геліоеlementів пов'язано з небезпечним забрудненням водного і повітряного басейнів, по-третє, для виробництва фотоелементів використовуються сполуки миш'яку, селену, сурми, кадмію та інших токсичних хімічних елементів, по-четверте, для виробництва дзеркал використовують сполуки ртуті.

В умовах складної економічної та політичної ситуації, постає питання забезпечення економічної безпеки, а проблема високого рівня енергоспоживання, підвищення енергоефективності та розвитку відновлюваної енергетики є надзвичайно актуальним для України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження у сфері енергозбереження, енергоменеджменту, фінансування заходів енергозбереження, законодавства у галузі енергозбереження, а також особливості державної політики з енергозбереження здійснювали як вітчизняні так і зарубіжні вчені: М. Булгакова, М. Приступа, Є. Бобров, А. Качинський, С. Єрмілов, В. Геєць, Ю. Яценко, В. Григоровський, М. Кулик, В. Горбулін, О. Кириленко, Є. Зябіна, О. Люльов, Т. Пімоненко, П. Макаренка, О. Калініченко, В. Аранчій та інші [4-10, 11-15].

Постановка завдання. Аналіз наукових публікацій дозволив виявити недостатньо дослідженим питання застосування енергозберігаючих технологій у контексті економічної безпеки, що є сьогодні надзвичайно актуальним для України. Серед невирішених проблем залишається розгляд впливу енергоефективних технологій як запоруки екологічної безпеки України.

Виклад основного матеріалу. Споживання електроенергії (брутто) протягом грудня 2021 року збільшено порівняно із груднем 2020 року на 260,4 млн кВт·год (або 1,7 %). Споживання електроенергії (нетто) галузями національної економіки та населенням у грудні 2021 року становило 11 890,1 млн кВт·год, що на 204,1 млн кВт·год (або 1,7 %) більше аналогічного показника 2020 року.

Фактичне споживання електроенергії в Україні за 2019-2021 р. має позитивну динаміку в сторону збільшення (рис. 1) [17].



Рис.1. Динаміка споживання електроенергії в Україні

В табл. 1 наведено використання теплової та електричної енергії по групах, а також загальне використання електроенергії в Україні у 2020 році. У табл. 2 наведено дані щодо використання електроенергії за групами споживачів за 2020 рік. У табл. 3 наведено дані про цільове використання електроенергії в регіональному розрізі за 2020 рік.

Відновлювальну енергетику називають «зеленою енергетикою», адже її впровадження напряму пов'язано із підвищенням рівня екологічної безпеки. Найпоширенішими видами електростанцій, що використовують відновлювальні джерела енергії, є сонячні, вітрові та гідроелектростанції. Загальносвітова доля електроенергії, виробленої з відновлювальних джерел, постійно зростає. У деяких країнах частка «зеленої електроенергії» вже перевищує частку електроенергії, що виробляється атомними та вугільними електростанціями. Так, Європейський Союз поставив собі за мету до 2030 р. отримувати 32 % енергії з відновлювальних джерел. Станом на 2020 р. частка відновлювальної енергетики в ЄС становить приблизно 20 %. У 2011 р. Україна приєдналася до Європейського енергетичного співтовариства та взяла на себе зобов'язання виконувати

Таблиця 1

Використання теплової та електричної енергії за групами і загальне використання енергії у 2020 році

Використання теплоенергії по групах						
Регіон	Відпуск теплоенергії, тис. Гкал	Витрати на власні потреби, тис. Гкал	Втрати теплоенергії в тепломережах, тис. Гкал	Використання теплоенергії, тис. Гкал		Використання теплоенергії, млн кВт·год
Україна	88954	11557	10284	67113		78052
промисловість				33882		39405
населення				33231		38648
Регіон	Використання електроенергії по групах			Загальне використання енергії		
	Відпуск електроенергії, млн. кВт·год	Витрати на власні потреби та втрати в електромережах , млн. кВт·год	Використання електроенергії, млн. кВт·год	Використання теплоенергії, млн. кВт·год	Використання електроенергії , млн. кВт·год	Загальне використання енергії, млн. кВт·год
Україна	146435	28528	117907	78052	117907	195959
промисловість			81353	39405	81353	120757
населення			36554	38648	36554	75202

Таблиця 2

Використання електроенергії за групами споживачів

Групи споживачів	Споживання у 2020 році, млн. кВт·год	Групи споживачів	Споживання у 2020 році, млн. кВт·год
1. Промисловість	49307,2	2. Сільськогосподарські споживачі	3796,9
паливна	3232,2	3. Транспорт	5712,5
металургійна	27134,7	4. Будівництво	956,9
хімічна та нафтохімічна	4156,1	5. Комунально-побутові споживачі	14195,7
машинобудівна	3163,7	6. Інші непромислові споживачі	7383,3
будівельних матеріалів	2333,1	7. Населення	36554,2
харчова та переробна	4341,4	Споживання електроенергії (брутто)	146434,8
інша	4946	Споживання електроенергії (нетто)	117906,7

Таблиця 3

Цільове використання електроенергії в регіональному розрізі

Використання електроенергії в регіональному розрізі за 2020 рік ¹ / Electricity use by regions in 2020 ¹ (мис. кВт·год) / thsd. kW·h							
Регіони	Обсяг використання електроенергії - усього / Total electricity use	у тому числі / including				Втрати електроенергії в електромережах енергосистем / electricity losses in grid system	Regions
		на виробництво продукції (виконання робіт) / Production of goods (works)	на власні потреби енергогенеруючих підприємств (установок) / own use of energy generation enterprises (units)	електроенергії ГАЕС на заряд, тощо / electricity used for pumped hydro	електроенергії в системах охолодження / electricity used for cooling		
1	2	3	4	5	6	7	8
Україна	83888551	57605869	12005520	к/с	541924	10520990	Ukraine
Вінницька	1728791	1204453	277233	–	11761	491400	Vinnitsya
Волинська	683202	548406	4364	–	1748	к/с	Volyn
Дніпропетровська	22012015	19384949	666869	–	74169	51609	Dnipropetrovsk
Донецька	8901484	7145422	1529328	–	12111	782715	Donetsk
Житомирська	1268438	1133817	11060	–	24597	380502	Zhytomyr
Закарпатська	443351	318639	8106	–	5488	к/с	Zakarpattia
Запорізька	7454972	4566838	2295801	–	15274	к/с	Zaporizhzhya
Івано-Франківська	2577862	1604950	770642	–	1350	292126	Ivano-Frankivsk
Київська	3014648	1998501	341140	к/с	24640	к/с	Kyiv
Кіровоградська	2284442	1264986	17514	–	27670	264968	Kirovohrad
Луганська	1161036	795083	213323	–	888	260621	Luhansk
Львівська	2302941	1432347	262302	–	22058	604639	Lviv

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5	6	7	8
Миколаївська	3299320	1205895	1308451	к/с	35754	9183	Mykolayiv
Одеська	2320087	2077693	81215	–	9917	812458	Odesa
Полтавська	3822701	3453175	138659	–	16466	417145	Poltava
Рівненська	2678332	1195241	1332291	–	9688	2040	Rivne
Сумська	1196932	981544	41474	–	10632	241960	Sumy
Тернопільська	419851	352424	4939	–	7622	282609	Ternopil
Харківська	3596405	2153336	682888	–	30645	921721	Kharkiv
Херсонська	997488	749561	56551	–	11109	к/с	Kherson
Хмельницька	1710960	775803	673267	–	к/с	383416	Khmelnyskiy
Черкаська	1773689	1247243	219673	–	100557	к/с	Cherkasy
Чернівецька	1900689	183826	37968	к/с	к/с	276508	Chernivtsi
Чернігівська	786969	456431	112183	–	10201	268029	Chernihiv
м. Київ	5551947	1375306	918279	–	76874	к/с	Kyiv city

Використання електричної енергії на виробничо-експлуатаційні та господарські потреби підприємств без урахування обсягів, відпущених населенню. / Electricity used for production and economic needs of enterprises without the amount released to the residential sector.

к/с - Дані не оприлюднюються з метою забезпечення виконання вимог Закону України "Про державну статистику" щодо конфіденційності статистичної інформації. / Data are not published in order to ensure compliance with the requirements of the Law of Ukraine On the State Statistics regarding confidentiality of statistical information.

Рішення Ради Міністрів Енергетичного співтовариства «Про впровадження Директиви 2009/28/ЄС та Договору про заснування Енергетичного Співтовариства», згідно з яким встановлюються обов'язкові національні цілі у сфері відновлюваної енергетики, насамперед для того, щоб надати певні гарантії інвесторам та заохотити до розвитку новітніх технологій та інновацій у цій сфері.

За 2021 рік виробництво електроенергії відновлюваними джерелами енергії (ВЕС, СЕС, біомаса) порівняно з 2020 роком збільшилось на 817,0 млн кВт·год або на 10,5 % та становило 8 568,8 млн кВт·год.

На виконання зазначеної Директиви Кабінет Міністрів України розпорядженням від 03.09.2014 №791-р затвердив План заходів з імплементації Директиви Європейського Парламенту та Ради 2009/28/ЄС та розпорядженням від 01.10.2014 № 902-р затвердив Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 р. Відповідно до зазначеного плану та Директиви, Україна взяла на себе зобов'язання до 2020 р. виробляти 11 % електроенергії із відновлюваних джерел енергії й 25 % до 2035 р. та збільшити встановлені електроенергетичні потужності відновлюваної енергетики до 10900 МВт [1].

Динаміка виробництва електроенергії в Україні представлена на рис. 2 [16].

Реалізація заходів Національного плану передбачала оптимізацію структури паливно-енергетичного балансу та забезпечення споживання енергії, виробленої відновлюваними джерелами обсягом 11 % від сукупного кінцевого споживання енергоресурсів Україною до 2020 р., що еквівалентно заміщенню більше ніж 10 млрд.м³ газу. Динаміка та структура показників, що характеризують виробництво електроенергії в ОЕС України у річному вимірі (табл. 4) [2].

З наведених даних зрозуміло, що в Україні станом на 2021 р. зменшився виробіток електричної енергії на 17,4 % генеруючими станціями ТЕС та ТЕЦ і разом з цим збільшився виробіток електричної енергії на 686 % генеруючими станціями «альтернативної енергетики». Сказане свідчить про значну позитивну динаміку, щодо відносного зменшення шкідливого впливу на навколишнє середовище.

Це підтверджується даними Міністерства енергетики [3]. За даними Міністерства Україна в 2021 р. майже вдвічі перевиконала план щодо зменшення шкідливих викидів в енергетиці. У порівнянні з 2018 р. викиди енергетичних підприємств скоротилися на чверть. Обсяг викидів пилу від ТЕС, ТЕЦ і великих котельних склав у 2021 р. 78 тис. тон при плановому показнику 146 тис. тон. Обсяг викидів сірки у 2021 р. склав 383 тис. тон, плановий показник – 727 тис. тон. Викиди оксиду азоту у 2021 р. зменшилися на 21,4 % у порівнянні з 2018 р. і склали 76 тис. тон при планових 164 тис. тон.

Поточне виконання граничних обсягів викидів в Україні станом на 2021 р. (рис. 3) [3].

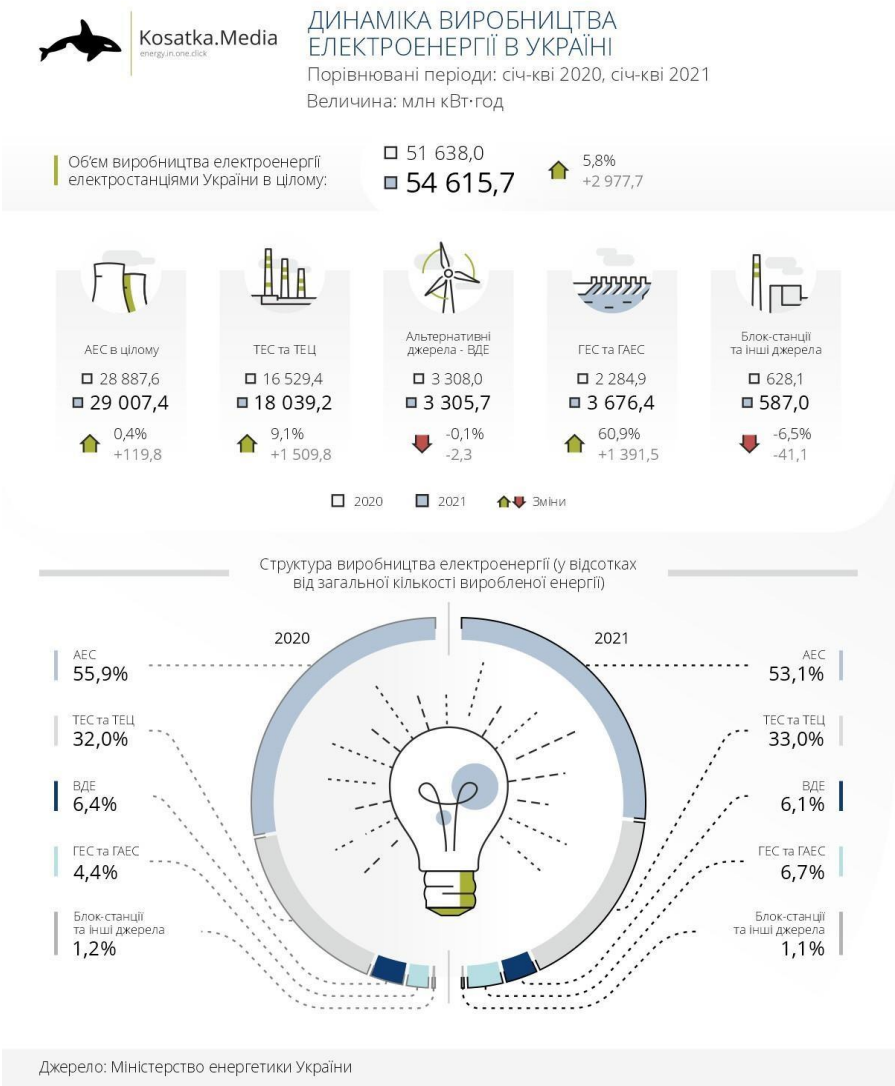


Рис. 2. Динаміка виробництва електроенергії в Україні [16]

Таблиця 4

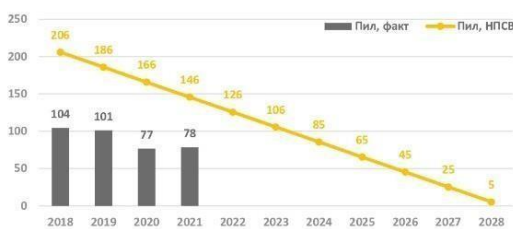
Динаміка та структура виробітку електричної енергії підприємствами альтернативної енергетики в Україні за роками

Виробіток електроенергії	2015 р.		2016 р.		2017 р.		2018 р.		2019 р.		2020 р.		2021 р.	
	млн кВт·год	%	млн кВт·год	%	млн кВт·год	%	млн кВт·год	%	млн кВт·год	%	млн кВт·год	%	млн кВт·год	%
Всього	157665,2	100	154817,4	100	155414,2	100	159350,6	100	153964,8	100	148856,2	100	156575,7	100
ТЕС та ТЕЦ, з них:	55461,7	35,2	56611,6	36,6	55841,3	35,9	58807,8	36,9	55787,6	36,2	52360,8	35,2	45834	29,3
ТЕС ГК	49386,3	31,3	49902,3	32,2	44960	28,9	47791,9	30	44914,9	29,2	39562,4	26,6	37224,9	23,8
ТЕЦ	6075,4	3,9	6709,3	4,3	10881,3	7	11015,9	6,9	10869,7	7,1	12798,4	8,6	8609,1	5,5
ГЕС та ГАЕС, з них:	6808,5	4,3	9118,7	5,9	10567,7	6,8	12008,4	7,5	7869,6	5,1	7583,9	5,1	10445,8	6,7
ГЕС	5234,9	3,3	7484,9	4,8	8982,5	5,8	10429,4	6,5	6521,9	4,2	6026,5	4	9155,4	5,8
ГАЕС	1573,6	1	1633,8	1,1	1585,2	1	1579	1	1347,1	0,9	1557,4	1	1290,4	0,8
АЕС	87627,5	55,6	80950	52,3	85576,1	55,1	84398,2	53	83002,6	53,9	76202,6	51,2	86205,4	55,1
Альтернативні джерела	1591,1	1	1560,3	1	1898,1	1,2	2632,7	1,7	5544,3	3,6	10862	7,3	12519,7	8
Блок-станції	6176,4	3,9	6576,7	4,2	1530,9	1	1503,5	0,9	1766,3	1,1	1846,9	1,2	1570,8	1

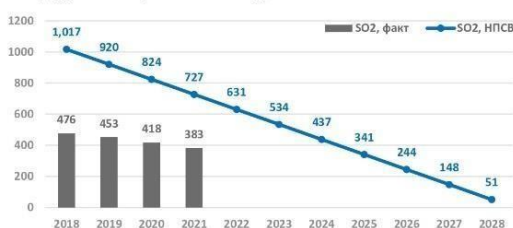
ПОТОЧНЕ ВИКОНАННЯ ГРАНИЧНИХ ОБСЯГІВ ВИКИДІВ, ВИЗНАЧЕНИХ У ДОДАТКУ 2 ДО НПСВ



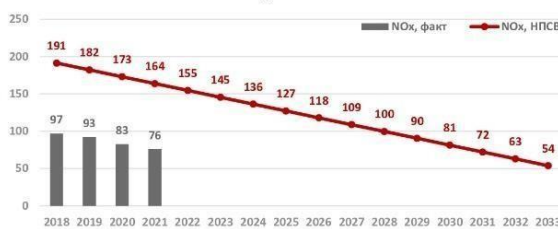
Нормативні та фактичні загальні обсяги викидів забруднюючих речовин – пил, тис т



Нормативні та фактичні загальні обсяги викидів забруднюючих речовин – SO₂, тис т



Нормативні та фактичні загальні обсяги викидів забруднюючих речовин – NO_x, тис т



- За рахунок зниження споживання е/е і стрімкого зростання генерації відновлювальних джерел енергії, обсяги генерації ТЕС в Україні, а разом із цим і обсяги викидів забруднюючих речовин, знижуються
- Відповідно до звітів операторів, у 2018 – 2021 рр. фактичні викиди по установках, за якими визначаються граничні обсяги викидів, значно нижчі, ніж встановлено НПСВ



Україна не порушує взятих на себе зобов'язань зі скорочення загальних обсягів викидів

Рис. 3. Поточне виконання граничних обсягів викидів в Україні станом на 2021 р. [3]

Такі результати обумовлені зменшенням виробництва електричної енергії потужностями теплової генерації, які були частково заміщені атомною та відновлюваною енергетикою. Національний план скорочення викидів щільно пов'язаний із заходами екологічної модернізації генеруючих установок та заміною старих виробничих фондів.

Незважаючи на вагомі переваги, відновлювані джерела електроенергії також можуть негативно впливати на довкілля. Експлуатація станцій, які виробляють електроенергію за допомогою відновлюваних енергетичних джерел, пов'язана із вилученням з обігу значних земельних ділянок та з великою ймовірністю буде супроводжуватися негативними наслідками для довкілля: змінами ландшафтів (вітряки, сонячні батареї), підвищенням рівнем шуму (вітряки), забрудненням ґрунтів (геотермальні енергоустановки та установки, які працюють на біомасі).

Енергія вітру є «механічною» енергією. Вітрові електростанції не забруднюють повітря хімікатами, але вони створюють шум. Хоча розміщення великої кількості генераторів поруч сприяє ефективній експлуатації, багато людей вважають це неприйнятним.

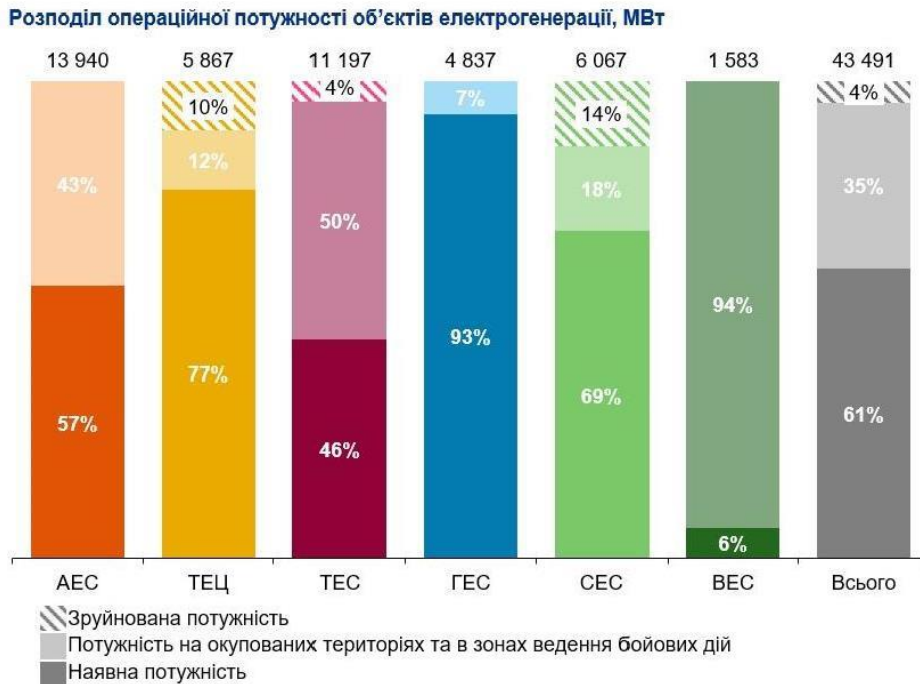
Сонце є найпотужнішим джерелом енергії. Її отриманню перешкоджає необхідність вилучення значних площ, де треба розмістити сонячні панелі з елементами, що перетворюють сонячну енергію відразу в електричну. Ці панелі не забруднюють довкілля, але створюють екологічні проблеми, коли настає час замислитися про їх утилізацію.

Енергія біомаси може утворюватися шляхом спалювання рослинної маси. Цей метод не є шкідливим для довкілля, оскільки викиди вуглекислого газу в атмосферу є незначними. Це обумовлене тим, що кількість вуглекислого газу, яку поглинають рослини у процесі фотосинтезу, є такою ж, що й кількість, яка виділяється у процесі спалювання біомаси. Однак, від вугілля виділяється оксид карбону (чадний газ) та сажа.

Крім того, продуктивність турбін не є високою, що робить цей метод достатньо затратним, а використання біомаси часто нерентабельним. Альтернативне рішення – переробити рослинну масу на газ, наприклад, метан. Потім його можна спалювати у газових турбінах, які працюють більш ефективно. Цей спосіб є перспективним там, де є значна кількість відходів від сільськогосподарської діяльності. Метанол та етанол, що утворюються в процесі ферментації біомаси, можуть використовуватись як паливо для автомобілів.

До початку повномасштабного вторгнення РФ на територію України енергетична галузь була однією з найпотужніших в Європі. Близько 70 % електроенергії вироблялося за рахунок атомної, гідро та відновлювальної генерації. Війна має суттєвий негативний вплив на роботу української енергетичної галузі. Через своє економічне, гуманітарне і геополітичне значення

об'єкти енергетичної інфраструктури є цілями російської агресії. Тим не менш, українська енергосистема демонструє високу стійкість у забезпеченні стабільної роботи галузі навіть в умовах війни. За даними аналітичної групи фахівців НЕК «УКРЕНЕРГО» близько 4 % генеруючої потужності зруйновано під час бойових дій, ще 35 % потужності знаходиться на окупованих територіях. Зокрема, виробнича потужність найбільшої в Європі АЕС (Запорізька) складає 6000 МВт, або 43 % від загальної потужності усіх українських атомних електростанцій. Загалом зруйновано або знаходяться на окупованих територіях близько 50 % теплової генерації, 30 % сонячної генерації та понад 90 % вітрогенерації. Видобуток газу скоротився на 10-12 % за час повномасштабного вторгнення. Розподіл операційної потужності об'єктів електрогенерації представлено на рис. 4.



Джерело: Укренерго, аналіз робочої групи

Рис. 4. Розподіл операційної потужності об'єктів електрогенерації

Також внаслідок бойових дій відбулося значне скорочення попиту (на 30-35 відсотків порівняно із споживанням 2021 року), а профіль споживання суттєво змінився за рахунок переміщення споживачів в західні області. Станом на кінець червня без постачання електроенергії знаходяться майже 600 тисяч споживачів та без газу – близько 180 тисяч споживачів. На рис. 5 представлено інформацію щодо виробництва електроенергії у 2022 році.

Але не зважаючи на перешкоди, Національною радою відновлення України від наслідків війни запропонований дієвий план відновлення, який передбачає заходи з посилення енергетичної безпеки України, та наданні на розгляд для подальшого затвердження до Кабінету Міністрів України, зокрема проекти розпорядження КМУ «Про Національний план дій з розвитку відновлюваної енергетики на період до 2030 року» та «Про Національний план дій з використання палив вироблених з відновлювальних джерел окрім біомаси до 2030 року». Зазначені заходи зокрема передбачають наступні ключові можливості для енергетичної галузі України:

- Інтеграція з енергосистемами країн ЄС.
- Оптимізація енергетичного міксу та балансування енергосистеми.
- Комерційно привабливі інвестиційні проекти.
- Потенціал до подальшої приватизації та підвищення конкуренції в галузі.
- Можливість залучення іноземної експертизи, технологій та фінансування дорозвідки та розробки важковидобувних і шельфових вуглеводнів.

Авторський аналіз стану та ефективності застосування об'єктів енергетики з ВДЕ в умовах воєнного стану зазначає неефективність роботи діючих генеруючих об'єктів з ВДЕ в єдиній енергосистемі України та вбачає необхідність вдосконалення діючих об'єктів з метою можливості працювати автономно як резервне живлення для об'єктів критичної інфраструктури, а не акцентувати на комерційну складову.

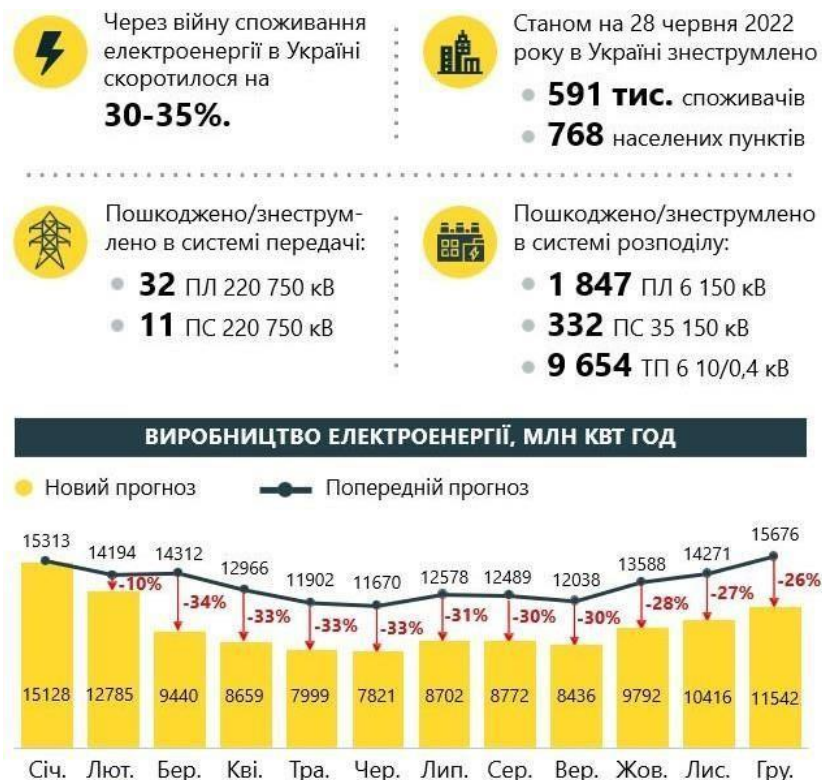


Рис. 5. Виробництво електроенергії

Висновки. За останні роки уряд та суспільство наголошують на загостренні глобальних екологічних проблем, таких як кислотні опади та зміна клімату, а також оцінках наслідків впливу цих процесів на довкілля. Хоча електроенергію можна виробляти екологічними способами, використовуючи відновлювані джерела (сонце, вітер, термальні води, деревини та відходи сільськогосподарського виробництва), необхідно усвідомлювати, що способу отримання електроенергії, який би повністю не шкодив довкіллю, не існує.

Питання ощадливого використання паливно-енергетичних ресурсів, заміщення газу альтернативними видами палива, використання енергозберігаючих технологій стали пріоритетними завданнями у забезпеченні економічної безпеки та потребують негайного вирішення.

Література

1. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 3 вересня 2014 року №791-р «Про затвердження план заходів з імплементації Директиви Європейського Парламенту та Ради 2009/28/ЄС» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/791-2014-%D1%80#Text>.
2. Видання «ЕнергоВсесвіт». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vse.energy/spec-projects/infographpek/1615-electricity>
3. Видання «ExPro». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://expro.com.ua/novini/ukrana-vdvch-perevikonala-plan-schodo-zmenshennya-shkdlivih-vikidv-v-energetic-za-2021r>
4. М. Булгакова, М. Приступа, Енергозбереження в Україні: правові аспекти і практична реалізація. – Рівне: видавець О. Зень, 2011, 48 с.
5. Бобров Є.А. Енергетична безпека держави: Монографія. – К.: Університет економіки та права «КРОК», 2013. – 308 с.
6. Качинський А. Екологічна безпека України: системний аналіз перспектив покращення. – К.: НІСД, 2001. – 312 с.
7. Енергоефективність як ресурс інноваційного розвитку: Національна доповідь про стан та перспективи реалізації державної політики енергоефективності у 2008 році / [Єрмілов С.Ф., Геєць В.М., Ященко Ю.П., Григоровський В.В., Лір В.Е. та ін.]. – К. : НАЕР, 2009. – 93 с.

8. Кулик М.М., Горбулін В.П., Кириленко О.В. Концептуальні підходи до розвитку енергетики України (аналітичні матеріали) / Інститут загальної енергетики НАН України, 2017. – 78 с.
9. Зябіна Є.А., Люльов О.В., Пімоненко Т.В. Розвиток зеленої енергетики як шлях до енергетичної незалежності національної економіки: досвід країн ЄС // Науковий вісник Полісся. 2019. № 3 (19). С. 39-48. DOI: 10.25140/2410-9576-2019-3(19)-39-48
10. Энергоефективність та енергозбереження: економічний, техніко-технологічний та екологічний аспекти : колективна монографія / Кол. авторів; за заг. ред. П. М. Макаренка, О. В. Калініченка, В. І. Аранчій. Полтава : ПП “Астроя”, 2019. 603 с.
11. Miraj Ahmed Bhuiyan, Qiannan Zhang, Vikas Khare, Alexey Mikhaylov, Gabor Pinter, Xiaowen Huang. Renewable Energy Consumption and Economic Growth Nexus – A Systematic Literature Review/ *Frontiers in Environmental Science*, April 2022. DOI 10.3389/fenvs.2022.878394
12. Kytaiev A, Chala N, Androsov Y. Failures of energy policy in Ukraine in the context of energy security priorities. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*. 2020; 23(3):111–124. doi:10.33223/epj/127509.
13. Alagappan L., Orans R., Woo C.K., What drives renewable energy development?, *Energy Policy*, Volume 39, Issue 9, 2011, P. 5099–5104, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.06.003>
14. Souvik Sen, Sourav Ganguly, Opportunities, barriers and issues with renewable energy development – A discussion, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 69, 2017, P. 1170–1181, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.137>
15. Xiaofeng Xu, Zhifei Wei, Qiang Ji, Chenglong Wang, Guowei Gao, Global renewable energy development: Influencing factors, trend predictions and countermeasures, *Resources Policy*, Volume 63, 2019, 101470, ISSN 0301-4207, <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101470>
16. Аналітика електроенергетики. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kosatka.media/uk/category/elektroenergiya/analytics/za-8-mesyacev-2021-vyrabotali-na-6-5-bolshe-elektroenergii-chem-v-2020>
17. ЕнергоВсесвіт. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vse.energy/news/pek-news/electro/1940-ee-consumption-12>
18. Desthieux, G. et al. (2018). Solar Cadaster of Geneva: A Decision Support System for Sustainable Energy Management. In: Otjacques, B., Hitzelberger, P., Naumann, S., Wohlgemuth, V. (eds) *From Science to Society. Progress in IS*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-65687-8_12
19. Soutullo, S.; Giancola, E.; Sánchez, M.N.; Ferrer, J.A.; García, D.; Suárez, M.J.; Prieto, J.I.; Antuña-Yudego, E.; Carús, J.L.; Fernández, M.Á.; Romero, M. Methodology for Quantifying the Energy Saving Potentials Combining Building Retrofitting, Solar Thermal Energy and Geothermal Resources. *Energies* 2020, 13, 5970. <https://doi.org/10.3390/en13225970>
20. Bieda, A.; Cieniała, A. Towards a Renewable Energy Source Cadastre—A Review of Examples from around the World. *Energies* 2021, 14, 8095. <https://doi.org/10.3390/en14238095>

V. Linchenko^{1,2}, D. Zhuk¹, N. Lysenko³, S. Stepenko³, I. Zhuk⁴

¹Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv

²LLC "Mykolaiv Electric Supply Company", Mykolaiv

³Chernihiv Polytechnic National University, Chernihiv,

⁴Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv

GREEN ENERGY: PROBLEMS OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

Nowadays, the assurance of energy security of our country is an important scientific and practical task for state electricity supply companies and enterprises which are directly related to the fuel and energy complex of Ukraine (electricity sector). Solving this issue is related to the formation of a reliable network of alternative generation complexes and requires a preliminary analysis, research, improvement of the of integration tools (connections) of wind, solar, bio, hydro power plants with industrial networks in the infrastructure of Ukraine. In addition to the improvement of the technical part of integrated complexes according to the structure "alternative generation source - conversion station - industrial electric network", the ecological aspects of "green energy" are relevant. Namely, the impact on the external

ecological environment of such complexes or their positive contribution to the reduction of negative impact on the environment from traditional electricity generation.

The paper deals with the dynamics of the development of renewable energy sources (RES) in Ukraine, including the volumes of "green energy" and "harmful energy" production. An analysis of the relevant regulatory documents and the current state of the RES implementation in Ukraine during 2015-2021 has been carried out. A special attention is paid to the study of the indicators of the limit volumes of emissions of pollutants in the process of electricity production.

The issue of using energy-saving technologies in the context of ensuring the economic security of Ukraine is considered.

Keywords: renewable energy sources, alternative generation, ecological environmental.

References

1. Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated September 3, 2014 No. 791-r "On approval of the plan of measures for the implementation of Directive 2009/28/EU of the European Parliament and Council" [Electronic resource]. – Access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/791-2014-%D1%80#Text>.
2. "EnergoVsesvit" edition. [Electronic resource]. – Access mode: <https://vse.energy/spec-projects/infographpek/1615-electricity>.
3. "ExPro" edition. [Electronic resource]. – Access mode: <https://expro.com.ua/novini/ukrana-vdvch-perevikonala-plan-schodo-zmenshennya-shkdliivih-vikidiv-v-energetich-za-2021r>
4. M. Bulgakova, M. Prystupa, Energy saving in Ukraine: legal aspects and practical implementation. – Rivne: publisher O. Zen, 2011, 48 p.
5. Bobrov E.A. Energy security of the state: Monograph. - K.: KROC University of Economics and Law, 2013. - 308 p.
6. Kachynskyi A. Environmental security of Ukraine: a systematic analysis of improvement prospects. - K.: NISD, 2001. - 312 p.
7. Energy efficiency as a resource of innovative development: National report on the state and prospects of implementation of the state energy efficiency policy in 2008 / [Yermilov S.F., Geets V.M., Yashchenko Y.P., Hryhorovsky V.V., Lear V. E. et al.]. - K.: NAER, 2009. - 93 p.
8. Kulyk M.M., Horbulin V.P., Kyrlyenko O.V. Conceptual approaches to the development of the energy industry of Ukraine (analytical materials) / Institute of General Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2017. – 78 p.
9. Zyabina E.A., Lyulov O.V., Pimonenko T.V. The development of green energy as a way to energy independence of the national economy: the experience of the EU countries // Scientific Bulletin Polissya. 2019. No. 3 (19). P. 39-48. DOI: 10.25140/2410-9576-2019-3(19)-39-48
10. Energy efficiency and energy saving: economic, technological and ecological aspects: collective monograph / Kol. authors; in general ed. P. M. Makarenko, O. V. Kalinichenko, V. I. Aranchyi. Poltava: PP "Astraya", 2019. 603 p.
11. Miraj Ahmed Bhuiyan, Qiannan Zhang, Vikas Khare, Alexey Mikhaylov, Gabor Pinter, Xiaowen Huang. Renewable Energy Consumption and Economic Growth Nexus – A Systematic Literature Review/ Frontiers in Environmental Science, April 2022. DOI 10.3389/fenvs.2022.878394
12. Kytaiev A, Chala N, Androsov Y. Failures of energy policy in Ukraine in the context of energy security priorities. Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal. 2020; 23(3):111–124. doi:10.33223/epj/127509
13. Alagappan L., Orans R., Woo C.K., What drives renewable energy development?, Energy Policy, Volume 39, Issue 9, 2011, P. 5099–5104, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.06.003>
14. Souvik Sen, Sourav Ganguly, Opportunities, barriers and issues with renewable energy development – A discussion, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 69, 2017, P. 1170–1181, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.137>
15. Xiaofeng Xu, Zhifei Wei, Qiang Ji, Chenglong Wang, Guowei Gao, Global renewable energy development: Influencing factors, trend predictions and countermeasures, Resources Policy, Volume 63, 2019, 101470, ISSN 0301-4207, <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101470>
16. Analytics of electric power industry. [Electronic resource]. - Access mode: <https://kosatka.media/uk/category/elektroenergiya/analytics/za-8-mesyacev-2021-vyrabotali-na-6-5-bolshe-elektroenergiya-chem-v-2020>

17. "Energovsesvit" edition. [Electronic resource]. – Access mode: <https://vse.energy/news/pek-news/electro/1940-ee-consumption-12>
18. Desthieux, G. et al. (2018). Solar Cadaster of Geneva: A Decision Support System for Sustainable Energy Management. In: Otjacques, B., Hitzelberger, P., Naumann, S., Wohlgemuth, V. (eds) From Science to Society. Progress in IS. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-65687-8_12
19. Soutullo, S.; Giancola, E.; Sánchez, M.N.; Ferrer, J.A.; García, D.; Suárez, M.J.; Prieto, J.I.; Antuña-Yudego, E.; Carús, J.L.; Fernández, M.Á.; Romero, M. Methodology for Quantifying the Energy Saving Potentials Combining Building Retrofitting, Solar Thermal Energy and Geothermal Resources. *Energies* 2020, 13, 5970. <https://doi.org/10.3390/en13225970>
20. Bieda, A.; Cienciała, A. Towards a Renewable Energy Source Cadastre—A Review of Examples from around the World. *Energies* 2021, 14, 8095. <https://doi.org/10.3390/en14238095>

**В. М. Кланчук¹, Я. С. Коробейникова²,
Л. В. Палійчук², О. В. Поздняков¹**

¹Прикарпатський національний
університет імені Василя Стефаника

²Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНОВЛЕННЯ ТА РОЗВИТКУ НАФТОГАЗОПРОВОДІВ У ГАЛИЧИНІ В КІНЦІ ХІХ ПОЧ. ХХ СТ. В КОНТЕКСТІ ФОРМУВАННЯ ПРОГРАМ ПРОМИСЛОВОГО ТУРИЗМУ

Розвиток нового для України виду туризму – промислового потребує комплексних досліджень щодо методології оцінки ресурсного потенціалу, розгляду безпекових аспектів такого виду туристичної діяльності та розглядається як інструмент сталого розвитку промислових регіонів. Не менш важливим є змістовне наповнення туристичних програм, яке потребує детальних історичних розвідок та наповнення фактографічною базою туристичних об'єктів промислового туризму. Таким чином формується їх атрактивність, що впливає на якість туристичних програм загалом. Ця проблематика є актуальною для всіх напрямків промислового туризму і нафтогазопровідні об'єкти не є винятком. В статті проведені дослідження історії нафтогазопровідів у Галичині в кінці ХІХ початку ХХ ст. Історія транспортування нафти у Галичині починається з нафтопроводу, що з'єднував нафтове родовище у Слободі Рунгурській з залізничною станцією Печеніжин, збудовано 1886 р. У 1932 р. в Галичині функціонувало 7 нафтовидобувних підприємств (10% загальної кількості) здійснювали транспортування сировини, маючи власні трубопроводи. Наприкінці 1930-х рр. кількість нафтових підприємств зросла майже удвічі, транспортування сировини та нафтопродуктів здійснювали 9 фірм. Перший у Галичині газопровід довжиною 0,7 км збудовано 1912 р. у Бориславі. Того ж року два газопроводи (кожен близько 12 км) з'єднали Борислав з Дрогобичем. На кінець 1920-х рр. у Галичині вже діяло близько 300 км газопроводів. У Бориславсько-Дрогобицькому окрузі газогони будувалися ще до війни, а в Ясельському, починаючи з 1919 р. Збільшення видобування природного газу у Галичині дозволили розширити мережі газифікації населених пунктів і підприємств. У Ясельському гірничому окрузі 1933 р. видобули 97664, у Дрогобицькому – 319950 та у Станіславівському – 44597 тис. м³ газу, власниками та транспортерами якого було 15 фірм. Таким чином, впродовж 1912-1938 рр. у Галичині збудовано 11 газопроводів діаметрами 80-225 мм і загальною довжиною 293,7 км. Інформація про історію становлення та розвитку нафтогазопроводів в Галичині в кінці ХІХ початку ХХ ст. є цінним фактографічним джерелом для розуміння еволюції нафтогазотранспортної системи України та основою для формування туристичних програм промислового туризму на об'єктах нафтогазового комплексу.

