

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Київський національний університет
будівництва і архітектури

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

Інститут телекомунікацій
і глобального інформаційного простору

Екологічна безпека та природокористування

Environmental safety and natural resources

Збірник наукових праць

ВИПУСК 44

2022

**Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет будівництва і архітектури
Національна академія наук України
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору**

**Ministry of Education and Science of Ukraine
Kyiv National University of Construction and Architecture
National Academy of Sciences of Ukraine
Institute of Telecommunications and Global Information Space**

**ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА
ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

**ENVIRONMENTAL SAFETY AND
NATURAL RESOURCES**

Збірник наукових праць

Випуск 4 (44), жовтень-грудень 2022 р.

Заснований у 2008 р.
Виходить 4 рази на рік

Academic journal

Issue 4 (44), October-December 2022

Founded in 2008
The journal is published 4 times a year

КИЇВ 2022

KYIV 2022

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР:

О.М. ТРОФИМЧУК, д-р техн. наук,
проф., чл.-кор. НАНУ

ЗАСТУПНИКИ ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА:

О.С. ВОЛОШКІНА, д-р техн. наук, проф.

Н. КАСАГЛІ, професор, Італія

Н. МАРГВЕЛАШВІЛІ, PhD, Австралія

Ю.І. КАЛЮХ, д-р техн. наук, проф.

ВИКОНАВЧИЙ РЕДАКТОР:

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

В.О. ВАСЯНИН, д-р техн. наук

О.М. ГУНЧЕНКО, канд. техн. наук, проф.

С.О. ДОВГИЙ, д-р фіз.-мат. наук, проф.,
академік НАНУ

В.Б. ЄГОРОВ, д-р техн. наук

С.В. ЗАЙЦЕВ, д-р техн. наук, проф.

Н.В. КАСАТКІНА, д-р техн. наук

О.В. КОПІЙКА, д-р техн. наук, проф.

Г.М. КОЧЕТОВ, д-р техн. наук, проф.

Т.І. КРИВОМАЗ, д-р техн. наук, проф.

О.Є. КРУЖИЛКО, д-р техн. наук

В.О. МІЛЕЙКОВСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф.

Т.О. НЕГРІЙ, канд. техн. наук

О.В. НЕСТЕРЕНКО, д-р техн. наук

Д.В. СТЕФАНИШИН, д-р техн. наук

С.В. СУКАЧ, д-р техн. наук, проф.

О.М. ТЕРЕНТЬЄВ, д-р техн. наук

О.М. ТИХЕНКО, д-р техн. наук, проф.

Т.М. ТКАЧЕНКО, д-р техн. наук

В.М. ТРИСНЮК, д-р техн. наук

В.О. УСТИМЕНКО, д-р фіз.-мат. наук, проф.

В.Ф. ФРОЛОВ, д-р техн. наук, проф.

Д.І. ЧЕРНІЙ, д-р техн. наук

С.Й. ШАМАНСЬКИЙ, д-р техн. наук

Є.О. ЯКОВЛЄВ, д-р техн. наук

МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА РАДА

М.Й. ВАЛЕРІ, проф., Польща

Д. МІНТЕР, проф., Великобританія

А. МШЮ, дослідник, Франція

М.Г. МУСТАФАЄВ, д-р с.-г. наук, Азербайджан

Я. ПЕКУТІН, проф., Польща

ПІНГ ЛУ, проф., Китай

Рекомендовано до друку Вченою радою Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (протокол № 10 від 27.12.2022)

Збірник наукових праць включено до Переліку наукових фахових видань України (категорія "Б"), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук та доктора філософії за напрямом "технічні науки" за спеціальностями 101, 183 (Наказ Міністерства освіти і науки України від 02.07.2020 № 886), 263 (Наказ Міністерства освіти і науки України від 15.11.2022 № 1026)

ОСНОВНІ ТЕМАТИЧНІ РОЗДІЛИ ЗБІРНИКА

- Екологічна безпека та основи природокористування
- Цивільна безпека
- Інформаційні ресурси та математичне моделювання
- Дискусійні повідомлення

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ

03186, м. Київ, Чоколівський бульв., 13,
Інститут телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАН України

Телефони: (044) 245-87-97

(044) 524-22-62

E-mail: e.voloshki@gmail.com

Свідоцтво про державну реєстрацію
КВ № 14146-3117 Р від 27.05.2008 р.

Електронна версія збірника в Інтернеті
<http://www.es-journal.in.ua> українською
та англійською мовами



Creative Commons «Attribution» 4.0 WorldWide

ЗМІСТ

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Волошкіна О.С., Гончаренко А.В. Вплив воєнних дій на процес утворення кислотних опадів.....	5
Shamanskyi S., Pavliukh L., Horbachova O., Repeta V. Analysis of concentrations of biogenic compounds discharged into water bodies with municipal wastewater.....	15
Mitryasova O., Shybanova A., Dzhumelia E. Prognosis models of nitrates and orthophosphates content in surface waters...	30
Тихенко О.М., Матвєєва І.В., Гроза В.А. Аналіз аеротехногенного забруднення міста Вінниці з використанням методів фітоіндикації.....	44
Сатін І.В., Романова Т.І., Панченко О.С. Огляд технологій збирання, перевезення, відновлення та видалення твердих побутових відходів.....	53
Ganiyeva S.A., Danziyev R.M., Gurbanov E.A., Gurbanova Z.R. Influence of climate change and enlargement of irrigated soils on qualitative indicators of river water.....	72
Сатін І.В., Хитрук С.В., Панченко О.С. Визначення норм надання послуг з вивезення побутових відходів для населених пунктів Гірської сільської об'єднаної територіальної громади	80

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Довгий С.О., Копійка О.В., Козлов О.С. Інформаційні технології елементів архітектури управління ІТ-інфраструктурою.....	91
Мандрик О.М., Михайлюк Р.Й., Артим В.І., Михайлюк В.В. Дослідження гідродинамічних параметрів самодіючого шлюзу для запобігання паводковим розливам.....	114
Ващенко В.М., Скалозубов В.І., Кордуба І.Б., Жукова О.Г., Косенко С.І. Критерії термохімічних умов парогазових вибухів у динамічних режимах аварій на ядерних енергоблоках із реакторами ВВЕР.....	128
Зорін Д.О. Геоінформаційна система екологічної безпеки природного заповідника «Горгани» в Українських Карпатах.....	135
ДО ВІДОМА АВТОРІВ.....	149

CONTENTS

ENVIRONMENTAL SAFETY AND NATURAL RESOURCES

Voloshkina O., Goncharenko A. Influence of military actions on the process of the formation of precipitation..	5
Shamanskyi S., Pavliukh L., Horbachova O., Repeta V. Analysis of concentrations of biogenic compounds discharged into water bodies with municipal wastewater.....	15
Mitryasova O., Shybanova A., Dzhumelia E. Prognosis models of nitrates and orthophosphates content in surface waters...	30
Tykhenko O., Matvieieva I., Groza V. Analysis of aerotechnogenic pollution of the Vinnytsia using phytoindication methods.....	44
Satin I.V., Romanova T.I., Panchenko O.S. Overview of the technologies of the collection, transportation, recovery and disposal of municipal solid waste.....	53
Ganiyeva S.A., Danziyev R.M., Gurbanov E.A., Gurbanova Z.R. Influence of climate change and enlargement of irrigated soils on qualitative indicators of river water.....	72
Satin I.V., Khytruk S.V., Panchenko O.S. Determination of the norms for the transportation of household waste for Hiraska amalgamated territorial community settlements.....	80

INFORMATION RESOURCES AND MATHEMATICAL MODELING

Dovgiy S.O., Kopyika O.V., Kozlov O.S. Information technology of IT-infrastructure management architecture elements	91
Mandryk O., Mykhailyuk R., Artym V., Mykhailyuk V. Study of hydrodynamic parameters of a self-operating sluge to prevent flood spills.....	114
Vashchenko V.M., Skalozubov V.I., Korduba I.B., Kosenko S.I., Zhukova O.H. Criteria of thermochemical conditions of steam gas explosions in dynamic accident modes at nuclear power units with WWER reactors.....	128
Zorin D.O. The geo-information system of environmental security of the "Gorgany" nature reserve in the Ukrainian Carpathians.....	135
INFORMATION FOR AUTHORS.....	149

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ENVIRONMENTAL SAFETY AND NATURAL RESOURCES

УДК 504.063

Olena Voloshkina, Dr, Professor of Department of Labour and Environment Protection
ORCID ID: 0000-0002-3671-4449 *e-mail*: e.voloshki@gmail.com

Artem Goncharenko, graduate student
ORCID ID: 0000-0001-5647-1360 *e-mail*: hosting.pat@gmail.com

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

INFLUENCE OF MILITARY ACTIONS ON THE PROCESS OF THE FORMATION OF PRECIPITATION

Abstract. *This work concerns the study of the influence of military actions on the development of global ecological processes, in particular, the fall of acid rain from individual single explosions. A mathematical model is proposed, which takes into account the emission of pollutants into the subcloud washout zone and the kinetics of the condensation process. The concentration of combustion products in the atmosphere at the level of three to five diameters of the explosion area (the area of the formed explosion funnel) is found using the theory of a convective jet from a warm source to the environment. At the same time, we determined the speed of warm air that rises above the area of the explosion, the average temperature in the transition section of the convective jet, and the flow rate of polluted air in the upper part of the jet. The paper presents a system of dimensionless non-stationary differential equations for a high unshaded source, which can be used to determine the dispersion of the main acid-forming substances in the Boussinesq approximation with the variables "eddy velocity – current function – temperature – concentration" with appropriate initial and boundary conditions. Sulfuric anhydride was considered as an example of the main acid-forming substances and the most dangerous and toxic compounds of explosion products. The proposed mathematical model can be used to forecast the possible fall of acid rain on the territories adjacent to single explosions, thereby making a forecast of changes in environmental risk as a result of military operations for the environment and the population. and will make it possible to determine the zones of influence and dispersion from the place of the explosion.*

Key words: *acid precipitation; single explosions; military operations; mathematical model*