Ключові слова: атрактивність туристичних об'єктів; історія нафтогазової галузі; нафтогони; газогони; туристичні програми.

Постановка проблеми. Незважаючи на форс-мажорні обставини останніх років, туристична галузь показує доволі високий рівень стійкості та здатність швидко відновлюватися. За даними ВТО деякі регіони відновили доковідний рівень туристичної діяльності, інші показують стійку позитивну динаміку в цьому напрямку [1]. Промисловий туризм, хоча й не посідає домінуючих місць на світовому туристичному ринку, проте в країнах розвинутого туристичного ринку уже чітко зайняв певну нішу. Цей вид туризму розглядається як альтернатива промислового розвитку та трансформація його на засадах сталості. Україна володіє потужною промисловою спадщиною, деякі промислові об'єкти є унікальними (Чорнобильська зона, соляна шахта м. Соледар Донецької обл.) та можуть становити туристичний інтерес як для українських так і для іноземних відвідувачів. Туристична діяльність, яка зосереджена на наданні послуг промислового туризму має мати комерційну складову, тобто має бути прибутковою. Прибутковість таких підприємств залежить від того наскільки вдало вони зорієнтувались у вимогах та уподобаннях цільової аудиторії. Відвідування об'єктів промислового туризму для споживачів повинні бути цікавими, захоплювати, надавати яскраві естетичні, пізнавальні та дослідницькі враження. Тому актуальним є дослідження історичних передумов розвитку промислових підприємств та галузей загалом, що дає розуміння закономірностей їх розвитку, інформаційно підсилює туристичні програми

промислового туризму. В Україні є багато туристично привабливих підприємств енергетичного сектору державної та недержавної форми власності, які можуть стати унікальними туристичними об'єктами. Туристичне використання таких підприємств та окремих об'єктів може дати нове життя та можливості, а також стати одним із інструментів диверсифікації галузі на засадах сталого розвитку та економіки територій загалом. Нафтогазова галузь в Україні має давню історію, об'єкти нафтогазової галузі можуть бути цікавими з туристичної точки зору, тому дослідження історичних аспектів розвитку галузі є важливою фактографічною основою туристичних програм промислового туризму в межах об'єктів нафтогазової галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Промисловий туризм відсутній як вид туризму в нормативно-правовій базі країни, а діючий закон України «Про туризм» не містить такої дефініції взагалі [2]. Втім туристичні програми саме промислового туризму успішно працюють та набувають ознак окремого виду туризму, який потребує інформаційного, методологічного, технологічного забезпечення [3]. Наукову базу досліджень в промисловому туризмі було сформовано на основі визначення підвидів промислового (індустріального) туризму, його територіальної організації, окреслення основних проблем його становлення та розвитку в різних регіонах країни [4-7]. Розвиваються ідеї щодо використання відпрацьованих промислових ландшафтів, які також можуть бути об'єктами туризму [8]. Проаналізовано також основні гірничопромислові та нафтогазові комплекси західного регіону України з урахуванням оптимальності їх функціонування та трансформації у рекреаційно-курортні зони та інші реабілітаційні ландшафтні комплекси [9]. Крім зазначених авторами проблем, слід виділити також проблему фактографічного наповнення туристичних програм даного виду туризму. Історичні аспекти розвитку нафтогазової галузі були предметом досліджень багатьох українських вчених. Наукові праці щодо досліджень тих чи інших аспектів історії нафтогазової справи стосуються двох етапів розвитку нафтогазової галузі в західному регіоні: до другої світової війни та післявоєнний період з 1945 р. У спільній україно-польській монографії викладено історичне минуле нафтогазопромислового комплексу Прикарпаття та висвітлено становлення і розвиток бурової справи в регіоні, науково-технічні досягнення розробки родовищ від давнини до сьогодення [10]. Досліджено процес становлення, розвитку, досягнень, перспектив та науково-технічного потенціалу нафтогазової промисловості в Україні та в західному регіоні зокрема [11-15]. Проте в науковій літературі недостатньо інформації про становлення та розвиток нафтогазопроводів в західній частині України, що унеможливорює ефективне інформаційне забезпечення туристичних програм з цієї тематики, зумовлює низьку якість наданих туристичних турів.

Постановка завдання. Формування туристичних програм промислового туризму базується на історіографічно вивірених інформації про об'єкти відвідувань. Це також стосується і нафтогазової галузі, об'єкти якої можуть бути атрактивними і використовуватись в туристичних програмах. Крім обґрунтування його основних концептуальних положень, оцінки туристичного потенціалу промислових регіонів та окремих підприємств, розробці конструктивно-географічних пропозицій щодо стимулювання розвитку туризму в промислових центрах, необхідна змістовна фактографічна база таких туристичних програм з метою ознайомлення туристів з історією галузі та закономірностями її розвитку.

Мета досліджень: з'ясувати історію розвитку нафтогазової галузі у частині створення мережі нафтогонів та газогонів в Галичині в кінці XIX початку XX ст. *Об'єкт дослідження* – нафтогазопровідна галузь західної частини України в контексті її історичного розвитку. *Предмет дослідження* – історичні аспекти формування нафтогазопровідної галузі на початку 20ст. як основи фактографічної бази для формування туристичних програм.

Виклад основного матеріалу.

Перший у Галичині нафтопровід збудовано 1886 р.[16]. З'єднував нафтове родовище у Слободі Рунгурській з залізничною станцією Печеніжин, звідки сировина транспортувалася на рафінерії в околицях Коломиї.

З Бориславсько-Густановицького нафтового родовища, що представляло собою тисячі нафтових веж і резервуарів, ряд нафтопроводів проведено на межі XIX–XX ст. [17].

До залізничних станцій у Сколичині, Єдлічу, Кросні, Івонічу, Риманові, Ольшаніці, Дрогобичі і Бориславі та до нафтопереробних заводів у Глінніку Маріямпільському та Дрогобичі було проведено 28 нафтопроводів загальною довжиною біля 250 км. Нафта зі свердловин і шахт

збиралася у 682 залізних (об'ємом 1086390 т), 660 земляних (1712940 т) і 1478 дерев'яних (120680 т) збірниках, що загалом складало 2920010 т.

Як вже зазначалося вище, нафту-сирівець до рафінерій транспортували декількома шляхами, в т.ч. за допомогою нафтопроводів, яких на початку XX ст. у Галичині утримували дев'ять підприємств (табл. 1) [18]. У 1906 р. нафту-сирівець до рафінерій транспортували декількома шляхами, в т.ч. за допомогою нафтопроводів, яких на початку XX ст. у Галичині утримували дев'ять підприємств.

Таблиця 1

Нафтопровідні підприємства Галичини [18]

№ з/п	Населений пункт	Власники
1	Борислав	Towarzystwo boryslawskie dla transportu i magazynowania ropy
2	Борислав	Towarzystwo «Petrolea» (związek przedsiębior. naft. we Lwowie, dyrekcje we Wiedniu i Lwowie, zarząd w Borysiawiu), zakład do magazynowania i tłoczenia ropy
3	Борислав	Gal. Tow. akc. «Galicja» (przedtem The Anglo-Galician Oil Company Ltd w Londynie), rurociąg naftowy i tłocznia
4	Борислав	Dawid Fanto i Sp., zakład dla magazynowania i tłoczenia (własnej tylko) ropy
5	Борислав	dr. Stefan Freund, zakład do tłoczenia i transportu (własnej) ropy
6	Борислав	Tadeusz Sroczyński i Stanisław Bogusz, zakład do przetłaczania (własnej) ropy
7	Борислав	Towarzystwo akc. dla przemysłu naftowego we Lwowie. Rurociąg (własnej) ropy i gazu
8	Тустановичі	Towarzystwo rurociągowе i magazynowe
9	Тустановичі	Gal. Towarzystwo magazynowe dla produktów naftowych (tłocznia i rurociąg wodny z maszyną benzynową, oraz ropociąg)

Про велике зацікавлення держави нафтовою галуззю свідчить ряд законів і підзаконних актів щодо продуктопроводів, виданих Австро-Угорським і Польським урядами впродовж 1918–1921 рр.: від 07.02.1919 р. № 14 «Про секвестр збірників і нафтових цистерн»; від 02.05.1919 р. № 39 «Про виняткове право держави на будівництво трубопроводів, що служать для подачі природного газу, регулювання продукції та їх реалізацію»; від 01.08.1919 № 68 «Про секвестр збірників і нафтових цистерн» [19]. 1932 р. на теренах Галичини функціонувало 71 нафтовидобувне та нафтопереробне підприємства, з яких лише 7 здійснювали транспортування сировини, маючи власні трубопроводи (табл. 2).

Таблиця 2

Нафтопровідні підприємства Галичини (1932) [20]

№ з/п	Назва фірми	Місцезнаходження, специфіка
1	«MAŁOPOLSKA» Grupa Francuskich Towarzystw Naftowych, Przemysłowych i Handlowych w Polsce	Нафтопроводи: «Petrolea», Towarzystwo Akcyjne dla Przemysłu Oleju Skalnego; Spółka Rurociągową Producentów Naftowych w Schodnicy, Jan Zeitleben i S-ka; Galicyjskie Karpackie Naftowe Towarzystwo Akcyjne, dawniej Bergheim et Mac Garvey; «Montan», Małopolskie Górnicze Towarzystwo Akcyjne Naftowe.
2	Przedsiębiorstwo Naftowe Emanuel Lockspeiser	Нафто- і газопроводи; сховища нафти і газу
3	«PETROLEA», Akcyjne Towarzystwo dla Przemysłu Oleju Skalnego	Сховища нафти, нафтопроводи у Бориславі-Тустановичах, Кросні та Станіславівському воєводстві
4	Kopalnia Nafty «ROPIENKA», Spółka z ogr. odp.	Нафтопровід і сховище нафти у Роп'янці
5	Spółka Rurociągową Producentów Naftowych w Schodnicy Jan Zeitleben i S-ka	Нафтопроводи і сховища нафти
6	«GAZOLINA», Spółka Akcyjna	Газолінопровід (7 км); газопроводи (200 км)
7	«POLMIN», Państwowa Fabryka Olejów Mineralnych	Нафтопроводи – 30,2 км; Газопроводи – 154 км; Сховища нафти у Дрогобичу на 216 тис. т

Наприкінці 1930-х рр. кількість нафтових підприємств Галичини зросла майже удвічі у порівнянні з 1932 р., але транспортування сировини та нафтопродуктів здійснювали на власних потужностях лише 9 фірм (табл. 3).

Таблиця 3

Нафтопровідні підприємства Галичини (1938) [21]

№ з/п	Назва фірми	Місцезнаходження, специфіка
1	«MAŁOPOLSKA» Grupa Francuskich Towarzystw Naftowych, Przemysłowych i Handlowych w Polsce	<i>Нафтопроводи:</i> «Petrolea», Towarzystwo Akcyjne dla Przemysłu Oleju Skalnego; Spółka Rurociągową Producentów Naftowych w Schodnicy, Jan Zeitleben i S-ka; Galicyjskie Karpackie Naftowe Towarzystwo Akcyjne, dawniej Bergheim et Mac Garvey; «Montan», Małopolskie Górnicze Towarzystwo Akcyjne Naftowe.
2	«GRABOWNICA», Towarzystwo Wiertnicze, Spółka z ogr. odp.	Сховище нафти – 2350 т; нафтопроводи – 22095 м; газопроводи – 10666 м
3	Przedsiębiorstwo Naftowe Emanuel Lockspeiser	нафто- і газопроводи, сховища нафти і газу
4	«PETROLEA», Akcyjne Towarzystwo dla Przemysłu Oleju Skalnego	Сховища нафти, нафтопроводи у Бориславі-Тустановичах, Кросні та Станиславівському воєводстві
5	Kopalnia Nafty «ROPIENKA», Spółka z ogr. odp.	Нафтопровід і сховище нафти у Роп'янці
6	URYCKA Spółka dla Przemysłu Naftowego Gartenberg, Schreier, Feuerstein, Wiśniewski w Drohobyczu	Копальні нафти і газу в Уричу і Бориславі (111); сховища нафти – 8 тис. т; нафтопроводи – 17 км
7	«GAZOLINA», Spółka Akcyjna	Газоліновий трубопровід (7 км); газопроводи (300 км)
8	«GAZY ZIEMNE», Spółka Akcyjna dla Przemysłu Naftowego, dawniej Spółka Akcyjna dla Przemysłu Naftowego i Gazów Ziemnych	Нафтопроводи – 15516 м
9	«STANDARD-NOBEL» w Polsce, Spółka Akcyjna	Нафтопроводи – 12514 м

Напередодні Першої світової війни та, особливо, у міжвоєнний період виник жвавий інтерес до нафтових газів та їх використання у промисловості і побуті. Перший у Галичині газопровід довжиною 0,7 км збудовано 1912 р. у Бориславі, яким сполучалася свердловина «Klaudiusz» з газоліноюю установкою. Того ж року два газопроводи (кожен близько 12 км) з'єднав Борислав з Дрогобичем: один з них діаметром 175 мм доставляв газ на рафінерію, інший, діаметром 225 мм – на газоліновий завод. Для підтримання робочого тиску 0,1–0,3 МПа збудовано парову компресорну станцію [16].

Напередодні Першої світової війни у Галичині діяло 19 газовень, однак воєнні події призупинили розвій газівництва [22]. У 1912–1913 рр. у Дашаві фірмою «Simon» відкрито газове родовище, з якого 1916 р. прокладено перші газогони. 1918 р. фірма S.A. «Gazolina» почала видобувати зі свердловини «Piłsudczyk I» газ дебітом 28800 м³/добу. Незабаром фірмою «S.A. Międzyzmiastowe Gazociągi» інж. Владислава Шайнока розпочато роботи з прокладання газогонів до Стрия (1921 р.), Дрогобича (1924 р.) та проекту до Львова (збудовано 1929 р.) [23]. Газ підвели до газовні і старими газогонами по місту, розпочавши широко використовувати у житлових будинках, для чого розпочався продаж газових плит і водогрійних колонок [24].

У міжвоєнний період газопостачання, водопостачання та водовідведення здійснювало Товариство газівників і водопровідників Польщі та Господарчий гурток газовень і водопровідних закладів Польщі. Основні питання здійснення своєї діяльності вони розглядали на спільних з'їздах, які щороку відбувалися у різних містах країни. товариство з 1920 р. видавало свій друкований орган «Gaz i woda».

19 січня 1927 р. юридично утворено Польський водопровідно-каналізаційний Інститут, основною метою якого була допомога органам місцевого самоврядування, підприємствам та організаціям у питаннях водокористування та водовідведення [25].

Польський сейм наприкінці 1920-х рр. прийняв відповідну ухвалу щодо виділення великого кредиту на будівництво газопроводів у Західній Галичині довжиною 63 км, яким здійснювалася подача газу безпосередньо зі свердловин до оточуючих заводів і окремих населених пунктів (як паливо для житлових споруд). Подібний газопровід 1922 р. з'єднав Дашаву зі Стриєм (14,4 км, діаметр труби 225 мм), 1924 р. його продовжено на 24,5 км до Дрогобича, а 1925 р. ще на 9,7 км – до Стебника. Інвестором виступило Акціонерне товариство «Gazolina». З газу шляхом його конденсації отримували газолін, якого все більше потребувало автомобільне господарство (у 1920 р. виготовлено 593 т газоліну, у 1928 р. – 31855 т) [26]. Загальна довжина газопроводу склала 48,6 км.

Після відкриття 1924 р. одного з найбільших газових родовищ Галичини, з'явилася можливість транспортування газу й у інші міста краю. 1927 р. збудовано другу нитку газопроводу до Стрия довжиною 16,2 км та діаметром 225 мм, 1928 р. – Дашава – Дрогобич – 40 км (діаметр труби 175 мм). У 1929 р. прокладено газопровід Дашава – Львів через Миколаїв довжиною 82 км та діаметром 175 мм. [16]. За даними енциклопедії українознавства – 68 км та діаметром 150 мм [27].

З 1925 р. є офіційні дані про наявність та потужності міських газопроводів (табл. 4). 1925 р. протяжність підвідних газогонів у шести містах Галичини складала 427 км, а споживацьких (до користувачів) – понад 6880 км. Того року використано понад 17 млн м³ газу. Починаючи з 1926 р. дані стосуються лише трьох воєводських центрів Галичини. за період з 1926 до 1928 рр. у Львові, Кракові та Станиславіві було 399–418 км підвідних та 6–6,5 тис. км споживацьких газогонів. Кількість споживачів та об'єми використання газу за цей період щорічно зростало: споживачів – на 8 %, газу – на 20 %. Загалом, щорічно використовувалося 16–19,2 млн м³ газу, що було більшим на 12,5 % більше, ніж у 1925 р. використали шість міст Галичини.

Таблиця 4

Міські газогони у Галичині [28]

Рік	Місто	Підвідні газогони, км	Споживацькі газогони, км	Використано газу, тис. м ³	Кількість споживачів	Ціна газу, зл.
1925	Львів	203	2435	7561,1	9945	?
	Краків	137	2861	7357,6	11901	?
	Станиславів	25	565	1059,2	1719	?
	Коломия	22	360	312,6	340	?
	Стрий	29	520	620,9	516	?
	Ряшів	11	142	161,2	242	?
	Разом:	427	6883	17072,6	24663	?
1926	Львів	230,0	2714	7833,0	10192	0,385
	Краків	140,8	2776	6980,0	11897	0,35
	Станиславів	28,4	587	1162,0	1775	0,42–0,45
	Разом:	399,2	6077	15975	23864	0,4
1927	Львів	234,0	2822	8451,0	10408	0,385
	Краків	145,0	2883	7958,6	12430	0,39
	Станиславів	28,7	602	1275,0	1855	0,42–0,45
	Разом:	407,7	6307	17684,6	24693	0,4
1928	Львів	239,0	2904	9134,5	10686	0,385
	Краків	150,7	3040	8892,1	13151	0,39
	Станиславів	28,9	612	1196,0	1941	0,42–0,45
	Разом:	418,6	6556	19222,6	25778	0,4

1926 р. у Львові використано 7993120 м³ газу, що було на 272 тис. м³ більше (3,59 %), ніж попереднього року. Поганий стан газогонів призвів до втрат газу в об'ємі 766 тис. м³ або 9,9 % [29]. У Кракові 1925 р. використано 7359,5 тис. м³ газу, втрати – 12 %, 1926 р. – 6980,5 тис. м³, втрати – 8,63 % [30].

1927 р. у Кракові було встановлено наступні тарифи на використання газу у місяць: до 25 м³ – 35 грошів за 1 м³; 26–150 м³ – 27 грошів за 1 м³; 151–500 м³ – 23 грошів за 1 м³; 501–1000 м³ – 20 грошів за 1 м³; понад 1000 м³ – 17 грошів за 1 м³. Для підприємств застосовувалася знижка до 15 % [31] Однією з найбільших газovenь Галичини була Краківська, яка обслуговувала від 6 до 12 тис.

споживачів у 1914–1927 рр. (табл. 5). При цьому чисельність працівників зменшилася на 22 % [32].

Таблиця 5

Показники діяльності Краківської газовні [32]

Показники	1914	1924	1925	1926	1927	01.01.1928
Кількість газових котлів і споживачів	6000	11100	11530	12000	12000	?
Технічний персонал	8	8	9	9	9	8
Адміністрація	42	48	45	46	41	40
Маркетингово-торгові працівники	8	11	10	7	7	7
Робітники	249	269	281	224	199	184
Разом працівників	307	336	345	286	256	239

З 1 квітня 1927 до 31 березня 1928 рр. Краківська міська газівня випродукувала 7958,6 тис. м³ газу, тобто приріст до 1926 р. становив 13,98 %. Приватні користувачі використали 5393 тис. м³ [33]. Станом на 01.01.1930 р. у Галичині було 22 газівень (табл. 6), які разом випродукували 126273 тис. м³ газу [34]. Слід зазначити, що шість газівень приймали та розподіляли природний газ до споживачів об'ємом 101522 тис. м³ або 80 % усього газу, виробленого у Галичині.

Таблиця 6

Газівні Галичини, 1928 р. [34]

№ з/п	Місто	Вироблено газу, тис. м ³	Керівник	Власність
1.	Бережани	0	Владислав Шмідт	Гміна
2.	Більсько	2681	Альфред Дідріх	Гміна
3.	Дашава*	64089	Мар'ян Вележинський	S.A. «Gazolina»
4.	Дрогобич*	761	Станіслав Смольський	Гміна
5.	Живець	200	Владислав Пантофлінський	Акціонерне товариство
6.	Калуш*	0	Степель	S.A. «Gazolina»
7.	Коломия	175	Мар'ян Пташек	Гміна
8.	Краків	8892	Мечислав Сайферт	Гміна
9.	Кросно*	3949	Адольф Кольдер	Гміна
10.	Львів	8953	Казимир Жардецький	Гміна
11.	Львів, вокзал	13	Адольф Фільдер	РКР
12.	Мачки	93	Кароль Ліндлер	РКР
13.	Освенцим	344	Рудольф Яворський	Електрівня в Сьєрші
14.	Ряшів	128	Ян Журовський	Гміна
15.	Станиславів	1215	Кароль Брейнер	Гміна
16.	Строже	262	–	РКР
17.	Стрий*	1291	С. Ковальчевський	S.A. «Gazolina»
18.	Тарнів	1053	М. Льюхтер	Гміна
19.	Цішин	184	Йозеф Корнгер	Гміна
20.	Щакова	83	Ян Піш	Акціонерне товариство
21.	Ярослав	475	Віктор Новак	Гміна
22.	Ясло*	31432	Йоахім Трачек	Державний газолін
Разом:		126273		

* природний газ

Наприкінці 1920-х рр. у Польщі було розроблено детальний проект газифікації та створення мережі газогонів. Одним з перспективних було влаштування газогонів безпосередньо від газових свердловин. Ще 19 травня 1919 р. сейм прийняв рішення, що всі газогони Польщі є власністю держави, за винятком тих, що не могли утримуватися за рахунок бюджету. На кінець 1920-х рр. вже діяло у Галичині близько 300 км газогонів, в т.ч. Дашава – Львів. У Бориславсько-Дрогобицькому окрузі газогони будувалися ще до війни, а в Ясельському, починаючи з 1919 р.

У Ясельському окрузі газогін, довжиною 65 км, з'єднав Ясло з Славенцином, Бечем, Лібушем, Горлицями, Глинником Маріямпільським та Шимбарком – на захід, та з Єдлічем, Негловицями, Менцінкою, Кросно, Кросценко, Івонічем та Римановом – на схід. Діаметр труб 4–10 дюймів при тиску 3–5 атмосфер. Газ поставлявся 13 свердловинами з середнім дебітом кожної 158400–172800 м³/добу. Поставниками газу були фірми «Małopolska», «Przedstawicielstwo Belgijskiej Sp. Акс.», «Nafta Borysławska», «Ziembank», «Jasło», отримувачами – рафінерії найти у Яслі, Кросні, Глінніку Маріямпільському, Єдлічах та Лібуші, міста Ясло, Кросно та Єдліче, скляна гута, рафінерія спирту, шість копалень, залізничні станції у Яслі, Тарновиці, Єдлічу та Кросно. Окрім того, існували у цьому окрузі ще й газогін Білківка – Потік – Сендкова – Винниця (12,82 км), що був у власності Карпатського нафтового товариства [35].

У Бориславсько-Дрогобицькому окрузі найбільшим підприємством була «S.A. Gazolina», яка утримувала газогони у Бориславі, Тустановичах, Східниці, Мражниці та лінії Дрогобич – Стебник та Дрогобич – Стрий. У Дрогобичі та Стрию на природному газу працювали місцеві газовні. Стрий також з'єднався (газолін довжиною 15 км) з газовим родовищем Гельзендорф-Дашава, де експлуатувалося п'ять свердловин, що давали у середньому понад 500 тис. м³/добу при природному тиску у понад 40 атмосфер. Також існувало декілька невеликих газогонів фірм «S.A. Galicja» та «Polmin». У Станиславівському гірничому окрузі на той час газогонів не збудовано, однак у Калуші існувала міська газогінна мережа, яка отримувала газ з фірми «S.A. Gazolina». Загалом у цих трьох округах впродовж 1920–1929 р. щорічно видобувалося 400–535 млн м³ газу за ціною 63,1 (1926 р.) – 52,5 (1929 р.) злотих за 1000 м³. Такі об'єми газу давали можливість газифікувати Станиславів, Коломию, Сянок, Хирів, Переворськ, Ярослав, Ряшів, Горлиці, Тарнів [36].

1929 р. галицький природний газ використовувався як на місці (Борислав, 720 тис. м³/добу), так і транспортувався на дальші відстані до великих міст і містечок краю. У Станиславівському окрузі річне видобування становило 4,2 млн м³, у Дрогобицькому – 376 млн м³ та Ясельському – 49 млн м³, що разом становило 467 м³. Станом на 1929 р. два газогони проведено з Дашави до Дрогобича (40 км), з Дашави через Стрий до Львова (81 км) та з Ясло у Івоніч та Горлиці (65 км) [37]. На 1929 рік у Галичині газовні, що використовували тверду чи рідку сировину, діяли у 15 містах, виробивши для споживання 27,3 млн м³ газу (табл. 7) [38].

Таблиця 7

Газовні Галичини, що використовували тверду сировину(1929) [38]

№ з/п	Місто	Вироблено газу, тис. м ³
1.	Бережани	164,5
2.	Більсько	2855,1
3.	Живець	205,0
4.	Коломия	503,6
5.	Краків	10036,0
6.	Львів*	9402,6
7.	Львів, вокзал	459,7
8.	Мачки	102,3
9.	Освенцім	232,2
10.	Ряшів	123,2
11.	Станиславів	1338,8
12.	Тарнів	1176,5
13.	Цішин	182,9
14.	Щакова	85,8
15.	Ярослав	461,6
Разом:		27329,8

* в т.ч. 170 тис. м³ природного газу, доставленого газогоном з Дашави

Збільшення видобування природного газу у Галичині (особливо, у Дашаві з 96187 тис. м³ у 1932 р. до 121303 тис. м³ у 1933 р.) дозволили задуматись над питанням розширення мережі газифікації населених пунктів і підприємств. у Ясельському гірничому окрузі 1933 р. видобули 97664, у Дрогобицькому – 319950 та у Станиславівському – 44597 тис. м³ газу [39]. Власниками газу та, відповідно, потенційними транспортерами, газу було 15 фірм (табл. 8).

Найбільшими продуцентами були фірми «Małopolska» та «Gazolina», які нарощували видобуток з року в рік. Загальний об'єм щорічно видобутого газу сягав 436–486 млн м³. Свердловини ще мали достатні запаси та високий тиск (до 60 атмосфер), що дозволяло транспортувати його на далекі віддалі з незначним застосуванням технічних засобів. 272729,7 тис. м³ газу (60 %) йшло на виробництво паливно-мастильних матеріалів, решта – на опалення та інші потреби. Вартість усього видобутого у 1933 р. газу становила 21597 тис. злотих.

Таблиця 8

Видобування газу у Галичині (тис. м³) [39]

Фірма	1929	1930	1931	1932	1933
Francuzko-Polski T.G.	5241	4630	4071	6467	3942
Galicja	19472	16050	17383	23780	19023
Gazolina	52852	62176	62048	53671	66819
Gazy Ziemne	1456	2612	2802	2611	2895
Grabownica	0	8738	10694	11999	10051
Klarfeld	0	322	549	529	526
Limanowa	50850	40703	30815	23353	21678
Małopolska	153264	142880	137778	146051	154682
Pionier i Ska	0	0	0	238	814
Polmin	41209	46737	51079	48602	64817
Ropienka	175	219	279	270	298
Ropita	0	24	36	35	45
Standart Nobel	29029	25532	26956	20842	15052
Urycka Ska	210	231	210	218	454
Інші	112925	135652	129123	98264	101115
Галичина	466683	486506	473823	436930	462211

1934/1935 рр. у Кракові випродуковано 9293 тис. м³ газу, з яких 6225,8 тис. м³ використано приватними споживачами, що було на 7,65 % більше, ніж за попередній ревізійний період. На одного мешканця приходилося 38,74 м³ газу на 1 м/п газогону – 51,34 м³. Газогони були досить низької якості. оскільки протягом року на 1 км траси втрати складали 3163 м³ газу. Враховуючи показники об'ємів заповнення труб газом, можна приблизно вирахувати протяжність газогону у Кракові, яка становитиме майже 181 км при умові середнього діаметру труби [40].



Рис. 1. Будівництво підземного газогону [41]

Наприкінці 1930-х рр. від магістрального газогону Дашава – Львів збудовано відгалуження до Жидачева та Ходорова; нові газопроводи з'єднали Стрий Моршин Болахів, Долину та Вигоду. З Калуського родовища газ поставлявся до калійного комбінату, а з Опарів – до Дрогобича [41].

1936 р. від магістрального газогону Дашава – Львів збудовано відгалуження до Жидачева та Ходорівської цукроварні (32,2 км; діаметр 175 мм); нові газопроводи з'єднали Стрий, Моршин, Болахів, Долину та Вигоду. З Калуського родовища газ поставлявся до калійного комбінату, а з Опарів – до Дрогобича. В 1936–1938 рр. під газифікацію попали території, південніше Дашави, завдяки газопроводу високого тиску Стрий – Моршин – Болахів – Долина – Вигода (близько 50 км). Таким чином до 1938 р. у Галичині збудовано 11 газопроводів загальною довжиною 293,7 км.

5 лютого 1937 р. міністр фінансів Є. Квятковський представив сейму план будівництва Центрального промислового округу, де передбачалося розширення мережі нафто- та газопроводів. Його планували здійснити у 5 етапів впродовж 1939–1954 рр. Перший етап (1939–1942 рр.) передбачав будівництво в межах Галичини стратегічних підприємств, в основному військово-промислового комплексу – електростанції на р. Дунаєць у Рожневі поблизу Нового Сонча, промислової електростанції й металургійного комбінату у Сталевій Волі, бронемеханічного заводу, фабрики рефлексів, заводу авіаційних моторів у Рясеві, бронемеханічного заводу у Саноку, заводу автомобільних шин у Дембиці, заводу синтетичного каучуку у Пустині поблизу Дембиці, авіаційного заводу у Мелеці, целюлозного заводу в Недоміцях, порохових заводів у Пьонках і Крайовичах біля Ясла. Під час першого етапу мали створити 127 тис. робочих місць. Для зведення і функціонування об'єктів планувалося спорудження магістрального газопроводу і мережі відгалужень з Сендкової, Добруцова та Розтоки до промислових центрів. Інвестором виступила «Państwowa Fabryka Olejów Mineralnych «Polmin» зі Львова, підрядником – «Zarząd Gazociągów Państwowych» з Ясла. Природний газ мав поступати центральним газопроводом Розтоки – Любін (180,6 км, діаметр на відтинку Розтоки – Коморів – 250 мм; на відтинку Коморів – Любін – 300 мм). Від центрального газопроводу мало відходити 14 гілок загальною довжиною 148 км і діаметром труб 25–250 мм. Будівництво центрального газопроводу здійснювалося у травні-листопаді 1937 р. Наступного року збудовано четвертий відтинку Любін – Скаржисько – Камінна.

Таким чином, історія становлення та розвитку нафтогазопровідної галузі в західній частині України показує тяглість традицій цієї галузі та є підтвердженням того, що промисловий розвиток України відбувався в контексті аналогічних процесів у Європі. На сьогодні практично не залишилося об'єктів та споруд, які пов'язані з нафтогазотранспортуванням того часу. Однак, нафтопереробні заводи Дрогобича та Надвірної були організовані на базі ще польських підприємств та зберегли споруди того часу, які можуть стати туристичними об'єктами. Очевидно, що їх туристична атрактивність буде посилена інформаційною складовою результатів наших досліджень.

Висновки. Аналізуючи період становлення та формування систем нафтогазопроводів в західній частині України, можна стверджувати, що галузь динамічно розвивалася в той час та відігравала значну роль в енергетичному забезпеченні європейських держав. На межі XIX–XX ст. проведено 28 нафтопроводів довжиною біля 250 км. Нафта зі свердловин і шахт збиралася у 682 залізних, 660 ґрунтових і 1478 дерев'яних збірниках загальним об'ємом 2,92 млн т.

Впродовж першої чверті XX ст. прийнято ряд законів і підзаконних актів щодо продуктопроводів, що сприятливо позначилося на правовому регулюванні сфери.

У 1932 р. на теренах Галичини 7 нафтовидобувних підприємств (10 % загальної кількості) здійснювали транспортування сировини, маючи власні трубопроводи. Наприкінці 1930-х рр. кількість нафтових підприємств зросла майже удвічі, але транспортування сировини та нафтопродуктів здійснювали лише 9 фірм.

Історія газопроводів у Галичині розпочата зі збудованого у 1912 р. в Бориславі газопроводу довжиною 0,7 км. Напередодні Першої світової війни у Галичині діяло 19 газів. 1912–1913 рр. у Дашаві фірмою «Simon» відкрито газове родовище, з якого 1916 р. прокладено перші газогони. Початок XX століття характеризувався значними темпами розвитку галузі: на кінець 1920-х рр. у Галичині вже діяло близько 300 км газогонів. У Бориславсько-Дрогобицькому окрузі газогони будувалися ще до війни, а в Ясельському, починаючи з 1919 р. Збільшення видобування природного газу у Галичині дозволило розширити мережі газифікації населених пунктів і підприємств. У Ясельському гірничому окрузі 1933 р. видобули 97664, у Дрогобицькому – 319950 та у Станиславівському – 44597 тис. м³ газу, власниками та транспортерами якого було 15 фірм.

У 1936 р. від магістрального газогону Дашава – Львів збудовано відгалуження до Жидачева та Ходорівської цукроварні (32,2 км; діаметр 175 мм); нові газопроводи з'єднали Стрий Моршин Болехів, Долину та Вигоду. З Калуського родовища газ поставлявся до калійного комбінату, а з Опарів – до Дрогобича. В 1936–1938 рр. під газифікацію попали території, що лежали південніше Дашави, завдяки газопроводу високого тиску Стрий – Моршин – Болехів – Долина – Вигода (близько 50 км). Таким чином, впродовж 1912–1938 рр. у Галичині збудовано 11 газопроводів діаметрами 80–225 мм і загальною довжиною 293,7 км. Таким чином, в кінці 30-их років сформувалася розгалужена система нафтогазопроводів, що дала можливість після завершення 2 світової війни швидко відновити та наростити обсяги діяльності. Історія становлення галузі нафтогазопроводів у західній частині України є фактографічною основою для розроблення туристичних програм, змістовного наповнення експозицій музеїв (м. Надвірна, Борислав), які створені для збереження цієї промислової спадщини.

Література

- 1 UN WTO: International tourism continued to show strong signs of recovery. 2022. URL: <https://www.unwto.org/news/international-tourism-back-to-60-of-pre-pandemic-levels-in-january-july-2022> (дата звернення 2.12.2022).
- 2 Закон України «Про туризм». від 15.09.1995 р. №324/95-ВР. URL: https://tourlib.net/zakon/pro_turyzm.htm (дата звернення 1.12.2022).
- 3 Зав'ялова М. В., Скринько Н. В. Індустріальний туризм: регіональний аспект. Ефективна економіка. 2015, № 5. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4066> (дата звернення 2.12.2022).
- 4 Лакіза В.В., Пенгрин С.М. Індустріальний туризм в Україні. Международный научный журнал «Интернаука». Экономические науки. 2017. №18(40). Т.2. С.45-48. URL: https://tourlib.net/statti_ukr/lakiza.htm (дата звернення 2.12.2022).
- 5 Пацюк В.С. Індустріальний туризм і перспективи його розвитку в Україні. Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету ім. М. Коцюбинського. Серія: Географія. 2008. №15. С. 82 - 85.
- 6 Казаков В.М., Мещанін І.І., Казакова Т.А., Завальнюк О.Й. Техногенний туризм в системі природокористування. Екологія і раціональне природокористування: Збірник наук. праць Сумського держ. педуніверситету ім. А.С.Макаренка. 2006. С.221-229.
- 7 Пендерецький О.В. Територіальна організація промислового туризму Карпатського суспільно-географічного району та основні напрямки його вдосконалення. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2011. 225 с. URL: https://tourlib.net/books_ukr/pendereckyj1-1.htm (дата звернення 2.12.2022).
- 8 Тютюнник Ю.Г. Охрана и заповедание индустриальных ландшафтов. География и природные ресурсы. 2006. №2. С.34-41
- 9 Шкіца Л.Є., Рудько Г.І. Екологічна безпека та раціональне природокористування в межах гірничопромислових і нафтогазових комплексів. Наукові і методологічні основи. Івано-Франківськ: Нічлава, 2001. 525 с.
- 10 Нафта і газ Прикарпаття: нарис з історії. Київ:Наукова думка, 2004, 570 с.
- 11 Коротя М. Етапи становлення нафтогазової промисловості в Україні. Економічний часопис Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. 2017 (1). С.76-81
- 12 Білецький В. С., Гайко Г. І., Орловський В. М. Історія та перспективи нафтогазовидобування: навчальний посібник. – Київ: ФОП Халіков Р. Х., 2019, 302 с. ISBN 978-617-7565-25-2
- 13 Іваницький Є., Михалевич В. Історія Бориславського нафтопромислового району в датах, подіях і фактах. Дрогобич, 1995. 102 с.
- 14 Микулич О. Нафтовий промисел Східної Галичини до середини XIX ст. Дрогобич, 2004. 32 с.
- 15 Пасіцька О. Розвиток нафтового бізнесу в Галичині: від «нафтової столиці Європи» до кризи «Галицької Каліфорнії». Гілея, 2019. Вип. 142(1). С. 118-122.
- 16 Осінчук З П. Транспортування нафти і газу. Нафтогазова галузь України : поступ і особистості. К.: Логос України. URL: <http://www.logos.biz.ua/proj/naftogaz/pdf/0039-0046.pdf>
- 17 Bujak Fr. Galicya. Lwow : Nakładem księgarni H. Altenberga ; Warszawa: Księgarnia pod Firmą E. Wende i Spółka, 1910. Tom II. Leśnictwo, górnictwo, przemysł. S. 99.

18 Skorowidz przemysłowo-handlowy Krolewstwa Galicyi. Lwow: Nakładem «Ligi pomocy przemysłowej». Drukiem: część inseracyjna druk. W.Anczyca i Sp. w Krakowie. Część informacyjna i adresowa «Drukarni udziałowej» i Drukarni «Polonia» we Lwowie, 1906. S. 155.

19 Hopfinger M. Przemysł naftowy w zarysie. Lwów: Nakładem Księgarni naukowej Polskie Tow. Pedagog., 1923. S. 174–177.

20 Rocznik Polskiego przemysłu i handlu. 1932 / Pod naczelnem kierownictwem S. Wartalskiego. Warszawa : Nakładem Polsk. Spółki Wydawnictw Informacyjnych Sp. z o. o., 1933. S. 360–382.

21 Rocznik Polskiego przemysłu i handlu. Pod naczelnem kierownictwem S. Wartalskiego. – Warszawa : Nakładem Polsk. Spółki Wydawnictw Informacyjnych Sp. z o. o., 1939. S. 5986–5992.

22 Dziurzyński A. Stan gazownictwa w Polsce po odzyskaniu niepodległości. Gaz i woda, 1927. № 9. S. 197–198.

23 Gaz i woda. 1930. № 3. S. 71.

24 Газифікація Львова. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/> (дата звернення 1.07.2022).

25 Gaz i woda. 1927. № 2. S. 51.

26 Przemysł naftowy w Polsce: zarys historii wraz z opisem techniki pracy w przemyśle naftowym uzupełniony przewodnikiem po pawilone naftowym P.W.K. Lwów : Nakładem Komitetu Budowy Pawilonu Naftowego P.W.K. przy Krajowym Towarzystwie Naftowym, 1929. S. 6.

27 Енциклопедія українознавства . / За ред. проф. д-р Володимир Кубійовича. 1980. Т. 9. Париж; Нью-Йорк : Молоде життя. С. 32 - 68.

28 Rocznik statystyki miast Polski : Rok wydawnictwa I. Nakładem Głównego Urzędu Statystycznego. Warszawa, 1928. S. 62.

29 Gaz i woda. 1927. № 6. S. 148.

30 Gaz i woda. 1927. № 10. S. 242.

31 Gaz i woda. 1927. № 1. S. 26.

32 Seifert M. Naukowa organizacja pracy w gazownictwie. Gaz i woda. 1928. № 2. S. 29.

33 Gaz i woda. 1928. № 12. S. 287.

34 Gaz i woda. 1930. № 1. S. 15–20.

35 Ibid. S. 145–146.

36 Ibid. S. 146–147.

37 Wietkiewicz R. Gaz ziemny jako źródło energii. Gaz i woda. 1930. № 8. S. 197.

38 Gaz i woda. 1930. № 9. S. 235–238.

39 Gaz i woda. 1930. № 3. S. 70.

40 Gaz i woda. 1936. № 12. S. 420–421.

41 Gaz i woda. 1930. № 8. S. 201.

**V. Klapchuk¹, Ya. Korobeinykova²,
O. Paliichuk², O. Pozdnyakov¹**

¹Vasyl Stefanyk Precarpathian
National University,

²Ivano-Frankivsk National
Technical University of Oil and Gas

STUDY OF THE ESTABLISHMENT AND DEVELOPMENT OF OIL AND GAS PIPELINES IN HALYCHYNA IN THE LATE XIX-EARLY XX CENTURY IN THE CONTEXT OF FORMING INDUSTRIAL TOURISM PROGRAMS

The development of a new for Ukraine type of tourism – the industrial tourism requires complex researches on the methodology of resource potential assessment, consideration of the safety aspects of such tourist activity type. Equally important is the informative content of tourist programs, which requires detailed historical discoveries and filling with a factographic base of tourist objects of industrial tourism. Their attractiveness is forming in this way, which affects the quality of tourist programs in general. This problematics is up-to-date for all areas of industrial tourism, and oil and gas pipeline objects are not the exception. The article researches the history of oil and gas pipelines in Halychyna in the late XIX – early XX century. The history of oil transportation in Halychyna begins with the oil pipeline that connected the

oil field in Sloboda Runhurska with the Pechenizhyn railway station, which was built in 1886. In the year 1932, in Halychyna functioned 7 oil-producing enterprises (10% of the total number), which transported raw materials, having their own pipelines. At the end of the 1930s, the number of oil enterprises almost doubled, 9 companies transported raw materials and oil products. The first gas pipeline in Halychyna with a 0.7 km length was built in 1912 in Boryslav. The same year, two gas pipelines (about of 12 km each) connected Boryslav with Drohobych. By the end of the 1920s, about 300 km of gas pipelines were already operating in Halychyna. In Boryslavsko-Drohobyskyi district, gas pipelines were built before the war, and in Yaselskyi district, starting from the year 1919. The increase in natural gas production in Halychyna allowed to increase the gasification networks of human settlements and enterprises. In the year 1933, 97664 thousands m³ of gas were produced in Yaselskyi mining district, 319950 thousands m³ of gas were produced in Drohobyskyi mining district and 44597 in Stanislavivskyi mining district, the owners and transporters of which were 15 companies. Thus, during 1912-1938, 11 gas pipelines with diameters of 80-225 mm and a total length of 293.7 km were built in Halychyna. Information about the history of establishment and development of oil and gas pipelines in Halychyna in the late XIX-early XX century is an important factographic source for understanding the evolution of the oil and gas transport system of Ukraine and the basis for the formation of tourist programs of industrial tourism at the objects of the oil and gas complex.

Key words: attractiveness of tourist objects; history of the oil and gas industry; oil pipelines; gas pipelines; tourist programs.

References

- 1 UN WTO: International tourism continued to show strong signs of recovery. 2022. URL:: <https://www.unwto.org/news/international-tourism-back-to-60-of-pre-pandemic-levels-in-january-july-2022> (дата звернення 2.12.2022).
- 2 Закон України «Про туризм». від 15.09.1995 р. №324/95-VR. URL: https://tourlib.net/zakon/pro_turyzm.htm (дата звернення 1.12.2022).
- 3 Zavialova M. V., Skrynko N. V. Industrialnyi turizm: rehionalnyi aspekt. Efektyvna ekonomika. 2015, № 5. URL:<http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4066> (дата звернення 2.12.2022).
- 4 Lakiza V.V., Penhryn S.M. Industrialnyi turizm v Ukraini. Mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal «Ynternauka». Ekonomicheskyye nauky. 2017. №18(40). T.2. S.45-48. URL: https://tourlib.net/statti_ukr/lakiza.htm (дата звернення 2.12.2022).
- 5 Patsiuk V.S. Industrialnyi turizm iperspektyvy yoho rozvytku v Ukraini. Naukovi zapysky Vinnytskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu im. M. Kotsiubynskoho. Seriya: Heohrafiia. 2008. №15. S. 82 - 85.
- 6 Kazakov V.M., Meshchanin I.I., Kazakova T.A., Zavalniuk O.I. Tekhnohennyi turizm v systemi pryrodokorystuvannia. Ekolohiia i ratsionalne pryrodokorystuvannia: Zbirnyk nauk. prats Sumskoho derzh. peduniversytetu im. A.S. Makarenka. 2006. S.221-229.
- 7 Penderetskyi O.V. Terytorialna orhanizatsiia promysloвого turizmu Karpatskoho suspilno-heohrafichnoho raionu ta osnovni napriamky yoho vdoskonalennia. Ivano-Frankivsk: IFNTUNH, 2011. 225 s. URL: https://tourlib.net/books_ukr/penderekjy1-1.htm (дата звернення 2.12.2022).
- 8 Tiutiunyyk Yu.H. Okhrana y zapovedanye yndustrialnykh landshaftov. Heohrafiya y pryrodnye resursy. 2006. №2. S.34-41.
- 9 Shkitsa L.Ie., Rudko H.I. Ekolohichna bezpeka ta ratsionalne pryrodokorystuvannia v mezhakh hirnychopromyslovykh i naftohazovykh kompleksiv. Naukovi i metodolohichni osnovy. Ivano-Frankivsk: Nichlava, 2001. 525 s.
- 10 Nafta i haz Prykarpattia: narys z istorii. Kyiv:Naukova dumka, 2004, 570 s.
- 11 Korotia M. Etapy stanovlennia naftohazovoi promyslovosti v Ukraini. Ekonomichnyi chasopys Skhidnoievropeiskoho natsionalnoho universytetu imeni Lesi Ukrainky. 2017 (1). S.76-81.
- 12 Biletskyi V. S., Haiko H. I., Orlovskyi V. M. Istoriia ta perspektyvy naftohazovydobuvannia: navchalnyi posibnyk. – Kyiv: FOP Khalikov R. Kh., 2019, 302 s. ISBN 978-617-7565-25-2
- 13 Ivanytskyi Ye., Mykhalevych V. Istoriia Boryslavskoho naftopromysloвого raionu v datakh, podiiakh i faktakh. Drohobych, 1995. 102 s.
- 14 Mykulych O. Naftovyi promysel Skhidnoi Halychyny do seredyny KhIKh st. Drohobych, 2004. 32 s.
- 15 Pasitska O. Rozvytok naftovoho biznesu v Halychyni: vid «naftovoi stolytsi Yevropy» do kryzy «Halytskoi Kalifornii». Hileia, 2019. Vyp. 142(1). S. 118-122.

- 16 Osinchuk Z P. Transportuвання нафты і hazu. Naftohazova haluz Ukrainy : postup i osobystosti. K.: Lohos Ukraina. URL: <http://www.logos.biz.ua/proj/naftogaz/pdf/0039-0046.pdf> (дата звернення 1.07.2022).
- 17 Bujak Fr. Galicya. Lwow : Nakładem księgarni H. Altenberga ; Warszawa: Księgarnia pod Firmą E. Wende i Spółka, 1910. Tom II. Leśnictwo, górnictwo, przemysł. S. 99.
- 18 Skorowidz przemysłowo-handlowy Krolewstwa Galicyi. Lwow: Nakładem «Ligi pomocy przemysłowej». Drukiem: część inseracyjna druk. W.Anczyca i Sp. w Krakowie. Część informacyjna i adresowa «Drukarni udziałowej» i Drukarni «Polonia» we Lwowie, 1906. S. 155.
- 19 Hopfinger M. Przemysł naftowy w zarysie. Lwów: Nakładem Księgarni naukowej Polskie Tow. Pedagog., 1923. S. 174–177.
- 20 Rocznik Polskiego przemysłu i handlu. 1932 /Pod naczelnem kierownictwem S. Wartalskiego. Warszawa : Nakładem Polsk. Spółki Wydawnictw Informacyjnych Sp. z o. o., 1933. S. 360–382.
- 21 Rocznik Polskiego przemysłu i handlu. Pod naczelnem kierownictwem S. Wartalskiego. – Warszawa : Nakładem Polsk. Spółki Wydawnictw Informacyjnych Sp. z o. o., 1939. S. 5986–5992.
- 22 Dziurzyński A. Stan gazownictwa w Polsce po odzyskaniu niepodległości. Gaz i woda, 1927. № 9. S. 197–198.
- 23 Gaz i woda. 1930. № 3. S. 71.
- 24 Газифікація Львова. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/> (дата звернення 1.07.2022).
- 25 Gaz i woda. 1927. № 2. S. 51.
- 26 Przemysł naftowy w Polsce: zarys historii wraz z opisem techniki pracy w przemyśle naftowym uzupełniony przewodnikiem po pawilone naftowym P.W.K. Lwów : Nakładem Komitetu Budowy Pawilonu Naftowego P.W.K. przy Krajowym Towarzystwie Naftowym, 1929. S. 6.
- 27 Енциклопедія українознавства . / За ред. проф. д-р Володимир Кубійовича. 1980. Т. 9. Париж; Нью-Йорк : Молоде життя. С. 32 - 68.
- 28 Rocznik statystyki miast Polski : Rok wydawnictwa I. Nakładem Głównego Urzędu Statystycznego. Warszawa, 1928. S. 62.
- 29 Gaz i woda. 1927. № 6. S. 148.
- 30 Gaz i woda. 1927. № 10. S. 242.
- 31 Gaz i woda. 1927. № 1. S. 26.
- 32 Seifert M. Naukowa organizacja pracy w gazownictwie. Gaz i woda. 1928. № 2. S. 29.
- 33 Gaz i woda. 1928. № 12. S. 287.
- 34 Gaz i woda. 1930. № 1. S. 15–20.
- 35 Ibid. S. 145–146.
- 36 Ibid. S. 146–147.
- 37 Wietkiewicz R. Gaz ziemny jako źródło energii. Gaz i woda. 1930. № 8. S. 197.
- 38 Gaz i woda. 1930. № 9. S. 235–238.
- 39 Gaz i woda. 1930. № 3. S. 70.
- 40 Gaz i woda. 1936. № 12. S. 420–421.
- 41 Gaz i woda. 1930. № 8. S. 201.

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ

УДК 502.17

DOI: 10.31471/2415-3184-2022-2(26)-82-90

О. М. Туць*Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВПЛИВІВ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Під час аварій магістральних газопроводів основна частина екологічного впливу припадає на забруднення атмосферного повітря викидами природного газу або продуктами його згорання при вибухах і пожежах. Також при розгерметизації газопроводу внаслідок виникнення тріщин, розривів і витоків все це призводить до забруднення ґрунтів, поверхневих і підземних вод. Масштаби збитків залежатимуть від типу і розміру витoku, виду та кількості відходів, що утворюються, а також від того, наскільки постраждали природні ресурси. То ж на кожному етапі від прокладання до експлуатації трубопроводів необхідно велику увагу звертати на стан навколишнього середовища і не допускати забруднення та ймовірності виникнення надзвичайних ситуацій, пожеж, вибухів, нещасних випадків. В результаті аналізу екологічних впливів на довкілля була розроблена узагальнена класифікація наслідків за чинниками навколишнього середовища та методами зменшення впливу та наслідків газотранспортної інфраструктури. Особлива небезпека можлива при перетині системи трубопроводів у так званих технологічних коридорах, де перетинаються декілька магістралей різних діаметрів, тисків, марок сталей, режимів експлуатації тощо, а таких коридорів досить багато на території Івано-Франківської області. Руйнування одного з трубопроводів на цій ділянці може спровокувати лавинне руйнування інших трубопроводів, залишити без енергоносіїв не тільки значні території, але завдати значних екологічних та економічних збитків.

Ключові слова: екологічна безпека, трубопровід, забруднення, аварія.

Постановка проблеми. Газотранспортна система України є однією із найпотужніших і найстаріших у Європі та світі за обсягами транспортування та зберігання газу. До її складу входять: трубопроводи; компресорні станції (головні та проміжні), прийомні й розподільні станції, а також станції управління; під'їзні дороги та дороги, які призначені для технічного обслуговування (рис. 1) [1]. Основні параметри газотранспортної системи України представлені у табл. 1 [1-3].

Проте, трубопровідні системи нашої країни знаходяться у складному взаємозв'язку із навколишнім середовищем, який, у більшості випадків, носить негативний характер з точки зору збільшення аварійності. Звідси випливає одна з основних задач підвищення рівня екологічної безпеки: мінімізувати техногенний вплив ще в період будівництва, а особливо експлуатації магістральних газопроводів, а також зменшити негативний вплив природних чинників на безпеку трубопровідних систем.

Для покращення розвитку газотранспортної інфраструктури України на нашу думку необхідно удосконалювати структуру споживання газу, впроваджувати ефективні заходи щодо енергозберігання, енергоефективності та модернізації газотранспортної системи. Оскільки частка природного газу та нафти в загальному обсязі споживання енергії нашої країни найбільша, а спроможність транспортних обсягів перевищує 100 млрд. м³ газу, то до безпеки експлуатації газотранспортної системи, а також екологічної безпеки ставляться дуже серйозні вимоги.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За терміном експлуатації структура магістральних газопроводів поділяється: до 10-ти років - 8%; від 11 до 15-ти років - 7%; від 16 до 20 років - 10%; від 21 до 30 років - 29%; понад 30 років - 46%. За діаметрами газопроводи

поділяються: 1420 мм - 14%; 1220 мм – 10%; 1020 мм - 11%; 720-820 мм - 13%; 530 і менше - 52% [4]. Довготривалі терміни експлуатації газопроводів призводять до старіння металу труб внаслідок корозійних процесів, що призводить до появи тріщин та витоків газу при аварійних ситуаціях. Така ситуація є неприпустимою як з економічної, так і з екологічної точки зору, оскільки загазованість може обіймати значну територію, а може призвести до утворення газоповітряної суміші та вибуху, в результаті якого виникають значні економічні, екологічні збитки та небезпека для людського життя.



Рис. 1. Газотранспортна система України

Тому 27 травня 2020 року Оператором газотранспортної системи України була затверджена Екологічна політика на 2020-2024 роки [5]. Вона спрямована на збереження стану довкілля шляхом запобігання або зменшення негативних впливів на нього при наданні послуг з транспортування природного газу українським та європейським замовникам.

Дуже складною та небезпечною є ситуація із транспортуванням газу після повномасштабного вторгнення росії на територію України. Станом на 28 жовтня 2022 року газотранспортна система (ГТС) України продовжує стабільно виконувати свої зобов'язання перед своїми споживачами газу у повному обсязі.

Таблиця 1

Основні параметри газотранспортної системи України

Параметри ГТС	Одиниця виміру	Кількість
Довжина газопроводів, всього в т.ч.	тис. км	38,5
магістральних газопроводів	тис. км	22,1
Пропускна здатність ГТС:		
на вході	млрд. м ³ /рік	287,7
на виході		178,5
Компресорні станції (КС)	шт.	72
Компресорні цехи	шт.	110
Газоперекачувальні агрегати	шт.	702
Потужність компресорних станцій	МВт	5 440
Газорозподільні станції (ГРС)	шт.	1389
Підземні сховища газу (ПСГ)	шт.	12
Загальна активність ПСГ	млрд. м ³	31
Кількість працюючих	тис. чол.	28,0

Підтверджена номінація на транзит природного газу до країн Європи на 28 жовтня складає 42,4 млн кубометрів природного газу. Транзит російського газу відбувається через точку входу “Суджа” на північному кордоні України, технічна потужність якої складає 244 млн кубометрів на добу.

Дуже складна ситуація у зонах бойових дій: Бахмуті, Херсоні, Миколаєві, Дніпрі та інших містах. Віримо, що працівники «Оператора ГТС України» зроблять все можливе і неможливе для забезпечення безперебійної та надійної роботи газотранспортної системи.

Постановка завдання. Враховуючи різні небезпеки, основними напрямками у забезпеченні охорони довкілля при транспортуванні газу є:

- зменшення обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря;
- забезпечення раціонального використання природних ресурсів у т. ч. водних ресурсів;
- забезпечення раціонального поводження з відходами, що утворюються та впровадження заходів із зменшення обсягів їх утворення;
- забезпечення організації проведення періодичних екологічних вимірів на технологічному обладнанні з метою контролю відповідності їх до вимог чинного законодавства та стандартів.

То ж на кожному етапі від прокладання до експлуатації трубопроводів необхідно велику увагу звертати на стан навколишнього середовища і не допускати забруднення та ймовірності виникнення надзвичайних ситуацій, пожеж, вибухів, нещасних випадків тощо.

Виклад основного матеріалу. Будівництво трубопроводів на суші включає наступні етапи: проведення інженерно-геологічних вишукувань, розчищення траси, прокладання траншей, укладання труб уздовж траси трубопроводу, згинання труб, зварювання, обгортання полімерними стрічками, нанесення ізоляційних покриттів, встановлення систем катодного захисту від корозії, укладку труб у траншеї, засипку траншей (рис.2) [1].

Вплив на ґрунт відбувається в основному в період проведення будівельно-монтажних робіт і полягає в наступному:

- тимчасовому механічному порушенні рівноваги складеного мікрорельєфу при виконанні земляних робіт;
- заміщенні частини природного ґрунту в траншеї піском;
- можливому забрудненні відходами від будівельної техніки, нафтопродуктами та побутовим сміттям.

До порушених належать землі, які в результаті запланованої діяльності втратили свою господарську цінність або є джерелами несприятливого впливу на навколишнє середовище, в зв'язку з утворенням техногенного рельєфу, зміною гідрологічного режиму і характеру ґрунтового покриву, з повною або частковою втратою родючості.

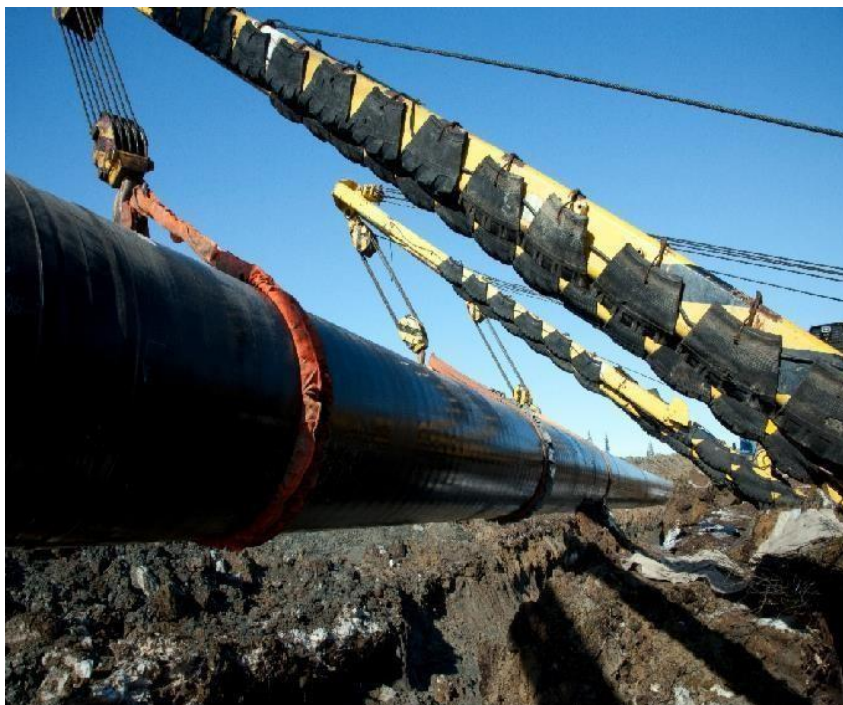


Рис. 2. Прокладання трубопроводів

Зменшення негативного впливу на ґрунтовий покрив повинно забезпечуватись рекультивацією земель – це комплекс робіт, спрямований на відновлення продуктивності та народногосподарської цінності порушених земель, а також покращення умов навколишнього середовища, згідно з діючими нормативними документами.

А вихідними матеріалами для розробки заходів по рекультивації земель є: – земельне законодавство України; – нормативні акти відводу земель [6,7]; – матеріали інженерних вишукувань. Об'єктами рекультивації є землі, які вилучаються в тимчасове користування для демонтажу старих та будівництва нових газопроводів і поза-майданчикових інженерних комунікацій. Для покращення стану ґрунтів потрібно проводити технічну і біологічну рекультивацію. Технічний етап рекультивації проводиться, або одночасно з виконанням будівельних і інших робіт, що супроводжуються порушенням земель, або після закінчення цих робіт у терміни, що встановлені органами, які надають у користування земельні ділянки.

Технічний етап рекультивації земель по лінійній частині газопроводу включає: – до риття траншеї - зняття родючого шару ґрунту зі смуги рекультивації з переміщенням у тимчасовий відвал; – розробкою траншеї й переміщенням мінерального ґрунту у відвал; – після укладання (демонтажу) трубопроводів та засипки траншеї – планування смуги рекультивації, вирівнювання улоговин і ям; – прибирання (в разі потреби) будівельних відходів; – відбір ґрунту в певних місцях його забруднення нафтопродуктами та іншими речовинами, що погіршують родючість ґрунту, замінивши його незабрудненим; – повертання родючого шару ґрунту, кінцеве планування поверхні, організація водовідводу. При знятті, переміщенні та зберіганні родючого шару ґрунту не дозволяється змішування його з підстеленими породами, забруднення рідинами, твердими чи сипучими матеріалами.

Аналогічно виконується технічна рекультивація по трасі інженерних мереж. Технічна рекультивація місць влаштування амбарів-відстійників полягає в засипці котлованів мінеральним ґрунтом з бортів амбарів, з послідовним відновленням родючого шару, ущільненням ґрунту та плануванням території. Оскільки амбари-відстійники розташовують в будівельній смузі трубопроводів, об'єми по рекультивації земель під амбари-відстійники враховані в лінійній частині газопроводів. Роботи по зняттю родючого шару ґрунту (технічна рекультивація) виконуються силами будівельної організації на підставі спеціального дозволу на зняття та перенесення ґрунтового покриття.

Після технічної рекультивації виконується біологічний етап рекультивації, який спрямований на відновлення родючості земель. Він включає комплекс агротехнічних і інших заходів по відновленню родючості ґрунтів для відтворюваних сільськогосподарських угідь. При сільськогосподарському використанні в склад біологічного етапу входять: - основна і передпосівна обробки ґрунту; - внесення мінеральних і органічних добрив; - посів сільськогосподарських культур; - виконання хімічної меліорації (при необхідності).

При порівнянні з дозами, які рекомендуються для непорушених земель, дози мінеральних добрив на рекультивованих землях збільшуються в 1,5 – 2 рази, гною – в 2 рази, норми висіву швидкорослих або багаторічних трав в 2 рази. Відновлення родючості ґрунту (внесення добрив, орання та інші сільськогосподарські роботи, тобто біологічна рекультивація) проводиться на площі будівельної смуги, яка зазнала механічного впливу під час роботи будівельної техніки, силами постійних землекористувачів, яким передають (повертають) землю після завершення технічного етапу рекультивації, за рахунок коштів, врахованих у кошторисі на рекультивацію. Оскільки спрогнозувати рух техніки в межах будівельної смуги неможливо, при розрахунках об'ємів по біологічній рекультивації земель, врахована вся ширина тимчасового відводу землі для будівництва передбачених проектом інженерних споруд та комунікацій. Термін проведення рекультивації приймається з урахуванням сезонності проведення робіт, згідно з графіком будівництва об'єкту і терміну його вводу в експлуатацію, наведених у проекті організації будівництва (ПОБ). Терміни виконання рекультивації для окремих землекористувачів встановлюються в проекті виконання робіт, у складі робочого графіка будівництва.

Прокладка трубопроводів і будівництво доріг, необхідних для технічного обслуговування, часто призводять до зміни умов природного дренажу, в тому числі перекриттю потоку води та підйому рівня ґрунтових вод з того боку трубопроводу, який проходить вгору по похилій поверхні; а також може спостерігатися погіршення росту і загибель рослин. Якщо трубопровід прокладено через лісовий масив, збиток може виявитися досить серйозним.

Тому у освоєних районах будівництво газопроводів може призвести до таких негативних наслідків: втрата родючості ґрунтів, порушення методів землекористування, необхідність переселення людей. Хоча певні види сільськогосподарської діяльності можуть виявитися порушеними лише протягом короткого часу, в період будівництва.

Також при експлуатації газопроводів при виникненні тріщин, розривів і витоків це призводить до забруднення ґрунтів, поверхневих і підземних вод. Масштаби збитків залежатимуть від типу і розміру витoku, виду та кількості відходів, що утворюються, а також від того, наскільки постраждали природні ресурси [8,9].

Під час проведення робіт з будівництва, експлуатації та реконструкції газопроводів основними джерелами забруднення атмосферного повітря є викиди забруднюючих речовин при роботі будівельної техніки, проведення зварювальних та фарбувальних робіт (труба газопроводу), шум від будівельної техніки тощо. Джерела викидів забруднюючих речовин в атмосферу при проведенні робіт з реконструкції газопроводу та її подальшої експлуатації, умовно можна віднести до джерел нерегулярного забруднення атмосфери (залпові, технологічно-залпові) адже викиди в атмосферу забруднюючих речовин проводиться через нерівномірні проміжки часу. Характерною особливістю технологічно-залпових викидів є мала часова продовжуваність викидів, відсутність закономірності часу та тривалості роботи. Робота технологічного обладнання і, як наслідок - виділення забруднюючих речовин – здійснюється по виробничій необхідності. До залпових (технологічно - залпових) джерел викидів на період будівництва відносяться місця проведення зварювальних та фарбувальних робіт, на період експлуатації в надзвичайних ситуаціях – стравлювання природного газу через технологічні свічки.

Перелік забруднюючих речовин, які будуть виділятися в атмосферне повітря на стадії реконструкції та експлуатації газопроводу наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Перелік забруднюючих речовин, які виділяються під час реконструкції газопроводу

Назва забруднюючої речовини	ГДК ,ОБРВ, мг/м ³	Клас небезпеки
Оксид вуглецю	5	4
Оксиди азоту	0,085	2
Вуглеводні	1	4
Оксиди сірки	0,15	3
Оксиди заліза	0,04	2
Марганець та його оксиди	0,01	2
Етанол	1 ²	4
Свинець	0,001	1

В результаті аналізу була розроблена узагальнена класифікація впливів та наслідків за чинниками навколишнього середовища та методами зменшення впливу та наслідків газотранспортної інфраструктури (табл. 3).

Таблиця 3

Класифікація екологічних впливів газотранспортної інфраструктури на довкілля

Види потенційного впливу	Заходи щодо запобігання або зменшення наслідків
1	2
Прямий екологічний збиток	
1. Скаламучення поверхневих вод, забруднених токсичними речовинами	1. Вибір іншої ділянки для прокладки трубопроводу: – використання альтернативних методів будівництва трубопроводу, що дозволяють зменшити скаламучення поверхневих вод; – прокладка трубопроводу в період мінімальної циркуляції води.
2. Пошкодження або знищення місць розмноження, а також загибель тварин, птахів, водних організмів на ділянках, де розташовані трубопроводи, насосні та газокompресорні станції.	2. Прокладка траси трубопроводу осторонь від районів, що володіють цінними природними ресурсами: – застосування найбільш підходящих методів розчищення траси від рослинності (наприклад, розчищення вручну замість механізованої розчистки), що дозволить зберегти рослинний покрив на ділянках, прилеглих до трубопроводу; – рекультивація пошкоджених ділянок;

Продовження таблиці 3

1	2
	- використання альтернативних методів будівництва трубопроводу.
3. Ерозія, твердий стік, будівництво під'їзних доріг та перекачувальних газокompresорних станцій.	3. Вибір траси трубопроводу з таким розрахунком, щоб не було завдано шкоди водним об'єктам і гористій місцевості: – облаштування пісковловлювачів або екранів для регулювання твердого стоку і боротьби з відкладенням наносів; – застосування альтернативних методів прокладки трубопроводів, що дозволяють звести збиток до мінімуму; – закріплення ґрунтів механічними або хімічними способами для зменшення ймовірності ерозії.
4. Зміна гідрологічних умов експлуатації трубопроводів.	4. Прокладка траси осторонь від водно-болотних угідь і заплав: – мінімальне використання насипного ґрунту; – проектування дренажних споруд з таким розрахунком, щоб не було завдано шкоди сусіднім районам.
5. Порушення схеми землекористування в результаті будівництва трубопроводів, перекачувальних і газокompresорних станцій.	5. Вибір траси і облаштування смуги відчуження з таким розрахунком, щоб це не стало на заваді використанню сільськогосподарських угідь і не завдало шкоди використанню земельних ділянок в інших цілях.
6. Проектування трубопроводу з якомога меншою шириною смуги відчуження.	6. Прокладка траси трубопроводу осторонь від основних маршрутів руху людей і тварин.
7. Зведення до мінімуму шкоди, завданої в процесі будівництва методом використання сусідніх ділянок.	7. Прокладка трубопроводу на високих опорах або естакадах чи заглиблення його в ґрунт.
8. Рекультивація ділянок, пошкоджених при будівництві підземного трубопроводу.	8. Поетапне проведення робіт з метою регулювання інтенсивності використання транспортних засобів.
9. Хімічне забруднення середовища, викликане утворенням відходів і випадковими або аварійними розливами нафти.	9. Складання планів заходів щодо запобігання розливів нафти і утворення відходів, а також з очищення територій: – використання методів локалізації нафтового розливу; – очищення та рекультивація постраждалих територій.
10. Небезпека, викликана витоком газу з трубопроводу або розриву труб, встановлення систем сигналізації, що сповіщають населення про аварії.	10. Чітке позначення місцезнаходження підземних газопроводів в районах з високою щільністю населення та інтенсивним рухом транспорту: – розробка планів екстреної евакуації людей при аварійних ситуаціях. – моніторинг з метою виявлення витоків.
Не прямий екологічний збиток	
1. Забудова територій, розташованих поблизу району виконання будівельних робіт.	1. Складання комплексного плану розміщення споруд, що створюються в процесі стимульованої забудови. 2. Будівництво будівель та споруд, надання фінансової допомоги існуючим об'єктам інфраструктури. 3. Складання і дотримання планів охорони довкілля і раціонального використання цих районів. 4. Створення перешкод (наприклад, влаштування попереджувальних знаків, огорожі, парканів).
2. Полегшення доступу в райони первозданної природи.	

Тому, екологічна оцінка впливу газопроводів на довкілля повинна включати в себе повний аналіз прийнятних альтернатив, які б забезпечили досягнення безпечної реалізації проекту. Завдяки цьому аналізу можна буде знайти рішення, які більш сприятливі в економічному, соціальному та екологічному плані.

Грунтуючись на аналізі літературних джерел [1,4,9], а також власному досвіді, пропонується у проєктах, які стосуються газотранспортної системи України розглядати наступні альтернативи:

- 1) „нульовий” варіант (тобто вивчити можливості відмови від будь-яких заходів, спрямованих на забезпечення необхідної пропускної спроможності магістральних трубопроводів);
- 2) інший принциповий підхід до вирішення проблеми доставки природного газу (наприклад, танкерами або суднами для перевезення скрапленого чи стиснутого газу);
- 3) покращення технічного стану магістральних трубопроводів;
- 4) вибір інших трас і ділянок під компресорні станції;
- 5) застосування альтернативних методів будівництва трубопроводів, що забезпечують, зокрема, скорочення витрат і підвищення експлуатаційної надійності обладнання;
- 6) внесення змін у конструкцію і використання інших матеріалів (наприклад, будівництво підземних трубопроводів замість надземних).

Питання про доцільність тієї чи іншої альтернативи необхідно розглядати з врахуванням геоекологічних (табл. 4) та економічних чинників. З огляду на те, що газопроводи є лінійними спорудами, одна з найважливіших альтернатив – вибір траси. Завдяки ретельному і добре продуманому вибору траси, можна попередити або зменшити багато видів екологічного збитку, викликаного будівництвом і експлуатацією магістральних газопроводів.

Таблиця 4

Ранжування сумарних показників забруднення для оцінки екологічного стану компонентів довкілля

Сумарні показники забруднення (СПЗ)				Геоекологічний стан
ґрунтів	ґрунтових вод	атмосферного повітря	рослинності	
0	0-200	0-50	0	сприятливий
0-1400	200-400	50-100	0-100	нормальний
1400-2000	400-800	100-200	100-200	задовільний
2000-2400	800-1000	200-400	200-400	напружений
2400-2800	1000-1200	400-900	400-900	складний

Аналізуючи попередні матеріали, пропонуємо основні принципи управління природоохоронною діяльністю та раціональним природокористуванням на території впливу газопроводів. Основою такого управління є геоекологічна оцінка стану довкілля досліджуваної території, на базі якої розробляються системи екологічного моніторингу, довгострокові екологічні програми, стабілізаційні заходи або оперативні акції, якщо ситуація зайшла в катастрофічний екологічний стан.

Наведені вище дані констатують необхідність безпечних умов експлуатації газотранспортних систем, які характеризуються високою оцінкою екологічного ризику їх експлуатації. Адже трубопровідні магістралі за вантажопотоком займають 2-е місце після залізничних доріг. Це свідчить про велике значення і відповідальність трубопровідного транспорту у безперебійному постачанні природним газом вітчизняних і закордонних споживачів.

Разом з тим трубопровідний транспорт рідких і газоподібних вуглеводів, віднесений до категорії «А» третьої групи, куди включені пожежовибухо небезпечні об'єкти та газотранспортну систему, на яких зберігаються і транспортуються продукти, що набувають, при певних умовах, здатність до загорання або вибуху, забрудненню навколишнього середовища, при аваріях і відмовах становлять велику небезпеку населенню, інженерним спорудам та природним масивам [10].

Висновки. Тому до трубопроводів ставлять високі вимоги щодо забезпечення надійності і безпеки їх функціонування. Особливо це стосується перетину системи трубопроводів у так званих технологічних коридорах, де перетинаються декілька магістралей різних діаметрів, тисків, марок сталей, режимів експлуатації тощо, а таких коридорів досить багато на території Івано-Франківської області (Богородчанська, Долинська ОТГ). Руйнування одного з трубопроводів на цій ділянці може спровокувати лавинне руйнування інших трубопроводів, залишити без енергоносіїв не тільки значні території, але завдати значних екологічних та економічних збитків.

Література

1 Мандрик О.М. Розвиток наукових основ підвищення рівня екологічної безпеки при транспортуванні природного газу/ О.М.Мандрик. –дис. на здоб. наук ступ. доктора техн. наук.- Івано-Франківськ, 2013. - 140с.

2 Крижанівський Є. І. Корозійно-воднева деградація нафтових і газових трубопроводів та її запобігання: [наук.-техн. посіб. у 3-х т.] / Є. І. Крижанівський, Г. М. Никифорчин; під заг. ред. В.В. Панасюка. – Івано-Франківськ – Львів: вид-во Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, 2011. – Т. 1: Основи оцінювання деградації трубопроводів. – 2011. – 457 с.

3 Kryzhanivskyi, E.I., Hrabovs'kyi, R.S., Mandryk, O.M. Estimation of the serviceability of oil and gas pipelines after long-term operation according to the parameters of their defectiveness *Materials Science (SCOPUS)*, 2013, 49(1), pp. 117–123.

4 Енергоекологічна безпека нафтогазових об'єктів / Говдяк Р. М., Семчук Я. М., Чабанович Л. Б. [та ін.] – Івано-Франківськ: Лілея НВ, 2007. – 556 с.

5 <https://tsoua.com/wp-content/uploads/2021/10/Ekologichna-polityka.pdf>

6 Земельний кодекс України.

7 Закон України "Про державну експертизу землепорядної документації".

8 Л.М. Архипова, Я.О. Адаменко, О.М. Мандрик Концепція екологічної безпеки басейнових систем районів нафтогазовидобування- Ecological Safety and Balanced Use of Resources, 2012.

9 Мандрик О.М. Екологічна безпека транспортування природного газу: монографія за ред. Дтн, проф. Крижанівського Є.І. - 2014 – ІФНТУНГ.

10 Бабаджанова О. Ф. Фактори, що обумовлюють пожежну небезпеку лінійної частини магістрального газопроводу / О. Ф. Бабаджанова, Ю. Е. Павлюк, Ю. Г. Сукач // Пожежна безпека. – 2011. – № 18. – С. 27–34.

O. Tuts

*Ivano-Frankivsk National
Technical University of Oil and Gas*

ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF INFLUENCES OF MAIN GAS PIPES ON THE ENVIRONMENT

During accidents of main gas pipelines, the main part of the environmental impact is pollution of the atmospheric air by emissions of natural gas or products of its combustion during explosions and fires. Also, when the gas pipeline is depressurized due to the occurrence of cracks, breaks and leaks, all this leads to soil, surface and underground water pollution. The extent of damage will depend on the type and size of the spill, the type and amount of waste generated, and the extent to which natural resources are affected. Also, at each stage from the laying to the operation of pipelines, it is necessary to pay great attention to the state of the environment and to prevent pollution and the possibility of emergency situations, fires, explosions, and accidents. As a result of the analysis of ecological impacts on the environment, a generalized classification of consequences by environmental factors and methods of reducing the impact and consequences of gas transport infrastructure was developed. The article also analyzes the main environmental consequences of the main pipelines' effects on the environment from construction to operation under various conditions.

Key words: environmental safety, pipeline, pollution, accident

References

1 Mandryk O.M. Rozvytok naukovykh osnov pidvyshchennia rivnia ekolohichnoi bezpeky pry transportuvanni pryrodnoho hazu/ O.M.Mandryk. –dys. na zdob. nauk stup. doktora tekhn. nauk.- Ivano-Frankivsk, 2013. - 140s.

2 Kryzhanivskyi Ye. I. Koroziino-vodneva dehradatsiia naftovykh i hazovykh truboprovodiv ta yii zapobihannia: [nauk.-tekhn. posib. u 3-kh t.] / Ye. I. Kryzhanivskyi, H. M. Nykyforchyn; pid zah. red. V.V. Panasiuka. – Ivano-Frankivsk – Lviv: vyd-vo Ivano-Frankivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu nafty i hazu, 2011. – Т. 1: Osnovy otsiniuvannia dehradatsii truboprovodiv. – 2011. – 457 s.

3 Kryzhanivskyi, E.I., Hrabovs'kyi, R.S., Mandryk, O.M. Estimation of the serviceability of oil and gas pipelines after long-term operation according to the parameters of their defectiveness *Materials Science (SCOPUS)*, 2013, 49(1), pp. 117–123.

4 Enerhoekolohichna bezpeka naftohazovykh obiektiv / Hovdiak R. M., Semchuk Ya. M., Chabanovych L. B. [ta in.] – Ivano-Frankivsk: Lileia NV, 2007. – 556 s.

5 <https://tsoua.com/wp-content/uploads/2021/10/Ekologichna-polityka.pdf>

6 Zemelnyi kodeks Ukrainy.

7 Zakon Ukrainy "Pro derzhavnu ekspertyzu zemlevporiadnoi dokumentatsii" .

8 L.M. Arkhypova, Ya.O. Adamenko, O.M. Mandryk Kontseptsiiia ekolohichnoi bezpeky baseinovykh system raioniv naftohazovydobuvannia- Ecological Safety and Balanced Use of Resources, 2012.

9 Mandryk O.M. Ekolohichna bezpeka transportuvannia pryrodnoho hazu: monohrafiia za red. Dtn, prof. Kryzhaniivskoho Ye.I. - 2014 – IFNTUNH.

10 Babadzhanova O. F. Faktory, shcho obumovliuiut pozhezhnu nebezpeku liniinoi chastyny mahistralnoho hazoprovodu / O. F. Babadzhanova, Yu. E. Pavliuk, Yu. H. Sukach // Pozhezhna bezpeka. – 2011. – № 18. – S. 27–34.

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ, ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ОЦІНКА СТАНУ ДОВКІЛЛЯ

UDC 504.06

DOI: 10.31471/2415-3184-2022-2(26)-91-100

M. Korchemlyuk
Carpathian National Nature Park

APPLICATION OF THE RAPID ASSESSMENT OF THE ECOSYSTEM SERVICES TOOL FOR THE WETLAND “PRUT RIVER HEADWATERS” IN THE CARPATHIAN NATIONAL NATURE PARK (UKRAINE)

Wetlands are among the most important ecosystems on Earth. They improve water quality, control floods, regulate global carbon levels, have significant cultural and recreational values, and provide habitat for plants and animals uniquely adapted to living in wet conditions.

The EU Water Framework Directive defines wetlands as diverse, hydrologically complex ecosystems, which tend to develop within a hydrological gradient going from terrestrial to mainly aquatic habitats. In 2019, two wetlands of the Carpathian National Nature Park (CNNP), Ukraine, were identified by the Secretariat of the Ramsar Convention as wetlands of international importance. The Prut River Headwaters Wetland is in the focus of this study. It belongs to Prut River basin that is very important transboundary tributaries of the Danube River. The Site acts as a flood regulator, and a freshwater reservoir, providing drinking water to people within the Prut River basin.

The wetland is biodiversity hotspot with valuable species, many of them are listed as threatened in the national and global Red Lists, and a great number are endemic to the Eastern Carpathian biogeographic region. Due to the favourable climate and availability of almost undisturbed landscapes, the wetlands are very popular for visitors.

In this study key research task is to apply Rapid Assessment of Wetland Ecosystem Services (RAWES) approach to the Prut River Headwaters Wetland of International importance in order to provide a qualitative and semi-quantitative assessment of a comprehensive range of wetland ecosystem services (ESS). The objective of the RAWES approach is to facilitate an assessment of the plurality of benefits provided by a wetland, which can be considered genuinely rapid, involving limited resources.

The main ESS of the Wetland “Prut River Headwaters” have been assessed within four categories: provisional, regulatory, cultural and supporting. The importance of the service has been assessed using the following relative scale which the benefit is realized: local, regional or global. The Ecosystem Services Index (ESI) within each service category has been calculated.

Keywords: Wetlands of International Importance, Carpathian National Nature Park, Ecosystem Services, Rapid Assessment of Wetland Ecosystem Services, Ecosystem Services Index.

Problem statement. Wetlands perform regularly, and to a high capacity, a range of processes that in combination result in the delivery of significant benefits for human welfare, wildlife and for the maintenance of environmental quality. Some wetlands have been recognised for their international conservation values [CIS Water Framework Directive, 2003].

The development of the RAWES approach, as an example of approaches that can be developed, has considered the requirements of the Ramsar Convention, and particularly the need for qualitative assessments that are not resource intensive and that can be applied within the context of Ramsar Convention-related reporting [Ramsar Regional Center - East Asia, 2020].