© О.С. Волошкіна, А.В. Гончаренко, 2022

О.С. Волошкіна, А.В. Гончаренко

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

ВПЛИВ ВОЄННИХ ДІЙ НА ПРОЦЕС УТВОРЕННЯ КИСЛОТНИХ ОПАДІВ

***Анотація.** Дана робота присвячена вивченню впливу воєнних дій на розвиток глобальних екологічних процесів, зокрема випадінню кислотних опадів від окремих одиночних вибухів. Запропонована математична модель, яка враховує емісію забруднень в зону підхмарного вимивання та кінетику процесу конденсації. Концентрація продуктів згоряння в атмосфері на рівні трьох-п'яти діаметрів площі вибуху (площі утвореної воронки вибуху) знаходиться за допомогою теорії конвективного струменя з теплою джерела в навколишнє середовище. При цьому нами визначалася швидкість теплового повітря, яке здійснюється вгору над площею вибуху, середня температура в перехідному перерізі конвективного струменя, витрата забрудненого повітря у верхній частині струменя. В роботі наведена система безрозмірних нестационарних диференціальних рівнянь для високого незатіненого джерела, яка може бути використана для визначення розсіювання основних кислотоутворюючих речовин у наближенні Бусинеска зі змінними «вихор швидкості – функція струму – температура – концентрація» із відповідними початковими та граничними умовами. В якості приклада з основних кислотоутворюючих речовин і найбільш небезпечних і токсичних сполук продуктів вибуху розглядався сірчаний ангідрид. Запропонована математична модель може бути використана для прогнозу можливого випадання кислотних опадів на прилеглих до поодиноких вибухів територіях, тим самим дозволить робити прогноз змін екологічного ризику внаслідок воєнних дій для довкілля та населення та визначити зони впливу та розсіювання від місця вибуху.*

***Ключові слова:** кислотні опади; одиночні вибухи; воєнні дії; математична модель*

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.4.5-14>

Вступ

Одним із негативних наслідків воєнних дій є забруднення атмосфери небезпечними газами, які утворюються в результаті постійних артилерійських обстрілів та застосування вибухівки. Низка небезпечних хімічних сполук, таких як чадний газ (CO), вуглекислий газ (CO₂), водяна пара (H₂O), бурий газ (NO), закис азоту (N₂O), діоксид азоту (NO₂), формальдегід (CH₂O), пари ціанистої кислоти (HCN), азот (N₂), сірчаний ангідрид (SO₂), а також велика кількість токсичної органіки вивільняється в атмосферу, проходячи під час вибуху повне окислення. Вуглекислий газ і водяна пара відносяться до парникових газів, оксиди сірки та азоту спричиняють кислотні дощі з негативними наслідками (зміна рН ґрунту, опіки рослин, негативний вплив на організм живих істот тощо).

Кислотні дощі мають негативний вплив на організм людини, зокрема на стан слизових тканин та органи дихання, викликаючи при цьому підвищене слизовиділення в дихальних шляхах, кашель, хрипоту, подразнення слизових оболонок, запаморочення і нудоту. Тільки один кілограм вибухівки утворює декілька десятків кубометрів токсичних газів: SO₂, NO_x, CO.

Внаслідок утворення порівняно стійкої сполуки чадного газу з гемоглобіном – карбогемоглобіну, кров втрачає здатність передавати кисень тканинам організму і розвивається гіпоксія. Крім характерних уражень крові та кровотворних органів, при цьому також спостерігаються розлади функцій нервової системи, ураження печінки та органів внутрішньої секреції.

Дослідження 2014 року показали, що внаслідок обстрілів м. Щастя в Луганській області вміст небезпечних речовин в повітрі в декілька разів перевищив їх гранично допустимі концентрації. Зокрема, діоксиду сірки і нітрогену – в 5–8 разів [1].

Згідно з даними ЦГО ім. Б. Срезневського по м. Києву, 6 червня 2022 року загальний рівень забруднення повітря в Дарницькому районі Києва підвищився. Зафіксовано значне зростання вмісту NO_2 та підвищення вмісту діоксиду сірки, що можна пояснити обстрілами о шостій ранку Дарницького району міста [2].

Таким чином, виникла необхідність визначення впливу воєнних дій на частоту та кількість випадіння кислотних опадів і їх впливу на навколишнє середовище та здоров'я населення.

Постановка проблеми

Аналіз забруднення атмосферних опадів домішками та вплив цього забруднення проводився низкою вітчизняних та іноземних дослідників. Так, дослідники у роботі [3] на підставі вибраної мережі ділянок на півночі Китаю довели, що із загальної кількості опадів 28% припадало на кислотні з $\text{pH} < 5,6$. З цих кислотних проб 53% виявилися сильноокислими зі значенням pH нижче 5,0, що вказує на значно високий рівень їх підкислення. Більшість кислотності опадів обумовлена H_2SO_4 і HNO_3 , їх відносний внесок становить 72% і 28% відповідно. В роботі [4] аналіз зворотної траєкторії показав, що на хімічний склад дощової води в Сіані впливають місцеві джерела забруднення та ґрунтовий пил у місцевих і віддалених районах. Великі надходження ґрунтового пилу та спалювання вугілля взимку та навесні призвели до вищих значень основних іонів та значень pH у сухі сезони, ніж у вологі сезони. Аналіз основних факторів, кореляційний аналіз і розподіл джерел показали, що SO_4^{2-} і NO_3^- були з антропогенних джерел. Високі концентрації SO_4^{2-} і NO_3^- у дощовій воді вказують на те, що Сіань сильно забруднений та потребує покращення якості повітря шляхом скорочення викидів твердих частинок і викопного палива та викидів транспортних засобів. Автори роботи [5] на основі кореляційного аналізу натурних вимірювань довели, що надмірний викид сірки був основною причиною кислотності опадів у Ваньчжоу (КНР), тоді як у 2000-х роках у Ваньчжоу спостерігалось посилення внеску азотної кислоти в кислотність опадів.

В роботах [6, 7] автори на основі експериментальних досліджень та аналізу даних моніторингових спостережень за забрудненням атмосферного повітря міста локальними осередками забруднення дійшли до висновку їх взаємозв'язку з формуванням хімічного складу опадів. Мікроелементний склад опадів та результати математичного моделювання показують вплив викидів промислових підприємств на випадіння кислотних опадів на територіях, прилеглих до потенційно небезпечних об'єктів. Оцінка взаємозв'язку між окремими компонентами забруднення атмосферного повітря, показником pH

та температурними умовами на основі аналізу моніторингових даних багаторічних спостережень досить детально розглянута в роботах [8, 9]. Дослідження даних авторів свідчать про збереження тенденції зміни показника рН в розрізі 2013–2017 років для м. Києва в бік зростання кислих опадів. Циклічна, сезонна та випадкова компоненти ряду рН зберігають свій характер практично без змін. Шляхи перенесень та перетворень природних та антропогенних емісій в атмосфері складаються з зони осадження при метеоумовах нестабільних за показником турбулентності атмосфери та градієнта розподілення температури по висоті. Емісію в зону підхмарного вимивання опадами та емісію в хмаринний покрив можна описати рівняннями турбулентного тепломасопереносу при відповідних метеоумовах [10]. Емісії по цих шляхах зумовлюють подальше забруднення та закислення хмар, з яких, нарешті, відбувається випадіння опадів, які часто мають понижений показник рН.

Наведені дослідження стосувалися, в основному, формування викидів промислових підприємств та урбанізованих територій. Проблема формування кислотних опадів в атмосферному повітрі Землі від наслідків воєнних дій є актуальною та маловивченою на сьогоднішній день, як теоретично, так і експериментально. Отже, внаслідок воєнної російської агресії для України постає актуальне питання вивчення наслідків впливу воєнних дій на довкілля і організм людини. Зокрема, вивчення формування кислотних опадів в атмосфері, враховуючи велику кількість постійних артилерійських обстрілів та застосування вибухівки. Особливу увагу слід звернути на проблему переміщення з'єднань сірки в атмосферному повітрі на великі відстані (до 1000 км) від джерела, оскільки кислотні дощі, що утворюються внаслідок вибуху та проходження відповідних реакцій в атмосфері, можуть випадати не тільки на прилеглих до вибуху, а й на віддалених територіях.

Оцінка та прогнозування впливу артилерійських обстрілів на стан атмосферного повітря з подальшим впливом на здоров'я населення на сьогодні майже не проводились та потребують створення практичної та дієвої теорії перетворення в кислоти вибухових викидів з вивченням їх подальшого випадіння, як на території міста вибуху, так і за його межами.

Мета даної роботи полягає в створенні математичної моделі процесів формування кислотних опадів та їх випадання на територіях, що прилягають до зони артилерійських обстрілів, яка враховує двовимірне тепло- та масоперенесення, кінетику процесу конденсації, дифузію та конвекцію пари оксидів сірки.

Виклад основного матеріалу досліджень

Дослідження основних закономірностей процесу конденсації сірчаного ангідриду та формування частинок, здатних досягати поверхні Землі в процесі седиментації, проводилося залежно від факторів та умов:

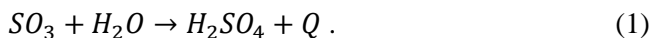
- початкової температури та концентрації з'єднань, що утворюються в повітрі при вибуху;
- пори року;
- розмірів ядер конденсації;
- швидкості вітру.

Постановка задачі формування кислих опадів в атмосферному повітрі прилеглих до місця вибуху територій формулюється наступним чином:

- за основну кислотоутворюючу речовину приймається сірчаний ангідрид, як одна з найбільш небезпечних і токсичних сполук продуктів вибуху;
- процес розсіювання в атмосфері продуктів згоряння здійснюється за безпосередньої взаємодії їх з повітрям; при цьому використовуються коефіцієнти бінарної дифузії для суміші «повітря – забруднювальна речовина»;
- задача вирішується у декартовій системі координат.

Сірчаний ангідрид SO_3 утворюється при окисленні сірчастого ангідриду. Кінцевим продуктом реакції є аерозоль або розчин сірчаної кислоти в дощовій воді, що підкисляє ґрунт, спричиняє загострення захворювань дихальних шляхів людини. Випадання аерозолію сірчаної кислоти відзначається при низькій хмарності і високій вологості повітря.

Механізм утворення сірчаної кислоти, при якому сірчаний ангідрид SO_3 поглинається водяною парою, характеризується рівнянням:



Реакція (1) відбувається практично миттєво та в сукупності з метеорологічними умовами визначає інтенсивність випадіння крапель кислоти поблизу вибуху.

Під час розробки математичної моделі будемо враховувати наступні процеси:

- 1) перенесення газоподібних продуктів вибуху;
- 2) зміну хімічного складу повітряного потоку;
- 3) конвективний теплообмін частинки сірчаної кислоти із зовнішнім середовищем.

Основні припущення:

- 1) не враховується випаровування краплі у процесі руху;
- 2) не береться до уваги вплив сонячної радіації;
- 3) ядро конденсації приймалося у вигляді кубу;
- 4) крапля сірчаної кислоти, що утворилася при конденсації при русі не деформується;
- 5) не враховується радіаційний теплообмін із зовнішнім середовищем;
- 6) приймається, що на частинку діють сили тяжіння та опору повітряного середовища.

Процес розсіювання в атмосфері димового факелу вибуху, що містить продукти згоряння, здійснюється за безпосередньої взаємодії їх із повітрям. Це дозволяє використовувати коефіцієнти бінарної дифузії для суміші «повітря – забруднювальна речовина».