The RAWES approach addresses the four ecosystem service categories:

- Provisioning services: Physical and other resources extracted from ecosystems to support a diversity of human needs, such as food, water and natural medicines;
- Regulating services: Regulatory processes within ecosystems maintaining balance, such as pollination, water purification and climate moderation;

- Cultural services: Non-material benefits enriching society, such as those supporting tourism, recreation and spiritual interests; and
- Supporting services: Processes within ecosystems that maintain overall functioning and resilience, such as soil formation, photosynthetic production of oxygen and habitat for wildlife [Ramsar Regional Center - East Asia, 2020].

Increasing interest in measuring, modelling and valuing ecosystem services, the benefits that ecosystems provide to people, has resulted in the development of an array of ESS assessment tools in recent years [Ramsar Regional Center - East Asia, 2020]. On the other hand, it is important for the updating the Ramsar Site Information Sheet (RIS); Ramsar Site management planning; development and implementation of Ramsar National Policies understanding the importance of ecosystem services. On the other hand, it is also important for the local population for capacity-building, education, participation, and awareness raising to protect nature, to understand its benefits and values including spiritual and cultural ones. Depending on the question and context for the ESS assessment, qualitative or quantitative methods may be preferred [Neugarten, R.A. et al, 2018].

Literature review. The Ramsar Convention promotes the wise use of wetlands as a fundamental tenet behind the desire to stop and reverse the loss and degradation of wetlands. The concept of wise use has been formally defined as the maintenance of ecological character, of which ecosystem services form an integrated element [McInnes, R. J. et al, 2017].

Rapid Assessment of Wetland Ecosystem Services (RAWES) was described in Resolution XIII.17 on ‘Rapidly assessing wetland ecosystem services’ adopted at the 13th Meeting of the Conference of the Contracting Parties to the Ramsar Convention on Wetlands in October 2018 as an example of a cost-effective and pragmatic approach for assessing the multiple benefits that wetlands provide. To achieve wise use, and for wetlands to contribute fully to sustainable development, policy makers and practitioners (such as site managers) need to recognize the important functions and the multiple values of wetlands, and reflect them in their decisions, policies and actions [McInnes, R. J. et al, 2017]. Many wetland managers have limited time and resources. Therefore, the development of approaches to assessing wetland ecosystem services needs to satisfy the definition of “rapid” insofar that no more than two people should spend more than half a day in the field and another half day on preparation and analysis [McInnes, R. J. et al., 2017]. Increasing interest in measuring, modelling and valuing ecosystem services (ESS), the benefits that ecosystems provide to people, has resulted in the development of an array of ES assessment tools in recent years.

Ramsar Information Sheet has opened access to data of the Wetlands of International importance and provides a standardized format for recording *information* about the *Ramsar* site.

The «Prut River Headwaters» data includes its brief description, size, location, and date of designation, reasons for designation, information on flora and fauna and a site-relevant bibliography. Wetland (total area – 4935.44 ha) is represented by an alpine post-glacial community of wet meadows, peat bogs, lakes, streams, watercourses, riparian zones, and century-old forests of the Chornohora mountain range in the Ukrainian part of the Carpathians (Figure1). The Site holds a high concentration of Carpathian endemic and a number of post-glacial relict species. It is one of the most important biodiversity hotspots in the Ukrainian Carpathian region, crucial for the conservation of its species and ecological communities.

The territory is also characterized by a unique landscape with a high diversity of relief mountain forms, developed under the prolonged effect of geological epochs. Apart from this, the Site acts as a large storage tank of water resources, slowly accumulating them during heavy rains or snow-melting, and thus preventing drastic floods in the downstream areas. It is an important source of fresh water for at least 5,000 people and crucial for the support of the hydrological balance of the Prut River. The favourable climate conditions and weakly disturbed landscapes have turned the wetland into a very popular and the most frequently visited place of interest in the Ukrainian Carpathians. The Site is a part of the Carpathian National Nature Park, which is responsible for the restricted use and management of natural resources of the area [Ivan Danylyk et al, 2019].

The Site is crucial for the natural functioning of the Prut river basin and supporting its hydrological balance. It plays a leading role in the natural control and mitigation of floods and is an important storage tank seasonally accumulating water for the areas protected within the Carpathian National Nature Park (Ukraine) and located downstream [Ivan Danylyk et al, 2019].

The Prut basin on the territory of Ukraine is characterized by a fairly dense hydrographic network. The density of the river network is 0.94 km/km², which is almost three times higher than the

average indicator for Ukraine (0.34 km/km²). The density of the network is caused, first of all, by two factors: the large dismemberment of the terrain and, at the same time, a significant amount of precipitation.

Both surface water and groundwater sources are a major factor in meeting the drinking and economic needs of private households not provided with centralized water supply and sewerage in this area [Arkhypova L et al, 2019]. At present, the population is experiencing a shortage of water resources in the western region of Ukraine due to climate change [Chelmicki W et al., 2011], [Arkhypova L M. et al, 2015]. Nowadays, the management of the sheep breeding in the Carpathians is not possible without constant water supplies, which are often natural springs [Kinash, I et al, 2019].

The main task of the research is RAWES application to Prut River Headwaters Wetland in order to recognize its ecosystem services, to obtain results through field study and workshops with internal experts, to compare results with information about Wetland ESS in the RIS, and to discuss within working group the most significant benefits of Wetland ESS and to identify potential threats for wetland functioning. All these practical steps are crucial for wetland managers. Human activities and climate change can lead to degradation and loss of wetlands and therefore, loss of their ability to provide the entire range of ecosystem services.

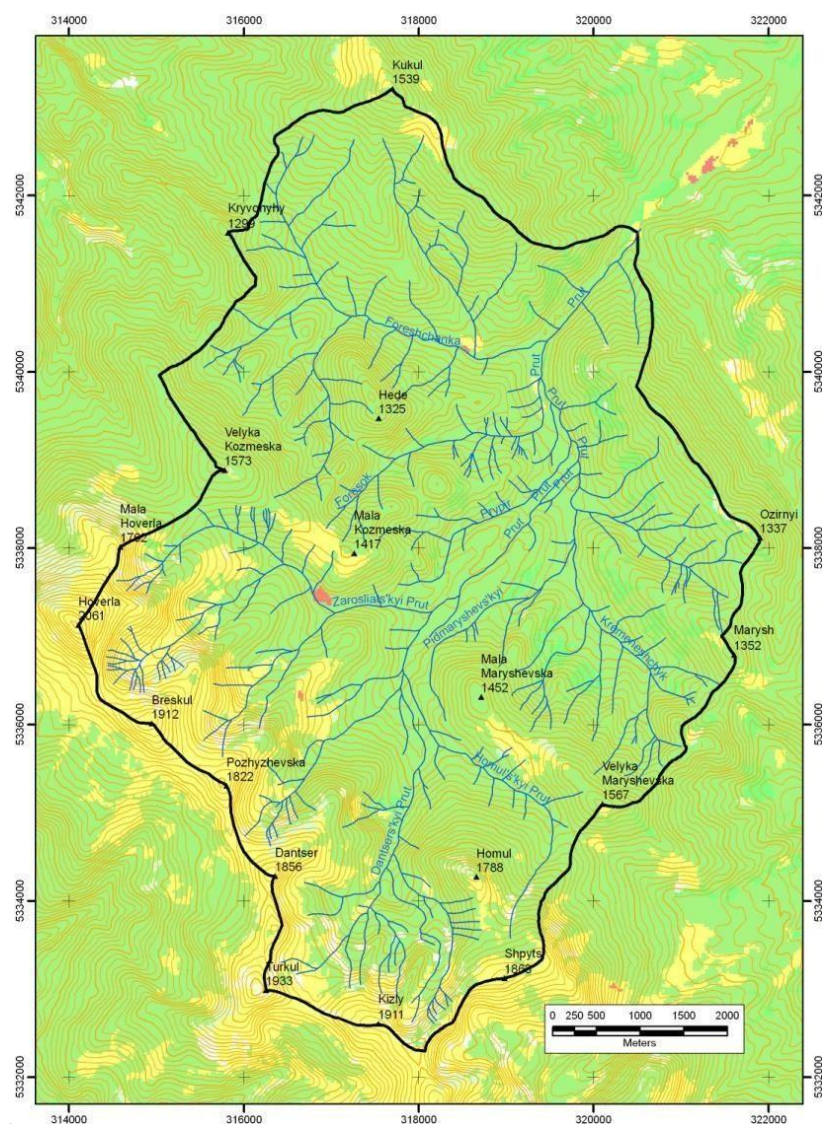


Fig. 1. Wetland "The Prut River Headwaters" boundaries

Materials and Method. In this study a main method for RAWES application is expert estimation based on observation and analysis, statistical data processing and modeling. The CNNP working group consisted of 5 specialists: a hydrochemist - group leader, a geographer, a botanist, a zoologist, a forester. Field studies and working meetings were conducted. Key considerations have been discussed with the head of the scientific department.

The RAWES approach includes:

- Qualitative methods, mainly used to display and report the results of assessments; and
- Quantitative methods, which allow greater analysis and even semi-statistical investigations [Neugarten, R.A. et al, 2018].

One of the ways to display qualitative results of a RAWES assessment is simple reporting on presence or absence of ecosystem services. The assessment sheet provides an initial list of ecosystem services under the four main categories of provisioning, regulating, cultural and supporting services.

Quantitative, or even semi-quantitative, approaches can be used to provide a slightly more robust analysis of the results of RAWES assessments. Basic approaches can include simple counts of all the ecosystem services that scored ‘++’, ‘+’, ‘0’ or a negative score.

The RAWES field assessment sheet is a simple table with cells into which assessors record the importance of each ecosystem service produced at the wetland site, with space for free text descriptions of key features supporting that assessment [Ramsar COP13 Resolution XIII.17, 2018]. Score for assessment of ecosystem service (Defra, 2007) is next (Table 1). It is also possible to convert the scoring system to numeric values. It is also possible to convert the scoring system to numeric values [Ramsar Regional Center - East Asia, 2020]. Scores are thus allocated semi-quantitatively, using assessor knowledge and other local and technical input.

Table1

Defra (2007) scale of likely significance of ecosystem services

Score	Assessment of ecosystem service	Numeric values
++	Significant positive contribution	1.0
+	Positive contribution	0.5
0	Negligible contribution	0.0
-	Negative contribution	-0.5
--	Significant negative contribution	-1.0
?	Gaps in evidence	Remove from calculation

The method to collate the importance of ecosystem service provision is semi-statistical transformation in the form of an ESI.

Groups of ecosystem services should be summed and divided by the number of services in that category, omitting from this total those services assessed as not relevant. The ESI is calculated using the equation 1:

$$ESI = \frac{\sum(n_{+1.0}+n_{+0.5})+\sum(n_{-1.0}+n_{-0.5})}{\sum n_{TOTAL}}, \text{ [Neugarten, R.A. et al, 2018]} \quad (1)$$

where n – number of ESS within the same category.

Wetlands can be essential for multiple livelihoods, both locally and across broader geographical scales. Therefore, the next step of assessment is linking services to beneficiaries at different scales: local, regional or global benefits.

The process for applying the RAWES approach comprises three principle activities: preparation, field assessment and information management [Ramsar COP13 Resolution XIII.17, 2018]. Working group representatives should be knowledgeable about the site and the type of wetland being assessed.

Results and discussions. During spring-autumn period, 2022 the CNNP expert group on ESS estimation of Wetland “Prut River Headwaters” conducted four field studies of different types of wetland ecosystem such as peat bog, highland meadow, river riparian zone, lake coastal zone.

After that two office workshops were conducted regarding discussion of initial scoping assessment in order to identify the range and importance of ecosystem services a wetland may be providing.

Each of experts had received an evaluation table that has been filled based on their personal skills and experience. General discussion made it possible to find common points of view, although it also revealed many problems in the assessment, as well as the lack of certain information and differences of opinion regarding the interpretation of the evaluations.

The main ESS of the Wetland “Prut River Headwaters” were assessed within four categories: provisional, regulatory, cultural and supporting. Numeric values of ESS with positive and significant and positive benefits, and scale of impact of each ESS category is presented on the Figure 2–Figure 5.

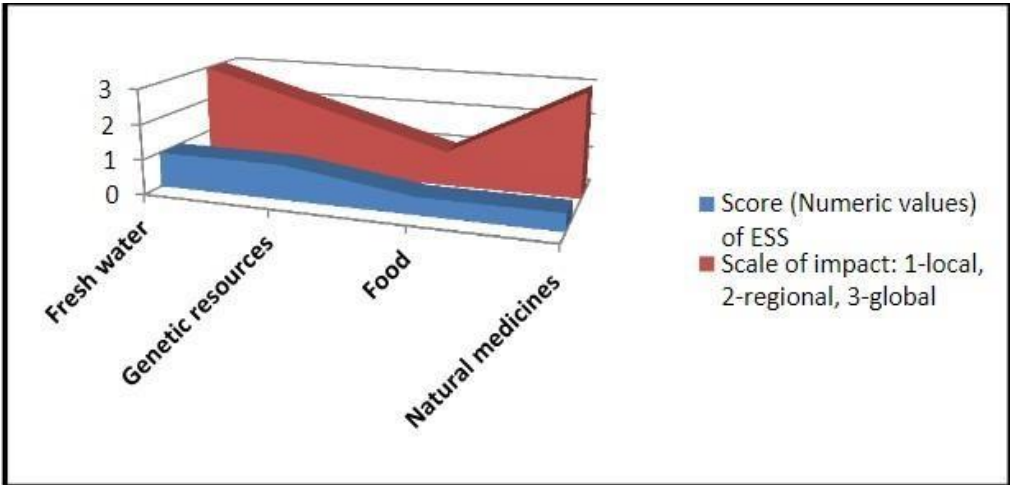


Fig. 2. Main Provisioning Ecosystem Services of the Prut River Headwaters Wetland

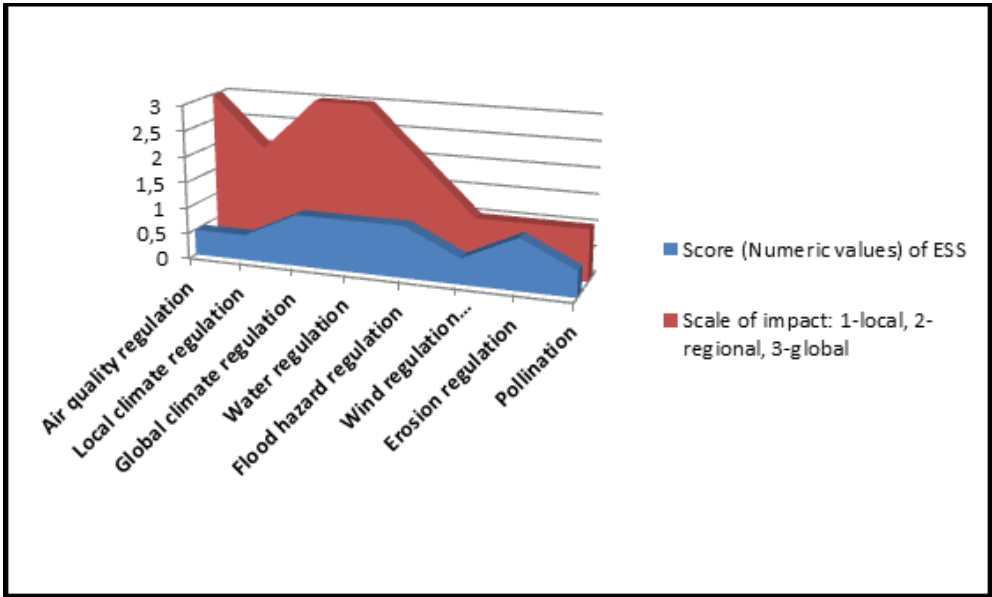


Fig. 3. Main Regulatory Ecosystem Services of Prut River Headwaters Wetland

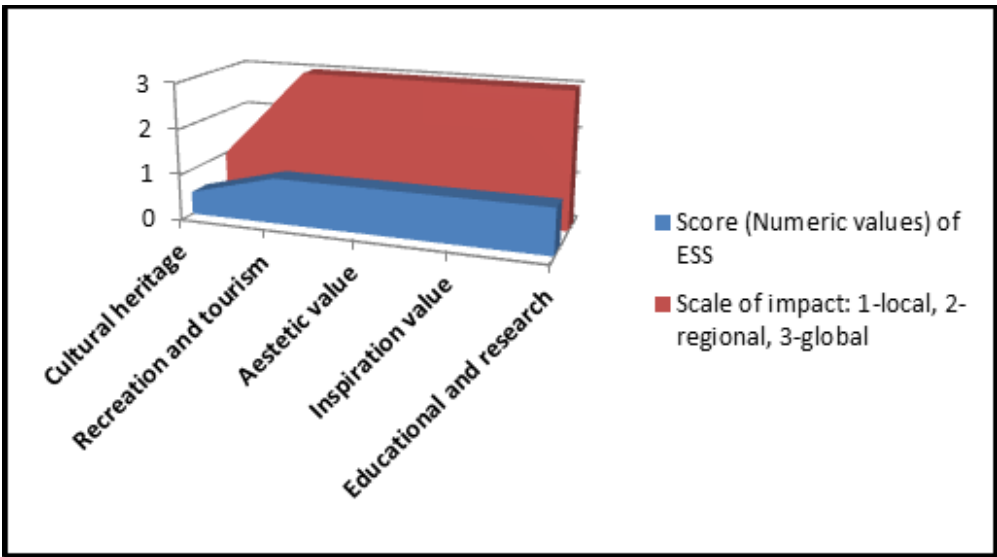


Fig. 4. Main Cultural Ecosystem Services of Prut River Headwaters Wetland

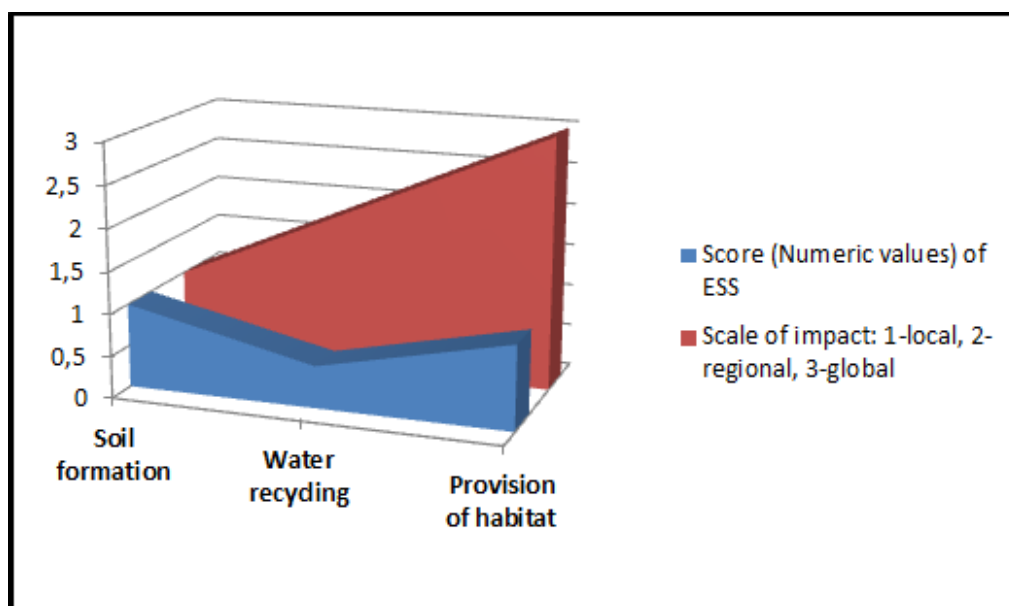


Fig. 5. Main Supporting Ecosystem Services of Prut River Headwaters Wetland

The most important ESS that have been defined by expert group are next:

Provisioning: fresh water and genetic resources;

Regulatory: global climate change, water regulation, flood hazard regulation, erosion regulation;

Cultural: recreation and tourism, aesthetic value, inspirational value, and education and research;

Supporting: soil formation and provision of habitat.

Understanding how a wetland supports different livelihoods can be a vital component to inform management planning. Using the RAWES approach, it is possible to capture essential information on the variety of livelihoods, and nature of the beneficiaries, in and around a wetland. Management actions can then be designed and implemented to ensure that these livelihood interdependencies are not compromised and that threats to livelihoods are addressed [Ramsar Regional Center - East Asia, 2020].

The wetland provides regulatory services for such ecosystem processes as the climate formation, protection from floods, landslides and other natural disasters, air and water purification, as well as local and global climate impact mitigation through carbon absorption by sphagnum wetland oligotrophic meadows.

There is a wide network of thematic ecological trails: botanical, zoological, geographic and landscape ones. Their aim is to show visitors the natural ecosystems, geological and geomorphologic monuments. Also the Prut is mentioned in many ancient historical texts. The territory is deeply connected with a cultural ethnographic nationality of Ukraine and the Carpathians, called the Hutsuls. The site is valuable in terms of ecological education, recreation and scientific research. It encloses part of the highest peak of Ukraine, Mount Hoverla, being is an important social and cultural heritage of the national level [Ivan Danylyk et al, 2019].

The territory of the site is one of the most important scientific research areas for the investigation of the Carpathian alpine zone. The ecological, biological and geographic surveys are carried out by employees of the Carpathian National Nature Park, scientists of the Ivan Franko National University of Lviv and the Institute of Ecology of the Carpathians (Lviv). The botanical monitoring within the given area is carried out by scientists of the Carpathian National Nature Park, the Institute of Ecology of the Carpathians (Lviv) and the State Museum of Natural History, NAS of Ukraine (Lviv). A network of transects have been developed to study the alpine biota. A research station, belonging to the Institute of Ecology of the Carpathians (Lviv), and a weather station are located on Pozhyzhevsk Mountain. The permanent monitoring of rodents, ground beetles, amphibians, bats and large carnivores (brown bear, wild cat) is implemented at the Site [Ivan Danylyk et al, 2019].

The ecological diversity of the Chornohora mountain range and historical peculiarities of flora genesis have led to a high species variety of plants in this site. 700 species of plants, found there, makes up more than half of the total number of species of the Ukrainian Carpathians.

Invasive plants and animals in ecosystems are represented by small numbers and do not pose a threat to its functions.

The map of the Wetland Ecosystem Services distribution reflects significance of regulatory services (Fig.6).

ESI for all categories of ES of the Wetland “Prut River Headwaters” has been calculated using formula 1. As a result, ESI for regulatory services is 0.85, for cultural – 0.83, for supporting – 0.6, for provisioning – 0.56.

This estimation is preliminary and request additional study with involving all stakeholders. In particular, there are some disagreements regarding genetic resources. In the Ramsar Information Sheet (RIS) (<https://rsis.ramsar.org/ris/2395>) this ESS is assessed as low benefit. According to CNNP expert affirmation, there are natural populations of species that are stably preserved in ecosystems within the Wetland boundaries, therefore, provision of the genetic resources were recognized as significant positive. In this case, additional experts can be involved in the process of ES estimation.

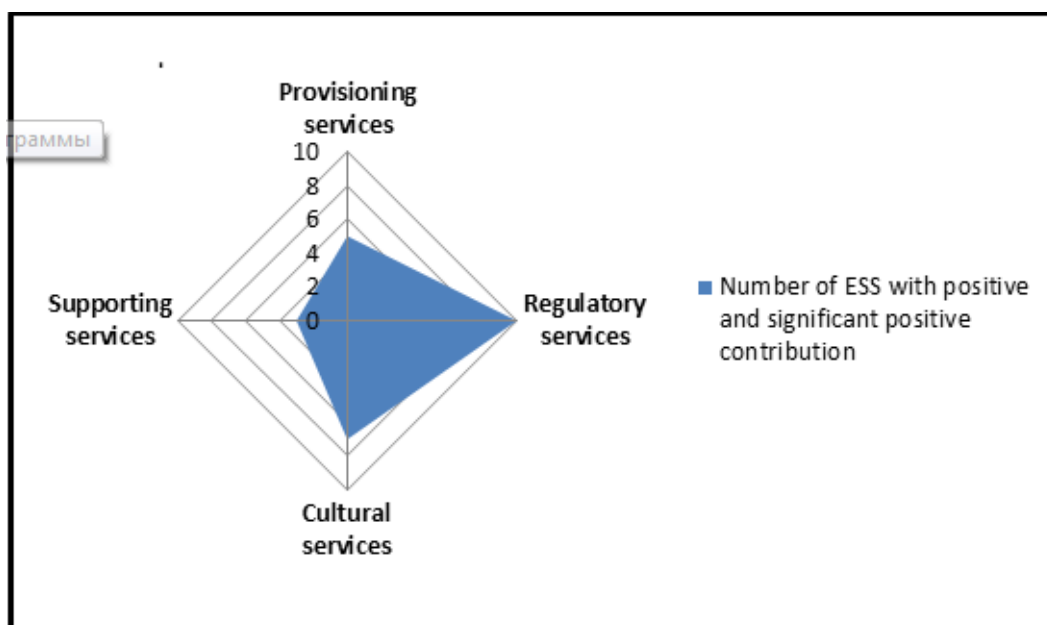


Fig. 6. Map of Prut River Headwaters Wetland Ecosystem Services distribution

Therefore, the results of the study can be used by CNNP managers to update the RIS in the context of updating list of Wetland ecosystem services (Chapter 4.5). This section can be supplemented with more extensive information about the ecosystem services of the Prut River Headwaters, especially regarding regulating services, such as air quality regulation, global climate regulation, wind and erosion regulation.

The RAWES approach can help to convey strong visual messages regarding the relative importance of different services without the need for detailed quantitative analysis.

Recognising ecosystem services and the threats to their sustainability is an essential element of wetland site management planning. Individuals and communities both within and beyond a wetland will benefit from the flow of ecosystem services, so it is important to be aware of flows of benefits (and potential disbenefits) across a range of scales. Management activities and interventions need to ensure that these beneficiaries are recognised and protected through the management planning process.

Conclusion. The Wetland “Prut River Headwaters” is one of the most important biodiversity hotspots, crucial for the conservation of species and ecological communities of the Ukrainian Carpathians, including regionally rare and threatened ones. This value is increasing under the global threats as biodiversity degradation and climate change impact.

The RAWES application proves that “Prut River Headwaters” as a site of International importance fulfills all categories of ESS with main focus on regulating services that are maintain desired environmental conditions for human society. Cultural ESS as well play crucial role and enrich human society. At the same time supporting services are necessary for the maintenance of ecosystem integrity, functioning and resilience, and for the production of all other ecosystem services. For the “Prut River Headwaters” provision of habitat has significant scale of impact.

Most of ecosystem services have regional and global impact. Some of them are still up of debates. For a more comprehensive study of the wetland ESS, it is necessary to involve additional internal and external experts.

The RAWES application within CNNP has provided initial design of different categories of ESS from wetland. This tool allows the assessors to evaluate the ecosystem services within the local, regional and global context.

This information is essential for describing the ecological character of a wetland and important ecosystem services estimation, both qualitative and quantitative one. RAWES can have multidimensional application for site managers, such as identification of livelihood interests for local communities, define possible threats for wetland ecosystems, and assist to management improvement and wetland “wise use”, understanding of potential site contribution to social benefits.

Depending on RAWES goal, the list of ecosystem services provided under the RAWES approach can be adapted for different uses and in different contexts.

Further steps for this study should be devoted to potential threats for the wetland through development of monitoring program for testing plots. This comprehensive task requires external experts from scientific institutions.

References

- 1 Common Implementation Strategy (CIS) for the Water Framework Directive (WFD) (2000/60/EC) (2003). The role of wetlands in the Water Framework Directive Framework Directive: Horizontal Guidance document n.o 12, Luxembourg, European Communities, 69 pp.. ISBN 92-894-6967-6. Available at: [https://circabc.europa.eu/sd/a/47ac25cc-3b7f-4498-a542-afd9e3dc3a4b/Guidance%20No%2012%20-%20Wetlands%20\(WG%20B\).pdf](https://circabc.europa.eu/sd/a/47ac25cc-3b7f-4498-a542-afd9e3dc3a4b/Guidance%20No%2012%20-%20Wetlands%20(WG%20B).pdf).
- 2 RRC-EA (2020). Rapid Assessment of Wetland Ecosystem Services (RAWES) Applications Guide. Ramsar Regional Center - East Asia, Suncheon City, Republic of Korea, 45 pp. Available at: https://www.researchgate.net/publication/342412643_RAPID_ASSESSMENT_OF_WETLAND_ECOSYSTEM_SERVICES_RAWES_-_A_practitioner's_guide.
- 3 Neugarten, R.A., Langhammer, P.F., Osipova, E., Bagstad, K.J., Bhagabati, N., Butchart, S.H.M., Dudley, N., Elliott, V., Gerber, L.R., Gutierrez Arrellano, C., Ivanić, K.-Z., Kettunen, M., Mandle, L., Merriman, J.C., Mulligan, M., Peh, K.S.-H., Raudsepp-Hearne, C., Semmens, D.J., Stolton, S., Willcock, S. (2018). Tools for measuring, modelling, and valuing ecosystem services: Guidance for Key Biodiversity Areas, natural World Heritage Sites, and protected areas. Gland, Switzerland: IUCN. x + 70 pp. Available at: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20193451853>.
- 4 McInnes, R. J., Simpson, M., Lopez, B., Hawkins, R., & Shore, R. (2017). Wetland Ecosystem Services and the Ramsar Convention: an Assessment of Needs. *Wetlands*, 37(1), pp.123-134. Available at: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20173111790>.
- 5 McInnes, R. J. and Everard, M. (2017). ‘Rapid Assessment of Wetland Ecosystem Services (RAWES): An example from Colombo, Sri Lanka’, *Ecosystem Services*, vol. 25, pp. 89–105. Available at: https://www.researchgate.net/publication/316008020_Rapid_Assessment_of_Wetland_Ecosystem_Services_RAWES_An_example_from_Colombo_Sri_Lanka.
- 6 Ivan Danylyk, Bohdan. Prots (2019). Prut River Headwaters. Ukraine: Ramsar Information Sheet [Online], Ramsar Sites Information Service, Institute of Ecology of the Carpathians of National Academy of Sciences of Ukraine, State Museum of Natural History, Carpathians of National Academy of Sciences of Ukraine and NGO. Available at: <https://rsis.ramsar.org/ris/2395>.
- 7 Arkhypova L., Fomenko N., Kinash I. and Golovnia (2019). Territorial Recreational Systems and Sustainable Development 7th International Conference on Modeling, Development and Strategic Management of Economic System (MDSMES) Advances in Economics, Business and Management Research, Published by Atlantis Press (99), pp. 189-194. Available at: <https://www.atlantispress.com/proceedings/mdsmes-19/125919213>.
- 8 Chelmicki W., Jokiel P., Michalczyk Z. and Moniewski P. (2011). Distribution, discharge and regional characteristics of springs in Poland, *Episodes* 34(4), pp. 244-256. Available at: https://www.researchgate.net/publication/289281627_Distribution_discharge_and_regional_characteristics_of_springs_in_Poland.
- 9 Arkhypova L. M. and Pernerovska S. V. (2015). Forecasting water bodies hydrological parameters using singular spectrum analysis, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*.

2(146), pp. 45-50. Available at: <https://web.p.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=20712227&AN=103601303&h=NUejTC%2bXkokKktciXfgGR6Qq%2bgXChpGRx3BW64ErUrY28DLjhEyuRef1J3UVREkBuHxkGU4Mp476RPF3SxYLhQ%3d%3d&crl=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLocal=ErrCrlNotAuth&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d20712227%26AN%3d103601303>.

10 Kinash .I, Shtogryn H., Sakal O. and Zapukhliak I. (2019). The ecologization of housing and communal services of Ukraine in the context of sustainable development, Journal of Eastern European and Central Asian Research 6(1), pp. 113-130, Available at: <http://dx.doi.org/10.15549/jeecar.v6i1.251>.

11 Rapid assessment of wetland ecosystem services. (Resolution XIII.17). Ramsar Convention on wetlands (2018). pp.12. Available at: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/xiii.17_rapid_assessment_ecosystem_services_e.pdf.

М. В. Корчемлюк

Карпатський національний природний парк

ЗАСТОСУВАННЯ ІНСТРУМЕНТУ ШВИДКОЇ ОЦІНКИ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ ДЛЯ ВОДНО-БОЛОТНОГО УГІДЖА «ВЕРХІВ'Я РІЧКИ ПРУТ» КАРПАТСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ (УКРАЇНА)

Водно-болотні угіддя належать до найважливіших екосистем на Землі. Вони покращують якість води, контролюють повені, регулюють глобальні рівні вуглецю, мають значну культурну та рекреаційну цінність і забезпечують середовище існування для рослин і тварин, унікально пристосованих до життя у вологих умовах.

Водна Рамова Директива ЄС визначає водно-болотні угіддя як різноманітні, гідрологічно складні екосистеми, які мають тенденцію розвиватися в межах гідрологічного градієнта, що переходить від наземних до переважно водних середовищ. У 2019 році два водно-болотних угіддя Карпатського національного природного парку (КНПП), Україна, були визначені Секретаріатом Рамсарської конвенції як водно-болотні угіддя міжнародного значення. Водно-болотне угіддя «Верхів'я річки Прут» знаходиться в центрі уваги цього дослідження. Воно належить до басейну річки Прут, яка є дуже важливою притокою річки Дунай. Ділянка діє як регулятор паводку та резервуар прісної води, що забезпечує питною водою людей у басейні річки Прут.

Водно-болотні угіддя є осередками біорізноманіття з цінними видами, багато з них занесені до національних та всесвітніх Червоних списків як такі, що перебувають під загрозою зникнення, а велика кількість є ендеміками Східно-Карпатського біогеографічного регіону. Завдяки сприятливому клімату та наявності майже незайманих ландшафтів водно-болотні угіддя дуже популярні серед відвідувачів.

Ключовим завданням цього дослідження є застосування підходу швидкої оцінки екосистемних послуг водно-болотних угідь (RAWES) до території угіддя міжнародного значення «Верхів'я річки Прут», щоб забезпечити якісну та напівкількісну оцінку повного спектру екосистемних послуг досліджуваної території. Метою підходу RAWES є сприяння оцінці множинних переваг, які надають водно-болотні угіддя. Цей підхід можна вважати справді швидким та залучати для цього обмежені ресурси.

Основні екосистемні послуги водно-болотного угіддя «Верхів'я річки Прут» були оцінені за чотирма категоріями: забезпечувальні, регулюючі, культурні та підтримуючі. Важливість послуги було оцінено за допомогою наступного відносного масштабу, в якому реалізується користь: локальний, регіональний та глобальний.

Також було розраховано індекс екосистемних послуг (ESI) в межах кожної їх категорії.

Ключові слова: водно-болотні угіддя міжнародного значення, Карпатський національний природний парк, екосистемні послуги, швидка оцінка екосистемних послуг водно-болотних угідь, індекс екосистемних послуг.

Література

1 Common Implamantation Strategy (CIS) for the Water Framework Directive (WFD) (2000/60/EC) (2003). The role of wetlands in the Water Framework DirectiveFramework Directive: Horizontal Guidance document n.o 12, Luxembourg, European Communities, 69 pp.. ISBN 92-894-6967-6. Available at: [https://circabc.europa.eu/sd/a/47ac25cc-3b7f-4498-a542-afd9e3dc3a4b/Guidance%20No%2012%20-%20Wetlands%20\(WG%20B\).pdf](https://circabc.europa.eu/sd/a/47ac25cc-3b7f-4498-a542-afd9e3dc3a4b/Guidance%20No%2012%20-%20Wetlands%20(WG%20B).pdf).

2 RRC-EA (2020). Rapid Assessment of Wetland Ecosystem Services (RAWES) Applications Guide. Ramsar Regional Center - East Asia, Suncheon City, Republic of Korea, 45 pp. Available at:

https://www.researchgate.net/publication/342412643_RAPID_ASSESSMENT_OF_WETLAND_ECOSYSTEM_SERVICES_RAWES_-_A_practitioner's_guide.

3 Neugarten, R.A., Langhammer, P.F., Osipova, E., Bagstad, K.J., Bhagabati, N., Butchart, S.H.M., Dudley, N., Elliott, V., Gerber, L.R., Gutierrez Arrellano, C., Ivanić, K.-Z., Kettunen, M., Mandle, L., Merriman, J.C., Mulligan, M., Peh, K.S.-H., Raudsepp-Hearne, C., Semmens, D.J., Stolton, S., Willcock, S. (2018). Tools for measuring, modelling, and valuing ecosystem services: Guidance for Key Biodiversity Areas, natural World Heritage Sites, and protected areas. Gland, Switzerland: IUCN. x + 70 pp. Available at: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20193451853>.

4 McInnes, R. J., Simpson, M., Lopez, B., Hawkins, R., & Shore, R. (2017). Wetland Ecosystem Services and the Ramsar Convention: an Assessment of Needs. *Wetlands*, 37(1), pp.123-134. Available at: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20173111790>.

5 McInnes, R. J. and Everard, M. (2017). ‘Rapid Assessment of Wetland Ecosystem Services (RAWES): An example from Colombo, Sri Lanka’, *Ecosystem Services*, vol. 25, pp. 89–105. Available at:

https://www.researchgate.net/publication/316008020_Rapid_Assessment_of_Wetland_Ecosystem_Services_RAWES_An_example_from_Colombo_Sri_Lanka.

6 Ivan Danylyk, Bohdan. Prots (2019). Prut River Headwaters. Ukraine: Ramsar Information Sheet [Online], Ramsar Sites Information Service, Institute of Ecology of the Carpathians of National Academy of Sciences of Ukraine, State Museum of Natural History, Carpathians of National Academy of Sciences of Ukraine and NGO. Available at: <https://rsis.ramsar.org/ris/2395>.

7 Arkhypova L., Fomenko N., Kinash I. and Golovnia (2019). Territorial Recreational Systems and Sustainable Development 7th International Conference on Modeling, Development and Strategic Management of Economic System (MDSMES) Advances in Economics, Business and Management Research, Published by Atlantis Press (99), pp. 189-194. Available at: <https://www.atlantispress.com/proceedings/mdsmes-19/125919213>.

8 Chelmicki W., Jokiel P., Michalczyk Z. and Moniewski P. (2011). Distribution, discharge and regional characteristics of springs in Poland, *Episodes* 34(4), pp. 244-256. Available at: https://www.researchgate.net/publication/289281627_Distribution_discharge_and_regional_characteristics_of_springs_in_Poland.

9 Arkhypova L. M. and Pernerovska S. V. (2015). Forecasting water bodies hydrological parameters using singular spectrum analysis, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2(146), pp. 45-50. Available at:

<https://web.p.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=20712227&AN=103601303&h=NUejTC%2bXkokKktciXfgGR6Qq%2bgXChpGRx3BW64ErUrY28DLjhEyuRef1J3UVREkBUhXkGU4Mp476RPF3SxYLhQ%3d%3d&crl=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLocal=ErrCrlNotAuth&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d20712227%26AN%3d103601303>.

10 Kinash .I, Shtogryn H., Sakal O. and Zapukhliak I. (2019). The ecologization of housing and communal services of Ukraine in the context of sustainable development, *Journal of Eastern European and Central Asian Research* 6(1), pp. 113-130, Available at: <http://dx.doi.org/10.15549/jeecar.v6i1.251>.

11 Rapid assessment of wetland ecosystem services. (Resolution XIII.17). Ramsar Convention on wetlands (2018). pp.12. Available at: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/xiii.17_rapid_assessment_ecosystem_services_e.pdf.

Ю. Л. Коваленко, О. В. Хандогіна
Харківський національний університет
міського господарства імені О.М. Бекетова

ВРАХУВАННЯ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ В ПРОЦЕСІ ПОРІВНЯЛЬНОЇ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ОЦІНКИ ЕНЕРГОНОСІЇВ

Стаття присвячена визначенню та дослідженню еколого-економічних критеріїв оцінки енергоносіїв, які використовуються для теплопостачання будинків, на основі кількості тепла та емісії забруднюючих речовин в атмосферу. Розглянуто різні варіанти застосування енергоносіїв та відповідні конструктивні схеми опалювальних систем, які найчастіше використовуються в житлових будинках. Проведено розрахунки вартості теплової енергії, що надійшла для обігріву будівлі для поширених видів палива (кам'яного вугілля, дров, пелет), електроенергії, централізованого теплопостачання. Також за усередненими показниками проведено порівняльну оцінку питомих викидів забруднюючих речовин для котлів, що працюють на природному газі, кам'яному вугіллі, дровах, пелетах. Встановлено, що мінімальна вартість одиниці тепла досягається при спалюванні пелет, дров, проте використання таких енергетичних джерел призводить до додаткових трудовитрат, а найкомфортнішим і найменш трудомістким є користування послугами центрального теплопостачання, газовий або електричний котел із системою водяного опалення. Визначено, що з точки зору несприятливого впливу на навколишнє середовище в місці розташування опалюваного об'єкта, найбільш безпечними є котел, що працює на природному газі, централізоване теплопостачання, електродкотел. Запропоновано шляхи зниження вартості одиниці теплової енергії, поданої в будівлю шляхом використання теплових насосів. Проведено оцінку вартості теплової енергії, поданої в будівлю із застосуванням теплового насоса, яка показала суттєве зниження вартості теплової енергії, поданої в будівлю в разі застосування теплового насоса в різних варіантах конструктивних особливостей системи опалення в залежності від кліматичних умов у порівнянні з варіантами без застосування теплового насоса.

Ключові слова: енергоносії, кліматичні умови, оцінка впливу на довкілля, емісія забруднюючих речовин, вартість одиниці тепла, тепловий насос, проектування схеми теплопостачання.

Постановка проблеми. Енергозбереження та енергоефективність в сучасних умовах є одними з пріоритетних напрямів функціонування вітчизняної економіки. За оцінкою експертів [1], структура кінцевого енергоспоживання в Україні поділяється на три категорії: електроенергія (29%), тепла енергія (52%) та транспорт (19%), при чому понад половину загального споживання енергії потребує виробництво теплової енергії, яка найбільше використовується для теплопостачання будівель і споруд. Питання вибору схеми теплопостачання в процесі проектування та будівництва будівель є одних з найважливіших. Насамперед береться до уваги вартість прокладання інженерних мереж для подачі відповідного енергоносія, придбання та монтажу теплогенеруючого обладнання, витрати на його експлуатацію. Проте це не дозволяє врахувати інші еколого-економічні характеристики енергоносіїв, що може вплинути на процес прийняття рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання оптимізації теплопостачання будівель, впровадження інноваційних технологій при проектуванні та експлуатації систем енергопостачання в контексті забезпечення енергетичної безпеки – з одного боку, та зниження навантаження на навколишнє середовище – з іншого, активно обговорюється в працях українських та закордонних вчених. Роботи присвячені, зокрема, розробці заходів щодо термомодернізації будівель та споруд, дослідженню їх ефективності, особливостям вибору та впровадження (К.М. Предун [2], А.С. Максимов, О.М. Галінський [3], Ф.В. Фош [4], D. D'Agostino, D. Parker, P. Melia [5], G. Di Foggia [6]), питанням взаємного впливу кліматичних змін та різних аспектів енергоефективності будівель (Б.І. Басок, Є.Т. Базєєв, І.В. Кураєва [7], Д.В. Тарасевич, О.В. Богдан [8], M.R.Gaterell, M.E.McEvoy [9], L. Clarke та ін. [10]), аналізу використання різних типів джерел теплопостачання (К.В. Юхимчук, В.В. Петрусь [11], О.В. Заміцький, А.А. Калініченко [12]) тощо.

Мета та завдання роботи. Для більш обґрунтованого вибору схеми теплопостачання в процесі проектування та будівництва будівель, на думку авторів, окрім перерахованих вище характеристик, також необхідно брати до уваги результати порівняльної економічної та екологічної оцінки енергоносіїв, що застосовуються для теплопостачання житлових будинків, що стало темою справжніх досліджень.

Метою дослідження є визначення критеріїв еколого-економічного порівняння енергоносіїв в сфері теплопостачання та проведення оцінки для визначення оптимальних енергоносіїв з точки зору вартості одиниці тепла та забруднення атмосферного повітря.

Виклад основного матеріалу. У ході проведення порівняльної оцінки, будемо зіставляти вартість 1 МДж тепла, що надходить до будівлі від різних енергоносіїв, питому емісію забруднюючих речовин у навколишнє середовище у місці дислокації об'єкта теплопостачання, наведену до 1 МДж тепла.

Теплотворна здатність багатокомпонентних горючих речовин залежить від їх складу та багатьох інших факторів. До таких речовин належить кам'яне вугілля, дрова, пелети, нафтопродукти.

Для кожного виду палива теплотворна здатність може бути визначена за формулами з використанням вихідних даних хімічного складу речовини. Крім того, теплотворна здатність більшості видів палива залежить від його вологості, умов зберігання, технології підготовки та інших факторів. [13].

У ході досліджень приймалися середні значення вартості енергоносіїв у 2021 році, виходячи з тарифів енергопостачальних підприємств, роздрібних цін торговельних організацій, що працюють на території України, Харківської області, а саме: вартість електроенергії для населення (обсяг понад 250 кВт·год) - 1,68 грн. за 1 кВт·годину [14]. Для абонентів житлових будинків із будинковими та квартирними приладами обліку теплової енергії тариф на послуги з централізованого опалення становить 1 539,50 грн./Гкал [15]. Роздрібні ціни на природний газ для населення становлять, з урахуванням доставки, 8,47 грн/м³ [16]. Нижча теплотворна здатність газу приймалася 31,8 МДж/м³ [17]. Значення коефіцієнта корисної дії поширених моделей котлів становить 90 % [18]. Для вугілля марки ДГ 13-100 (сортівий) теплотворна здатність становитиме 6100 ккал/кг. Середня вартість вугілля – 3 800 грн/т. Для пелет із лущиння соняшника теплотворна здатність складе 4300 ккал/кг. Середня вартість пелетів – 1 100 грн/т. Для дров дубових теплотворна здатність складе 4200 ккал/кг. Середня вартість дров 700 грн/м³ (методом складування "один на один"). Середня щільність складованих дубових дров приймалася 514 кг/м³. Значення коефіцієнта корисної дії широко поширених моделей твердопаливних котлів досягає 85% [19, 20].

Вплив на довкілля у місці дислокації опалюваного приміщення під час використання різних типів палива можна оцінити виходячи з наступного: застосування теплоносія із мереж централізованого теплопостачання та електроенергії практично не призводить до впливу на навколишнє середовище в місці розташування опалюваного приміщення, а викиди від електростанцій та теплоелектроцентралей здійснюються, як правило, за межами селітебних територій, на об'єктах, які обладнані відповідними очисними спорудами, газоочисними установками та мають санітарно-захисні зони.

Емісія забруднюючих атмосферу речовин залежить від технологічних та конструктивних особливостей теплогенеруючого пристрою, виду та якості палива, особливостей організації процесу спалювання та відведення димових газів. Специфічний показник емісії визначається шляхом проведення інструментальних досліджень для кожної конкретної теплосилової установки з урахуванням індивідуальних характеристик палива, конкретних характеристик процесу спалювання та заходів щодо зниження викиду забруднюючої речовини.

Враховуючи різноманітність конструктивних та технологічних особливостей обладнання, індивідуальних характеристик палива, для порівняльної оцінки доцільно використовувати значення узагальнених показників (питомих викидів). Узагальнені показники емісії (питомі викиди) основних речовин, що забруднюють атмосферу від котлів, що працюють на природному газі, кам'яному вугіллі, дровах, пелетах можна визначити, використовуючи відкриті джерела інформації [21, 22].

Розглянемо варіанти застосування енергоносіїв та відповідні конструктивні схеми опалювальних систем, що найчастіше застосовуються для житлових будинків.

1. Будинок підключений до мереж центрального тепlopостачання та обладнаний системою водяного опалення.

2. Будинок підключений до мереж електропостачання, що забезпечує можливість підключення електроопалювальних установок, наприклад електрoкотла із системою водяного опалення.

3. Будинок підключений до мереж природного газу. Будинок обладнаний газовим котлом та системою водяного опалення.

4. Будинок обладнаний твердопаливним котлом та системою водяного опалення. Як паливо можливе використання кам'яного вугілля, пелет, дров.

Як критерій порівняльної оцінки в роботі використано вартість 1 МДж тепла, що надходить до будівлі від різних енергоносіїв.

На практиці, як впливає з аналізу джерел інформації, вартість основних видів енергоносіїв не прив'язана до одиниці тепла, яке вони містять, а виражається у вартості одиниці, що легко піддається виміру – кубічного метра, тони, кВт·год. В даному дослідженні використано показник вартості одиниці тепла, яке енергоносіє постачає до будинку, з урахуванням втрат та непродуктивних витрат у теплогенеруючому обладнанні.

У ході роботи виконані розрахунки вартості одиниці (якою обрано 1 МДж) тепла, що надходить безпосередньо в опалювальне приміщення. При цьому використано середні значення теплотворної здатності палива, коефіцієнтів корисної дії теплогенеруючого обладнання.

Вихідні дані та результати розрахунку наведених значень вартості одиниці теплової енергії, отриманої для обігріву будівлі представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Вихідні дані та результати розрахунку наведених значень вартості одиниці теплової енергії, що надійшла для обігріву будівлі [13, 23-27]

№ з/п	Найменування, одиниця виміру енергоносія	Вартість	Теплотворна здатність	Вартість одиниці виробленої енергії, грн/МДж	Тепловий к.к.д., %	Вартість одиниці одержаної енергії, грн/МДж
1	Електроенергія, кВт·год	1,68 грн / кВт·год	3,6 МДж /кВт·год	0,4670	100	0,467
2	Теплоносіє міських теплових мереж, Гкал	1 539,50 грн./Гкал	4 190 МДж/Гкал	0,3670	100	0,367
3	Природний газ, м ³	8,47 грн/м ³	38,5 МДж/м ³	0,2200	90	0,244
4	Вугілля кам'яне, т	3 800 грн/т	6 100 ккал/кг	0,1490	85	0,175
5	Дрова, м ³	700 грн/м ³	4 200 ккал/кг	0,0773	85	0,091
6	Пелети, т	1 100 грн/т	4 300 ккал/кг	0,0610	85	0,072

Результати зіставлення наведених значень вартості одиниці теплової енергії у порядку градації вартості одиниці отриманої енергії наведені на діаграмі (рис. 1).

Як випливає з діаграми, мінімальна вартість одиниці тепла досягається при спалюванні пелет, дров.

З іншого боку, використання твердого палива з мінімальною вартістю одиниці отриманого тепла призводить до додаткових, значних трудовитрат, пов'язаних з постачанням палива, організацією його зберігання, необхідністю регулярного завантаження топки котла і видалення твердих залишків продуктів згоряння.

Найкомфортнішим і найменш трудомістким є користування послугами центрального тепlopостачання, а в разі локального опалення – використовувати газовий або електричний котел із системою водяного опалення.

Одиниця тепла, отримана від використання електроенергії в електрочотлі, обходиться майже в 2 рази дорожче, ніж одиниця тепла, отримана при спалюванні природного газу і в 5 – 6 разів перевищує вартість одиниці тепла, отриманого при спалюванні дров та пелет.

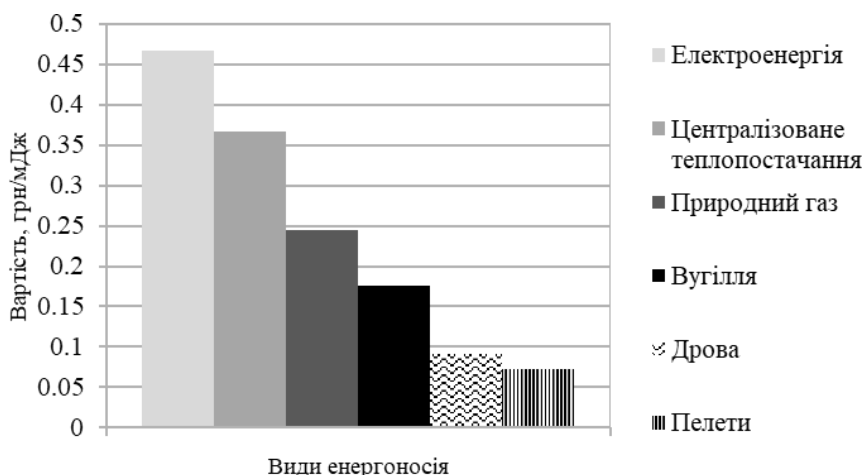


Рис. 1. Наведені значення вартості одиниці теплової енергії у порядку градації вартості одиниці отриманої енергії

Порівнюємо емісію забруднюючих речовин у навколишнє середовище в місці дислокації об'єкта теплопостачання, наведену до 1 МДж тепла.

При використанні централізованого теплопостачання, як вже зазначалося вище, безпосередньо процес опалення приміщення не призводить до впливу на довкілля, а процес генерації цієї енергії відбувається на енергетичних об'єктах, на яких впроваджені технічні та архітектурно-планувальні рішення зниження впливу на довкілля.

Порівняльна оцінка питомих викидів, проведена за усередненими показниками питомих викидів, для котлів, що працюють на природному газі, кам'яному вугіллі, дровах, пелетах наведено в таблиці 2. Показники емісії (питомі викиди) основних забруднюючих речовин від котлів, які працюють на різних видах палива, визначені на основі аналізу та узагальнення даних з літературних джерел [22, 28-34].

Таблиця 2

Питомі викиди котлів

№ з/п	Найменування палива	Питомі викиди, г/ГДж				
		зважені тверді частки	CO	NO _x	SO ₂	неметанові леткі органічні сполуки
1	Природний газ	-	249	64	-	-
2	Вугілля	2310	1870	101	2510	600
3	Дрова	500	4000	80	11	350
4	Пелети	62	300	80	11	10

Виходячи з результатів аналізу виконаних розрахунків, з точки зору несприятливого впливу на навколишнє середовище в місці дислокації об'єкта, що опалюється, найбільший інтерес для опалення індивідуального житлового будинку представляє котел, що працює на природному газі, централізоване теплопостачання, електрочотел.

За відсутності можливості підключення до теплових мереж і мереж газопостачання, а також можливості забезпечити постійну експлуатацію твердопаливного котла найбільш доцільним є застосування електрочотлів.

Враховуючи, що одиниця тепла, отриманого в результаті використання електроенергії, обходиться дорожче, ніж при використанні інших джерел енергії, цікавить розгляд варіанта скорочення витрати електроенергії шляхом застосування теплового насоса, які набули широкого поширення для опалення будинків (зокрема такі, які працюють за схемою «повітря-вода»).

Основний показник енергоефективності теплового насоса - коефіцієнт продуктивності (далі - COP). Його також часто називають коефіцієнт продуктивності, коефіцієнт корисної дії [35].

Теоретично максимальний COP теплового насоса:

$$\text{COP} = \frac{T_h}{T_h - T_c}, \quad (1)$$

де: T_h – температура підігрітого в термодинамічному циклі теплоносія, тепло якого використовується для обігріву приміщення, К; T_c – температура охолодженого в термодинамічному циклі теплоносія, який використовується для відбору тепла зовнішнього повітря, К.

Реальний COP теплового насоса практично набагато нижче [36-40].

Аналізуючи каталоги обладнання, можна зробити висновок, що для досягнення температури в опалювальному приміщенні 70 °F, при температурі зовнішнього повітря 47 °F, COP становитиме 3,8, а при температурі зовнішнього повітря 17 °F, COP становитиме 2,6.

У ході проектування теплових насосів [41] коефіцієнт потужності для сучасних апаратів можна визначити приблизно за такою емпіричною формулою:

$$s = 0,5 \cdot \left(\frac{T_h}{T_h - T_c} \right), \quad (2)$$

де ε – коефіцієнт продуктивності теплового насоса; T_h , – температура гарячого теплоносія, К; T_c – температура зовнішнього повітря, К.

При використанні традиційних схем радіаторного опалення значення температури гарячого теплоносія, як показує аналіз рекомендацій з проектування численних виробників такого обладнання, задають близькою до 50 °C. Враховуючи, що зниження температури гарячого теплоносія призводить до підвищення значення коефіцієнта потужності, при проектуванні систем часто застосовують систему «тепла підлога», що має велику площу поверхні теплообміну, що дозволяє ефективно використовувати теплоносії, нагрітий до 35 °C.

Для проведення порівняльної оцінки розглянемо тепловий насос, який працює за схемою «повітря-вода». Враховуючи, що коефіцієнт потужності теплового насоса – величина змінна, що залежить від температури зовнішнього повітря, зіставлення ефективності енергоносіїв проведемо з урахуванням кліматичних умов регіону розташування опалювальної будівлі.

Вартість одиниці тепла, отриманого від теплового насоса C_p становитиме:

$$C_p = \frac{C}{s}, \text{ МДж}, \quad (3)$$

де C_e – вартість електроенергії, що надійшла до будівлі, грн/МДж; ε – коефіцієнт потужності теплового насосу.

З урахуванням емпіричної формули, яка використовується під час проектування теплових насосів, для визначення значень коефіцієнта потужності 2) вартість одиниці тепла, отриманого від теплового насоса складе:

$$C_p = C_e \cdot \left(1 - \frac{T_c}{T_h} \right). \quad (4)$$

Цікавим є розгляд двох варіантів конструктивних особливостей системи опалення з тепловим насосом:

1. Традиційна схема радіаторного опалення.
2. Система «тепла підлога», що має велику площу поверхні теплообміну.

У першому варіанті як вихідні дані можна прийняти температуру гарячого теплоносія 50 °C, у другому - 35 °C.

Результати зіставлення вартості теплової енергії, поданої в будинок із застосуванням теплового насоса з обраними базовими джерелами енергії, наведено на рис.2.

Вартість теплової енергії, поданої в будівлю із застосуванням теплового насоса, істотно залежить від кліматичних умов, а саме від зовнішньої температури в місці дислокації будівлі.

У разі застосування теплового насоса, вартість теплової енергії, поданої в будівлю із застосуванням теплового насоса, стає нижчою від вартості теплової енергії, поданої в будівлю із застосуванням котла, що працює на природному газі та енергії, поданої в будівлю від джерела централізованого тепlopостачання практично на всьому діапазоні температур зовнішнього повітря у період опалювального сезону для всіх регіонів України.

У разі застосування теплового насоса та схеми радіаторного опалення вартість теплової енергії, поданої в будівлю із застосуванням теплового насоса, стає нижчою від вартості теплової

енергії, поданої в будівлю із застосуванням твердопаливного котла, що працює на кам'яному вугіллі при температурі зовнішнього повітря 263 К (–10 °C).

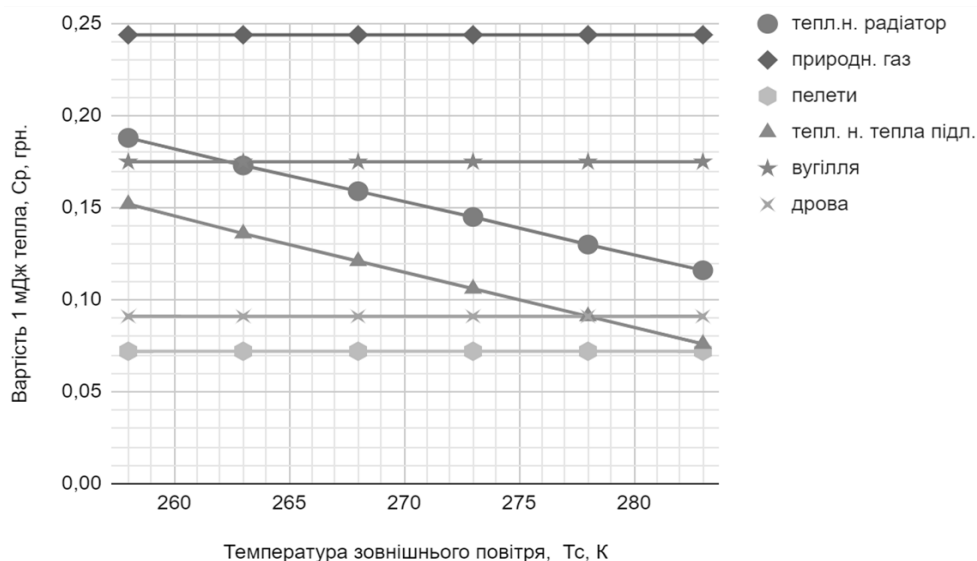


Рис. 2. Результати зіставлення вартості теплової енергії, поданої в будівлю із застосуванням теплового насоса з вибраними базовими джерелами енергії

При цьому вона перевищує вартість теплової енергії, поданої в будівлю із застосуванням твердопаливного котла, що працює на дровах та пелетах по всьому діапазону температур зовнішнього повітря в період опалювального сезону.

У разі застосування схеми опалення "тепла підлога" ефективність застосування теплового насоса зростає. Так, вартість теплової енергії, поданої в будівлю із застосуванням теплового насоса нижче вартості теплової енергії, поданої в будівлю із застосуванням котла, що працює на природному газі, твердопаливного котла, що працює на кам'яному вугіллі та енергії, поданої в будівлю від джерела централізованого теплопостачання практично на всьому діапазоні температур зовнішнього повітря під час опалювального сезону для всіх регіонів України. Вона стає нижчою від вартості теплової енергії, поданої в будівлю із застосуванням твердопаливного котла, що працює на дровах при температурі зовнішнього повітря 278 К (+5 °C) і порівнюється з вартістю теплової енергії, поданої в будівлю із застосуванням твердопаливного котла, що працює на пелетах при температурі зовнішнього повітря, що відповідає початку або завершенню опалювального сезону.

Висновки. Запропоновано алгоритм вибору оптимального, з погляду мінімальної вартості одиниці отриманої енергії, теплоносія, що дозволяє кожному населеному пункту з урахуванням особливостей місцевої тарифної політики ринку енергоносіїв, кліматичних особливостей, наявності інженерних мереж проводити обґрунтований вибір схеми теплопостачання будинку.

Визначено та проаналізовано вартість одиниці отриманої енергії та питомі викиди у місці дислокації опалюваного об'єкта, при застосуванні різних схем опалення та видів палива, які можуть бути додатковими критеріями для вибору схеми теплопостачання будівель в осінньо-зимовий опалювальний сезон.

Встановлено, що використання теплового насоса, який не здійснює негативного впливу на навколишнє середовище в місці розташування опалюваного приміщення, дозволяє знизити вартість теплової енергії, поданої в будівлю в залежності від конструктивних особливостей системи опалення по відношенню до деяких базових джерел енергії. Результати проведеного дослідження дозволяють отримати додаткові критерії в процесі вибору схеми теплопостачання з урахуванням еколого-економічних показників.

Література

1 Гелетука Г. Як декарбонізувати сектор теплопостачання // Екополітика. 04.06.2021. URL <https://ecopolitic.com.ua/ua/comments/yak-dekarbonizuvati-sektor-teplopostachannya/> (дата звернення: 28.10.2022).

2 Предун К. М. Підвищення енергоефективності існуючого житлового фонду України // Містобудування та територіальне планування. 2017. № 65. С. 462 – 466.

- 3 Максимов А. С., Галінський О.М. Особливості організації реалізації проєктів термомодернізації // Управління розвитком складних систем. 2020. Вип. 44. С.168-174.
- 4 Фощ А. В. Термомодернізація будівель – ресурс енергозбереження в Україні // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2016. № 65. С. 137 – 141.
- 5 D'Agostino D., Parker D., Melià P. Environmental and economic implications of energy efficiency in new residential buildings: A multi-criteria selection approach // Energy Strategy Reviews. 2019. Vol. 26. URL: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100412> (дата звернення: 27.10.2022).
- 6 Di Foggia G. Energy efficiency measures in buildings for achieving sustainable development goal // Heliyon. 2018. Vol. 4. P. 1-21. URL: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00953> (дата звернення: 27.10.2022).
- 7 Басок Б. І., Базєєв Є. Т., Кураєва І. В. Адаптація комунальної теплоенергетики до змін клімату // Вісник Національної академії наук України. 2012. № 4. С. 60-75. URL: <https://doi.org/10.15407/vism2012.04.060> (дата звернення: 27.10.2022).
- 8 Тарасевич Д. В., Богдан О. В. Зміни кліматичних показників України та їх вплив на вибір архітектурно-планувальних рішень // Проблеми теорії та історії архітектури України. 2021. № 21.С. 232 – 242.
- 9 Gaterell M.R., McEvoy M.E. The impact of climate change uncertainties on the performance of energy efficiency measures applied to dwellings // Energy and Buildings. 2005. Vol. 37. P. 982 – 995. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.12.015> (дата звернення: 27.10.2022).
- 10 Clarke L., Zhou Yu. Effects of long-term climate change on global building energy expenditures // Energy Economics. 2018. Vol. 72. P. 667-677. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.01.003> (дата звернення: 27.10.2022).
- 11 Юхимчук К. В., Петрусь В. В. Порівняльний аналіз використання теплових насосів та газових котлів для теплопостачання багатопверхового житлового будинку // Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 2019. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/25029/52975.pdf> (дата звернення: 27.10.2022).
- 12 Замицький О. В., Калініченко А. А. Принципи застосування альтернативних джерел енергії на об'єктах теплопостачання комунального господарства та виробництва // Вісник Криворізького національного університету. 2019. Вип. 48. С. 148-154.
- 13 Серьогін О. О., Осьмак О. О., Башта А. В. Фізико-хімічні основи проектування обладнання для термохімічної конверсії сумішей біотехнічних відходів // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Хімія, хімічна технологія та екологія. Харків. 2014. № 52 (1094). С. 124-130. URL: http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/13624/1/vestnik_HPI_2014_52_Serohin_Fizyko.pdf (дата звернення: 24.10.2022)
- 14 Тарифи на електроенергію для населення 2020 // Prostobank.ua 10.2022. URL: https://www.prostobank.ua/spravochniki/indikatory_rynka/electric_tariff (дата звернення: 24.10.2022).
- 15 Харківські теплові мережі: [Веб-сайт]. Харків, 2022. URL: https://www.hts.kharkov.ua/KPHTS_v2_public_info_tarify.php (дата звернення: 24.10.2022).
- 16 Тарифи на газ для населення // Мінфін 10.2022. URL: <https://index.minfin.com.ua/tariff/gas/harkov/> (дата звернення: 24.10.2022).
- 17 НАК «Нафтогаз України»: [Веб-сайт], 2021. URL: <https://www.naftogaz.com> (дата звернення: 24.10.2022).
- 18 Газовий котел BOSCH // Інтернет-магазин BOSCH-MARKET URL: <https://bosch-market.com.ua/gazovye-kotly-bosch/bosch-gaz-7000-w-zwc-35-3mfa> (дата звернення: 24.10.2022).
- 19 Глезер Л. И., Заяц Я. И., Чудаков П. И. Справочник по массам авиационных и других материалов (весовые характеристики): в 6 т. Т. 6 : Неметаллические материалы. Приложения. Москва : Машиностроение, 1975. 144 с.
- 20 Цена на дрова // Добрі дрова. URL: <http://xn--80aaecg3buaeme7c0e.xn--j1amh/> (дата звернення: 24.10.2022).
- 21 Угольный котел сверхдлительного горения // Prom.ua URL: <https://prom.ua/p870982721-ugolnyj-kotel-sverhdolitelnogo.html> (дата звернення: 24.10.2022)
- 22 ГКД 34.02.305-2002 Викиди забруднюючих речовин в атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення. Київ, 2002р.
- 23 Энергетическое топливо СССР. Справочник. «Энергоиздат», М., 1991, 184 с.

- 24 Теплотворная способность древесины // Дровяное отопление URL: http://tehnopost.kiev.ua/drova/13-teplotvornost-drevesiny.html#raset_teplovost (дата звернення: 24.10.2022)
- 25 Galperina L.P., Lukianenko L.I. Pricing in the Market of fuel Agri-pellet in the System of the Sustainable Development // European Researcher. Series A, 2015, Vol.(101), Is. 12. P. 762-774.
- 26 Dolacis J., Tomsons E., Hrols J. Fuelwood Comparison with Other Kinds of Fuel // ENVIRONMENT. TECHNOLOGIES. RESOURCES. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. 2003. P. 67-72. URL: <https://doi.org/10.17770/etr2003vol1.1982> (дата звернення: 24.10.2022)
- 27 Разработка технологии модификации древесного сырья в производстве твердого биотоплива / Сычева Н. А. и др. // Труды БГТУ. 2015. № 4 (177). С. 175-178. URL: <https://elib.belstu.by/bitstream/123456789/14964/1/30.pdf> (дата звернення: 24.10.2022)
- 28 Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від використання палива на побутові потреби в домогосподарствах, затверджена Наказом Держкомстату 22.04.2011 № 98 // Державна служба статистики України URL: https://ukrstat.gov.ua/metod_polog/metod_doc/2011/98/metod.htm (дата звернення: 24.10.2022)
- 29 Щодо розрахунку обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення для заповнення форми № 2-ТП (повітря) (річна) "Звіт про охорону атмосферного повітря" // Державна служба статистики України URL: https://ukrstat.gov.ua/druk/coment/answer/19_16.htm (дата звернення: 24.10.2022)
- 30 Викиди забруднюючих речовин у атмосферу від котлів комунального сектору потужністю менше 50 мВт Методика визначення. Київ, 2005. 18 с.
- 31 Forest Biomass and Air Emissions // Washington State Department of Natural Resources. URL: http://www.eesi.org/files/em_forest_biomass_and_air_emissions_factsheet_8.pdf. (дата звернення: 24.10.2022)
- 32 Кількісні і якісні оцінки викидів шкідливих речовин в довкілля при спалюванні деревини в порівнянні з природним газом і вугіллям / Л.В. Худолєєва, Н.К. Куцоконь, Н.М. Рашидов, О.М. Дуган // Біологічні студії. 2016. № 3-4. С. 61-70. URL: <http://publications.lnu.edu.ua/journals/index.php/biology/article/view/29/29> (дата звернення: 24.10.2022)
- 33 Руководство ЕМЕП/ЕАОС по инвентаризации выбросов 2019 // Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020. 119 p. URL: <https://www.eea.europa.eu/www/ru/publications/rukovodstvo-emeep-eaos-po-inventarizacii-vybrosov-2019> (дата звернення: 24.10.2022)
- 34 Ассад М. С., Пенязков О.Г. Продукты сгорания жидких и газообразных топлив: образование, расчет, эксперимент. Минск, 2010. 305 с.
- 35 Кириллини В. А., Сычев В. В., Шейндлин А. Е. Техническая термодинамика : монография. Москва, 1979. 512с.
- 36 Understanding COP: Coefficient Of Performance Of Heat Pumps // LearnMetrics, 2022. URL: <https://learnmetrics.com/coefficient-of-performance/> (дата звернення: 24.10.2022)
- 37 Безродний М. К., Місюра Т. А. Теплонасосна система повітряного опалення та вентиляції виробничого приміщення з надлишковим вологовиліленням // Наукові вісті КНУ. 2020. № 2. С. 7-16. URL: http://scinews.kpi.ua/article/view/205111/pdf_57 (дата звернення: 24.10.2022).
- 38 Куделя П. П., Дубовський С. В. Енергетичний і ексергетичний аналіз типових систем опалення Енергетика: економіка, технології, екологія. 2022. № 2. С. 25-34. URL: <http://energy.kpi.ua/article/view/261364> (дата звернення: 24.10.2022).
- 39 Шаповал О. В., Чепурна Н. В., Кириченко М. А. Аналіз ефективності роботи повітряного теплового насоса залежно від коливань температури зовнішнього повітря // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. 2021. № 37. С. 24–30. URL: <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2021.37.24-30> (дата звернення: 24.10.2022).
- 40 Безродний М. К., Пригула Н. О. Термодинамічна ефективність теплонасосних схем теплопостачання // Вісник ВПІ. 2013. С. 39-45. URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/1079> (дата звернення: 24.10.2022).
- 41 Технічна документація // Buderus. Роберт Бош Лтд, 2022. URL: <https://www.buderus.com/ua/uk/%D0%B4%D0%BB%D1%8F-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%84%D0%B5%D1%81%D1%96%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B2/> (дата звернення: 15.10.2022).

Yu. Kovalenko, O. Khandogina

*O.M. Beketov National University
of Urban Economy in Kharkiv*

CONSIDERATION OF CLIMATE CONDITIONS IN COMPARATIVE ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF ENERGY CARRIERS

The article is devoted to the definition and research of environmental and economic criteria for the assessment of energy carriers used for the buildings heating. The criteria for the comparison are based on the amount of heat and the emission of pollutants into the atmosphere. Various options for the use of energy carriers and corresponding design schemes of heating systems, the most often used in residential buildings, are considered. Calculations of the cost of thermal energy received for heating the building using common types of fuel (coal, firewood, pellets), electricity, and centralized heat supply were made. Also, a comparative assessment of the specific emissions of pollutants for boilers operating on natural gas, hard coal, firewood, and pellets was carried out based on the averaged indicators. It has been established that the minimum cost of a unit of heat is achieved when burning pellets, firewood, but the use of such energy sources leads to additional labor costs, and the most comfortable and least time-consuming is the use of central heating services, a gas or electric boiler with a water heating system. It was determined that considering the impact on the environment at the heated object location, the most safe are a boiler running on natural gas, a centralized heat supply, an electric boiler. Ways to reduce the cost of a thermal energy unit supplied to the building are proposed by using heat pumps. An assessment of the cost of thermal energy supplied to the building using a heat pump was carried out, which showed a significant reduction in the cost of thermal energy supplied to the building in the case of using a heat pump in various variants of the design features of the heating system considering climate conditions compared to options without the use of a heat pump.

Key words: energy carriers, climatic conditions, environmental impact assessment, emission of pollutants, cost of a heat unit, heat pump, design of the heat supply scheme.

References

- 1 Heletukha H. Yak dekarbonizuvaty sektor teplopostachannia // *Ekopolityka*. 04.06.2021. URL <https://ecopolitic.com.ua/ua/comments/yak-dekarbonizuvati-sektor-teplopostachannia/>.
- 2 Predun K. M. Pidvyshchennya enerhoefektyvnosti isnyuchoho zhytlovoho fondu Ukrayiny // *Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya*. 2017. no. 65. P. 462-466.
- 3 Maksymov A. S., Halinskyi O. M. Osoblyvosti orhanizatsii realizatsii proiektiv termomodernizatsii // *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*. 2020. Vol. 44. P.168-174.
- 4 Foshch A. V. Termomodernizatsiia budivel – resurs enerhozberezhennia v Ukraini // *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*. 2016. № 65. P. 137 – 141.
- 5 D'Agostino D., Parker D., Melià P. Environmental and economic implications of energy efficiency in new residential buildings: A multi-criteria selection approach // *Energy Strategy Reviews*. 2019. Vol. 26. URL: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100412>.
- 6 Di Foggia G. Energy efficiency measures in buildings for achieving sustainable development goal // *Heliyon*. 2018. Vol. 4. P. 1-21. URL: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00953>.
- 7 Basok B.I., Bazieiev Ye.T., Kuraieva I.V. Adaptatsiia komunalnoi teploenerhetyky do zmin klimatu // *Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy*. 2012. № 4. P. 60-75. URL: <https://doi.org/10.15407/vsn2012.04.060>.
- 8 Tarasevych D. V., Bohdan O. V. Zminy klimatychnykh pokaznykiv Ukrainy ta yikh vplyv na vybir arkhitekturno-planuvalnykh rishen // *Problemy teorii ta istorii arkhitektury Ukrainy*. 2021. № 21. P. 232 – 242.
- 9 Gaterell M. R., McEvoy M. E. The impact of climate change uncertainties on the performance of energy efficiency measures applied to dwellings // *Energy and Buildings*. 2005. Vol. 37. P. 982 – 995. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.12.015>.
- 10 Clarke L., Zhou Yu. Effects of long-term climate change on global building energy expenditures // *Energy Economics*. 2018. Vol. 72. P. 667-677. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.01.003>.
- 11 Yukhymchuk K. V., Petrus V. V. Porivnialnyi analiz vykorystannia teplovykh nasosiv ta hazovykh kotliv dlia teplopostachannia bahatopoverkhovoho zhytlovoho budynku // *Materialy XLVIII naukovo-tekhnichnoi konferentsii pidrozdiliv VNTU, Vinnytsia*, 2019. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/25029/52975.pdf>.

12 Zamytskyi O. V., Kalinichenko A. A. Pryntsypy zastosuvannya alternatyvnykh dzherel enerhii na ob'ekтах teplopостachannia komunalnoho hospodarstva ta vyrobnytstva // Visnyk Kryvorizkoho natsionalnoho universytetu. bahatopoverkhovoho zhytlovoho budynku // Materialy XLVIII naukovotekhnichnoi konferentsii pidrozdiliv VNTU, Vinnytsia, 2019. Vol. 48. P. 148-154.

13 Serohin O. O., Osmak O. O., Bashta A. V. Fyzyko-khimichni osnovy proektuvannia obladnannia dlia termokhimichnoi konversii sumishei biotekhnichnykh vidkhodiv // Visnyk Nats. tekhn. un-tu "KhPI" : zb. nauk. pr. Temat. vyp. : Khimii, khimichna tekhnolohiia ta ekolohiia. Kharkiv. 2014. № 52 (1094). P. 124-130. URL: http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/13624/1/vestnik_HPI_2014_52_Serohin_Fyzyko.pdf.

14 Taryfy na elektroenerhiu dlia naselennia 2020 // Prostobank.ua 10.2022. URL: https://www.prostobank.ua/spravochniki/indikatory_rynka/electric_tariff.

15 Kharkivski teplovi merezhi: [Web-site]. Kharkiv, 2022. URL: https://www.hts.kharkov.ua/KPHTS_v2_public_info_tarify.php.

16 Taryfy na haz dlia naselennia // Minfin 10.2022. URL: <https://index.minfin.com.ua/tariff/gas/harkov/>.

17 Naftogaz: [Web-site], 2021. URL: <https://www.naftogaz.com>.

18 Hazovyi kotel BOSCH // Internet-mahazyn BOSCH-MARKET URL: <https://bosch-market.com.ua/gazovye-kotly-bosch/bosch-gaz-7000-w-zwc-35-3mfa>.

19 Hlezer L. Y., Zaiats Ya. Y., Chudakov P. Y. Spravochnyk po massam avyatsyonnykh y druhykh materyalov (vesovye kharakterystyky): v 6 t. T. 6 : Nemetallicheskiye materyaly. Prylozheniia. Moskva : Mashynostroenie, 1975. 144 p.

20 Tsena na drova // Dobri drova URL: <http://xn--80aaecg3byaeme7c0e.xn--j1amh/>.

21 Uholnyi kotel sverkhdytelnoho horenyia // Prom.ua URL: <https://prom.ua/p870982721-ugolnyj-kotel-sverhdytelnoho.html>.

22 HKD 34.02.305-2002 Vykydy zabrudniuiuchykh rehovyn v atmosferu vid enerhetychnykh ustanovok. Metodyka vyznachennia. Kyiv, 2002.

23 Enerhetycheskoe toplyvo SSSR. Spravochnyk. «Enerhoizdat», M., 1991, 184 p.

24 Teplotvorna zdannist derevyny // Droviane otopenie. URL: http://tehnopost.kiev.ua/drova/13-teplotvornost-drevesiny.html#raset_teplovost

25 Galperina L.P., Lukianenko L.I. Pricing in the Market of fuel Agri-pellet in the System of the Sustainable Development // European Researcher. Series A, 2015, Vol.(101), Is. 12. P. 762-774.

26 Dolacis J., Tomsons E., Hrols J. Fuelwood Comparison with Other Kinds of Fuel // ENVIRONMENT. TECHNOLOGIES. RESOURCES. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. 2003. P. 67-72. URL: <https://doi.org/10.17770/etr2003vol1.1982>

27 Razrabotka tekhnolohyy modifykatsyy drevesnogo syria v proyzvodstve tverdoho byotoplyva / Sycheva N. A. i dr. // Trudy BHTU. 2015. № 4 (177). P. 175-178. URL: <https://elib.belstu.by/bitstream/123456789/14964/1/30.pdf>

28 Metodyka rozrakhunku vykydiv zabrudniuiuchykh rehovyn ta parnykovykh haziv u povitria vid vykorystannia palyva na pobutovi potreby v domohospodarstvakh, zatverdzhena Nakazom Derzhkomstatu 22.04.2011 № 98 // Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. URL: https://ukrstat.gov.ua/metod_polog/metod_doc/2011/98/metod.htm

29 Shchodo rozrakhunku obsiahiv vykydiv zabrudniuiuchykh rehovyn v atmosferne povitria vid statsionarnykh dzherel zabrudnennia dlia zapovnennia formy № 2-TP (povitria) (richna) "Zvit pro okhoronu atmosfernoho povitria" // Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy URL: https://ukrstat.gov.ua/druk/coment/answer/19_16.htm

30 Vykydy zabrudniuiuchykh rehovyn u atmosferu vid kotliv komunalnoho sektoru potuzhnistiu menshe 50 mVt. Metodyka vyznachennia. Kyiv, 2005. 18 p.

31 Forest Biomass and Air Emissions // Washington State Department of Natural Resources. URL: http://www.eesi.org/files/em_forest_biomass_and_air_emissions_factsheet_8.pdf.

32 Kilkisni i yakisni otsinky vykydiv shkidlyvykh rehovyn v dovkillia pry spaliuvanni derevyny v porivnianni z pryrodnyim hazom i vuhilliam / L.V. Khudolieieva, N.K. Kutsokon, N.M. Rashydov, O.M. Duhan // Biolohichni studii. 2016. № 3-4. P. 61-70. URL: <http://publications.lnu.edu.ua/journals/index.php/biology/article/view/29/29>

33 Rukovodstvo EMEP/EAOS po ynnentaryzatsyy vybrosov 2019 // Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020. 119 p. URL: <https://www.eea.europa.eu/ru/publications/emep->

eea/chasty-b-glavy-posvyashchennye-tehnicheskimi-aspektami/1.-energetika/1.a.-szhiganie/file.2012-03-27.3116815488/view

34 Assad M. S., Peniazkov O.H. Produkty shoranyia zhydkykh y hazoobraznykh toplyv: obrazovanye, raschet, eksperiment. Mynsk, 2010. 305 p.

35 Kyryllyn V. A., Sychev V. V., Sheindlyn A. E. Tekhnicheskaya termodynamyka : monohrafiya. Moskva, 1979. 512p.

36 Understanding COP: Coefficient Of Performance Of Heat Pumps // LearnMetrics, 2022. URL: <https://learnmetrics.com/coefficient-of-performance/>.

37 Bezrodnyi M. K., Misiura T. A. Teplonasosna systema povitrianoho opalennia ta ventyliatsii vyrobnychoho prymishchenniaz nadlyshkovym volohovylilenniam // Naukovi visti KPI. 2020. № 2. С. 7-16. URL: http://scinews.kpi.ua/article/view/205111/pdf_57.

38 Kudelia P. P., Dubovskiy S. V. Enerhetychni i ekserhetychni analiz typovykh system opalennia Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia. 2022. № 2. С. 25-34. URL: <http://energy.kpi.ua/article/view/261364>.

39 Shapoval O. V., Chepurna N. V., Kyrychenko M. A. Analiz efektyvnosti roboty povitrianoho teplovoho nasosa zalezno vid kolyvan temperatury zovnishnoho povitria // Ventyliatsiia, osvittennia ta teplohazopostachannia. 2021. № 37. С. 24–30. URL: <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2021.37.24-30>.

40 Bezrodnyi M. K., Prytula N. O. Termodynamichna efektyvnist teplonasosnykh skhem teplopостachannia // Visnyk VPI. 2013. С. 39-45. URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/1079>.