Схему до постановки задачі в початковий момент часу наведено на рис. 1.

Конденсація сірчаного ангідриду відбувається зі змінною у часі швидкістю, величина якої залежить від температури поверхні частки, що змінюється в часі. Дана задача зводиться до рішення наведеної нижче системи безрозмірних нестационарних диференціальних рівнянь у наближенні Бусинеска зі змінними «вихор швидкості – функція струму – температура – концентрація» із відповідними початковими та граничними умовами.

$$\frac{\partial \Omega}{\partial \tau} + U \cdot \frac{\partial \Omega}{\partial X} + V \cdot \frac{\partial \Omega}{\partial Y} = \frac{1}{Re} \cdot \left(\frac{\partial^2 \Omega}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Omega}{\partial Y^2} \right) + \frac{Gr}{Re^2} \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial X} \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial Y^2} = -\Omega \quad (3)$$

$$\frac{\partial \Theta_1}{\partial \tau} + U \cdot \frac{\partial \Theta_1}{\partial X} + V \cdot \frac{\partial \Theta_1}{\partial Y} = \frac{1}{Pr \cdot Re} \cdot \left(\frac{\partial^2 \Theta_1}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Theta_1}{\partial Y^2} \right) + \frac{Q \cdot W_K \cdot \delta_0}{\rho \cdot C_p \cdot \Delta T'} \quad (4)$$

$$\frac{\partial C_3}{\partial \tau} + U \cdot \frac{\partial C_3}{\partial X} + V \cdot \frac{\partial C_3}{\partial Y} = \frac{1}{Pr \cdot Se} \cdot \left(\frac{\partial^2 C_3}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 C_3}{\partial Y^2} \right) - \frac{W_3^K \cdot \delta_0}{\rho \cdot U_0} \quad (5)$$

$$\frac{\partial C_4}{\partial \tau} + U \cdot \frac{\partial C_4}{\partial X} + V \cdot \frac{\partial C_4}{\partial Y} = \frac{1}{Pr \cdot Se} \cdot \left(\frac{\partial^2 C_4}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 C_4}{\partial Y^2} \right) - \frac{W_3^K \cdot \delta_0}{\rho \cdot U_0} \quad (6)$$

$$\frac{1}{Fo} \cdot \frac{\partial \Theta_2}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \Theta_2}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Theta_2}{\partial Y^2} \quad (7)$$

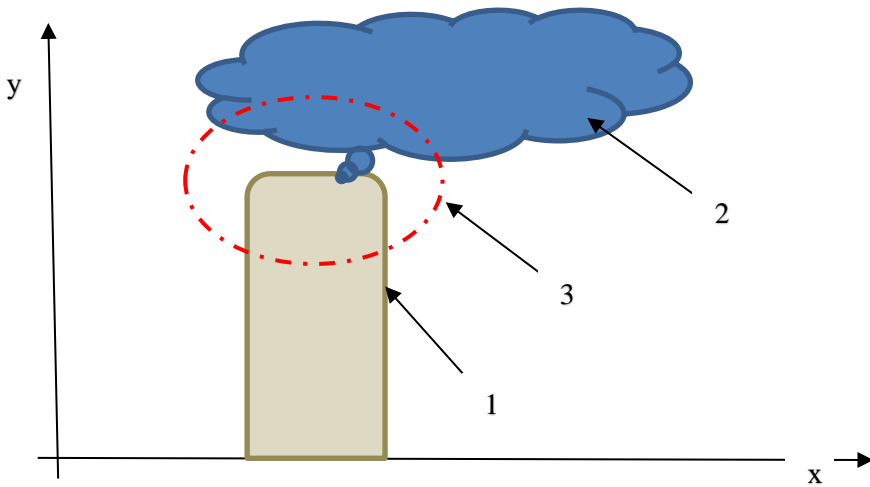


Рис. 1. Схема постановки задачі: 1 – стовп вибуху; 2 – напрямок руху вибухових газів; 3 – умовне локальне джерело викидів при розповсюдженні в атмосфері

Рівняння руху частки в напрямленні декартових координат X і Y відповідно має вигляд

$$\frac{dV_X}{d\tau} = - \frac{3 \cdot C_D \cdot \rho \cdot |V_X - U|^2}{8 \cdot \delta \cdot g} \quad (8)$$

$$\frac{dV_Y}{d\tau} = 1 - \frac{3 \cdot C_D \cdot \rho \cdot |V_Y|^2}{8 \cdot \delta \cdot g} \quad (9)$$

Позначення в даних рівняннях:

τ – час; Θ – температура; C_3 і C_4 – концентрації сірчаного ангідриду та водяної пари відповідно; Ψ – функція току; Ω – вихор швидкості; U , V – швидкості руху газової хмари напрямку X і Y відповідно; V_x і V_y – швидкості частки в напрямку X і Y відповідно; Re – число Рейнольдса; Pr – число Прандля; S_c – число Шмідта; F_o – число Фур'є; $\rho = \rho_1/\rho_2$ – відносна густина; g – безрозмірний аналог прискорення вільного падіння; C_D – коефіцієнт опору; Q – тепловий ефект реакції кДж/кг; W_3^K – масова швидкість конденсації сірчаного ангідриду і водяної пари кг/(м³*с); δ_0 – геометричний розмір ядра конденсації, м; C_p – питома теплоємність Дж/(кг·К); U_0 – швидкість вітру зовнішнього середовища, м/с.

Швидкість конденсації розраховуємо за формулою:

$$W^K = \beta \cdot \frac{P_A - P_0 \cdot \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)}{\sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot T}{M}}}, \quad (10)$$

де P_A – атмосферний тиск, Па; P_0 – предекспонент, Па; E – енергія активації процесу конденсації, Дж/кг; R – універсальна газова стала, Дж/(моль·К); M – молярна маса, кг/моль; β – коефіцієнт конденсації; T – температура суміші газів, К.

Початкові умови рівнянь (2)–(9):

$$\begin{aligned} \Omega(X, Y, 0) &= 0, V_X(X, Y, 0) = 0; \\ \Psi(X, Y, 0) &= 0, V_Y(X, Y, 0) = 0; \\ \Theta(X, Y, 0) &= 0, U(X, Y, 0) = 0; \\ C(X, Y, 0) &= 0, V(X, Y, 0) = 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Граничні умови рівнянь (2)–(9) запишуться у вигляді:

$$X = 0, 0 \leq Y \leq \delta_0: \frac{\partial \Theta}{\partial X} = 0, \Psi = 0, \Omega = 0 \quad (12)$$

$$X = 0, \delta_0 \leq Y \leq H: \Theta = \Theta_1, \frac{\partial \Psi}{\partial Y} = U, \frac{\partial \Psi}{\partial X} = -V, C_3 = C_0 \quad (13)$$

$$X = \delta_0, 0 \leq Y \leq \delta_0: \frac{\partial \Theta_1}{\partial X} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \frac{\partial \Theta_2}{\partial X} + \frac{Q \cdot W_i^K \cdot \delta_0}{\Delta T \cdot \lambda_1}, \Theta_1 = \Theta_1, \quad (14)$$

$$\frac{\partial C_3}{\partial X} = \frac{W_i^K \cdot \delta_0}{D \cdot \rho}, \Psi = \Omega = 0$$

$$X = L, 0 \leq Y \leq H: \Theta = \Theta_1, \frac{\partial \Theta_1}{\partial X} = 0, \frac{\partial \Psi}{\partial X} = 0, \frac{\partial \Omega}{\partial X} \quad (15)$$

$$Y = 0, 0 \leq X \leq \delta_0: \frac{\partial \Theta}{\partial Y} = 0, C_3 = 0, \Psi = 0, \Omega = 0 \quad (16)$$

$$Y = 0, \delta_0 \leq X \leq L: \Theta = \Theta_1, C_3 = C_0, \frac{\partial \Psi}{\partial Y} = U, \frac{\partial \Psi}{\partial X} = -V \quad (17)$$

$$Y = \delta_0, 0 \leq X \leq \delta_0: \frac{\partial \Theta_1}{\partial X} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \frac{\partial \Theta_2}{\partial X} - \frac{Q \cdot W_i^K \cdot \delta_0}{\Delta T \cdot \lambda_1}, \Theta_1 = \Theta_2 \quad (18)$$

$$\frac{\partial C_3}{\partial X} = \frac{W_i^K \cdot \delta_0}{D \cdot \rho}, \Psi = \Omega = 0$$

$$Y = H, 0 \leq X \leq L: \Theta = \Theta_1, \frac{\partial C_3}{\partial Y} = 0, \frac{\partial \Psi}{\partial Y} = 0, \frac{\partial \Omega}{\partial Y} = 0. \quad (19)$$

Для вирішення цієї системи застосовується метод кінцевих різниць. Система вирішується чисельним способом. Але для першого наближення з деякими припущеннями та узагальненнями можна використати аналітичний метод, як наведено в [11]. Порівняння обох методів для вирішення задачі щодо теплових викидів з високого джерела теплоелектростанції наведено авторами досліджень роботи [12], і ця розбіжність складає в середньому 21%.

Так, розрахунок вибуху при нейтральних умовах атмосфери, зроблений для окремої крилатої ракети типу «Калібр», яка має стартову масу 1400 кг, бойову

частину масою 450 кг, діаметр воронки від окремого вибуху, внаслідок якого утворюється конвективний струмінь над землею $H = 10$ м з висотою близько $3H$ при нейтральних умовах атмосфери, показав, що максимальна концентрація сірчистого ангідриду знаходиться на відстані 500 м від місця вибуху і в 1,9 раза перевищує нормативну ($0,95$ мг/м³).

При нейтральних умовах атмосфери для визначення концентрації SO_3 у верхній частині забрудненого струменя можна використати теорію конвективного струменя з теплого джерела в навколишнє середовище. При цьому нами визначалася швидкість теплого повітря, яке здійснюється вгору над площею вибуху, середня температура в перехідному перерізі конвективного струменя, витрата забрудненого повітря у верхній частині струменя. Даний підхід дозволяє визначити зони впливу окремих речовин та їх розсіювання від місця вибуху.

Висновки

Постановка задачі формування кислих опадів в атмосферному повітрі внаслідок окремого вибуху формується математичною моделлю, яка враховує емісію забруднень в зону підмарного вимивання, кінетику процесу конденсації, дифузію та конвекцію пари оксидів сірки.

Рішення даної задачі можна отримати завдяки наведеній системі безрозмірних нестационарних диференціальних рівнянь у наближенні Бусинеска зі змінними «вихор швидкості – функція струму – температура – концентрація» із відповідними початковими та граничними умовами.