41 Tekhnichna dokumentatsiia // Buderus. Роберт Бош ЛТД, 2022. URL: <https://www.buderus.com/ua/uk/%D0%B4%D0%BB%D1%8F-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%84%D0%B5%D1%81%D1%96%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B2/>

ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА ПРОМИСЛОВОСТІ

UDC 614.8

DOI: 10.31471/2415-3184-2022-2(26)-122-132

V. Smalii^{1,2}, E. Tolok²¹*Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*²*Scientific Center of Risk Investigation Rizikon*

MODEL OF A MULTI-COMPONENT LIQUID POOL EVAPORATION FORMED DUE TO ACCIDENTAL SPILLS

Quantitative analysis and assessment of a technogenic risk imply a thorough study of the emergency process at the level of phenomenology. In such of a study, mathematical models of the physical and chemical processes of the hazardous substance formation in the surrounding space are involved. The occurrence and influence of the damaging factors on recipients, such as people, the environment, buildings and equipment, must be assessed. One of the most common scenarios for the formation of a hazardous substance in the environment is spillage of a liquid phase, often of a multicomponent composition, onto the earth's surface. The subsequent evaporation of a hazardous substance is a key factor in the formation of an explosive, flammable or toxic cloud. Therefore, it is extremely important to correctly assess the intensity of the hazardous substance release into the environment.

This study presents a mathematical model for the evaporation of a multicomponent liquid from the surface of an emergency spill. It considers various energy influxes that affect the evaporation process (atmospheric air heat, underlying surface heat, radiation from the sun). The effect of cooling due to evaporation is taken into account. The developed model considers the influence of the liquid phase composition on the evaporation process. A comparative analysis of the simulation results was made using the published experimental data on the mixture of a cryogenic liquid (nitrogen) and liquids under non-boiling conditions such as ethanol and cyclohexane evaporation process. The results of the comparison showed the model's applicability in the field of quantitative risk analysis and assessment. The possibilities of improving the multicomponent liquid pool evaporation mathematical model are presented.

Keywords: evaporation, multicomponent mixture, model, phase equilibrium, heat flow, hydrocarbons, cryogenic substance, ethanol

Problem statement. Due to the increase in the number of chemical, petrochemical and other hazardous industries, as well as the constant development of technologies, more and more attention is paid to the issues of reducing industrial risks using risk analysis and risk management tools.

The risk-based approach implies not only logic-probabilistic modeling, designed to assess the probability of a certain accident scenario, but also an assessment of all the possible accident scenarios consequences [1 – 2]. The assessment of the consequences is carried out with mathematical modeling of the physical and chemical processes of the damaging factors formation, as they can be a direct threat to people, nature, industrial equipment, buildings and structures.

One of the most common types of accidents at the chemical and petrochemical plants is depressurization of the equipment. It is often followed by the release of a flammable, explosive or toxic liquid, which leads to the formation of a liquid phase spill. The liquid spill consequence is evaporation of the liquid, followed by formation, movement and dispersion of a toxic, flammable or explosive cloud. The evaporation rate of the liquid pool is a key factor in assessing the consequences of a substance release into the environment. It determines the degree of damage to people, flora and fauna as a result of an explosion of a fuel-air mixture, thermal radiation from a fire, or toxic effects [3-6].

Thus, an adequate determination of the evaporation dynamics of the liquid pool is a basic task of the quantitative risk assessment [7-8].

Almost all recommended normative methods are rather simplified and do not consider the possibility of a multicomponent mixture evaporation, the change in the mixture composition over time

and its effect on its physicochemical properties, which affects the modeling accuracy. As an example, the formula for the intensity of evaporation given in the new Ukrainian standard corresponds to the stationary regime, where the intensity of evaporation does not depend on time, composition of the liquid pool or heat fluxes from the environment [2]. No validation using experimental data has been provided, which makes it impossible to evaluate the liquid pool evaporation model's adequacy, as proposed in the standards. This implies certain discrepancy between the real liquid pool evaporation data and the model results.

It is essential to develop a liquid pool evaporation model that accounts the influence of the liquid pool composition, heat flows from ground, air and Sun, to the evaporating rate. The model should be validated using the experimental data available and be applicable for the quantitative risk assessment.

Methods and materials. The model below takes into account the following:

- 1) $h_0 \ll d$, where h_0 , d [m] are the initial liquid pool thickness and diameter;
- 2) energy fluxes affecting the evaporation process - heat flux from the atmospheric air, from the soil (underlying surface), radiation flux from the Sun (completely absorbed by the liquid phase);
- 3) heat exchange between the liquid pool and the environment through the lateral surface of the pool is neglected (due to 1);

4) the liquid temperature is uniform and throughout the entire liquid layer, which corresponds to complete and rapid mixing (due to 1);

5) the mathematical model treats the time dependence of the liquid phase composition and the mixture properties, as a result of the evaporation process;

6) the model considers the temperature dependence of the mixture components physical properties.

The mixture components physical properties were determined in accordance with [9].

The physical properties of the mixture were determined as follows.

Molecular weight [kg/mol]:

$$M_{mix} = \sum_{i=0}^N x_i M_i \quad (1)$$

The heat capacity at constant pressure [J/(mol·K)]:

$$C_{pL_mix} = \sum_{i=0}^N x_i C_{pL}^i \quad (2)$$

Density [kg/m³]:

$$\rho_{L_mix} = \frac{M_{mix}}{\sum_{i=0}^N \frac{x_i M_i}{\rho_i}} \quad (3)$$

The latent heat of evaporation [J/mol]:

$$L_{v_mix} = \sum_{i=0}^N x_i L_v^i \quad (4)$$

Saturated vapor pressure [Pa]:

$$P_{sv_mix} = \sum_{i=0}^N x_i P_{sv}^i \quad (5)$$

The diffusion coefficient of vapor into air [m²/s]:

$$D_{v_mix} = \sum_{i=0}^N x_i D_{v}^i \quad (6)$$

where: x_i is the mole fraction of the i -th component of the mixture [mol/mol]; $(N+1)$ is the number of components of the mixture.

Mathematical description of the conservation equations

For simplicity, the mix index is omitted for the liquid mixture physical parameters (i.e. $D_{v_mix} \rightarrow D_v$).

Heat balance and mass balance equations are described below [3]:

$$\frac{d(h \cdot \rho_L \cdot C_{pL} \cdot T)}{dt} = H_s + H_a + H_{sr} - q_{vm} \cdot L \quad (7)$$

$$\frac{dh}{dt} = - \frac{q_v}{\rho_L} \quad (8)$$

where: h – thickness of the liquid pool [m]; C_{pL} – heat capacity of the liquid mixture [J/(kg·K)]; ρ_L – density [kg/m³]; L_v – latent heat of evaporation [J/kg]; T – temperature [K]; H_s – ground-liquid heat flux [J/(m²·s)]; H_a – air-liquid heat flux [J/(m²·s)]; H_{sr} – heat flux of solar radiation [J/(m²·s)]; q_{v_m} – mass evaporation rate [kg/(m²·s)].

Molar rate of evaporation:

$$\frac{dN_{mol}}{dt} = -q_{v_{mol}} \cdot S \quad (9)$$

where: N_{mol} – amount of substance [mol]; t – time [s]; $q_{v_{mol}}$ – pool surface evaporation rate [mol/(m²·s)].

Mass balance for i -th component:

$$\frac{d(N_{mol} \cdot x_i)}{dt} = -q_{v_{mol}} \cdot S \cdot y_i \quad (10)$$

where: x_i – molar part of i -th component in liquid phase (LP); y_i – molar part of i -th component in gas phase (GP).

Let's rewrite an equation (10):

$$N_{mol} \frac{dx_i}{dt} + x_i \frac{dN_{mol}}{dt} = -q_{v_{mol}} \cdot S \cdot y_i \quad (11)$$

Substitution of (9) in (11) gives:

$$\frac{dx_i}{dc} = \frac{q_{v_{mol}} \cdot S}{N_{mol}} \cdot (x_i - y_i) = \frac{q_{vm}}{h \cdot \rho_L} \cdot (x_i - y_i) \quad (12)$$

According to Rault's law (gas/liquid equilibrium is considered) [11]:

$$P_i(T) = P_{sv}^i(T) \cdot x_i \quad (13)$$

where: T – temperature [K]; $P_i(T)$ – i -th component partial pressure [Pa]; $P_{sv}^i(T)$ – pressure [Pa] of the i -th component saturated vapor.

The pressure of saturated vapor at a given temperature is determined by the Antoine equation, which is a common practice.

The Dalton equation [11]:

$$P_i(T) = P_{tot}(T) \cdot y_i \quad (14)$$

where: $P_{tot}(T)$ – total pressure [Pa] of the GP.

The total pressure [Pa] of the GP:

$$P_{tot}(T) = \sum_{i=0}^N P_i(T) \quad (15)$$

where: $P_i(T)$ – i -th component partial pressure [Pa].

Equations (14) and (15) imply that [12]:

$$y_i = \frac{P_i(T)}{\sum_{i=0}^N P_i(T)} \quad (16)$$

Equations (13) and (16) imply that:

$$y_i = \frac{P_{sv}^i(T)}{\sum_{i=0}^N (P_{sv}^i(T) \cdot x_i)} \cdot x_i = k_i(T) \cdot x_i \quad (17)$$

where: $k_i(T)$ – is the distribution coefficient of the substance between GP and LP.

From (12), considering (17), follows, that:

$$\frac{dx_i}{dt} = \frac{q_{v_{mol}}}{N_{mol}} \cdot (x_i - k_i(T) \cdot x_i) = \frac{q_{vm}}{h \cdot \rho_L} \cdot (x_i - k_i(T) \cdot x_i) \quad (18)$$

In the order to correctly choose the evaporation rate formula it is important to check the presence of the boiling process of the mixture every moment of the modeling time.

It is known that boiling is an intense process of evaporation, which occurs if evaporating mixture's saturated vapors' pressure is equal or exceeds atmospheric pressure [3].

The boiling point T_b [K] of a mixture at atmospheric pressure could be determined from:

$$P_a = \sum_{i=0}^N x_{i_{sv}} P_i(T_b) \quad (19)$$

Heat flux from the ground

The heat influx H_s [J/(m²·s)] from the soil can be determined as follows.

Consider the one-dimensional problem of heat conduction:

$$\frac{6T}{6t} = a_s \frac{6^2 T}{6x^2} \quad (20)$$

where: $T(x, t)$ – soil temperature [K] at a certain depth x [m] and time t [s]; a_s – soil coefficient of thermal diffusivity.

Initial conditions:

$$T(x, 0) = T_s \quad x \in [0, L_s] \quad (21)$$

Boundary conditions:

$$T(0, t) = T_p; T(L_s, t) = T_s \quad t \in [0, +\infty) \quad (22)$$

where: T_s – soil temperature [K] at the depth L_s [m]; T_p – temperature [K] of the evaporating pool; L_s – soil depth [m] where the temperature remains constant.

Consider $L_s = 10h_0$, where h_0 is the evaporating pool initial depth [m].

The heat influx from the soil to the pool:

$$q(t) = \lambda_s \cdot \frac{6T(0,t)}{6x} \quad (23)$$

The heat flux H_a [W/m²] from the atmosphere is determined by the formulas [3]:

$$Pr_a = \frac{\mu_a}{\alpha_a} \quad (24)$$

$$Re = \frac{u_a d}{\nu_a} \quad (25)$$

$$Nu = 0.037 \cdot Pr_a^{\frac{1}{4}} \cdot Re^{0.8} \quad (26)$$

$$k_a = Nu \cdot \frac{\lambda_a}{d} \quad (27)$$

$$H_a = k_a(T_a - T) \quad (28)$$

where: ν_a – air kinematic viscosity [m²/s]; α_a – air thermal diffusivity [m²/s]; u_a – wind speed [m/s] at 10 m height; d – pool diameter [m]; λ_a – air thermal conductivity [W/(m·K)]; k_a – heat transfer coefficient [W/(m²·K)]; T_a – air temperature [K]; T – evaporating pool temperature [K]; Pr_a – air Prandtl number; Re – air Reynolds number; Nu – air Nusselt number.

Note: the coefficients ν_a , D_v , λ_a , k_a , Pr_a , Re , Nu are calculated for the average temperature $T_{mid} = 0.5 \cdot (T_a + T)$ [13].

Evaporation rate

The evaporation mass rate [kg/(m²·s)] is determined by the formulas [3]:

$$k_m = C_m \cdot u_a^{0.78} \cdot d^{-0.11} \cdot Sc^{-0.67} \quad (29)$$

$$Sc = \frac{\nu_a}{D_v} \quad (30)$$

$$q_{v_m} = k_m \cdot \frac{P_{sv}}{RT} \quad (31)$$

where: $C_m = 0.004786$ – constant; u_a – wind speed [m/s] at 10 m height; d – evaporating pool diameter [m]; Sc – Schmidt number; P_{sv} – evaporating substance saturated vapor pressure [Pa]; M – evaporating substance molecular weight [kg/mol]; $R = 8.314$ – gas constant [J/(mol·K)]; T – evaporating pool temperature [K].

The evaporation mass rate [kg/(m²·s)] for a boiling liquid is determined by the formula [3]:

$$q_{v_m} = \frac{H_s(T_b) + H_a(T_b) + H_{sr}}{L_v(T_b)} \quad (32)$$

The molar evaporation rate:

$$q_{v_{mol}} = \frac{q_{v_m}}{M} \quad (33)$$

The molar evaporation rate of the i -th component:

$$q_{v_{mol}}^i = X_i \cdot q_{v_{mol}} \quad (34)$$

The evaporation molar rate of the i -th component from the total surface of liquid pool:

$$\frac{q^i}{v_{mol_s}} = S \cdot X_i \cdot q_{v_{mol}} \tag{35}$$

where: S – evaporating surface area [m^2] of the pool.

Results and discussion. To validate the model, 2 series of computational experiments have been performed. The first series – evaporation of a cryogenic liquid (liquid nitrogen) in boiling regime. The second series – evaporation of organic substances such as ethanol and cyclohexane in non-boiling regime.

Evaporation of the liquefied nitrogen. To check the adequacy of the considered numerical model, the simulation results were compared with the experimental data for cryogenic boiling liquid presented in [13].

The experiment was carried out with liquid nitrogen (LN2) spilled on the polystyrene. The inner size of the box was 0.48 m x 0.48 m x 0.1 m [13]. The thickness of the walls and base is 0.15 m. The box was completely made of polystyrene, so the heat loss throughout the walls is neglectable due to small thermal conductivity of the polystyrene. The base and walls of box were equipped with built-in thermocouples. To supply LN2 into the polystyrene box an outlet pipe was used. Analysis started after the filling was stopped. The box itself was positioned in a wind tunnel 2.04 m wide, 0.855 m high and 12 m long, which was specially designed to isolate the box from natural wind and provide a controlled and stable airflow. The initial data of the evaporation of liquid nitrogen experiment are presented below (Table).

Table

Initial data of experimental evaporation of cryogenic liquid (nitrogen)

Parameter	Symbol and Dimension	Value
Air temperature	T_a , [K]	309
Atmospheric pressure	P_a , [Pa]	101325
Wind speed at 10 m height	u_a , [m/sec]	6.2
Kinematic viscosity of air at defined air temperature	ν_a , [m^2/sec]	$1.638 \cdot 10^{-5}$
Heat conductivity of air	λ_a , [$\text{W}/(\text{K} \cdot \text{m})$]	0.027
Insolation flux	H_{sr} , [W/m^2]	0
Heat conductivity of the ground	λ_s , [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]	No heat exchange with ground
Thermal diffusivity of the ground	a_s , [m^2/sec]	No heat exchange with ground
Temperature of the ground	T_s , [K]	No heat exchange with ground
Area of liquid spill	S , [m^2]	0.23
Initial temperature of liquid pool	T_0 , [K]	boiling temperature of nitrogen at atmospheric pressure
Initial thickness of liquid pool	h_0 , [m]	0.08
Liquid pool composition	X_0 , [molar parts]	(100% nitrogen)
Duration of experiment	t_N , [sec]	600

Next considerations and preparations have been made:

- in the model, the heat flux from the underlying surface $H_s = 0$ due to the use of the heat-insulating material of evaporating box during the experimental study;
- the wind speed at the height $h = 10$ m has been obtained via calculation using experimental value of the wind speed $u_a = 2.99$ m/s at a height $h = 0.305$ m. The method presented in [14] has been used;
- the initial thickness of the pool has been obtained using initial mass in the pool $m_0 = 14.69$ kg and evaporating pool geometry;
- the nitrogen coefficient of diffusion into the air has been obtained for the mixture "nitrogen - oxygen" according to [15].

The model slightly underestimates the evaporation rate for a cryogenic liquid during boiling process (see Fig. 1). After 600 seconds, the amount of nitrogen evaporated was 2.88 kg, while the model predicted 2.066 kg of evaporated nitrogen. The evaporation rate according to the model is approximately 1.39 times less than the evaporation rate according to the experiment. In this case, evaporation model

should be applied for risk assessment with caution. Possible underestimation of evaporation rate should be taken into account.

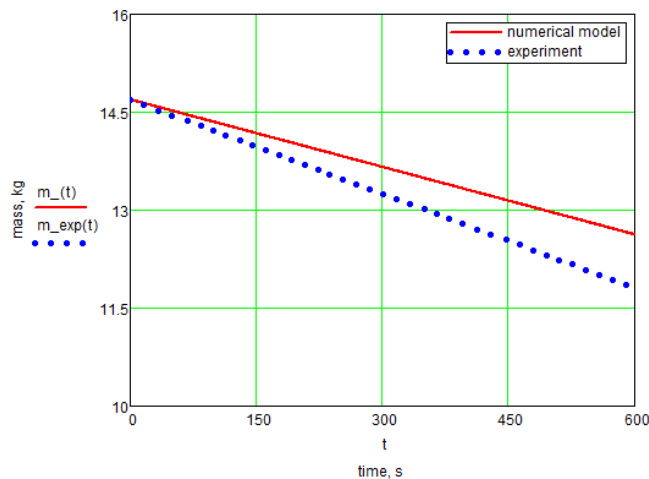


Fig.1. Time dependence of liquid pool mass ($m(t)$ – simulation data, $m_{exp}(t)$ – experimental data)

The temperature of the pool, calculated according to the model, is in full agreement with the temperature of the pool, measured during the experiment (see Fig. 2). Both of the temperatures are equal to the boiling point of pure nitrogen at atmospheric pressure.

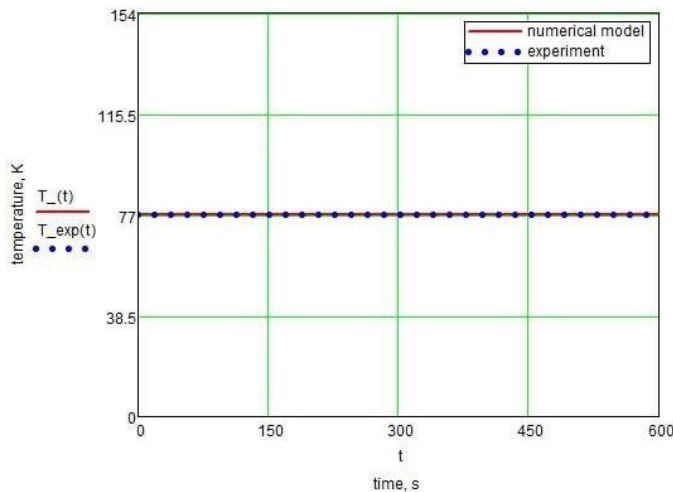


Fig. 2. Time dependence of liquid pool temperature ($T(t)$ – simulation data, $T_{exp}(t)$ – experimental data)

Evaporation of the ethanol and cyclohexane in non-boiling regime. To validate the model in the case of organic substances evaporation in non-boiling regime, the comparison with experimental data has been made [7].

Evaporation experiments with ethanol and cyclohexane in basin were carried out. The diameter of basin is 0.74 m. An open-air non-built-up environment were investigated. The basin was heated up via a water-heated heating coil and the evaporating mass flow was determined by weighing the liquid content before and after the experiment in correlation to the duration of the experiment. Two *K*-type thermocouples were placed in the liquid, one near the interphase and one at the bottom of the basin. The average of both temperatures was used as the liquid temperature [7].

The wind speed at 10 m height were provided by the German meteorological services from a measuring station on the site [7].

The results of the comparison of developed model and experimental data for ethanol evaporation at different temperatures and wind speeds are presented on figures 3, 4, 5.

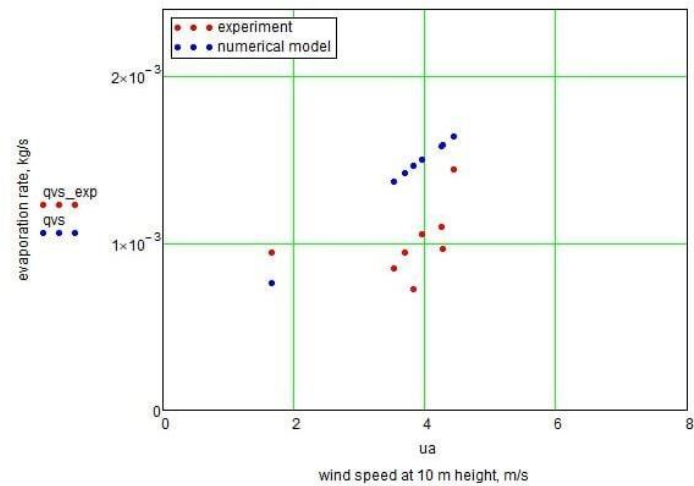


Fig. 3. Wind speed dependence of evaporation rate (Ethanol, 303K)

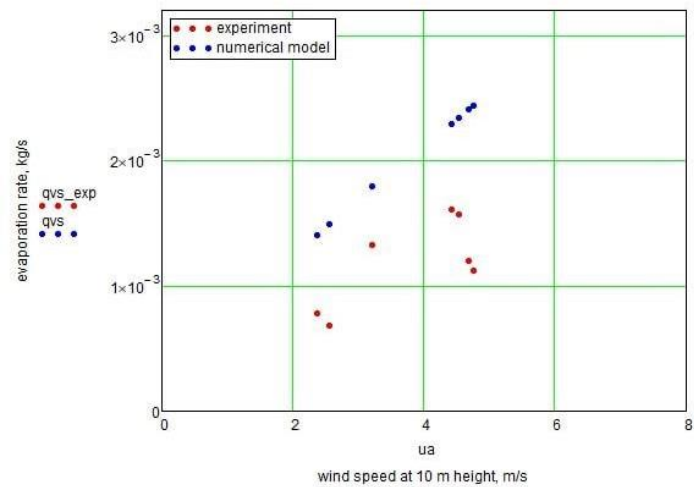


Fig. 4. Wind speed dependence of evaporation rate (Ethanol, 310K)

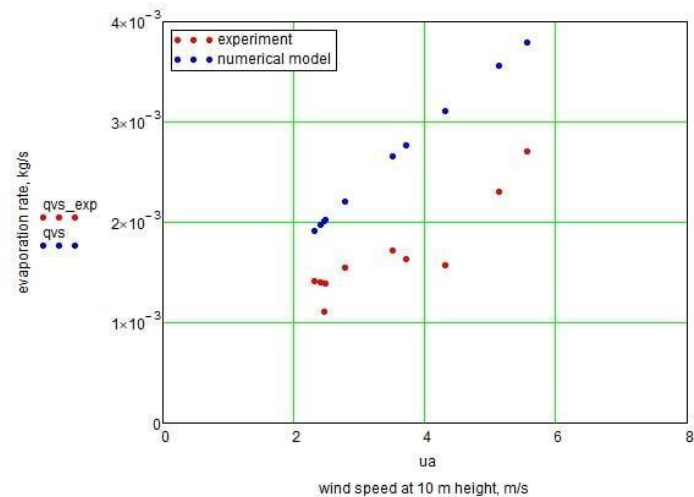


Fig. 5. Wind speed dependence of evaporation rate (Ethanol, 317K)

The results of the comparison of developed model and experimental data for cyclohexane evaporation at different temperatures and wind speeds are presented on figures 6, 7, 8.

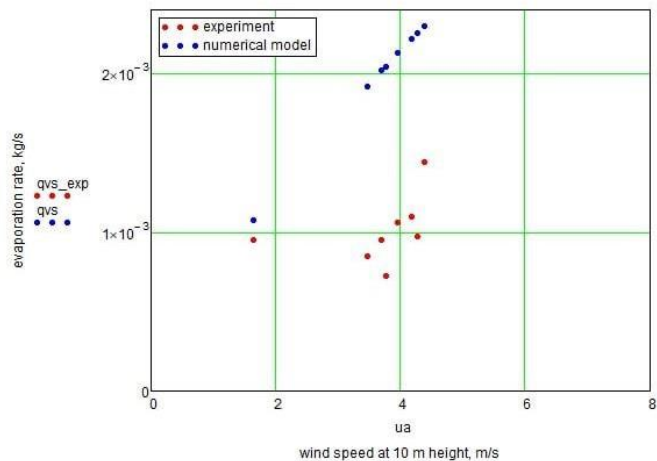


Fig. 6. Wind speed dependence of evaporation rate (Cyclohexane, 303K)

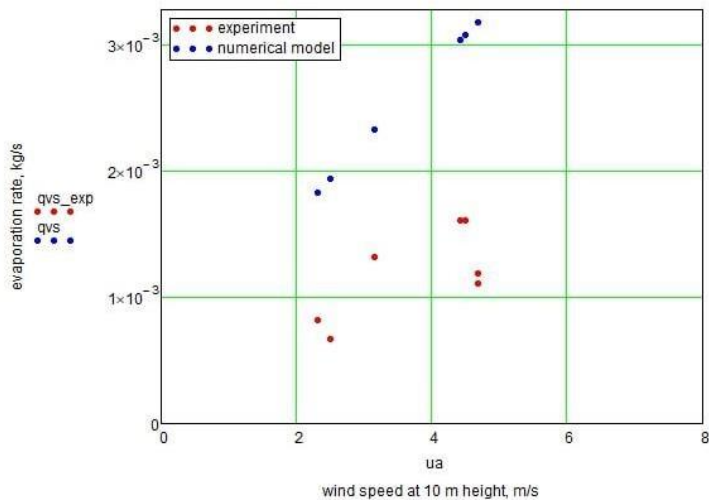


Fig. 7. Wind speed dependence of evaporation rate (Cyclohexane, 310K)

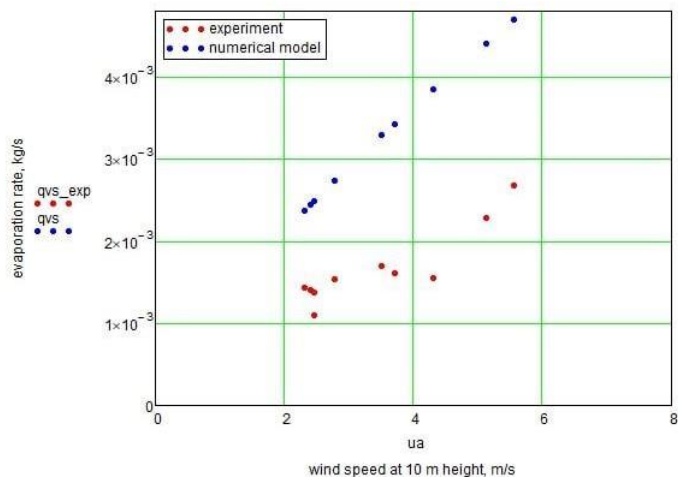


Fig.8. Wind speed dependence of evaporation rate (Cyclohexane, 317K)

Almost the same declination angle of linear dependence for both experimental and numerical model data (see Fig. 5 and Fig. 8) has been observed.

The model slightly overestimates evaporation rate for both ethanol and cyclohexane which is conservative approach. So the model could be applied in the field of quantitative risk assessment.

Although there are small-scale experimental data, applicable for model validation, there is still no large-scale experimental set-ups close to real liquid spills which occur during industrial accidents. The opinion about possible different behavior large-scale pools evaporation process was also concluded in [7].

The other significant problem is an absence of sufficient experimental data for evaporation of multi-component pools.

Conclusions. Quantitative risk analysis and assessment require application of reliable, validated, up-to-date models. One of the most significant accidental processes is liquid pool evaporation formed due to depressurization of factory reactors, vessels, compressors, etc. It is essential to be able to consider multi-component composition of liquid pool as it is most common appearance in practice.

In this work, a model for the evaporation of a spill of a multicomponent liquid phase has been developed. The evaporation process is modeled considering heat exchange of evaporating pool with the Sun, soil and air as well as the effect of cooling due to evaporation. The model considers time dependence of the liquid phase mixture composition during evaporation process. The model is relatively easy to implement by process safety or ecology safety specialists.

A comparative analysis of the model and available published experimental data has been made.

In the first series of tests, the evaporation of a cryogenic liquid (pure nitrogen) has been simulated. The liquid was spilled inside of a heat-insulated box; there was no solar radiation influence; the air temperature and wind speed were known. The evaporation rate according to the model is approximately 1.39 times less than the evaporation rate according to the experiment. Thus careful application of evaporation model for risk assessment of cryogenic liquids is required. Possible underestimation of evaporation rate should be taken into account. The numerical experiment showed excellent agreement between simulated pool temperature and experimental temperature measurements.

In the second series of experimental tests, the evaporation of ethanol and cyclohexane during non-boiling conditions has been simulated. Wind speed dependence of evaporating rate has been obtained. There is similar behavior for both of numerical simulation and experimental data. The best similarity was observed at 317 K for both of ethanol and cyclohexane evaporating pools.

Considering the results of validation made for liquid nitrogen, ethanol and cyclohexane, developed model can be applied in the field of numerical risk assessment taking into account slight underestimation for cryogenic boiling spills.

References

- 1 BS EN IEC 31010. Risk management. Risk assessment techniques. Official edition. European Standards, 2019. 264 p.
- 2 Pro zatverdzhennya metodyky prognozyvannya naslidkiv vplyvy (vukudy) nebezpechnykh rehovyn pyd chas avarij na chimychno nebezpechnykh objektach y transportu : Nakaz Mynysterstva vnutrishnich sprav Ukrainy of 29.11.2019 no. 1000. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0440-20#Text> (date of access: 15.12.2022).
- 3 Methods for the calculation of physical effects. Due to releases of hazardous materials (liquids and gases). The Hague : Min. VROM, 2005. 870 p.
- 4 Methods for the determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials. Voorburg : Director-General of Labour, 1992.
- 5 Marshall V. C. Major chemical hazards. Ellis Horwood Ltd, 1987. 1033 p.
- 6 Beschastnov M. V. Avaryyi v hymycheskyh proyzvodstvach y mery yh preduprezdeniya. M. 1976. 367 p.
- 7 Habib A., Schallau B. Pool Evaporation – Experimental Data Collection and Modeling. Chemical Engineering & Technology. 2019. Vol. 42, no. 11. P. 2450–2457. URL: <https://doi.org/10.1002/ceat.201800093> (date of access: 15.12.2022)
- 8 Predicting the vaporization rate of a spreading cryogenic liquid pool on concrete using an improved 1-D heat conduction equation / J. Dong et al. Heat and Mass Transfer. 2021. URL: <https://doi.org/10.1007/s00231-021-03018-9> (date of access: 15.12.2022).
- 9 Yaws C. L. The Yaws Handbook of Physical Properties for Hydrocarbons and Chemicals: Physical Properties for More Than 54,000 Organic and Inorganic Chemical ... C1 to C100 Organics and Ac to Zr Inorganics. Gulf Professional Publishing, 2015. 832 p.
- 10 Stromberg A. G. Physicheskaya khimiya. Moscow : Vyshaya shkola, 1999. 527 p.
- 11 Krutov V. I. Tekhnicheskaya Termodynamika. Moscow : Vyshaya shkola., 1971. 472 p.

12 Fernandez M. I. Modelling spreading, vaporisation and dissolution of multi-component pools : Electronic Thesis or Dissertation. 2013. URL: <http://discovery.ucl.ac.uk/1386059/> (date of access: 15.12.2022).

13 Nawaz W. Modeling of the Cryogenic Liquid Pool Evaporation and the Effect of the Convective Heat Transfer from Atmosphere - CORE Reader. CORE – Aggregating the world's open access research papers. URL: <https://core.ac.uk/reader/79648530> (date of access: 15.12.2022).

14 Justus C. G., Mikhail A. Height variation of wind speed and wind distributions statistics. Geophysical Research Letters. 1976. Vol. 3, no. 5. P. 261–264. URL: <https://doi.org/10.1029/gl003i005p00261> (date of access: 15.12.2022).

15 Hirschfelder J. O. Molecular theory of gases and liquids. New York : Wiley, 1964. 1219 p.

В. В. Смалій^{1,2}, Є. В. Толок²

¹Східноукраїнський національний

університет імені Володимира Даля

²Науковий центр дослідження ризиків Ризикон

МОДЕЛЬ ВИПАРОВУВАННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНОГО РОЗЛИВУ СФОРМОВАНОГО У РЕЗУЛЬТАТІ АВАРІЇ

Кількісний аналіз та оцінка техногенного ризику промислового об'єкта мають на меті обчислення кількісних показників ризику і їх зменшення до прийнятних величин. У процесі такого дослідження залучаються математичні моделі фізико-хімічних процесів формування небезпечної речовини в навколишньому просторі, виникнення та впливу факторів, що вражають, на реципієнтів. Реципієнтами є люди, навколишнє середовище, будівлі та обладнання. Одним із найпоширеніших сценаріїв формування небезпечної речовини у навколишньому середовищі є витік рідкої фази часто багатокомпонентного складу на поверхню землі. Подальше випаровування небезпечної речовини з поверхні розливу спричинює формування вибухонебезпечної, пожежонебезпечної або токсичної хмари. Тому важливо коректно оцінювати інтенсивність надходження небезпечної речовини у довкілля, враховуючи багатокомпонентний склад суміші розливу.

У даному дослідженні представлена математична модель випаровування багатокомпонентної рідини з поверхні аварійного розливу з урахуванням зовнішніх енергетичних потоків, що впливають на процес випаровування (тепловий потік від атмосферного повітря, тепловий потік від поверхні, що підстиляє, радіаційний потік від сонця). Враховано ефект охолодження за рахунок випаровування. Розроблена модель враховує взаємний вплив компонентного складу рідкої фази та процесу випаровування. Було здійснено порівняльний аналіз результатів моделювання з опублікованими експериментальними даними процесів випаровування розливів азоту, етанолу і циклогексану. Результати порівняння показали можливість застосування моделі випаровування розливу в області аналізу та оцінки ризику, а також виявили шляхи вдосконалення математичної моделі.

Ключові слова: випаровування, багатокомпонентна суміш, модель, фазова рівновага, тепловий потік, вуглеводні, кріогенна речовина, етанол

Література

1 BS EN IEC 31010. Risk management. Risk assessment techniques. Official edition. European Standards, 2019. 264 p.

2 Про затвердження методики прогнозування наслідків впливу (вукуди) небезпечних речовин під час аварій на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті : Наказ Міністерства внутрішніх справ України. 29.11.2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0440-20#Text> (date of access: 15.12.2022).

3 Methods for the calculation of physical effects. Due to releases of hazardous materials (liquids and gases). The Hague : Min. VROM, 2005. 870 p.

4 Methods for the determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials. Voorburg : Director-General of Labour, 1992.

5 Marshall V. C. Major chemical hazards. Ellis Horwood Ltd, 1987. 1033 p.

6 Бесчастнов М. В. Аварийный в химических производствах и меры их предупреждения. М. 1976. 367 с.

7 Habib A., Schallau B. Pool Evaporation – Experimental Data Collection and Modeling. Chemical Engineering & Technology. 2019. Vol. 42, no. 11. P. 2450–2457. URL: <https://doi.org/10.1002/ceat.201800093> (date of access: 15.12.2022)

8 Predicting the vaporization rate of a spreading cryogenic liquid pool on concrete using an improved 1-D heat conduction equation / J. Dong et al. Heat and Mass Transfer. 2021. URL: <https://doi.org/10.1007/s00231-021-03018-9> (date of access: 15.12.2022).

9 Yaws C. L. The Yaws Handbook of Physical Properties for Hydrocarbons and Chemicals: Physical Properties for More Than 54,000 Organic and Inorganic Chemical ... C1 to C100 Organics and Ac to Zr Inorganics. Gulf Professional Publishing, 2015. 832 p.

10 Стромберг А. Г. Физическая химия. Москва : Высшая школа, 1999. 527 с.

11 Крутов В. И. Техническая термодинамика. Москва : Высшая школа, 1971. 472 с.12 Fernandez M. I. Modelling spreading, vaporisation and dissolution of multi-component pools : Electronic Thesis or Dissertation. 2013. URL: <http://discovery.ucl.ac.uk/1386059/> (date of access: 15.12.2022).

13 Nawaz W. Modeling of the Cryogenic Liquid Pool Evaporation and the Effect of the Convective Heat Transfer from Atmosphere - CORE Reader. CORE – Aggregating the world's open access research papers. URL: <https://core.ac.uk/reader/79648530> (date of access: 15.12.2022).

14 Justus C. G., Mikhail A. Height variation of wind speed and wind distributions statistics. Geophysical Research Letters. 1976. Vol. 3, no. 5. P. 261–264. URL: <https://doi.org/10.1029/gl003i005p00261> (date of access: 15.12.2022).

15 Hirschfelder J. O. Molecular theory of gases and liquids. New York : Wiley, 1964. 1219 p.

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

УДК 665:628.33:628.316

DOI: 10.31471/2415-3184-2022-2(26)-133-142

*Д. В. Кулікова**Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»*

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОСВІТЛЕННЯ ШАХТНИХ ВОД ЗА ВДОСКОНАЛЕНОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ ОЧИЩЕННЯ ДЛЯ УМОВ ВОДОВІДЛИВУ ДІЮЧОГО ВУГЛЕДОБУВНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Головною відмінністю шахтних вод, що ускладнює їхнє очищення, є наявність дрібнодисперсних (менше 10 мкм) агрегативно-стійких вугільних і породних часточок, кількість яких може складати 50-70% від загальної маси механічних домішок. Завислі речовини, що містяться в шахтній воді, відіграють суттєву роль у забрудненні прилеглих поверхневих водойм, оскільки вони або містять у собі багато хімічних забруднювачів, або адсорбують важкі метали, що вказує на важливість ефективного відстоювання шахтної води. Проведено моделювання процесу освітлення шахтних вод за вдосконаленою технологією очищення для умов водовідливу діючого вугледобувного підприємства (шахта «Степова» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля») за рахунок впровадження горизонтального відстійника модернізованої конструкції. Встановлено залежності (у вигляді графіків та рівнянь регресії) між глибиною осідання частинок за висі різної гідравлічної крупності в запропонованому відстійнику вдосконаленої конструкції, його довжиною й ефективністю освітлення (очистки) шахтної води після її обробки розчином коагулянту (сульфату алюмінію). Визначено значення очікуваної ефективності освітлення шахтної води та гідравлічну крупність частинок за висі, які зможуть осісти на дно у кінцевій торцевій стінці запропонованого відстійника. Загальна ефективність освітлення шахтних вод, що відкачуються на поверхню шахтою «Степова», після очистки у відстійнику модернізованої конструкції та доочищення в ставку-накопичувачі шахтних вод буде складати 90-91% від вихідної концентрації завислих речовин. Кінцева концентрація механічних домішок після очищення за запропонованою вдосконаленою технологією не перевищує гранично допустимого нормативу, який пред'являється до водойм культурно-побутового призначення за вмістом завислих речовин.

Ключові слова: вугледобувне підприємство, шахтні води, завислі речовини, механічна очистка, горизонтальний відстійник, підвищення ефективності освітлення.

Постановка проблеми. Вугільна промисловість є потужним техногенним чинником впливу на навколишнє природне середовище, що викликає його негативне перетворення, найбільш чутливими до якого виявляються поверхневі та підземні води.

Практично вся шахтна вода в більшій чи меншій мірі забруднена завислими речовинами (у вигляді дрібних частинок вугілля та породи). Незважаючи на те, що всі шахти мають очисні споруди, вміст твердих суспендованих частинок в шахтній воді залишається досить високим. Це пояснюється тим, що велика кількість шахтних очисних споруд побудовані з порушенням основних вимог Санітарних норм і правил [1], і, відповідно, не забезпечують належної якості очищення шахтної води. Крім того, значна частина наявних ставків-накопичувачів, куди надходить шахтна вода після відстійників, замулена, а деякі взагалі розмиті, через що шахтні води в таких інженерних спорудах майже не освітлюються.

Як наслідок, скид забрудненої шахтної води становить екологічну небезпеку для прилеглих поверхневих водойм, якість води в яких також не відповідає встановленим нормативним значенням для водних об'єктів відповідної категорії. Це робить воду річок непридатною для господарсько-побутового та технічного водопостачання, а також вона втрачає своє рибогосподарське значення. Хімічні речовини, що містяться в шахтній воді, змінюють не тільки

склад поверхневих водойм, але й становлять підвищену екологічну небезпеку для водних живих організмів і здоров'я населення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виходячи з вимог, що пред'являються до якості води, основними методами очищення шахтних вод від завислих речовин є відстоювання у відстійниках і ставках-освітлювачах та фільтрування через шар зернистого матеріалу, сітки та тканини. Дослідницькі роботи [2-6] та практичний досвід очищення шахтних вод свідчать про те, що застосовувані методи очищення та очисні споруди мають цілком певну ефективність, яка досягається при оптимальних технологічних параметрах роботи споруд та їхній правильній експлуатації.

Технологічна схема зі ставками-освітлювачами може ефективно застосовуватися для очищення шахтних вод, в яких завислі речовини мають гарні седиментаційні властивості, тобто кінетично нестійкі та здатні до коагуляції без введення хімічних реагентів (коагулянтів). При цьому, технічно досягнута якість очищеної шахтної води після ставка-освітлювача за вмістом завислих речовин не перевищує 30-50 мг/л [7].

Перевагою технології очищення стічних вод з використанням ставків-освітлювачів є поєднання процесів освітлення води та складування осаду, простота їх влаштування та експлуатації, а також високі ефективність та надійність їхньої роботи.

Особливо хороші результати отримуються в початковий період: у ставках вода повністю очищується. Потім, по мірі накопичення осаду, ефективність очищення падає, кількість завислих речовин на виході перевищує допустимі концентрації і використовувати ці води в господарсько-побутових цілях можна тільки після додаткового очищення.

В роботі [8] наведено результати досліджень по розробці методів, як механічного, так і реагентного очищення шахтних вод. На базі виконаних досліджень в залежності від властивостей вихідної шахтної води та вимог, що пред'являються до якості очищеної, розроблені та впроваджені технологічні схеми очищення шахтних вод [9].

Різниця складу і технологічних властивостей шахтних вод, з одного боку, і вимог до якості очищеної води, з іншого, не дозволяє обрати одну універсальну технологічну схему, яка в усіх випадках забезпечувала б необхідний ступінь очищення і одночасно була б найбільш економічною.

Постановка завдання. Існуючі відстійники не відповідають сучасним вимогам «Правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами», які передбачають скид у поверхневі водойми забруднюючих речовин в кількості, яка не повинна перевищувати їхньої гранично допустимої концентрації. Саме тому, подальше підвищення ефективності очищення забрудненої шахтної води, і, тим самим, підвищення рівня екологічної безпеки її скиду, пов'язане з видаленням тонкодисперсних часточок. Однак методи і технології, що використовуються в даний час, не дозволяють зробити цього. Тому необхідно їх удосконалювати в напрямку інтенсифікації процесу осідання найбільш дрібних завислих часточок і, як наслідок, підвищення рівня екологічної безпеки за рахунок скиду в поверхневі водойми високоосвітленої шахтної води.

Метою роботи є удосконалення технологічної схеми водовідведення на прикладі діючого вугледобувного підприємства Західного Донбасу за рахунок впровадження горизонтального відстійника модернізованої конструкції.

Виклад основного матеріалу. Шахта «Степова», що входить до складу Приватного акціонерного товариства «ДТЕК Павлоградвугілля», розташована в місті Першотравенськ Дніпропетровської області. Шахта працює стійко й ритмічно при видобутку вугілля на рівні 1250-1360 тис. т на рік. Балансові запаси вугілля складають 193,3 млн. т. Видобувається вугілля марки Г (газовий) з зольністю 35,5%.

На шахті «Степова» експлуатується багатоступенева схема водовідливу. Вона складається з двох головних водовідливних установок, 4 дільничних і трьох насосних установок для відкачування води з зумпфів головного і допоміжного стволів.

Сумарний приплив води, що надходить в шахту, становить 300 м³/годину. Вода відкачується на поверхню головною водовідливною установкою, що прокладена в допоміжному стволі, і спеціальним водовідливним свердловинам.

На поверхні шахтна вода надходить до горизонтального відстійника ємністю 700 м³. Відстійник шахтної води служить для забезпечення 30-хвилинного контакту гіпохлориту натрію з шахтною водою. З відстійника шахтна вода насосами перекачується в ставок балку Косьмінна і після освітлення скидається в річку Самара.

Існуючий ставок-накопичувач шахтної води ємністю 5,3 млн. м³ був розрахований на акумулювання річного припливу шахтної води в кількості 5,16 млн. м³/рік від Першотравневої групи вугледобувних підприємств у складі шахт «Ювілейна», «Першотравнева» та «Степова» з випорожненням його ємності в період весняної повені протягом 10 діб. У зв'язку з розвитком гірських робіт, відбувається постійне збільшення припливу шахтної води, прогноз якого становить близько 20 млн. м³/рік.

Таким чином, ставок-накопичувач, розташований в балці Косьмінна, в даний час через майже триразове перевищення фактичного припливу від Першотравневої групи шахт, в порівнянні з проектним припливом, не забезпечує освітлення шахтної води до санітарних норм перед скидом у річку Самара.

Концентрації завислих речовин, які містяться в шахтних водах, що відкачуються на поверхню вугледобувним підприємством шахта «Степова», та після механічного очищення з вказаною ефективністю освітлення у відстійних спорудах за існуючою технологією наведено в табл. 1. Крім того, наведено значення гранично допустимого вмісту завислих речовин у поверхневих водах річки Самара, яка відноситься до водойм культурно-побутового призначення, в місці скиду очищеної шахтної води.

Таблиця 1

Усереднені концентрації завислих речовин в шахтній воді до та після очищення за існуючою технологією з наведеним значенням ефективності освітлення у відстійних спорудах

Показник	Вихідна шахтна вода	Шахтна вода після відстоювання в:		Нормативне значення*
		горизонтальному відстійнику	ставку-накопичувачі	
Концентрація завислих речовин, мг/дм ³	55,53	29,69	20,67	10+0,75
Ефективність освітлення шахтної води за вмістом завислих речовин, %	-	46,5	30,4	-

* Гранично допустима концентрація для водойм культурно-побутового призначення [1]

Виходячи з отриманих в табл. 1 результатів, можна зробити висновок, що внаслідок механічного очищення шахтних вод у відстійних спорудах за існуючою технологією, концентрація завислих речовин під час скиду освітлених стоків у поверхневі води річки Самара не відповідає величині гранично допустимого вмісту механічних домішок для водойм культурно-побутового призначення, тобто фактичне значення перевищує нормативне в 2 рази.

В умовах недостатності природних водних об'єктів у досліджуваному регіоні, населення прилеглих до шахти районів найчастіше використовують ставки, як для поливу сільськогосподарських угідь, так і в рекреаційних цілях (відпочинку, купання, риболовлі), тому зниження рівня забруднення води в них до нормативних значень набуває особливої актуальності.

Для дотримання умов екологічної безпеки в місцях скиду недостатньо очищених шахтних вод у поверхневі водойми запропоновано технологію їхньої очистки за рахунок впровадження відстійника модернізованої конструкції, схема якої наведена на рис. 1.

Вдосконалена конструкція відстійника [10] застосовується для очищення шахтної води від нерозчинних механічних домішок полідисперсного складу шляхом їхнього гравітаційного відстоювання в потоці.

Конструкція запропонованого відстійника відрізняється від існуючих відстійних споруд тим, що її корпус виконано у вигляді жолоба, який поступово звужується в напрямку від місця подачі забруднених шахтних вод до зливного отвору, звідки відводиться освітлена вода. При цьому глибина запропонованого відстійника поступово збільшується.

Кут нахилу днища запропонованого відстійника до горизонтальної площини приймається $\alpha \approx 30^\circ$. Рекомендоване значення кута α дозволить мінімізувати довжину відстійника, внаслідок чого скоротиться тривалість перебування в ньому води, та забезпечить краще сповзання осаду, який буде осідати у відстійній споруді.

Кути звуження відстійника приймаються $\beta \approx 84^\circ$. Рекомендовані значення кутів β забезпечать найкращі умови осідання завислих речовин у запропонованій відстійній споруді.

Таким чином, виходячи з прийнятих значень кутів, при початковій ширині відстійної споруди $B_0=10$ м, її кінцева ширина буде складати $B_k=6$ м. При цьому при довжині відстійника $L=16$ м, його глибина в місці відведення освітлених шахтних вод буде складати $H_k=9,2$ м.

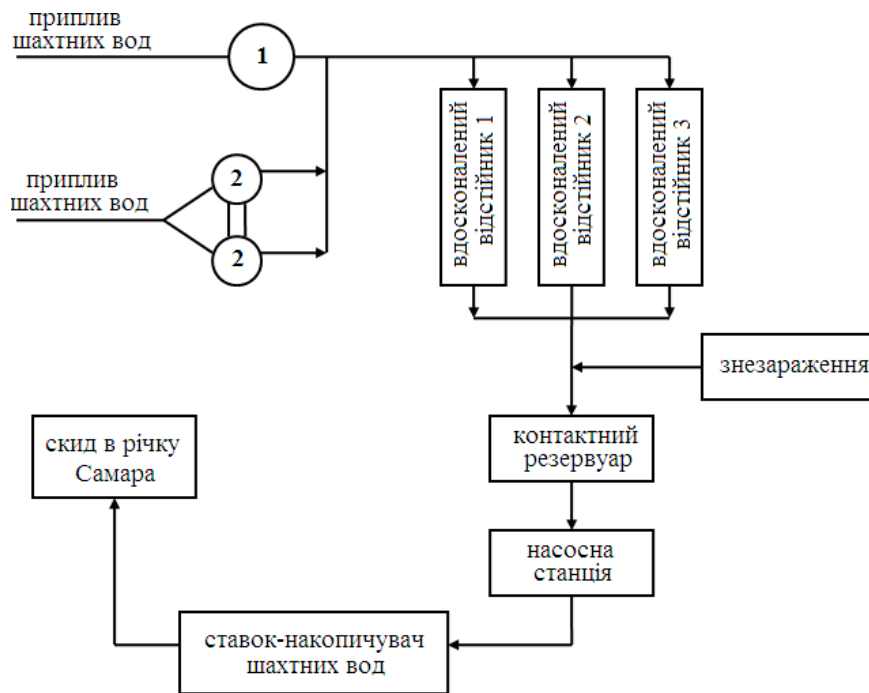


Рис. 1. Удосконалена технологічна схема водовідливу шахти «Степова» (1 – допоміжний ствол; 2 – водовідливні свердловини)

Всередині відстійної споруди встановлено вертикальні перфоровані поперечні перегородки перетин яких відповідає змінному перетину корпусу відстійника. Головним призначенням перегородок є вирівнювання горизонтальної швидкості руху потоку шахтної води, що подається на освітлення, за глибиною при поступовому її сповільненні за довжиною відстійника. В цьому випадку прискорюється процес випадіння частинок зависі на дно відстійної споруди, внаслідок чого підвищується показник ефективності освітлення шахтної води.

На підставі виконаного порівняльного аналізу впливу кількості перегородок на гідравлічний режим течії освітлюваної води й осідання частинок зависі в запропонованому відстійнику [11] доведено про доцільність встановлення у відстійній споруді чотирьох або п'яти перегородок. Саме така кількість перегородок забезпечить найбільшу ефективність очищення шахтної води від завислих речовин. Перегородки в місцях подачі забруднених і відведення освітлених шахтних вод рекомендовано встановлювати на відстані 3,5 м від торцевих стінок відстійної споруди. Наступні перегородки розташовуються на рівній відстані одна від одної.

На підставі виконаного обґрунтування раціональних параметрів перфорованої області перегородок [12], розташованих у запропонованій відстійній споруді, рекомендується встановлювати вертикальні поперечні перегородки з отворами квадратної, прямокутної або шестигранної форми. Тип їхнього розташування один відносно одного може бути з прямими, зі зміщеними або з діагонально-зміщеними рядами в залежності від форми отворів.

Рекомендовані форми отворів та тип їхнього розташування один відносно одного дозволяє отримати максимальне значення коефіцієнта пропускної здатності перфорованої області перегородки (k), величина якого складе 0,826, а відповідно й підвищити ефективність освітлення забруднених завислими речовинами шахтних вод.

Моделювання процесу освітлення шахтних вод (встановлення оптимальних конструктивних і технологічних параметрів запропонованого відстійника вдосконаленої конструкції) для умов водовідливу шахти «Степова» виконувалося відповідно до методик, наведених в роботах [10, 13].

Розраховані конструктивні параметри запропонованого відстійника вдосконаленої конструкції в місцях розташування перфорованих поперечних перегородок та торцевої стінки, що необхідні для подальших розрахунків, наведено в табл. 2.

Для очищення шахтної води необхідно провести розділення рідкої та твердої фази. Інтенсифікувати процес розділення можна за рахунок укрупнення часточок в агрегати під дією коагулянтів з подальшим відділенням агрегованих частинок шляхом відстоювання. В якості коагулянтів для обробки шахтної води широке поширення отримав сірчаноокислий алюміній.

Таблиця 2

Конструктивні параметри запропонованого відстійника вдосконаленої конструкції

Конструктивні параметри	Значення конструктивних параметрів відстійника в місці розташування:				
	перегородки:				торцевої стінки
	I	II	III	IV	
Загальна висота H_i^o , м	2,0	3,8	5,5	7,2	9,2
Робоча висота H_i^p , м	1,7	3,5	5,2	6,9	8,9
Ширина b_i , м	8,63	8,0	7,37	6,74	6,0
Відстань L_i , м, від місця подачі шахтної води до і-тої перегородки відстійника, м	3,5	6,5	9,5	12,5	16,0

В процесі осідання завислих речовин розмір, щільність і форма часточок, а також фізичні властивості полідисперсної системи постійно змінюються. Найбільш надійним шляхом встановлення достовірної швидкості осідання (гідравлічної крупності) тієї чи іншої частинки зависі є проведення лабораторних досліджень в циліндрах з невеликою висотою рівня рідини. Це дозволяє порівняно швидко визначити необхідні параметри для розрахунку реальних відстійників з високим рівнем води.

Визначення швидкості осідання завислих частинок (гідравлічної крупності) в циліндрах з конусним дном рекомендовано здійснювати за методикою [14]. Відповідно до цієї методики, проби стічної води, в якій попередньо визначають вихідну концентрацію завислих речовин – C_0 , мг/дм³, відстоюють в циліндрах з органічного скла діаметром 0,12 м і робочою висотою 0,54 м. Для цього шахтну воду, що містить завислі речовини в кількості 65 мг/дм³, наливають у вісім лабораторних мірних циліндрів. Після додавання розчину коагулянту (сульфату алюмінію) воду перемішують і через певні проміжки часу (15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 і 120 хвилин) із циліндрів відбирають проби води, в яких визначають залишкову концентрацію завислих речовин.

Результати експерименту з визначення кількості завислих речовин, що випадають на дно лабораторних циліндрів, залежно від тривалості процесу відстоювання шахтної води обробленої коагулянтном, представлені в табл. 3.

Таблиця 3

Результати дослідження процесу випадіння частинок зависі в лабораторних циліндрах при відстоюванні шахтної води попередньо обробленої коагулянтном

Параметри	Вихідна шахтна вода	Шахтна вода після відстоювання тривалістю, хвилини:							
		15	30	45	60	75	90	105	120
Концентрація завислих речовин, мг/дм ³	65,0	46,15	35,1	27,95	20,8	16,9	13,0	10,4	7,8
Ефективність освітлення шахтної води, %	0	29	46	57	68	74	80	84	88

Умова, за якою при різних висотах рівня води забезпечуються рівні ефекти освітлення стічних вод, служить критерієм седиментаційної подібності.

Завислі речовини, що випадають в осад, під час руху зіштовхуються між собою, внаслідок чого відбувається їхнє укрупнення, що, в свою чергу, збільшує швидкість осідання. В цьому випадку, критерій седиментаційної подібності виражається нелінійним співвідношенням [2]:

$$\frac{t_i}{T_i} = \left(\frac{h}{H_i} \right)^n, \quad (1)$$

де t_i – тривалість процесу відстоювання (секунди) шахтної води в лабораторних циліндрах висотою $h=0,54$ м; H_i – змінна глибина реального відстійника, що відповідає робочим висотам перегородок, встановлених у певних місцях очисної споруди, та кінцевої торцевої стінки, м; T_i – тривалість процесу відстоювання води (секунди) для досягнення однакового ефекту освітлення, тобто відсотку випадіння завислих часточок (P) при висоті рівня води, що дорівнює глибині відстійника H_i (м); n – показник, що характеризує здатність частинок зависі до агрегації при відстоюванні в стані спокою (для шахтної води, що обробляється коагулянтном, $n=0,25$ [2]).

Дане співвідношення дозволяє перерахувати час, необхідний для отримання заданої ефективності освітлення шахтної води за результатами технологічного моделювання для приведення результатів експерименту до натурних умов.

Величини гідравлічної крупності полідисперсної зависі, тобто швидкість її осідання, що відповідають заданому відсотку випадіння завислих часточок (P) визначаються за формулою:

$$U_i = \frac{H_i}{T_i}, \text{ мм/с.} \quad (2)$$

Розраховані значення U_0 , що характеризують режим осідання частинок зависі, тобто освітлення шахтної води обробленої коагулянтном у запропонованому відстійнику натуральних розмірів, наведені на рис. 2.

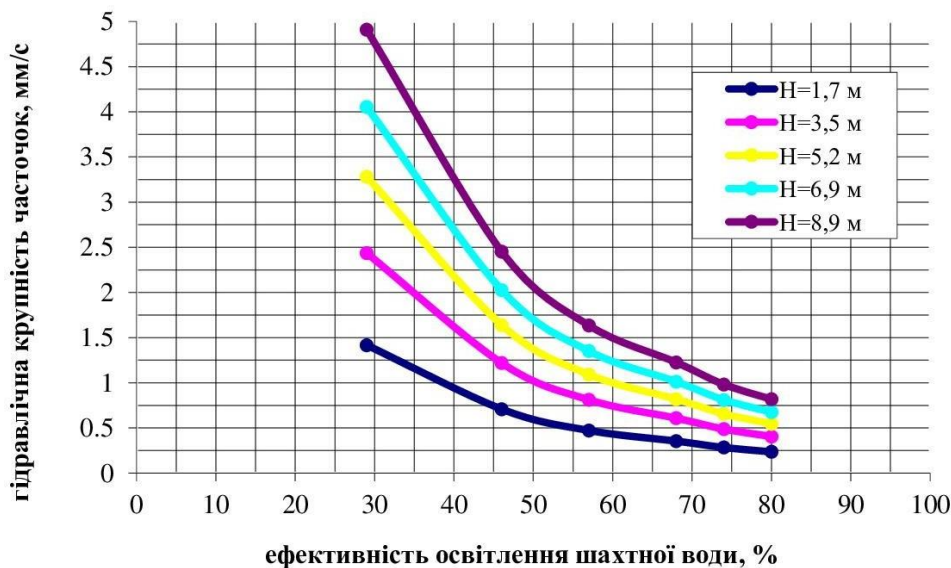


Рис. 2. Залежність ефективності освітлення від швидкості осідання частинок зависі, що містяться в шахтній воді, на різних глибинах запропонованого відстійника

На підставі отриманих експериментальних даних встановлено, що величини гідравлічної крупності частинок зависі (U_0 , мм/с) та ефективність освітлення (P , %) шахтної води, при заданій глибині запропонованого відстійника, яка відповідає певній висоті перегородки та торцевої стінки, описуються експоненціальними залежностями (табл. 4).

Таблиця 4

Залежності величин гідравлічної крупності частинок зависі від ефективності освітлення шахтної води обробленої коагулянтном при заданій глибині запропонованого відстійника

Глибина запропонованого відстійника	Отримана залежність	Достовірність апроксимації
$H_1=1,7 \text{ м}$	$U_0=3,6105 \cdot e^{-0,0344 \cdot P}$	$R^2=0,9964$
$H_2=3,5 \text{ м}$	$U_0=6,2006 \cdot e^{-0,0344 \cdot P}$	
$H_3=5,2 \text{ м}$	$U_0=8,3462 \cdot e^{-0,0344 \cdot P}$	
$H_4=6,9 \text{ м}$	$U_0=10,32 \cdot e^{-0,0344 \cdot P}$	
$H_K=8,9 \text{ м}$	$U_0=12,49 \cdot e^{-0,0344 \cdot P}$	

Отримані залежності дозволяють визначати гідравлічну крупність завислих речовин, яка відповідає певній процентній кількості частинок зависі, що осідають на дно запропонованого відстійника змінної глибини протягом певного заданого проміжку часу при попередній обробці шахтної води розчином сульфату алюмінію.

Для визначення очікуваних технологічних параметрів запропонованого відстійника, що розраховуються для умов водовідливу діючого вугледобувного підприємства, необхідно знайти відстані l , на яких частинки зависі певної гідравлічної крупності випадуть на дно очисної споруди, за формулою:

$$l = \frac{b_i}{4 \cdot ctg\beta} - \sqrt{\left(\frac{b_i}{4 \cdot ctg\beta}\right)^2 - \frac{Q}{2 \cdot k \cdot U_i \cdot ctg\beta}}, \text{ м.} \tag{3}$$

Виходячи з фактичної кількості забруднених шахтних вод, що відкачуються на поверхню шахтою «Степова» (300 м³/годину), удосконалена технологічна схема очистки передбачає встановлення трьох відстійників модернізованої конструкції. Таким чином, витрати шахтної води, що надходить на очищення, в розрахунку на одну запроповану відстійну споруду, становлять Q=100 м³/годину.

Результати розрахунків величин l представлено у вигляді графічних залежностей глибини осідання частинок зависі певної гідравлічної крупності від відстані, на якій вони зможуть випасти на дно запропонованого відстійника, при заданому значенні ефективності освітлення шахтної води обробленої коагулянтном (рис. 3).

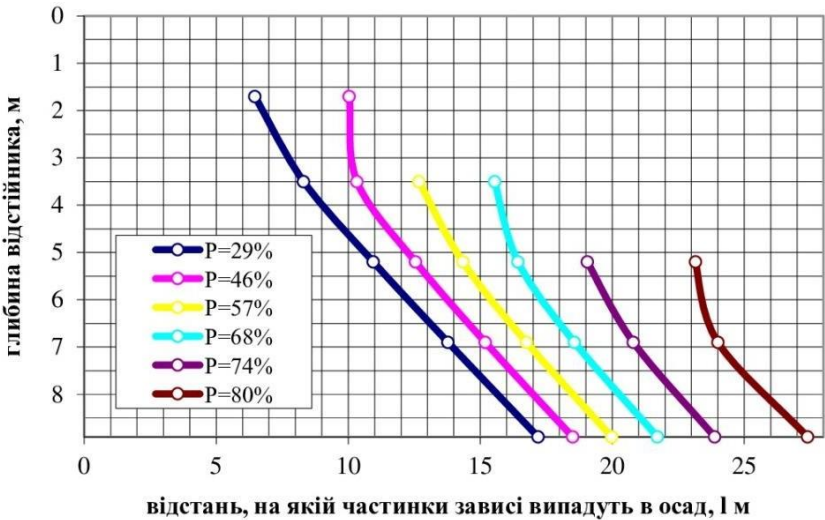


Рис. 3. Залежності глибини осідання частинок зависі певної гідравлічної крупності від відстані, на якій вони зможуть випасти на дно запропонованого відстійника, при заданому значенні ефективності освітлення шахтної води обробленої коагулянтном

За допомогою цих графіків можна визначити глибину (Hos, м) осідання частинок зависі певної гідравлічної крупності в місці випуску освітленої води (кінцева торцева стінка запропонованого відстійника). Зазначені глибини при заданому значенні ефективності освітлення (P, %) шахтної води обробленої коагулянтном, при прийнятій довжині відстійника (L=16 м) представлені в табл. 5 і на рис. 4.

Таблиця 5

Глибина осідання частинок зависі певної гідравлічної крупності при заданому значенні ефективності освітлення шахтної води обробленої коагулянтном

Ефективність освітлення шахтної води P, %	29	46	57	68
Глибина осідання частинок зависі певної гідравлічної крупності hos, м	8,1	7,4	6,4	4,5

За допомогою цієї залежності можна визначити значення очікуваної ефективності освітлення шахтної води обробленої коагулянтном, а потім, за раніше отриманими залежностями, й гідравлічну крупність частинок зависі, які зможуть осісти на дно у кінцевій торцевій стінці запропонованого відстійника, висота якої складає Hk=8,9 м.

Значення очікуваних технологічних показників запропонованого горизонтального відстійника, що розраховуються для умов водовідливу шахти «Степова», наведено в табл. 6.

Таблиця 6

Значення очікуваних технологічних показників запропонованого відстійника для умов водовідливу шахти «Степова»

Очікувана ефективність освітлення шахтної води, P, %	Орієнтовна глибина осідання частинок зависі, Hos, м	Гідравлічна крупність завислих речовин, U0, мм/с
87,0	0,13	0,583

Концентрації завислих речовин, які містяться в шахтних водах, що відкачуються на поверхню вугледобувним підприємством, та після механічного очищення з вказаною ефективністю освітлення в запропонованих відстійних спорудах за вдосконаленою технологією наведено в табл. 7.

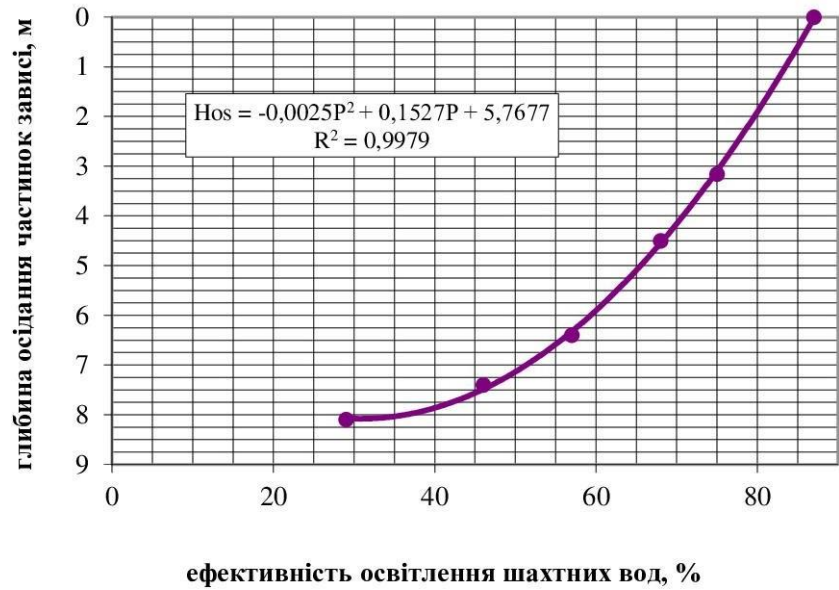


Рис. 4. Залежність глибини осідання частинок зависі певної гідравлічної крупності від величини ефективності освітлення шахтної води, при заданій довжині запропонованого відстійника

Таблиця 7

Концентрації завислих речовин в шахтній воді до та після очищення за вдосконаленою технологією з наведеним значенням ефективності освітлення у відстійних спорудах

Показник	Вихідна шахтна вода	Шахтна вода після відстоювання в:		Нормативне значення*
		удосконаленому відстійнику	ставку-накопичувачі	
Концентрація завислих речовин, мг/дм ³	65,0	8,45	5,88	10+0,75
Ефективність освітлення шахтної води за вмістом завислих речовин, %	-	87	30,4	-

* Гранично допустима концентрація для водойм культурно-побутового призначення [1]

Виходячи з даних табл. 7 можна зробити висновок, що загальна ефективність освітлення шахтних вод, що відкачуються на поверхню шахтою «Степова», після очистки у відстійнику вдосконаленої конструкції та доочищення в ставку-накопичувачі шахтних вод буде складати 90-91% від вихідної концентрації завислих речовин. При цьому кінцева концентрація механічних домішок після очищення за запропонованою вдосконаленою технологією не перевищує гранично допустимого нормативу, який пред’являється до водойм культурно-побутового призначення за вмістом завислих речовин.

Висновки. В роботі вирішена актуальна науково-практична задача, що полягає в удосконаленні існуючої технологічної схеми водовідливу на прикладі шахти «Степова» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля», на основі впровадження горизонтального відстійника модернізованої конструкції та подальшого доочищення шахтної води в ставку-накопичувачі.

На підставі проведеного технологічного моделювання процесу освітлення шахтної води для умов водовідливу діючого вугледобувного підприємства отримано графічну залежність зміни глибини осідання завислих часточок від величини ефективності освітлення шахтної води при заданих конструктивних параметрах запропонованого відстійника. Ця залежність дозволяє визначити значення очікуваних технологічних параметрів запропонованого відстійника, а саме прогнозовану величину ефективності освітлення шахтної води, орієнтовну глибину осідання

частинок зависі в місці відведення очищеної води з відстійної споруди та гідравлічну крупність цих часточок.

Впровадження запропонованої технологічної схеми водовідливу на діючому вугледобувному підприємстві дозволить знизити концентрації завислих речовин, які містяться в шахтних водах, до нормативних показників, дозволених до скиду в прилеглі поверхневі водойми.

Література

- 1 Державні санітарні норми та правила «Допустимі дози, концентрації, кількості та рівні вмісту пестицидів у сільськогосподарській сировині, харчових продуктах, повітрі робочої зони, атмосферному повітрі, воді водоймищ, ґрунті» (ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001). Постанова Головного державного санітарного лікаря України від 20.09.2001. №137. 376 с.
- 2 Харионовский А.А. Комплексная очистка шахтных и карьерных вод от техногенных загрязнений. Шахты: Изд-во ЮРО АГН, 2000. 238 с.
- 3 Виговська Д.Д., Виговський Д.Д., Пікульова Т.П. Технологічні особливості очищення шахтних вод // Вісті Донецького гірничого університету. 2012. №1(30)-2(31). С.78-83.
- 4 Гулько С.Е., Гомаль И.И. Анализ состава и состояния гидротехнических сооружений угольных шахт // Вісті Донецького гірничого університету. 2013. №1(32). С.78-84.
- 5 Кривошеков В.И., Чутчева А.Г. Проблема очистки шахтной воды и направление ее решения // Збагачення корисних копалин. 2013. Вип. 55(96). <http://zzkk.nmu.org.ua/pdf/2013-55-96/11.pdf>.
- 6 Ворон Л.В., Ланге Л.Р., Благоразумова А.М. Проблемы очистки шахтных вод // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2015. №2(12). С. 76-79.
- 7 Горшков В.А. Очистка и использование сточных вод предприятий угольной промышленности. М.: Недра, 1981. 269 с.
- 8 Витренко Л.М., Сергиенко С.Ф. Новые технологические схемы очистки шахтных вод в Донбассе // Научные труды ВНИИОСуголь «Очистка и использование шахтных вод». 1973. Вып. XVI. С. 73-85.
- 9 Технологические схемы очистки от взвешенных веществ и обеззараживание шахтных вод: каталог. Пермь: ВНИИОСуголь, 1986. 69 с.
- 10 Kolesnyk V., Kulikova D., Kovrov S. In-stream settling tank for effective mine water clarification In: Annual Scientific-Technical Collection "Mining of Mineral Deposits". CRC Press/Balkema, Netherlands; Taylor & Fransis Group, London, UK. 2013. P. 285-289.
- 11 Kolesnyk V.Ye., Kulikova D.V. Justification of quantity perforated partitions and intervals their placement in improved sedimentation tank of mine water // *Naukovyi visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2013. №4. P. 92-98.
- 12 Kolesnyk V.Ye., Kulikova D.V., Pavlychenko A.V. Substantiation of rational parameters of perforated area of partitions in an improved mine water settling basin // *Naukovyi visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2016. №6. P. 120-127.
- 13 Колесник В.Е., Куликова Д.В. Разработка алгоритма выбора и расчета основных параметров отстойника для очистки сточной воды от взвешенных частиц // Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2013. №1. С. 48-56.
- 14 Horova A.I., Kolesnyk V.Ye., Kulikova D.V. Physical modeling of precipitation process of the suspended materials in physical model of sedimentation tank for mine water treatment // *Naukovyi visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2012. №3. P. 92-98.

D. Kulikova

Dnipro University of Technology

MODELING THE PROCESS OF MINE WATER CLARIFICATION USING IMPROVED PURIFICATION TECHNOLOGY FOR WATER DISPOSAL CONDITIONS OF OPERATING COAL MINING ENTERPRISE

The main difference between mine waters, which makes it difficult to clean them, is the presence of finely dispersed (less than 10 microns) aggregate-resistant coal and rock particles, the amount of which can be 50-70% of the total mass of mechanical impurities. Suspended solids that are contained in mine

water play a significant role in the contamination of nearby surface water bodies, since they either contain many chemical pollutants or adsorb heavy metals, which indicates the importance of effective mine water settling. Modeling of the mine water clarification process using an improved treatment technology for the conditions of wastewater disposal of an operating coal mining enterprise (Stepova mine of DTEK Pavlohradcoal Private Joint-Stock Company) through the introduction of a horizontal sedimentation tank of a modernized design was carried out. Dependences (in the form of graphs and regression equations) between the depth of particle settling depending on their the different hydraulic size in the proposed sedimentation tank of an improved design, its length and the efficiency of clarification of mine water after its treatment with a coagulant solution (aluminum sulfate) have been established. Using these dependencies, it is possible to determine the value of the expected efficiency of mine water clarification and the hydraulic particle size of suspended particles that can settle to the bottom at the end wall of the proposed sedimentation tank. The overall efficiency of mine water clarification, which is pumped to the surface by the Stepova mine, after treatment in a modernized sedimentation tank and post-treatment in a mine water storage pond, will be 90-91% of the initial concentration of suspended solids. The final concentration of mechanical impurities after treatment according to the proposed improved technology does not exceed the maximum allowable standard for water bodies for cultural and community purposes in terms of the content of suspended solids.

Keywords: coal mining enterprise, mine water, suspended solids, mechanical treatment, horizontal sedimentation tank, clarification efficiency.

References

- 1 Derzhavni sanitarni normy ta pravyla «Dopustymi dozy, kontsentratsii, kilkosti ta rivni vmistu pestytsydiv u silskohospodarskii syrovyni, kharchovykh produktakh, povitri robochoi zony, atmosferному povitri, vodi vodoimyshch, grunti» (DSanPiN 8.8.1.2.3.4-000-2001). Postanova Holovnoho derzhavnoho sanitarnoho likaria Ukrainy vid 20.09.2001. №137. 376 s.
- 2 Harionovskij A.A. Kompleksnaja ochistka shahtnyh i kar'ernyh vod ot tehnogennyh zagryaznenij. Shahty: Izd-vo JuRO AGN, 2000. 238 s.
- 3 Vyhovska D.D., Vyhovskyi D.D., Pikulova T.P. Tekhnologichni osoblyvosti ochyshchennia shakhtnykh vod // Visti Donetskoho hirnychoho universytetu. 2012. №1(30)-2(31). S. 78-83.
- 4 Gul'ko S.E., Gomal' I.I. Analiz sostava i sostojaniya gidrotehnicheskikh sooruzhenij ugol'nyh shaht // Visti Donetskoho hirnychoho universytetu. 2013. №1(32). S. 78-84.
- 5 Krivoshekov V.I., Chutcheva A.G. Problema ochistki shahtnoj vody i napravlenie ee reshenija // Zbahachennia korysnykh kopalyn. 2013. Vyp. 55(96). <http://zzkk.nmu.org.ua/pdf/2013-55-96/11.pdf>.
- 6 Voron L.V., Lange L.R., Blagorazumova A.M. Problemy ochistki shahtnyh vod // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta. 2015. №2(12). S. 76-79.
- 7 Gorshkov V.A. Ochistka i ispol'zovanie stochnyh vod predpriyatij ugol'noj promyshlennosti. M.: Nedra, 1981. 269 s.
- 8 Vitrenko L.M., Sergienko S.F. Novye tehnologicheskie shemy ochistki shahtnyh vod v Donbasse // Nauchnye trudy VNIIOsugol' «Ochistka i ispol'zovanie shahtnyh vod». 1973. Vyp. XVI. S. 73-85.
- 9 Tehnologicheskie shemy ochistki ot vzveshennyh veshhestv i obezzarazhivanie shahtnyh vod: katalog. Perm': VNIIOsugol', 1986. 69 s.
- 10 Kolesnyk V., Kulikova D., Kovrov S. In-stream settling tank for effective mine water clarification In: Annual Scientific-Technical Collection “Mining of Mineral Deposits”. CRC Press/Balkema, Netherlands; Taylor & Francis Group, London, UK. 2013. P. 285-289.
- 11 Kolesnyk V.Ye., Kulikova D.V. Justification of quantity perforated partitions and intervals their placement in improved sedimentation tank of mine water // *Naukovyi visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2013. №4. P. 92-98.
- 12 Kolesnyk V.Ye., Kulikova D.V., Pavlychenko A.V. Substantiation of rational parameters of perforated area of partitions in an improved mine water settling basin // *Naukovyi visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2016. №6. P. 120-127.
- 13 Kolesnik V.E., Kulikova D.V. Razrabotka algoritma vybora i rascheta osnovnyh parametrov otstojnika dlja ochistki stochnoj vody ot vzveshennyh chastic // *Jenergotekhnologii i resursosberezhenie*. 2013. №1. S. 48-56.
- 14 Horova A.I., Kolesnyk V.Ye., Kulikova D.V. Physical modeling of precipitation process of the suspended materials in physical model of sedimentation tank for mine water treatment // *Naukovyi visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2012. №3. P. 92-98.

*В. Б. Гулевський, Ю. О. Постол
Таврійський державний
агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

ПЕРСПЕКТИВИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ТА ТЕХНІЧНИХ РІДИН

Забруднення довкілля негативно позначається на природних ресурсах, зокрема водних об'єктах. Стічні води легко можуть проникати у ґрунт і навіть у рідину, якою постачаються житлові та громадські будівлі. Очищення стічних вод та технічних рідин потрібно для покращення екологічної обстановки.

Рідкі забруднення утворюються на підприємствах машинобудування, металообробки, металургії, транспорту і навіть сільського господарства. За останнє десятиліття склад забруднюючих речовин зазнав значних змін. Це пов'язано зі зменшенням використання виробничих процесів, що зберігають водні ресурси, відмовою від будівництва локальних очисних споруд тощо.

Забруднення – це наявність у воді різних видів шкідливих речовин, для кожного з яких використовуються різні методи очищення, а саме:

- для нерозчинних у воді забруднювачів використовуються методи з використанням сили тяжіння;
- фільтрація, відстоювання, коагуляція – застосовують для речовин, які утворюють з водою гідрофобні та гідрофільні системи;
- нанофільтрація, сорбція - очищають воду від розчинних органічних сполук.

Таким чином створюються найбільш відповідні системи очищення, які відповідають певному рівню забруднення.

За останній час було розроблено безліч нових ефективних технологій очищення стічних вод промислових підприємств. Комплексність завдання очищення обумовлюється характером забруднення - зазвичай небажаними компонентами виступає цілий ряд речовин, що вимагають різного підходу [1]. Для споруд з очищення води характерним є те, що вони вишиковуються у певній послідовності. Такий комплекс називається лінією очисних споруд. Деякі системи та типи обладнання включають різні методи очищення стічних вод. Через різноманітний вміст стічних вод, які поступають на очищення, та високі вимоги до очищення води, найбільш доцільно використовувати змішані методи очистки. Для більш складного забруднення необхідно використовувати пристрої зі специфічним ефектом і спеціальні технології очищення води.

Кожен спосіб очищення стічних вод та технічних рідин здійснюється за допомогою різних пристроїв. Такі дії дозволяють підвищити ефективність очищення стічних вод та досягти найвищого ступеня якості води, що відповідає нормам основних технологічних процесів для повторного використання.

У зв'язку з цим значна увага приділяється інтенсифікації процесів очищення стічних вод і технічних рідин, удосконаленню технологічних схем, розробці нових ефективних методів і споруд, що дозволяють підвищити якість стічних вод, що скидаються у відкриті водойми. , знизити витрати на очищену воду.

Ключові слова: забруднення рідини, стічні води, технічні рідини, магнітне очищення, відстійник, феромагнітні домішки

Постановка проблеми. Вибір технології очищення стічних та технічних рідин повинен починатися з використання процесів концентрації речовин, що забруднюють воду, особливо, якщо вони можуть бути повторно застосовані в основному виробництві або утилізовані. Потім послідовно відбувається перехід до процесів знешкодження, переведення домішок в інший фазово-дисперсний стан і розподіли фаз. При необхідності вибір можна починати з знешкодження або (після концентрації) відразу перейти до розподілу фаз [1,2].

Велике значення для виконання вимог до якості очищення мають процеси очищення від механічних домішок із застосуванням пристроїв фізичних способів. Найбільш простими пристроями для очищення стічних вод від механічних домішок є відстійники, основу яких лежить принцип гравітації – дію на частинки лише масових сил тяжкості. Дослідженнями та спостереженнями встановлено, що стоки промислових підприємств в окремих випадках до 100%

мають феромагнітні властивості. Причиною наявності домішок є зношення технологічного та комунікаційного обладнання, наявність застарілих технологій виробництва, які обумовлюють неперервну корозію [4]. В результаті на централізовані очисні споруди поступають різні за характеристиками стічні води, а в приймальних місткостях водоочисних станцій утворюється суміш металовмісних багатокомпонентних домішок. У разі магнітних частинок система відстійників може бути вдосконалена за рахунок магнітного поля, внаслідок чого можна скоротити тривалість відстоювання і підвищити його ефективність [3,4]. Тому проблема застосування в технологічних процесах магнітних відстійників є актуальною, оскільки багато її завдань далекі від завершення та, особливо, у частині конструктивних виконань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Магнітне поле використовується для інтенсифікації процесів очищення води від колоїдних і інших домішок, поліпшення процесів іонного обміну [5,6,7]. Тому для їх видалення запропоновано використовувати високошвидкісний і ефективний метод магнітного осадження. Ефективна магнітна флокуляція та сепарація компенсують погане осадження та фільтрування залишків та значно підвищує ефективність очищення. Пристрої та особливості очищувачів описані у роботах багатьох вчених [7,8,9]. Основним напрямом наукових розробок по інтенсифікації очищення стічних вод на цьому етапі являються методи дії на водну систему зовнішніх полів, що обумовлено універсальністю і ефективністю методів при малих капітальних укладеннях.

Для магнітних очищувачів, що випускаються в Україні та за кордоном, характерна різноманітність конструктивних виконань і типорозмірних модифікацій. Установки магнітної сепарації слідує безперервному процесу поділу рухомого потоку частинок, що проходить через слабе або сильне магнітне поле. Прагнення врахувати різноманітність експлуатаційних факторів: продуктивність, розмір трубопроводу, щільність і температуру рідкого матеріалу, тиск, місце монтажу, рід джерела постійні магніти чи постійний струм) призводить до розробки різноманітних конструктивних рішень. Однак основна перевага застосування магнітного очищення полягає у відмові від використання громіздких споруд [10].