Для нейтральних умов атмосфери розсіювання сірчистого ангідриду можна отримати спрощеним рішенням, використовуючи теорію конвективного струменя з теплого джерела в навколишнє середовище та відому методику щодо прогнозування метеорологічних умов формування рівнів забруднення повітря в містах України.

Запропонована математична модель може бути використана для прогнозу можливого випадання кислотних опадів на прилеглих до поодиноких вибухів територіях, тим самим дозволить зробити прогноз змін екологічного ризику внаслідок воєнних дій для доквілля та населення та визначити зони впливу та розсіювання від місця вибуху.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Звіт про результати вивчення екологічної ситуації на території Донецької та Луганської області / О.І. Бондар, О.А. Улицький, В.М. Єрмаков / Міністерство з питань тимчасово окупованих територій та внутрішньо переміщених осіб України. – К.: Київ, 2018. – 70 с.
2. Про стан забруднення навколишнього природного середовища у Києві та Київській області за даними спостережень ЦГО ім. Б. Срезневського [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://cgo-sreznevsky.kiev.ua> (дата звернення 4.12.2022).
3. Yuesi Wang. Acid neutralization of precipitation in Northern China / Yuesi Wang, Wenpeng Yu, Yuepeng Pan, Dan Wu // Journal of the Air & Waste Management Association. – Vol. 62, Issue 2, 2012. – pp. 204-211 (doi.org/10.1080/10473289.2011.640761).
4. Xiao J. Chemical composition and source identification of rainwater constituents at an urban site in Xi'an // Environ Earth Sci. – Vol. 75 (209), 2016. (doi.org/10.1007/s12665-015-4997-z).

5. Liuyi Zhang. Chemical Characteristics of Precipitation in a Typical Urban Site of the Hinterland in Three Gorges Reservoir, China / Liuyi Zhang, Baoqing Qiao, Huanbo Wang, Mi Tian, Jian Cui, Chuan Fu, Yimin Huang, Fumo Yang // *Journal of Chemistry. Environmental Biogeochemistry of Elements and Emerging Contaminants* (doi.org/10.1155/2018/2914313).
6. Khalid A. Rasheed. Effects of Air Pollutants from Al-Dura Power plant in the Surrounding Area South Baghdad / Khalid A. Rasheed, Zaid A. Azeez, Ali A. Al-Salhy // *J. Int. Environmental Application & Science*. – Vol. 11(2), 2016. – pp. 170-175.
7. Mirzaei S. Concentration and potential source identification of trace elements in wet atmospheric precipitation of Shiras, Iran / Mirzaei S., Hashemi H., Hoseini M. // *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. – Vol. 16, 2018. – 229-237. (doi.org/10.1007/s40201-018-0310-x).
8. Voloshkina O. A study of air pollution with formaldehyde along the highways in Kyiv city / Voloshkina O., Sipakov R., Zhykova O., Bereznitska J. // *USEFUL*, is published by SVp4U, MIAMI, FL, 33130. – Vol. 2, 2018. – pp. 1-7.
9. Klimova I. Influence of meteorological factors on the secondary contamination of atmospheric air by formaldehyde (on example of city of Kyiv) / Klimova I., Sipakov R. // *Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky, Kosice, (Slovakia)*. – Volume 7, No. 2/2019, pp. 75–86. (doi:10.32557/issn.2640-9631/2019-1).
10. Рудаков Д.В. Математичні моделі в охороні навколишнього середовища: Навчальний посібник. – Д.: Видавництво Дніпропетр. ун-ту, 2004. – 160 с.
11. Методичні вказівки щодо прогнозування метеорологічних умов формування рівнів забруднення повітря в містах України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://meteo.gov.ua/files/content/docs/meteo_kerdoc/%D0%9A%D0%9452.9.4.01-09.pdf (дата звернення 4.12.2022).
12. Dmitriy V. Gvozdyakov, Vladimir E. Gubin, Alexandr A. Gromov, Anton O. Tanishev, and Svetlana A. Shvab. Numerical Estimation of the Formation Process of Anthropogenic Precipitation in the Atmosphere [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/311777904_Numerical_Estimation_of_the_Formation_Process_of_Anthropogenic_Precipitation_in_the_Atmosphere (дата звернення 4.12.2022) (DOI: 10.1051/mateconf/20179101005).

Стаття надійшла до редакції 15.09.2022 і прийнята до друку після рецензування 30.11.2022

REFERENCES

1. Bondar, O.I., Ulytskyi, O.A., & Ermakov, V.M. (2018). Report on the results of studying the ecological situation in Donetsk and Luhansk regions. Kyiv [in Ukrainian].
2. About the state of pollution of the natural environment in Kyiv and the Kyiv region according to the observations of the CSO named after B. Sreznevskiyi. Retrieved from: <http://cgo-sreznevsky.kiev.ua> [in Ukrainian].
3. Yuesi Wang, Wenpeng Yu, Yuepeng Pan, & Dan Wu (2012). Acid neutralization of precipitation in Northern China. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 62(2), 204-211. <https://doi.org/10.1080/10473289.2011.640761>.
4. Xiao, J. (2016). Chemical composition and source identification of rainwater constituents at an urban site in Xi'an. *Environ Earth Sci*, 75(209). <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4997-z>.
5. Liuyi Zhang, Baoqing Qiao, Huanbo Wang, Mi Tian, Jian Cui, Chuan Fu, Yimin Huang, & Fumo Yang (2018). Chemical Characteristics of Precipitation in a Typical Urban Site of the Hinterland in Three Gorges Reservoir, China. *Journal of Chemistry. Environmental Biogeochemistry of Elements and Emerging Contaminants*. <https://doi.org/10.1155/2018/2914313>.

6. Khalid A. Rasheed, Zaid A. Azeez, & Ali A. Al-Salhy (2016). Effects of Air Pollutants from Al-Dura Power plant in the Surrounding Area South Baghdad. *J. Int. Environmental Application & Science*, 11(2), 170-175.
7. Mirzaei, S., Hashemi, H., & Hoseini, M. (2018). Concentration and potential source identification of trace elements in wet atmospheric precipitation of Shiras, Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 16, 229-237. <https://doi.org/10.1007/s40201-018-0310-x>.
8. Voloshkina, O., Sipakov, R., Zhykova, O., & Bereznitska, J. (2018). A study of air pollution with formaldehyde along the highways in Kyiv city. *USEFUL*, 2, 1-7 [in Ukrainian].
9. Klimova, I., & Sipakov, R. (2019). Influence of meteorological factors on the secondary contamination of atmospheric air by formaldehyde (on example of city of Kyiv). *Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky, Kosice, (Slovakia)*, 7(2/2019), 75–86. <https://doi.org/10.32557/issn.2640-9631/2019-1>.
10. Rudakov, D.V. (2004). *Mathematical models in environmental protection: Study guide*. Donetsk: Dnipropetrovsk University Publishing House [in Ukrainian].
11. Methodological guidelines for forecasting meteorological conditions for the formation of air pollution levels in cities of Ukraine. Retrieved from: https://meteo.gov.ua/files/content/docs/meteo_kerdoc/%D0%9A%D0%9452.9.4.01-09.pdf.
12. Gvozdjakov, D.V., Gubin, V.E., Gromov, A.A., Tanishev, A.O., & Shvab, S.A. (2017). Numerical Estimation of the Formation Process of Anthropogenic Precipitation in the Atmosphere. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/311777904_Numerical_Estimation_of_the_Formation_Process_of_Anthropogenic_Precipitation_in_the_Atmosphere. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20179101005>.

The article was received 15.09.2022 and was accepted after revision 30.11.2022

Волошкіна Олена Семенівна

д.т.н., професор кафедри охорони праці та навколишнього середовища Київського національного університету будівництва і архітектури

Адреса робоча: 03037, Україна, м. Київ, пр-т Повітрофлотський, 31

ORCID ID: 0000-0002-3671-4449 **e-mail:** e.voloshki@gmail.com

Гончаренко Артем Вадимович

аспірант Київського національного університету будівництва і архітектури

Адреса робоча: 03037, Україна, м. Київ, пр-т Повітрофлотський, 31

ORCID ID: 0000-0001-5647-1360 **e-mail:** hosting.pat@gmail.com

UDC 504.4.054

Sergii Shamanskyi¹, Doctor of Technical Sciences (Engineering), Professor
ORCID ID: 0000-0002-6215-3438 *e-mail*: shamanskiy_s_i@ukr.net

Lesia Pavliukh², PhD (Engineering), Associate Professor
ORCID ID: 0000-0002-7715-4601 *e-mail*: lenyo@ukr.net

Olena Horbachova², Graduate Student
ORCID ID: 0000-0002-9478-1009 *e-mail*: olenka.lenysia@gmail.com

Victor Repeta², PhD (Mathematics), Associate Professor
ORCID ID: 0000-0002-5615-7889 *e-mail*: victor.repeta@npp.nau.edu.ua

¹ Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

² National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ANALYSIS OF CONCENTRATIONS OF BIOGENIC COMPOUNDS DISCHARGED INTO WATER BODIES WITH MUNICIPAL WASTEWATER

Abstract. *There were analyzed the effect of increased concentration of biogenic elements, as well as increased temperature on the frequency and magnitude of cyanobacteria reproduction. The goal was to identify the main causes of poor water quality in surface water bodies of Ukraine compared to European countries, as well as the impact of municipal wastewater entering water bodies on the quality of water in them. It is shown that pollution with biogenic elements (compounds of nitrogen and phosphorus) is one of the main reasons for unsatisfactory water quality in water bodies. This, in turn, is the cause of a number of such problems as the change in biological diversity and productivity of water bodies due to the eutrophication of freshwater and marine ecosystems, and the spread of diseases associated with unsatisfactory drinking water quality. One of the main sources of biogenic elements entering surface water bodies is municipal wastewater. Long-term observations of the composition of wastewater from municipal sewage systems indicate that the concentration of biogenic elements in them can be different. It largely depends on the sources of the effluents. In the total amount of nitrogen and phosphorus compounds entering the wastewater, a significant place is occupied by the economic activity of the inhabitants of the residential areas. Experience shows that, regardless of the level of water supply, the total mass of biogens entering the sewage systems from one inhabitant over a certain period of time is constant. However, taking into account the fact that the water availability for residents is different, the concentration of biogens in wastewater will also be different due to different dilutions. The calculation shows that for the entire possible range of water consumption levels (from 100 to 285 l/day per inhabitant according to the standards), the concentration of biogenic elements in wastewater can be: total nitrogen – from 38.6 to 110 mg/l; ammonium nitrogen – from 36.1 to 102.8 mg/l; nitrites – from 2.35 to 6.74 mg/l; nitrates – from 43.27 to 123.67 mg/l; total phosphorus – from 6.31 to 18 mg/l; phosphates – from 15.49 to 44.17 mg/l; organic phosphorus – from 1.26 to 3.60 mg/l.*

Keywords: *contamination; biogenic elements; eutrophication; water supply; water quality*

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.4.15-29>

Introduction

The anthropogenic and technogenic load on the environment in Ukraine is several times higher than the corresponding indicators of developed countries.

Usable water resources have been significantly reduced due to pollution and depletion. Almost all sources of surface and underground water are polluted [1].

The current unsatisfactory state of water bodies shows that problems in the sphere of water protection against pollution and depletion, not only were they not found solution, but also significantly aggravated, especially in recent years. The main reason for this state of surface water bodies, which are sources of drinking water supply, there is the discharge of insufficiently treated household wastewater [2].

That is why it is important and urgent to search for new promising wastewater treatment technologies that will not only provide the necessary degree of purification but also be harmless to the environment.

In recent decades, numerous water bodies worldwide have shifted from an aquatic vegetation-dominated clear state to a phytoplankton-dominated turbid state. Water transparency has greatly reduced during this process, and the landscape and drinking water values of affected lakes have sharply decreased. Although many studies have been conducted on this topic, the primary factors that promote phytoplankton development remain debated and require further elucidation [3]. Nevertheless, it is commonly assumed that eutrophication and climate change associated with anthropogenic activities are major threats to water ecosystems and are the main factors driving phytoplankton development (*e.g.*, cyanobacterial blooms). Regulation of the content of biogenic elements only recently gained wide publicity due to the sharp deterioration of the condition of water bodies, and their eutrophication. In the case of the arrival of nutrients (biogenic elements) together with sewage, the rate of photosynthesis processes sharply increases, leading to the rapid development of algae in water [4, 5].

Numerous studies have often emphasized that hazardous and harmful substances such as heavy metals, PAHs, PCBs, and pesticides have direct toxic, mutagenic or carcinogenic effects on aquatic ecosystems, and on humans residing within the vicinity. In addition, the quality of surface water can also be compromised by increased nutrient concentrations, primarily nitrogen (N) and/or phosphorus (P) compounds. Problems resulting from nutrient excess can be especially profound in lakes, water accumulations or shallow and slow-flowing lowland water courses. As a result, most of these aquatic ecosystems worldwide suffer from eutrophication, which is mainly caused by (i) the overloading of nutrients from agroecosystems and (ii) the discharge of untreated industrial or municipal wastewaters. Eutrophication as a biological response of an aquatic system to excessive nutrient(s) input results in many adverse effects related to degradation of water quality and its limited use in industry and agriculture. The consequences of eutrophication on aquatic ecosystems are well known and documented in numerous studies. The most profound are water and environmental quality degradation, algal blooms, reduced water clarity, oxygen depletion, alteration of taste and odor, fish deaths, loss of biodiversity including ecosystem services and negative impacts on human health [6].

In Ukraine, all thought was put together for a significant silting of the waters with diffuse sources. The strongest development of lands is overtaking 70% and for the FAO grants it is one of the most important light, but the need for intensification of

vibration stimulating producers to a great stagnation quantity of mineral additives. People faced a serious challenge wiping between the viability of food products and the fermentation of waters [7].

Purpose and methods

Rivers, being a natural interface between watersheds and the seas, are a medium that transports both substances of natural origin and pollutant loads from anthropogenic sources. Among various human activities within their watersheds, urban areas are reported to have the most consistent and ubiquitous effects on surface water quality, habitat alteration and reduction in biodiversity due to both the significant load of pollutants from point and non-point sources and the increased impervious surface cover. Direct runoff from urbanized surfaces and sewage discharges not connected to a wastewater treatment plant (WWTP) has emerged as a serious threat, not only to the ecological values of water ecosystems but also to the provision of good quality water required for all socio-economic functions [10].

Water quality is affected by both point and nonpoint sources of pollution in rural and urban areas (Table 1). Some of these sources include sewage discharge, industrial discharge and agricultural run-off [11].

Previous studies have revealed the interactive effects of increased nutrient concentrations and warming in promoting the frequency and magnitude of cyanobacterial blooms [1–7].

The purpose of this article was:

- to reveal the main reasons poor water quality in Ukraine in comparison with European countries;
- to calculate the concentrations of nitrogen and phosphorus compounds in the case of average and total water consumption by a person for a year.

The following *research methods* were used: mathematical methods and formalization, comparison and analogy, analysis and synthesis.

The main research

Wastewater is water that has been used by humans for their domestic or technological needs and is different in physical and chemical properties, the content of pollutants and origin. When various pollutants enter the water, its physical and chemical properties change [8, 9].

Table 1. The main pollutants of water contamination

The main pollutants	Examples	The impact of pollutants
Petroleum products	Oil, gas, kerosene	Petroleum products fall into water facilities from industrial enterprises, with wastewater from roads, or due to accidents at oil production stations. When inserting into the aqueous object, oil forms a multi-kilometer film, which gradually kills the marine inhabitants, destroys the condition of the soil and gas exchange in water, destroys the structure of biocenoses. Finding on the body of the animal, oil hinders the regulation of heat exchange, causes irritation of the mucous membrane and poisoning, failure of the internal organs.

The main pollutants	Examples	The impact of pollutants
Household waste	Ammonia, nitrates, phosphates, nitrites	Every day we use washing powders, detergents, shampoos, and other hygiene products, sewage that are rich in nitrogen and phosphorus. Nitrogen and phosphorus are complexly cleaned compounds that require high costs, which, when entering the aqueous objects, affect the increase in the amount of plankton and algae, which leads to flowering and stress water. As a result, the balance of water saturation with oxygen, the permeability of the sun rays and also means the death of many living organisms.
Organic waste	Pillows, filtrates, leaves, food, ets	In water, the formation of methane is noticeable by gas bubbles rising to the surface. Depending on the place of origin, we can talk about marsh, putrid, landfill, sewage gas, sewage gas, or, as they are called in agriculture, biogas [12].
Heavy metals	Iron, manganese, lead, zinc, mercury	Heavy metals fall water as a result of plots from industrial enterprises, wastewater from roads (exhaust gases). Heavy metals are accumulated in the body, are toxicants, and cause a number of diseases of the nervous system, a digestive tract, with a reproductive system, cardiovascular diseases, renal and pulmonary failure.
Plastic	Microplastic	The main sources of microplastics are washing synthetic clothes, roads, and cars, hygiene supplies (for an abrasive effect, plastic granules are added to toothpaste, creams, cosmetic powders, etc.), paint, household plastic waste, wearing synthetic clothes. Plastic tends to accumulate toxic substances that lead to cancer, leads to endocrine system disorders, obesity, problems of the reproductive organs, hormonal changes, asthma, and other dangerous diseases.
Pesticides	Carbon trioxide, nitrogen fertilizers	Pesticides fall into the water as a result of the treatment of fields from pests, such as rodents, fungi, insects. Finding into the soil, many pesticides reach superficial waters that are a source of drinking water in many countries. Finding into the human body poisoning it, causing neurological and reproductive problems, poisoning, diabetes, and in large quantities lead to death.

In Ukraine, there is a trend of increasing the share of the urban population and increasing the area of cities. As a result, the impact on the indicators of the quality of natural water resources also changes.

European countries are proud that their population can drink water straight from the tap. In Ukraine, the situation is the opposite: tap water is saturated with salts, iron, manganese, chlorine and its derivatives, and much more.

In general, the number of non-standard samples – indicators that do not meet the requirements of standards – reaches 80–90% in Ukrainian tap water. why the quality of drinking water in Ukraine is much worse than in European countries? Among the reasons are the following (Table 2):

Table 2. Reasons of poor water quality

Firstly	Domestic regulations – hygienic requirements for drinking water – order water to be tested for 86 pollutants. At the same time, the directive of the European Parliament on the quality of drinking water regulates the content of 100 such pollutants.
Secondly	Ukraine mostly uses surface water, while in the West, water is most often taken from underground sources, "after it has undergone at least some natural filtration"
Thirdly	Europe went even further and introduced the so-called indicator parameters – microbiological, chemical, physical indicators of quality, not related to harmful effects on the health of consumers, which demonstrate how useful and tasty the water itself is. While in Ukraine, they focus primarily on general safety when drinking water: its microbiological and chemical data, while there is no list of "indicator indicators".

Every year, the dynamics of the deterioration of the state of natural water systems increases, and the cleaning properties of reservoirs are no longer able to independently cope with the amount and concentrations of pollutants that enter them as a result of human activity. Urban sprawl, population growth, industrial development, and human use of new persistent and complex chemical compounds in everyday life lead to the fact that fewer and fewer treatment plants are able to treat the wastewater that enters them. Outdated technologies and equipment are no longer able to cope with the load of wastewater and concentrations of pollutants, as a result, untreated wastewater enters the channels of rivers, lakes and other water bodies.

At the same time each of the European countries introduces its own innovations. Thus, reverse osmosis systems for river water are widely used in France. And in the capital of Germany, the Berlin water utility covers a fifth of the need for electricity due to its independent production with the help of solar panels, wind farms, and biogas plants. Whereas in Ukraine, most of the expenses of water utilities are electricity – up to 60% with the new tariffs.

Domestic wastewater treatment in Ukraine and other countries of the world showed on figure 1 [13].

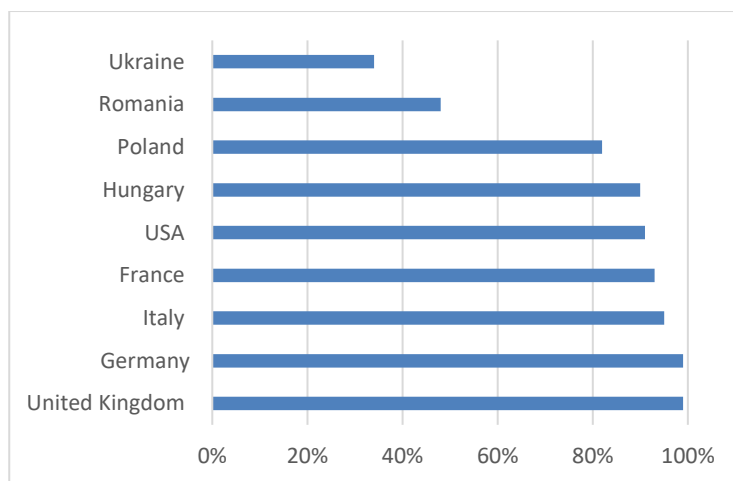


Figure 1. Domestic wastewater treatment in countries

The most contaminated Dnieper influx is the place of resetting the "purified" wastewater after the Bortnytska Aeration Station. Thanks to scientific research, monitoring, and self-identity items, there is a site that shows various types and levels of water pollution, in which we have the ability to analyze the state of the river, which is the main source of fresh drinking water in the capital. The change of ammonia ions in the water dump channel of Bortnytska Aeration Station is shown on figure 2. The change of ions nitrates in the same channel is shown on figure 3 [14].