Мета та завдання роботи. Метою роботи є підвищення ефективності очищення стічних та технічних рідин вдосконаленням конструкції відстійників.

Для досягнення зазначеної мети в роботі були поставлені наступні завдання:

1. Проаналізувати конструкції існуючих відстійників.

2. Запропонувати нові конструкції відстійника з застосуванням енергії магнітного поля у робочих зонах.

Виклад основного матеріалу. Найбільш простими пристроями для очищення стічних та технічних рідин від механічних домішок є відстійники, основу яких лежить принцип гравітації – дія на частинки лише масових сил тяжкості. Відстійник у системі очищення стічних вод виконує важливу функцію – у ньому залишаються забруднення великих фракцій та виводяться нафтопродукти. Головним чином, пристрій виконує механічне та біологічне очищення.

Відстійники бувають трьох видів і відрізняються призначенням та принципом роботи: вертикальні, горизонтальні і радіальні. Відмінність конструкції відстійників полягає у розташуванні вхідних і відводять пристроїв і, отже, величини їх пропускної спроможності.

В основу розробки та модернізації відстійників за допомогою магнітного поля закладено такі принципи:

- простота виготовлення, надійність та висока ефективність при експлуатації, яка залежить не тільки від геометричної форми відстійника, а й від коефіцієнта повноти використання обсягу;
- енергія магнітного поля в робочих зонах пристроїв, які модернізуються, використовувалася таким чином, щоб силовий вплив на магнітні частинки максимально сприяв підвищенню ефективності їх вилучення.

Нами проведено теоретичні дослідження з розробки конструктивних та технологічних параметрів магнітних відстійників. Надалі пропонуємо конструкції на які отримані патенти на корисну модель.

Магнітний відстійник (рис. 1) удосконалено шляхом розділення робочої камери перегородками та конусами різної довжини і висоти, що дозволить підвищити ступінь очищення рідини і зменшити гідравлічний опір [11].

Запропонований пристрій працює таким чином: при наявності магнітного поля в робочій зоні на частинки діють сили коагуляції і пондеромоторні, що сприяє інтенсивному їх осадженню і утриманню на дні відстійника; наявність же вертикальних перегородок з різної довжини та конусів 4 сприяють зменшенню перемішування рідини, а, отже, гідравлічного опору відстійника.

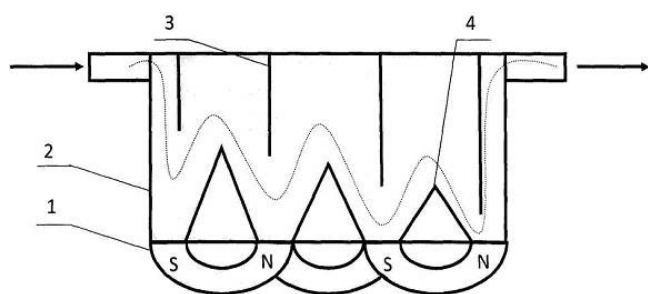


Рис.1. Магнітний відстійник: 1 – магнітна система, 2 – входний і вихідний патрубки, 3 – вертикальні перегородки; 4 – немагнітні конуси

Удосконалення електромагнітного відстійника, в якому, шляхом встановлення пристрою для визначення габаритних розмірів і форм феромагнітних тіл, підвищується якість очищення технічних рідин від феромагнітних часток [12].

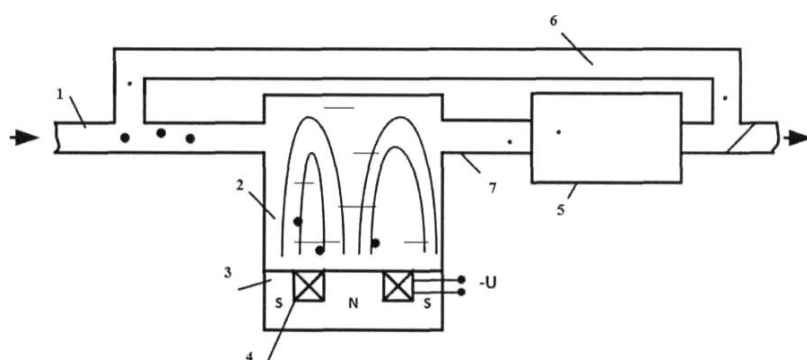
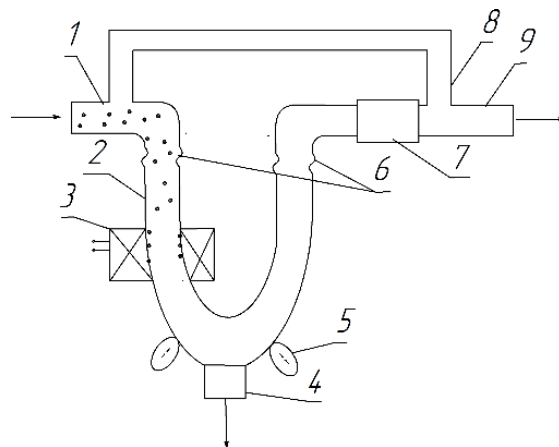


Рис. 2. Електромагнітний відстійник: 1 – входний патрубок, 2 – робоча камера, вихідний патрубок, 3 – магнітопровід, 4 – електрична обмотка, 5 – пристрій для визначення габаритних розмірів і форм феромагнітних тіл, 6 – зворотний патрубок

Запропонований пристрій працює таким чином: забруднена рідина подається через входний патрубок 1 у робочу камеру 2. Осадження флокул та феромагнітних часток до полюсів магнітопроводу 3 здійснюється у робочій камері 4 при підключенні електричної обмотки 4 до джерела постійного струму. Очищена рідина надходить у вихідний патрубок 7. Для більш точного визначення чи залишилися в рідині дрібні частинки через вихідний патрубок 7 рідина потрапляє в пристрій 5 для визначення габаритних розмірів і форм феромагнітних тіл. В пристрої 5 рідина проходить сканування на визначення частинок, які залишилися після осадження. Якщо пристрій 5 виявив невилучені частинки, рідина надходить до зворотного патрубка і проходить очищення ще раз.

В основу пристрою очищення рідин від феромагнітних домішок поставлена задача вдосконалення пристрою, в якому шляхом модифікації конструкції підвищується ефективність очищення технічних рідин, спрощується видалення феромагнітних тіл, які вилучені з рідини та регенерація стінок робочої камери, зменшуються витрати енергії [13].

Рис. 3. Пристрій очищення рідин від феромагнітних домішок: 1 – входний патрубок, 2 – робоча камера, виконану у вигляді U-подібної трубки, 3 – тороїдальна електромагнітна система, 4 – дренажний патрубок, 5 – вібратор, за допомогою 6 – еластичні вставки, 7 – пристрій для визначення габаритних розмірів і форм феромагнітних тіл, 8 – зворотний патрубок, 9 – вихідний патрубок



Принцип дії пропонованого регенеративного пристрою очищення рідин від феромагнітних домішок полягає у наступному. Забруднена рідина, яка містить феромагнітні домішки надходить по входному патрубку 1 в робочу камеру 2, виконану у вигляді U-подібної трубки, навколо якої встановлено тороїдальну електромагнітну систему 3. При підключенні тороїдальної електромагнітної системи 3 до джерела постійного струму (не показано) на стінках робочої камери

2 під дією електромагнітного поля відбувається осадження флокул та феромагнітних часток. Для більш точного визначення, чи залишилися в рідині дрібні частинки, рідина потрапляє в пристрій 7 для визначення габаритних розмірів і форм феромагнітних тіл. В пристрої 7 рідина проходить сканування на визначення частинок, які залишилися після осадження. Якщо пристрій 7 виявив невилучені частинки, рідина надходить до зворотного патрубка 8 і проходить очищення ще раз. Очищена рідина покидає пристрій через вихідний патрубок 9. Періодично виконують регенерацію стінок робочої камери 2 шляхом відключення тороїдальної електромагнітної системи 3 від джерела постійного струму (не показано) та ініціації вібратора 5. При цьому магнітне поле в робочій камері 2 зникає, феромагнітні тіла під дією вібрації та сил тяжіння переміщуються в нижню точку U-подібної робочої камери 2 і через встановлений дренажний патрубок 4 видаляються з пристрою. Еластичні вставки 6 забезпечують коливання робочої камери 2. Далі цикл повторюється.

Висновки. Наведені конструкції є актуальними для вирішення проблем підвищення якості очищення стічних та технічних рідин за рахунок магнітного поля, внаслідок чого можна скоротити тривалість відстоювання і підвищити його ефективність. Подальший напрямок досліджень полягає у практичній реалізації запропонованих рішень.

Література

- 1 Природоохоронні технології. Ч.2: Методи очищення стічних вод / Петрук В. Г., Северин Л. І., Васильківський І. В., Безвозюк І. І.: навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2014. 254 с.
- 2 Гулевський В.Б. Постол Ю.О., Стручаєв, М. І. Перспективність методу електрофлотації і можливість його використання для очищення стічних вод. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції 02-27 листопада 2020 р. ТДАТУ: ред. кол. В. М. Кюрчев, В. Т. Надикто, О. Г. Скляр [та ін.]. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 711-715
- 3 Гулевський В.Б. Проблеми очищення стічних вод. Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем: матеріали I Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. пам'яті В.В. Овчарова, 20 травня – 04 червня 2020 р. Мелітополь:ТДАТУ, 2020
- 4 Гулевский В.Б., Постол Ю.А., Стручаев Н.И., Беспалько В. В. Обоснование эффективности очистки сточных вод от механических примесей под действием магнитного поля. Энергосбережение - важнейшее условие инновационного развития АПК: материалы Международной научн.-техн. конф.: 19-20 декабря 2019 г. Минск : БГАТУ, 2019. С. 138 – 140.
- 5 Teresa Castelo-Grande, Paulo A. Augusto, Javier Rico, Jorge Marcos, Roberto Iglesias, Lorenzo Hernández, Domingos Barbosa. Magnetic water treatment in a wastewater treatment plant: Part II - Processing waters and kinetic study, Journal of Environmental Management, Vol. 285,2021,112177
- 6 Сандуляк А.В. Очистка жидкостей в магнитном поле. Львов: Вища школа,1984. 167 с.
- 7 Классен В.И. Вода и магнит. М.: Наука, 1973. 111 с.
- 8 Marcin Zieliński, Paulina Rusanowska, Marcin Dębowski, Anna Hajduk, Influence of static magnetic field on sludge properties, Science of The Total Environment, Vol. 625, 2018, Pages
- 9 Просвірин В. І., Масюткін Е. П., Гулевський В. Б. Очистка технических жидкостей в магнитных отстойниках. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь, 2004. Вип. 24. С. 39-47.
- 10 Гулевський В. Б., Постол Ю. О., Яценко В. В. Удосконалення конструкції електромагнітного відстійника для очищення технічних рідин від механічних домішок. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2019. Вип. 19, т. 3. С. 163-169. DOI: 10.31388/2078-0877-19-3-163-168.
- 11 Патент 139152, Україна, МПК (2006):B02C 1/00, B02C 1/02 (2006.01). Регенеративний пристрій очищення рідин від феромагнітних домішок. Стручаєв М.І., Гулевський В.Б., Постол Ю.О., Просвірин В.І., Яценко В.В. № u201905813; заявл. 27.05.2019; опубл. 26.12.2019, бюл. №24/2019.
- 12 Патент 128571, Україна МПК (2018.01) B02C 1/00B02C 1/02 (2006.01) Електромагнітний відстійник. Гулевський В.Б. та інш. №u201803339; заявл. 30.03.2018; опубл. 25.09.2018, бюл. № 18
- 13 Патент 52441, Україна, МПК B03C 1/02 (2006.01) Магнітний відстійник. Масюткін Є. П., Просвірин В.І, Гулевський В.Б, Хассай Д. В. №u201002531; заявл. 09.03.2010; опубл. 25.08.2010, бюл. № 16.

V. Hulevskyi, Y. Postol,
Dmytro Motornyi Tavria State
Agrotechnological University

PROSPECTS FOR IMPROVING THE TREATMENT OF WASTEWATER AND TECHNICAL FLUIDS

Environmental pollution negatively affects natural resources, in particular water bodies. Sewage can easily penetrate the soil and even the liquid that supplies residential and public buildings. Treatment of waste water and technical fluids is necessary to improve the ecological situation.

Liquid pollution accumulates at enterprises of machine building, metalworking, metallurgy, transport and even agriculture. Over the last decade, the composition of pollutants has undergone significant changes. This is due to the reduction in the use of production processes that conserve water resources, the refusal to build local treatment facilities, etc.

Pollution is the presence of various types of harmful substances in water, for each of which different cleaning methods are used, namely:

- for water-insoluble pollutants, gravity methods are used;
- filtration, settling, coagulation - used for substances that form hydrophobic and hydrophilic systems with water;
- nanofiltration, sorption - purify water from soluble organic compounds.

In this way, the most appropriate cleaning systems are created that correspond to a certain level of contamination.

Recently, many new effective technologies for industrial wastewater treatment have been developed. The complexity of the cleaning task is determined by the nature of the pollution - usually a number of substances that require a different approach act as undesirable components. It is characteristic of water treatment facilities that they line up in a certain sequence. Such a complex is called a line of sewage treatment plants.

Some systems and types of equipment include different wastewater treatment methods. Due to the diverse content of wastewater entering treatment and the high requirements for water treatment, it is most appropriate to use mixed methods of treatment. For more complex pollution, it is necessary to use devices with a specific effect and special water purification technologies.

Each method of cleaning wastewater and technical liquids is carried out using different devices. Such actions will make it possible to increase the efficiency of wastewater treatment and achieve the highest level of water quality that meets the norms of the main technological processes for reuse.

In this regard, considerable attention is paid to the intensification of the processes of purification of wastewater and technical liquids, improvement of technological schemes, development of new effective methods and structures that allow to improve the quality of wastewater discharged into open reservoirs. , to reduce costs for purified water.

Key words: liquid pollution, waste water, technical fluids, magnetic cleaning, settling tank, ferromagnetic impurities

References

- 1 Pryrodookhoronni tekhnolohiyi. CH.2: Metody ochyshchennya stichnykh vod / Petruk V. H., Severyn L. I., Vasylykivs'kyy I. V., Bezvozyuk I. I.: navch. posib. Vinnytsya : VNTU, 2014. 254s.
- 2 Hulevskyi V., Postol Y., Struchayev, M. Perspektyvnist' metodu elektroflotatsiyi i mozhlyvist' yoho vykorystannya dlya ochyshchennya stichnykh vod. Tekhnichne zabezpechennya innovatsiynykh tekhnolohiy v ahropromyslovomu kompleksi: materialy II Mizhnar. nauk.-prakt. Internet-konferentsiyi 02-27 lystopada 2020 r. TDATU: red. kol. V. M. Kyurchev, V. T. Nadykto, O. H. Sklyar [ta in.]. Melitopol': TDATU, 2020. S. 711-715
- 3 Hulevskyi V. Problemy ochyshchennya stichnykh vod. Suchasnyy stan ta perspektyvy rozvytku elektrotekhnichnykh system: materialy I Vseukr. nauk.-prakt. internet-konf. pam"yati V.V. Ovcharova , 20 travnya – 04 chervnya 2020 r. Melitopol':TDATU, 2020
- 4 Hulevskyi V., Postol Y., Struchayev N., Bepal'ko V. Obosnovaniye effektivnosti ochistki stochnykh vod ot mekhanicheskikh primesey pod deystviyem magnitnogo polya. Energoberezeniye - vazhneysheye usloviye innovatsionnogo razvitiya APK: materialy Mezhdunarodnoy nauchn.-tekhn. konf.: 19-20 dekabrya 2019 g. Minsk : BGATU, 2019. S. 138 – 140.
- 5 Teresa Castelo-Grande, Paulo A. Augusto, Javier Rico, Jorge Marcos, Roberto Iglesias, Lorenzo Hernández, Domingos Barbosa. Magnetic water treatment in a wastewater treatment plant: Part II - Processing waters and kinetic study, Journal of Environmental Management, Vol. 285, 2021,112177.

- 6 Sandulyak A.V. Ochistka zhidkostey v magnitnom pole. L'vov: Vishcha shkola, 1984. 167 s.
- 7 Klassen V.I. Voda i magnit. M.: Nauka, 1973. 111 s.
- 8 Marcin Zieliński, Paulina Rusanowska, Marcin Dębowski, Anna Hajduk, Influence of static magnetic field on sludge properties, Science of The Total Environment, Vol. 625, 2018, Pages
- 9 Prosvirnin V., Masyutkyn E., Hulevskyi V. Ochystka tekhnicheskyykh zhydkostey v mahnytnykh ot-stoynnykh. Pratsi Tavriys'koyi derzhavnoyi ahrotekhnichnoyi akademiyi. Melitopol', 2004. Vyp. 24. S. 39-47.
- 10 Hulevskyi V., Postol Y., Yatsenko V. Udoskonalennya konstruktsiyi elektromahnitnoho vidstiynka dlya ochyshchennya tekhnichnykh ridyn vid mekhanichnykh domishok. Pratsi Tavriys'koho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu. Melitopol', 2019. Vyp. 19, t. 3. S. 163-169. DOI: 10.31388/2078-0877-19-3-163-168.
- 11 Patent 139152, Ukrayina, MPK (2006):B02C 1/00, B02C 1/02 (2006.01). Reheneratyvnyy prystriy ochyshchennya ridyn vid feromahnitnykh domishok. Struchayev M., Hulevskyi V., Postol Y., Prosvirnin V., Yatsenko V. № u201905813; zayavl. 27.05.2019; opubl. 26.12.2019, byul. №24/2019.
- 12 Patent 128571, Ukrayina MPK (2018.01) B02C 1/00B02C 1/02 (2006.01) Elektromahnitnyy vidstiynk. Hulevskyi V. ta insh. №u201803339; zayavl. 30.03.2018; opubl. 25.09.2018, byul. № 18.
- 13 Patent 52441, Ukrayina, MPK B03C 1/02 (2006.01) Mahnitnyy vidstiynk. Masyutkin YE., Prosvirnin V., Hulevskyi V, Khassay D. №u201002531; zayavl. 09.03.2010; opubl. 25.08.2010, byul. № 16.

*В. М. Чупа, Я. О. Адаменко, К. О. Чупа
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМІЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ РІЗНОМАНІТНИХ СУМІШЕЙ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ДО ТВЕРДОПАЛИВНИХ ПЕЛЕТ

В статті розглянуто актуальне для сьогодення питання поводження з твердими побутовими відходами та акцентовано увагу на те, що найбільш ефективним методом скорочення обсягу відходів є термічна обробка. Приділено увагу такому важливому параметру при спалюванні твердих побутових відходів як калорійність.

Проведено дослідження калорійності різних типів відходів, деревних твердопаливних пелет зроблених з різної деревини. Проби відходів були отримані під час виїзної експедиції на полігон твердих побутових відходів (ТПВ) с. Рибне. Проведено аналіз рівня калорійності суміші відходів, що відповідає морфологічному складу полігону ТПВ в с. Рибне, що придатне для спалювання. Також, проведено аналіз калорійності суміші деревних твердопаливних пелет, що було зроблене з різних видів деревини. Досліджено рівень теплової енергії для різних видів відходів (пластик, біо-відходи, гума, папір, текстиль, дерево, тощо) та різних видів твердопаливних деревних пелет (дуб, бук, хвоя, тощо). Розраховано показник калорійності різних сумішей відходів і пелет при різних відсоткових значеннях компонентів у суміші. Для спрощення розрахунку застосовувалось програмне забезпечення Microsoft Excel. При визначенні використовувались реальні значення калорійності, що були отримані під час лабораторного дослідження за допомогою калориметра ІКА С1.

Шляхом перетворень, співвідношень та розрахунків встановлено залежності для кожного з типів відходів та твердопаливних деревних пелет. Використовуючи значення теплотворної здатності, які були отримані під час спалювання було знайдено мінімальні та максимальні рівні калорійності при різних відсоткових значеннях компонентів. Створено алгоритм розрахунку, за яким можна визначити кількість теплової енергії при різноманітних відсоткових співвідношеннях типів відходів до деревних твердопаливних пелет.

Ключові слова: тверді побутові відходи, термічне знешкодження, сміттєспалювання, калорійність.

Постановка проблеми. Проблема твердих побутових відходів (ТПВ) надзвичайно актуальна, оскільки в Україні спостерігається стала тенденція до збільшення обсягів утворення твердих побутових відходів, що вивозяться і захоронюється на сміттєзвалищах і полігонах. В свою чергу це призводить до утворення величезних звалищ ТПВ поблизу території великих міст.

Основним законом ЄС у сфері управління відходами є «Рамкова директива ЄС про відходи», яка поширюється на всі види відходів та встановлює правила управління з відходами та їх ієрархію, їх кваліфіковане збирання, утилізацію та переробку [1].

Технології перетворення відходів в енергію (Waste-to-energy - WtE) визначаються як різноманітні технології очищення від відходів, що реалізують перетворення відходів у різні види енергії або матеріали: електроенергію, тепло, паливо чи інші корисні матеріали, а також продукують на виході ряд залишків, в тому числі й золу, шлак, котельну золу, стічні води та викиди (зокрема й парникові гази).

В останні роки у всіх країнах спостерігається інтерес до нових екологічно безпечних і безвідходних технологій термічного знешкодження побутових відходів з утворенням горючих газів. Універсального методу поводження з ТПВ, який би задовольняв сучасні екологічні та економічні вимоги, немає. Найбільш прийнятним є комбінований метод, який передбачає використання відходів як джерела енергії та вторинної сировини [1,2].

Метою статті є визначення показника калорійності відходів, по різних їх типах, а також, кількість теплової енергії яка утворюється при різноманітних відсоткових співвідношеннях типів відходів до деревних твердопаливних пелет.

Викладення основного матеріалу. При плануванні процесу спалювання суміші ТПВ враховується чимало параметрів: технологія, за якою буде утилізуватись сміття, морфологічний склад, необхідність попередньої підготовки (сортування, подрібнення), агрегатний стан відходів,

фракційний склад, вологість відходів тощо. Одним із найважливіших показників є калорійність або теплота згорання відходів [3].

Оцінку морфологічного складу ТПВ проведено на основі усереднених даних показників ТПВ за 2020 – 2021рр., які надані КП «Полігон ТПВ» і одержані згідно Методичних рекомендацій з визначення морфологічного складу твердих побутових відходів, затверджених наказом Міністерства з питань житловокомунального господарства України від 16.02.2010 № 39 [4]. Встановлено орієнтовний відсоток ТПВ, придатних для відновлення енергії від загальної маси ТПВ, що надходять на полігони складає діапазон від 64-68%. Близько 32% ТПВ непридатні для одержання енергії - це несортований залишок (негорючий), скло, метал, які при подальших лабораторних дослідженнях та обчисленні енергетичного потенціалу ТПВ не враховуються.

Відбір проб відходів здійснено на полігоні ТПВ с. Рибне, в осінній період. Загальна кількість зразків становила 7 проб, по 1 кг., кожного виду ТПВ (рис. 2).



Рис. 1. Морфологічний склад ТПВ, що придатне для спалювання



Рис. 2. Відбір проб ТПВ на полігоні с. Рибне

Підготовлено 7 проб по 1 кг. згідно встановленого компонентного складу, що наведено в табл. 1, також була підготовлена інша група дослідних зразків (твердопаливні пелети). Групи проб відходів та твердопаливних пелет готувались до проведення аналізів з метою визначення фізичних і хімічних характеристик, а також для встановлення теплотворної здатності за допомогою калориметра. Для проведення передбачених досліджень проби покомпонентно подрібнювалися ножовим подрібнювачем до величини часток не більше 0,1 мм.

З обраних і відповідним чином підготовлених зразків ТПВ та деревних твердопаливних пелет було сформовано пробу палива за допомогою преса. Також, була сформована проба суміші відходів відповідно до відсоткового складу ТПВ, придатного для рекуперації енергії за даними, наведеними на рис. 1. Маса сформованої таблетки зразка відповідала $1 \text{ г} \pm 0,05$, і було зроблено три таблетки для кожного із видів відходів чи пелет, для зменшення похибки у вимірюваннях. Підготовка зразків включала в себе: (а) – готування суміші, (б) – підготовка тигля і калориметричної бамбочки, (в) – проведення вимірювань теплової енергії калориметром ІКА С1 (рис. 3).

За допомогою калориметра ІКА С1 було встановлено калорійність для кожного із зразків твердопаливних деревних пелет та їх усередненої суміші (табл. 2), та різних типів відходів, а

також суміші ТПВ відповідно до морфологічного складу придатного для спалювання, полігону с. Рибне.

Різні відходи мають різні характеристики, що стосуються рівня їх теплотворної здатності з табл. 3, рівень калорійності змінюється від 9,6 кДж/г. до 39,9 кДж/г. залежно від виду відходів.

Таблиця 1

Опис компонентів ТПВ у зразках

Компоненти ТПВ	Код	Опис проб ТПВ
Папір та картон	7730.3.1.01	Папір та картон різного розміру та різної щільності не придатний для сортування як сировина через забрудненість
Пластик	7730.3.1.02 7710.3.1.04	РЕТ – 21,8%; LDPE – 1,85%; LDDE – 1,8%; PP – 3,49%; HDPE – 8,7%; PS – 1,3%; інші невстановлені види пластику – 61,1%
Дерево	7710.3.1.11 7710.3.1.06	Гілки дерев та тирса різного розміру
Текстиль	7710.3.1.15	Шматки різноманітних тканин
Гума та шкіра	7710.3.1.17 7710.3.1.14	Взуття, ущільнення тощо
Біо-відходи	7710.3.1.11	Суміш органічних решток (фрукти, овочі тощо)
Несортований горючий залишок	772 7720 7720.3.1.01	Шматки пінопласту та інший несортований горючий залишок

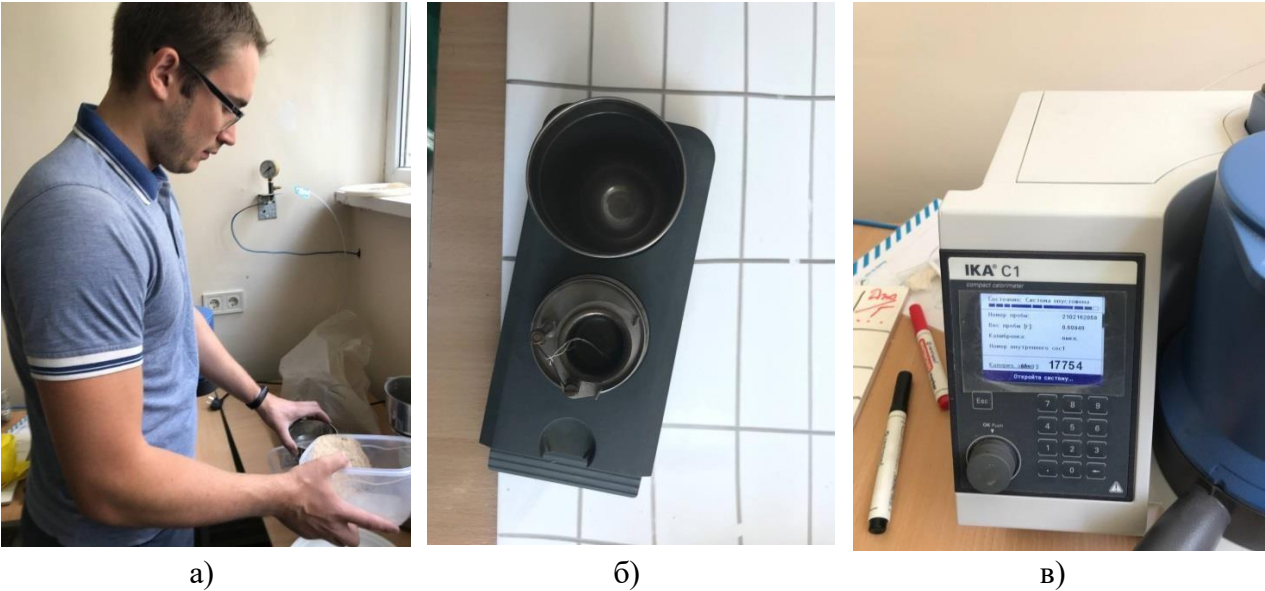


Рис. 3. Підготовка зразків ТПВ і пелет для визначення калорійності

Таблиця 2

Рівень калорійності твердопаливних деревних пелет

Вид палива	Хвоя-30% Бук-30% Дуб 40%	Хвоя-50% Бук-30% Дуб 20%	Топінаmbур	Бук	Хвоя (1)	Хвоя (2)	Дуб	Усереднена суміш пелет
Середня маса проби, г	1 г ± 0,05							
Калорійність, Дж/г	18597	17943	17586	17936	17754	17908	18315	17866
	18325	17665	17743	17673	17455	17478	18346	17791
	18274	18037	17854	17990	17721	17694	18278	18184
Середня калорійність, Дж/г	18399	17882	17728	17866	17668		18313	17947,1667

Рівень теоретично можливої теплотворної здатності сумішей () відходів та твердопаливних деревних пелет розраховувався за формулою:

$$K_{\text{суміш}} = \sum_{i=1}^n (K_i \times d_i),$$

(1)

де: K_i – калорійність одного із компонентів суміші; d_i – відсоткове значення компоненту суміші.

Таблиця 3

Рівень калорійності відходів полігону ТПВ с. Рибне

Вид палива	Папір, картон	Пластик	Текстиль	Гума	Біо-відходи	Несортований горючий залишок	Суміш відходів Рибненського полігону
Середня маса проби (г)	1 г. ± 0,05						
Калорійність (Дж/г)	12467	41234	16732	32169	14375	8964	18579
	14451	38975	18324	33210	13743	9753	18343
	13452	39702	17683	31740	12793	10148	18542
Середня калорійність (Дж/г)	13457	39970	17580	32373	13637	9622	18487,9067

Дану формулу можна масштабувати і застосовувати для більш складніших сумішей. Формула не враховує вологість компонентів, оскільки лабораторний аналіз калориметром ІКА С1, передбачає використання висушених зразків. Формульні розрахунки були проведені на базі програмного забезпечення Microsoft Excel. Враховувались співвідношення від 10% відходів, 90% твердопаливних деревних пелет до 90% відходів, 10% твердопаливних пелет. На рис. 4 наведений приклад рівня калорійності сумішей при співвідношенні 50% відходів, 50% твердопаливних деревних пелет.

Калорійність суміші при співвідношенні 50%-відходів, 50%-пелет								
Вид палива	50%	Хвоя-30% Бук-30% Дуб 40%	Дуб	Усереднена суміш пелет	Хвоя-50% Бук-30% Дуб 20%	Топіна́мбур	Хвоя (разом)	Бук
50%	Середня калорійність (Дж/г)	18399	18313	17947,1667	17882	17728	17693	17668
Пластик	39970	29184,667	29141,67	28958,75	28926,17	28849,16667	28831,67	28819,17
Гума	32373	25386	25343	25160,0833	25127,5	25050,5	25033	25020,5
Суміш відходів Рибненського полігону	18487,9067	18443,453	18400,45	18217,5367	18184,95	18107,95333	18090,45	18077,95
Текстиль	17580	17989,333	17946,33	17763,4167	17730,83	17653,83333	17636,33	17623,83
Біо-відходи	13637	16018	15975	15792,0833	15759,5	15682,5	15665	15652,5
Папір, картон	13457	15927,833	15884,83	15701,9167	15669,33	15592,33333	15574,83	15562,33
Несортований горючий залишок	9622	14010,333	13967,33	13784,4167	13751,83	13674,83333	13657,33	13644,83

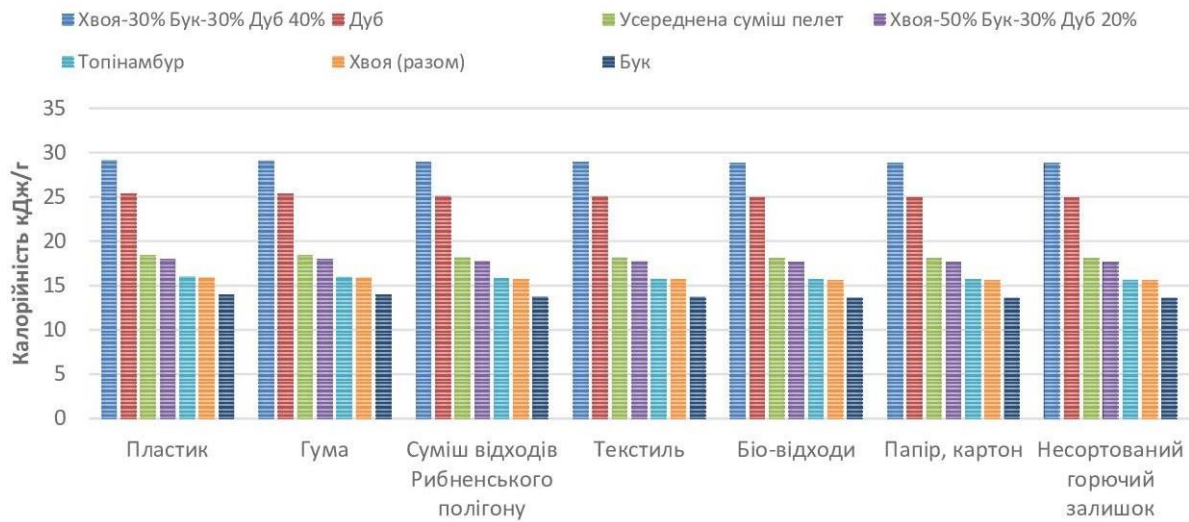


Рис. 4. Калорійність суміші при співвідношенні 50%-відходів, 50%-пелет

Дані щодо теплотворної здатності суміші ТПВ полігону с. Рибне до усередненої суміші пелет, при різних відсоткових значеннях наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Рівні калорійності суміші ТПВ полігону с. Рибне до усередненої суміші пелет

<i>Рівні калорійності суміші ТПВ полігону с. Рибне до усередненої суміші пелет</i>									
<i>Суміш відходів Рибненського полігону</i>	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
<i>Усереднена суміш пелет</i>	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%
<i>Калорійність суміші (Дж/г)</i>	18001,24	18055,31	18109,39	18163,46	18217,54	18271,61	18325,68	18379,76	18433,83

Згідно із табл. 4 можна побачити тенденцію збільшення теплової енергії, що утворюється при спалюванні, при збільшенні кількості відходів у суміші.

Висновки. Досліджено рівні калорійності для різних груп відходів та твердопаливних деревних пелет. Пластикові відходи мають найбільшу ступінь калорійності, а найменшу калорійність біо-відходи та не сортований горючий залишок. Визначено рівні калорійності для різних відсоткових співвідношеннях ТПВ до твердопаливних пелет.

Розроблено алгоритм, за яким можна визначити сумарну кількість теплової енергії, що утворюється в процесі термічної утилізації сумішей різноманітних відходів.

Література

- 1 Директива 2008/98/ЄС про відходи. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_029-08#Text
- 2 Директива 2010/75/ЄС про промислові викиди. Режим доступу: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/55-GOEEI/%202010_75_%D0%84%D0%A1.pdf
- 3 Kanfoud S., Kouloughli S. Municipal Solid Waste Management in Constantine, Algeria. Journal of Geoscience and Environment Protection. 2017. № 5. P. 25–31.
- 4 Про звіт комунального підприємства «Полігон ТПВ» за 2019 рік та затвердження плану розвитку на 2020 рік [Електронний ресурс] // Івано- Франківська міська рада. – 2020. – Режим доступу: <http://www.namvk.if.ua/prdt/462069/>.

V. Chupa, Ya. Adamenko, K. Chupa
Ivano-Frankivsk National
Technical University of Oil and Gas

**RESEARCH OF THE THERMAL POTENTIAL OF VARIOUS MIXTURES OF
HOUSEHOLD SOLID WASTE TO WOOD PELLETS**

The article deals with the current issue of solid household waste management and focuses on the fact that the most effective method of reducing the amount of waste is heat treatment. Attention is paid to such an important parameter when burning solid household waste as caloric content.

A study of the calorific value of various types of waste, wood solid fuel pellets made from different types of wood was conducted. Waste samples were obtained during an on-site expedition to the municipal solid waste landfill (MSW) in the village of Rybne An analysis of the calorific value of the waste mixture, which corresponds to the morphological composition of the landfill (MSW) in the village of Rybne what suitable for burning. Also, an analysis of the calorific value of the mixture of wood solid fuel pellets, which was made from different types of wood, was carried out. The level of thermal energy for different types of waste (plastic, bio-waste, rubber, paper, textiles, wood, etc.) and different types of solid wood pellets (oak, beech, pine, etc.) was studied. The calorific index of different mixtures of waste and pellets at different percentage values of the components in the mixture was calculated. Microsoft Excel software was used to simplify the calculation. Real caloric values obtained during a laboratory study using an IKA C1 calorimeter were used in the determination.

Through transformations, ratios and calculations, dependencies were established for each of the types of waste and solid fuel wood pellets. Using the values of calorific value, which were obtained during combustion, the minimum and maximum levels of caloric content at different percentage values of the components were found. A calculation algorithm has been created, which can be used to determine the amount of thermal energy at various percentage ratios of waste types to wood solid fuel pellets.

Key words: solid household waste, thermal disposal, incineration, caloric content.

Reference

1. Dyrektyva 2008/98/Yes pro vidkhody. Rezhym dostupu: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_029-08#Text
2. Dyrektyva 2010/75/Yes pro promyslovi vykydy. Rezhym dostupu: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/55-GOEEI/%202010_75_%D0%84%D0%A1.pdf
3. 3Kanfoud S., Kouloughli S. Municipal Solid Waste Management in Constantine, Algeria. Journal of Geoscience and Environment Protection. 2017. № 5. P. 25–31.
4. Pro zvit komunalnoho pidpriemstva «Polihon TPV» za 2019 rik ta zatverdzhennia planu rozvytku na 2020 rik [Elektronnyi resurs] // Ivano- Frankivska miska rada. – 2020. – Rezhym dostupu: <http://www.namvk.if.ua/prdt/462069/>.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Адаменко Ярослав Олегович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Васильківський Ігор Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, Інституту екологічної безпеки та моніторингу довкілля, Вінницький національний технічний університет;

Гулевський Вадим Борисович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електротехнологій і теплових процесів, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного;

Гарсія Камачо Ернан Улліанодт – здобувач третього освітнього рівня Інституту екологічної безпеки та моніторингу довкілля, Вінницький національний технічний університет;

Сторова Оксана В'ячеславівна – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри екології, Черкаський державний технологічний університет;

Жук Дмитро Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри суднових електроенергетичних систем, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв;

Жук Ірина Юрївна – Викладач кафедри гігієни, соціальної медицини, громадського здоров'я та медичної інформатики Медичного інституту, Чорноморський національний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв;

Качала Тарас Богданович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Клапчук Володимир Михайлович – доктор історичних наук, професор, завідувач кафедри готельно-ресторанної та курортної справи, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника;

Коваленко Юрій Леонідович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри інженерної екології міст, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова;

Козак Любомир Юрійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Кордуба Ірина Богданівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці, Київський національний університет будівництва і архітектури;

Коробейникова Ярослава Степанівна – кандидат геологічних наук, доцент, доцент кафедри туризму Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Корчемлюк Марта Василівна – кандидат технічних наук, завідувач лабораторії вимірювальної лабораторії аналітичного контролю і моніторингу Карпатського національного природного парку;

Кулікова Дарія Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

Лисенко Наталія Володимирівна – Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів;

Лінченко Валентин Володимирович – здобувач третього освітнього рівня, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, співробітник ТОВ «Миколаївська електропостачальна компанія», м. Миколаїв;

Мислюк Ольга Олександрівна – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Черкаський державний технологічний університет;

Палійчук Олександра Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент, помічник ректора, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;

Поздняков Олександр Вікторович – кандидат філологічних наук, доцент, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника;

Постол Юлія Олександрівна – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри електротехнологій і теплових процесів, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного;

Радомська Маргарита Мирославівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Національний авіаційний університет;

Смалій Василь Вікторович – аспірант кафедри хімічної інженерії та екології Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля; керівник відділу у ТОВ "Науковий центр вивчення ризиків "Різікон";

Степенко Сергій Анатолієвич – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів;

Толок Євген Володимирович – науковий співробітник у ТОВ "Науковий центр вивчення ризиків "Різікон";

Туць Олег Михайлович – здобувач третього освітнього рівня за спеціальністю 101 Екологія Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Хандогіна Ольга Вадимівна – кандидат економічних наук, доцент кафедри інженерної екології міст, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова;

Хоменко Олена Михайлівна – кандидат хімічних наук, професор, завідувач кафедри екології, Черкаський державний технологічний університет;

Чупа Володимир Михайлович – здобувач третього освітнього рівня за спеціальністю 101 Екологія Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Чупа Ксенія Орестівна – здобувач другого освітнього рівня за спеціальністю 183 Технології захисту довкілля Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Наукове видання

**ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА
ТА ЗБАЛАНСОВАНЕ РЕСУРСОКОРИСТУВАННЯ**

Науково-технічний журнал

2022 – № 2 (26)

РЕДАКТОРСЬКИЙ ВІДДІЛ:

Редактори: Адаменко Я. О. (друкована версія),
Качала Т. Б. (електронна версія).

Літературний

коректор: Онуфрик Г. Я. (українська мова),
Стахмич Ю. С. (англійська мова).

**Видавництво Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна
тел. +380 (342) 54-72-66, факс +380 (342) 54-71-39,
<http://nung.edu.ua>, e-mail: admin@nung.edu.ua
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців
ІФ № 18 від 12.03.2002 р.**

Підписано до друку _____ Формат _____ Папір офсетний

Ум. друк. арк. _____ Тираж _____ прим. Замовл. № _____