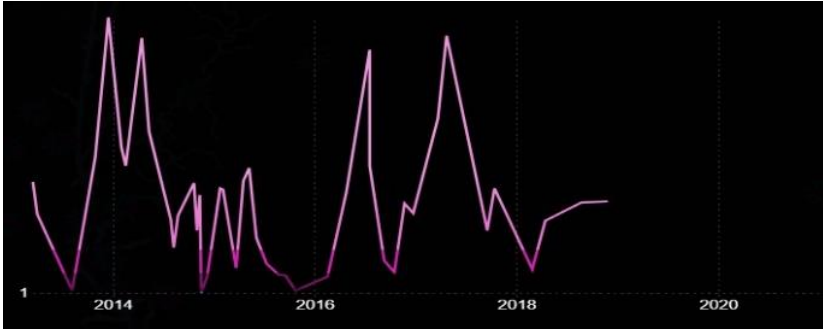


Figure 2. Ammonia ions in the water dump channel of Bortnytska Aeration Station

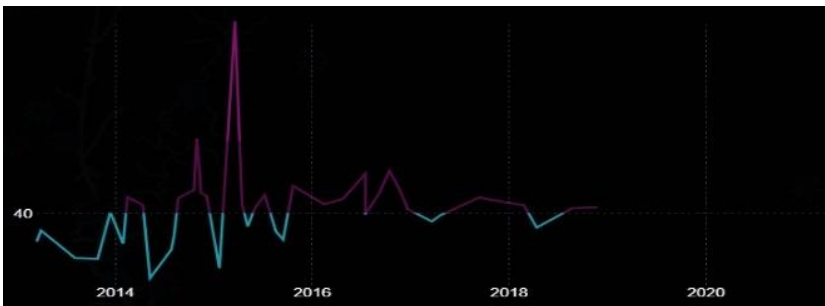


Figure 3. Ions nitrates in the water dump channel of Bortnytska Aeration Station

The presence of biogenic elements in wastewater – nitrogen compounds and of phosphorus initiates the processes of flowering and eutrophication of the reservoir, which changes the physical and chemical properties of the environment: in eutrophic reservoirs the content of biogenic and organic substances increases, the level decreases oxygen saturation of the water, anaerobic zones appear in the bottom layers, the turbidity of the water, its contamination by microorganisms increases, which get there with sewage, including pathogenic ones. Accumulation of excess amount of organic substances in the bottom silt deposits is accompanied by the formation of methane, hydrogen, hydrogen sulfide, and ammonia, which can stand out in the form of bubbles, and when dissolved in water give it unpleasant smell and have a toxic effect on fish, invertebrates and plants, especially at low temperatures, leading to shortages of oxygen and mass death of fish.

According to current paradigms, wastewater is still typically viewed as an energy-demanding problem requiring expensive solutions, rather than a resource. Despite the fact that most countries spend substantial amounts of energy treating sewage to release it as harmlessly as possible into receiving waters, wastewater represents

a mostly-untapped, potentially huge source of energy, including intrinsic energy embedded within wastewater organics; thermal energy (5.8 kWh/m³ per 5°C) recoverable through heat extraction, e.g., by a heat pump; and an external fossil-fuel energy equivalent required for the production of the same amounts of fertilizing elements N and P contained in wastewater (19.3 kWh/kg N and 2.11 kWh/kg P) [15].

An increase in the level of trophicity is accompanied by a change in the composition of phytoplankton – blue-green algae begin to predominate (90...95% of the total population), and coastal shallow water zones are overgrown with higher aquatic vegetation. The extensive development of algae hinders the work water intake facilities and fish industry, reduces hydraulic parameters flow (speed of coastal currents), and the flowering of water bodies also leads to decrease in organoleptic indicators of water. The worst consequences of eutrophication are the deterioration of quality indicators of drinking water and the mass death of fish.

Let's calculate the amount of nitrogen and phosphorus discharged per inhabitant per day.

According to the [16]. Total nitrogen N = 11 g/day, including ammonium salts – 8 g/day. Total phosphorus P = 1.8 g/day, including phosphorus phosphates – 1.44 g/day.

Average annual water consumption standards [17] per person: Q_{min} = 100 l/day; Q_{max} = 285 l/day.

Concentration of total nitrogen in compounds is the following:

$$S_N^{\min} = \frac{N}{Q_{\max}} * 1000 = \frac{11}{285} * 1000 = 38,6 \text{ mg/l} \quad (1)$$

$$S_N^{\max} = \frac{N}{Q_{\min}} * 1000 = \frac{11}{100} * 1000 = 110 \text{ mg/l} .$$

For average water consumption (150:230 l/day)(baths and local water heaters) we receive:

$$S_N^{\min} = \frac{11}{230} * 1000 = 47,8 \text{ mg/l} \quad (2)$$

$$S_N^{\max} = \frac{11}{150} * 1000 = 73,3 \text{ mg/l} .$$

Concentration of ammonium salts:

$$S_{\text{NH}_4}^{\min} = \frac{8}{285} * 1000 = 28,1 \text{ mg/l} \quad (3)$$

$$S_{\text{NH}_4}^{\max} = \frac{8}{100} * 1000 = 80 \text{ mg/l} .$$

For average water consumption (150+230 l/day):

$$S_{\text{NH}_4}^{\min} = \frac{8}{230} * 1000 = 34,8 \text{ mg/l} \quad (4)$$

$$S_{\text{NH}_4}^{\max} = \frac{8}{150} * 1000 = 53,3 \text{ mg/l} .$$

Concentration of nitrogen in other compounds (NO₂; NO₃) is the following:

$$S_{\text{NO}_2 \text{ NO}_3}^{\min} = S_N^{\min} - S_{\text{NH}_4}^{\min} = 38,6 - 28,1 = 10,5 \text{ mg/l} \quad (5)$$

$$S_{\text{NO}_2 \text{ NO}_3}^{\max} = S_N^{\max} - S_{\text{NH}_4}^{\max} = 110 - 80 = 30 \text{ mg/l} .$$

For average water consumption we receive:

$$\begin{aligned} S_{\text{NO}_2, \text{NO}_3}^{\min} &= 47,8 - 34,8 = 13 \text{ mg/l} \\ S_{\text{NO}_2, \text{NO}_3}^{\max} &= 73,3 - 53,3 = 20 \text{ mg/l} . \end{aligned} \quad (6)$$

Concentration of ions of ammonium salts NH_4^+ :

$$\begin{aligned} C_{\text{NH}_4}^{\min} &= \frac{28,1}{0,778} = 36,1 \text{ mg/l} \\ C_{\text{NH}_4}^{\max} &= \frac{80}{0,778} = 102,8 \text{ mg/l} . \end{aligned} \quad (7)$$

For average water consumption we receive:

$$\begin{aligned} C_{\text{NH}_4}^{\min} &= \frac{34,8}{0,778} = 44,7 \text{ mg/l} \\ C_{\text{NH}_4}^{\max} &= \frac{53,3}{0,778} = 68,5 \text{ mg/l} . \end{aligned} \quad (8)$$

Concentration of Kyiv subscribers in WW (wastewater) (Initialized acceptance of WW into the city's sewerage system):

$$\begin{aligned} \text{Nitrites } (\text{NO}_2^-) &- 3,3 \text{ mg/l} \\ \text{Nitrates } (\text{NO}_3^-) &- 45 \text{ mg/l} . \end{aligned}$$

Let's distribute the nitrogen concentration proportionally:

Nitrogen in nitrites (NO_2^-)

$$\begin{aligned} S_{\text{NO}_2}^{\min} &= 10,5 \frac{3,3}{48,3(45+3,3)} = 0,72 \text{ mg/l} \\ S_{\text{NO}_2}^{\max} &= 30 \frac{3,3}{48,3(45+3,3)} = 2,05 \text{ mg/l} . \end{aligned} \quad (9)$$

For average water consumption we receive:

$$\begin{aligned} S_{\text{NO}_2}^{\min} &= 13 * \frac{3,3}{48,3} = 0,89 \text{ mg/l} \\ S_{\text{NO}_2}^{\max} &= 20 * \frac{3,3}{48,3} = 1,37 \text{ mg/l} . \end{aligned} \quad (10)$$

Nitrogen in nitrates (NO_3^-):

$$\begin{aligned} S_{\text{NO}_3}^{\min} &= 10,5 \frac{45}{48,3} = 9,78 \text{ mg/l} \\ S_{\text{NO}_3}^{\max} &= 30 \frac{45}{48,3} = 27,95 \text{ mg/l} . \end{aligned} \quad (11)$$

For average water consumption we receive:

$$\begin{aligned} S_{\text{NO}_3}^{\min} &= 13 * \frac{45}{48,3} = 12,11 \text{ mg/l} \\ S_{\text{NO}_3}^{\max} &= 20 * \frac{45}{48,3} = 18,63 \text{ mg/l} . \end{aligned} \quad (12)$$

Conversion of nitrogen into nitrite and nitrate ions:
Concentration of nitrite ions (NO_2^-)

$$\begin{aligned} C_{\text{NO}_2}^{\min} &= \frac{0,72}{0,304} = 2,35 \text{ mg/l} \\ C_{\text{NO}_2}^{\max} &= \frac{2,05}{0,304} = 6,74 \text{ mg/l} . \end{aligned} \quad (13)$$

For average water consumption we receive:

$$\begin{aligned} C_{\text{NO}_2}^{\min} &= \frac{0,89}{0,304} = 2,93 \text{ mg/l} \\ C_{\text{NO}_2}^{\max} &= \frac{1,37}{0,304} = 4,51 \text{ mg/l} . \end{aligned} \quad (14)$$

Concentration of nitrate ions (NO_3^-):

$$\begin{aligned} C_{\text{NO}_3}^{\min} &= \frac{9,78}{0,226} = 43,27 \text{ mg/l} \\ C_{\text{NO}_3}^{\max} &= \frac{27,95}{0,226} = 123,67 \text{ mg/l} . \end{aligned} \quad (15)$$

For average water consumption we receive:

$$\begin{aligned} C_{\text{NO}_3}^{\min} &= \frac{12,11}{0,226} = 53,58 \text{ mg/l} \\ C_{\text{NO}_3}^{\max} &= \frac{18,63}{0,226} = 82,43 \text{ mg/l} . \end{aligned} \quad (16)$$

The presence of nitrogen and phosphorus plays an important role in the biological treatment of wastewater. Nitrogen and phosphorus as biogenic compounds are part of living bacterial cells. With insufficient concentrations of nitrogen and phosphorus in wastewater, there is inhibition of biological purification processes, and with their complete absence, such processes become impossible. However, the content of total ammonium nitrogen and phosphates in wastewater increases from year to year. Exceeding the maximum permissible concentrations of discharge of biogenic compounds into natural reservoirs lead to flowering and eutrophication of the reservoir, increase in the content of biogenic and organic substances, decrease in the level of water saturation with oxygen, the appearance of anaerobic zones in the bottom layers, increase in water turbidity, changes in the color of water, contamination by pathogenic microorganisms, and as a result, is an obstacle to farming, tourism and has a threatening effect on human health. Biological methods of wastewater treatment are becoming especially relevant, as they are economically beneficial, easy to maintain, not difficult to operate, and certainly environmentally safe.

Results and discussion

Exceeding the maximum permissible concentrations of discharge of biogenic compounds into natural reservoirs leads to flowering and eutrophication of the reservoir, increase in the content of biogenic and organic substances, decrease in the level of water saturation with oxygen, the appearance of anaerobic zones in the

bottom layers, increase in water turbidity, changes in the color of water to green, yellow, brown or red, its contamination by microorganisms that get there with sewage, including pathogenic ones [18]. After calculations we received such dates about concentrstions of nitrogen (Table 3). When an excess amount of organic substances accumulates in bottom silt deposits, the processes of methane, hydrogen, hydrogen sulfide, and ammonia formation begin, which can form and be released in the form of gas bubbles, and when dissolved in water, they have a toxic and harmful effect on the flora and fauna of the reservoir, the quality deteriorates significantly indicators of drinking water [19].

Table 3. Summary table of nitrogen concentrations

Concentrations	The whole range		For average water consumption	
	min	max	min	max
N	38,6	110	47,8	73,3
NH ₄ ⁺	36,1	102,8	44,7	68,5
NO ₂ ⁻	2,35	6,74	2,93	4,51
NO ₃ ⁻	43,27	123,67	53,58	82,43
Nitrogen of ammonium salts N- NH ₄ ⁺	28,1	80	34,8	53,3
Nitrite nitrogen N- NO ₂ ⁻	0,72	2,05	0,89	1,37
Nitrate nitrogen N- NO ₃ ⁻	9,78	27,95	12,11	18,63

The concentration of biogenic elements and their regime depend on the intensity of biological and biochemical processes in the reservoir and on the amount of biogens entering the reservoir with wastewater and surface runoff in the catchment area. Concentrations of nitrogen and phosphorus characterize the trophicity of the reservoir. The regime of biogenic elements is considered as an initial indicator of potential eutrophication. Therefore, for further analysis, we have to calculate phosphorus concentrations. The results of the calculations are presented in table 4.

Concentration of total phosphorus in effluents:

$$S_P^{\min} = \frac{P}{Q_{\max}} * 1000 = \frac{1,8}{285} * 1000 = 6,31 \text{ mg/l} \quad (17)$$

$$S_P^{\max} = \frac{P}{Q_{\min}} * 1000 = \frac{1,8}{100} * 1000 = 18,0 \text{ mg/l} .$$

For average water consumption:

$$S_P^{\min} = \frac{1,8}{230} * 1000 = 7,83 \text{ mg/l} \quad (18)$$

$$S_P^{\max} = \frac{1,8}{150} * 1000 = 12,73 \text{ mg/l} .$$

Concentration of phosphorus in phosphate:

$$S_{PO_4}^{\min} = \frac{1,44}{285} * 1000 = 5,05 \text{ mg/l} \quad (19)$$

$$S_{PO_4}^{\max} = \frac{1,44}{100} * 1000 = 14,4 \text{ mg/l} .$$

For average water consumption:

$$S_{\text{PO}_4}^{\min} = \frac{1,44}{230} * 1000 = 6,26 \text{ mg/l} \quad (20)$$

$$S_{\text{PO}_4}^{\max} = \frac{1,44}{150} * 1000 = 9,60 \text{ mg/l} .$$

Concentration of phosphorus in other forms (organic):

$$S_{\text{PO}_4\text{opr}}^{\min} = \frac{1,8-1,44}{285} * 1000 = 1,26 \text{ mg/l} \quad (21)$$

$$S_{\text{PO}_4\text{opr}}^{\max} = \frac{1,8-1,44}{100} * 1000 = 3,60 \text{ mg/l} .$$

For average water consumption:

$$S_{\text{PO}_4\text{opr}}^{\min} = \frac{1,8-1,44}{230} * 1000 = 1,57 \text{ mg/l} \quad (22)$$

$$S_{\text{PO}_4\text{opr}}^{\max} = \frac{1,8-1,44}{150} * 1000 = 2,40 \text{ mg/l} .$$

Conversion of phosphorus into phosphate ions (PO_4^{3-})

Calculation of phosphorus in phosphates:

$$C_{\text{PO}_4}^{\min} = \frac{5,05}{0,326} = 15,49 \text{ mg/l} \quad (23)$$

$$C_{\text{PO}_4}^{\max} = \frac{14,4}{0,326} = 44,17 \text{ mg/l} .$$

For average water consumption:

$$C_{\text{PO}_4}^{\min} = \frac{6,26}{0,326} = 19,20 \text{ mg/l} \quad (24)$$

$$C_{\text{PO}_4}^{\max} = \frac{9,60}{0,326} = 29,45 \text{ mg/l} .$$

Conversion of phosphorus of other forms into phosphates:

$$C_{\text{PO}_4\text{opr}}^{\min} = \frac{1,26}{0,326} = 3,87 \text{ mg/l} \quad (25)$$

$$C_{\text{PO}_4\text{opr}}^{\max} = \frac{3,60}{0,326} = 11,04 \text{ mg/l} .$$

For average water consumption

$$C_{\text{PO}_4\text{opr}}^{\min} = \frac{1,57}{0,326} = 4,82 \text{ mg/l} \quad (26)$$

$$C_{\text{PO}_4\text{opr}}^{\max} = \frac{2,40}{0,326} = 7,36 \text{ mg/l} .$$

Conversion of total phosphorus into phosphates:

$$C_{\text{P}}^{\min} = \frac{6,31}{0,326} = 19,36 \text{ mg/l} \quad (27)$$

$$C_{\text{P}}^{\max} = \frac{18,0}{0,326} = 55,21 \text{ mg/l} .$$

For average water consumption:

$$C_p^{\min} = \frac{7,83}{0,326} = 24,02 \text{ mg/l} \quad (28)$$

$$C_p^{\max} = \frac{12,0}{0,326} = 36,81 \text{ mg/l} .$$

Table 4. Summary table of phosphorus concentrations

Concentrations	The whole range		For average water consumption	
	min	max	min	max
P	6,31	18,0	7,83	12,0
PO_4^{3-} phosphates	15,49	44,17	19,20	29,45
PO_4^{3-} organic compounds	3,87	11,04	4,82	7,36
PO_4^{3-} total phosphorus	19,36	55,21	24,02	36,81
Phosphorus phosphates $P - PO_4^{3-}$	5,05	14,4	6,26	9,60
Organic phosphorus compounds P	1,26	3,60	1,57	2,40

The content of total ammonium nitrogen in wastewater increases from year to year. In wastewater, in the presence of oxygen, the process of nitrification occurs, which goes almost to the end. In this way, ammonium nitrogen turns into nitrites, and then into nitrates. The content of a large amount of nitrates in surface waters is dangerous for health, the use of such water leads to the development of water-nitrate methemoglobinemia – a disease accompanied by oxygen starvation of body tissues and suppression of the activity of enzyme systems [20].

Therefore, the issue of removing nitrogen and phosphorus compounds from polluted wastewater before discharging it into natural reservoirs and improving existing technologies for biological wastewater treatment is urgent.

Conclusions and recommendations

The arrival of biogenic compounds of nitrogen and phosphorus in concentrations exceeding the maximum permissible for discharge into natural reservoirs leads to flowering and eutrophication of the reservoir, an increase in the content of biogenic and organic substances, a decrease in the level of water saturation with oxygen, the appearance of anaerobic zones in the bottom layers, an increase in water turbidity, changes in the color of water, its contamination by pathogenic microorganisms, and as a result is an obstacle to farming, tourism and has a threatening effect on human health.

In this article we calculated concentrations of biogenic compounds discharged into water bodies and analyzed main pollutants of water contamination. Water quality is affected by both point and nonpoint sources of pollution in rural and urban areas. Some of these sources include sewage discharge, industrial discharge and agricultural run-off. The concentration of biogenic elements and their regime depend

on the intensity of biological and biochemical processes in the reservoir and on the amount of biogens entering the reservoir with wastewater and surface runoff in the catchment area. The issue of soil water contamination by biogenic elements is extremely acute, especially for regions where there are no centralized water supply systems. The population uses ground water for drinking, which accumulates on the first waterproof layer. Exceeding the maximum allowable concentrations of the content of biogenic elements and, first of all, nitrate compounds in groundwater leads to the risk of diseases in the population.

Wastewater treatment requires special treatment facilities and units with the help of which polluting impurities are isolated, disinfected or neutralized. Domestic wastewater is cleaned by mechanical and biological methods. Industrial wastewater is treated together with domestic wastewater, but if the concentration of pollutants exceeds the permissible level or the wastewater contains highly toxic substances, then such water is pre-treated at the treatment facilities of the relevant enterprises and institutions and only after that it is discharged into general treatment facilities. Before discharging treated wastewater into reservoirs, they must be disinfected. Mechanical cleaning serves to remove insoluble substances from wastewater. Water filtration is used to retain the smallest insoluble particles of pollutants that are in a suspended state. For this, sand and gravel filters or special nets are used. Wastewater purification from mechanical impurities is also carried out with the help of a hydrocyclone – a unit that, in the process of rotating a water tank due to the action of centrifugal forces, removes suspended particles of pollutants from water (centrifugation).

Another important method of cleaning wastewater from biogenic compounds is the microalgae cleaning method.

There is also a need to develop innovative methods of wastewater treatment.

In the further studies, we plan to investigate the methods of handling concentrations of biogenic compounds in water bodies, as well as the impact and methods of processing organic waste.

REFERENCES

1. Peiyue, Li, Karunanidhi, D., Subramani, T., & Srinivasamoorthy K. (2021). Sources and Consequences of Groundwater Contamination. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 80, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s00244-020-00805-z>.
2. Pavliukh, L., Shamanskyi, S., Boichenko, S. and Jaworski, A. (2020). Evaluation of the potential of commercial use of microalgae in the world and in Ukraine. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 93(3), 429-436. <https://doi.org/10.1108/AEAT-08-2020-0181>.
3. Jing Dong, Qichao Zhou, Yunni Gao, Qianhong Gu, Genbao Li & Lirong Song (2018). Long-term effects of temperature and nutrient concentrations on the phytoplankton biomass in three lakes with differing trophic statuses on the Yungui Plateau, China. *Issue Ann. Limnol. Int. J. Lim.*, 54, 9. <https://doi.org/10.1051/limn/2017031>.
4. Shamanskyi, S., Boichenko, S., & Pavliukh, L. (2021). Estimated Efficiency of Biogenic Elements Removal from Waste Water in the Ideal Displacement Photobioreactor. In: Zaporozhets A., Artemchuk V. (eds) *Systems, Decision and Control in Energy II. Studies in Systems, Decision and Control*, (Vol. 346. pp. 347-361). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-69189-9_21.
5. Nezbrytska, I., Shamanskyi, S., Pavliukh, L., & Kharchenko, G. (2022). Assessment of inorganic nitrogen and phosphorus compounds removal efficiency from different types of wastewater using microalgae cultures. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 51(1), 45-52. <https://doi.org/10.26881/oahs-2022.1.05>.

6. Savic, R., Stajic, M., Blagojević, B., & Bezdan, A. (2022). Nitrogen and Phosphorus Concentrations and Their Ratios as Indicators of Water Quality and Eutrophication of the Hydro-System Danube–Tisza–Danube. *Agriculture*, 12, 935. <https://doi.org/10.3390/agriculture12070935>.
7. Osadcha, N.M., Osadchyi, V.I., Osipov, V.V., Biletska, S.V., Kovalchuk, L.A., & Artemenko, V.A. (2020). Methodology of selecting zones vulnerable to surface and groundwater pollution by nitrate compounds. *Ukr. geogr. z.*, 4(112), 38-48. <https://doi.org/10.15407/ugz2020.04.038>.
8. Types of water pollution and their consequences. Retrieved 29.09.2021 from: <https://www.akvantis.com.ua/stati-i-obzory/tipy-zagryazneniya-vody-i-ih-posledstviya>.
9. Clean water. Retrieved 04.11.2021 from: <https://texty.org.ua/water>.
10. Glińska-Lewczuk, K., Gołaś, I., Koc, J., Gotkowska-Plachta, A., Harnisz, M., & Rochwerger, A. (2016). The Impact of Urban Areas on the Water Quality Gradient along a Lowland River. *Environ. Monit. Assess.*, 188, 624. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5638-z>.
11. Khatri, N., & Tyagi, S. (2015). Influences of Natural and Anthropogenic Factors on Surface and Groundwater Quality in Rural and Urban Areas. *Front. Life Sci.*, 8, 23-39. <https://doi.org/10.1080/21553769.2014.933716>.
12. Horbachova, O., & Pavliukh, L. (2022). Modern technologies of organic waste management. Modern science innovations and prospects. In *Proceedings of the 10th International scientific and practical conference* (pp. 24-30). SSPG Publish. Stockholm, Sweden.
13. The most valuable resource of the XXI century. HB found out why the quality of drinking water in Ukraine is much worse than in European countries. Retrieved 01.12.2021 from: <https://nv.ua/ukr/amp/pitna-voda-v-ukrajini-znachno-girsha-nizh-u-yevropi-chomu-tak-vidbuvayetsya-50201225.html>.
14. Clean water. Retrieved 04.11.2021 from: <https://texty.org.ua/water>.
15. Capodaglio, A.G., & Olsson, G. (2020). Energy issues in sustainable urban wastewater management: use, demand reduction and recovery in the urban water cycle. *Sustainability*, 12, 266.
16. DBN V.2.5-75:2013. Kanalizatsiya. Zovnishni merezhi ta sporudy. Osnovni polozhennya proyektuvannya. (2013). Minrehion Ukrayiny. Kyiv.
17. DBN V.2.5-74:2013. Vodopostachannya. Osnovni polozhennya proyektuvannya. (2013). Minrehion Ukrayiny. Kyiv.
18. Zhukova, V.S., & Sabliy, L.A. (2012). Results of experimental studies of wastewater treatment technology from nitrogen compounds using immobilized microorganisms. *Water and water treatment technologies. Scientific and technical news*, 3, 25-31.
19. Shevchenko, T.O. (2016). Study of the impact of biogenic substances in urban wastewater discharged on surface water bodies. *Problems of water supply, drainage and hydraulics*, 27, 437-445.
20. Kabakov, A.B., & Shulgai, O.M. (2017). Alimentary water-nitrate methemoglobinemia in children of Ternopil region. *Child health*, 12(2), 256-259.

The article was received 09.08.2022 and was accepted after revision 23.11.2022

С. Шаманський, Л. Павлюх, О. Горбачова, В. Репета
АНАЛІЗ КОНЦЕНТРАЦІЙ БІОГЕННИХ СПОЛУК, ЩО СКИДАЮТЬСЯ
У ВОДОЙМИ З КОМУНАЛЬНИМИ СТИЧНИМИ ВОДАМИ

Анотація. У цій статті було проаналізовано вплив підвищеної концентрації біогенних елементів, а також підвищеної температури на частоту та величину розмноження ціанобактерій. Метою було виявлення основних причин поганої якості води в поверхневих водоймах України порівняно з країнами Європи, а також вплив надходження комунальних стічних вод у водойми на якість води в них. Показано, що забруднення біогенними елементами (сполуками азоту та фосфору) є однією з головних причин незадовільної якості води водних об'єктів. Це, у свою чергу, є

причиною цілої низки таких проблем, як зміна біологічної різноманітності і продуктивності водойм внаслідок евтрофікації прісноводних та морських екосистем, поширення захворювань, пов'язаних з незадовільною якістю питної води. Одним з головних джерел надходження біогенних елементів у поверхневі водойми є комунальні стічні води. Багаторічні спостереження за складом стічних вод комунальних систем каналізації свідчать про те, що концентрація біогенних елементів у них може бути різною. Це великою мірою залежить від джерел надходження стоків. В загальній кількості сполук азоту та фосфору, що надходять у стічні води, значне місце займає господарська діяльність мешканців селітебних територій. Досвід свідчить, що, не дивлячись на рівень забезпеченості водопостачанням, загальна маса біогенів, що надходять у каналізаційну систему від одного мешканця за певний період часу, є постійною. Разом з тим, враховуючи той факт, що водозабезпеченість мешканців є різною, концентрація біогенів у стічних водах також буде різною через різне розбавлення. Розрахунком показано, що для усього нормативно можливого діапазону рівнів водоспоживання (від 100 до 285 л/добу на одного мешканця) концентрація біогенних елементів у стічних водах може становити: загального азоту – від 38,6 до 110 мг/л; амонійного азоту – від 36,1 до 102,8 мг/л; нітритів – від 2,35 до 6,74 мг/л; нітратів – від 43,27 до 123,67 мг/л; загального фосфору – від 6,31 до 18 мг/л; фосфатів – від 15,49 до 44,17 мг/л; органічного фосфору – від 1,26 до 3,60 мг/л.

Ключові слова: забруднення; біогенні елементи; евтрофікація; стічні води; якість води

Стаття надійшла до редакції 09.08.2022 і прийнята до друку після рецензування 23.11.2022

Сергій Шаманський

доктор технічних наук, професор кафедри водопостачання та водовідведення Київського національного університету будівництва і архітектури
Адреса робоча: пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, Україна, 03037
ORCID ID: 0000-0002-6215-3438 **e-mail:** shamanskiy_s_i@ukr.net

Леся Павлюх

кандидат технічних наук, професор кафедри екології Національного авіаційного університету
Адреса робоча: проспект Любомира Гузара, 1, Київ, Україна, 03058
ORCID ID: 0000-0002-7715-4601 **e-mail:** lenyo@ukr.net

Олена Горбачова

аспірант кафедри екології Національного авіаційного університету
Адреса робоча: проспект Любомира Гузара, 1, Київ, Україна, 03058
ORCID ID: 0000-0002-9478-1009 **e-mail:** olenka.lenysia@gmail.com

Віктор Репета

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри вищої математики Національного авіаційного університету
Адреса робоча: проспект Любомира Гузара, 1, Київ, Україна, 03058
ORCID ID: 0000-0002-5615-7889 **e-mail:** victor.repeta@npp.nau.edu.ua

УДК 504.4.054

Olena Mitryasova¹, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Professor of the Ecology Department

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9107-4448> **e-mail:** eco-terra@ukr.net

Alla Shybanova², PhD, assistant professor of the Department of Ecological Safety and Nature Protection Activity

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0364-7056> **e-mail:** ashybanova16@gmail.com

Elvira Dzhumelia², PhD, assistant of the Department of Software

ORCID ID: 0000-0003-3146-8725 **e-mail:** elviradzhumelia@gmail.com

¹ Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine

² Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

PROGNOSIS MODELS OF NITRATES AND ORTHOPHOSPHATES CONTENT IN SURFACE WATERS

Abstract. *The dynamics of hydrochemical parameters such as nitrates, and orthophosphates of surface waters were analyzed. Based on the analysis of wide temporal monitoring data, of prognosis nitrates and orthophosphates of the surface waters were carried out.*

The purpose is an assessment of the state of the surface water by nitrates and orthophosphates hydrochemical parameters and their regression analysis.

The object of research – was to determine nitrates and orthophosphates indicators of the river water state during 12 years.

The regression analysis method using the Windows Excel CurveExpert software was used to determine the empirical dependencies and search for connections.

Against the background of high regulation of the Inhul river basin (the presence of 770 ponds and an irrigation system on 33 hectares, water use is carried out by more than 20 enterprises) showed the periodic nature of changes in hydrochemical parameters. Based on the obtained functions, prognoses to 2030 on annual averages were developed. The study is the basis for determining the mathematical model of natural fluctuations of the research indicators. Regression analysis allows obtaining a sinusoidal dependence on the orthophosphates content, which demonstrates 13 years fluctuation ($R = 0.90$). We have an 11-year sinusoidal wave with a period of 10 years and fairly high representativeness ($R = 0.85$) for nitrate content. The determined sinusoidal dependences of the integrated indicators of water quality allowed determining the average time of fluctuations concerning the processes of self-organization of river waters, which is about 11 years, and confirms the theory of "waves of life". The surface waters of the river are capable of self-renewal and their hydrochemical status has not yet reached a critical point, after which irreversible changes in the river ecosystem may occur.

Keywords: *nitrates; phosphates; prognosis models; water security; the prognosis of the environment state*

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.4.30-43>

Introduction

In 2015, within the framework of the 70th session of the UN General Assembly was held in New York UN Sustainable Development Summit and the adoption of the

Agenda, which approved new development guidelines. The final document of the Summit "Transformation of our world: the agenda in the field of sustainable development by 2030" 17 Sustainable Development Goals and 169 tasks were approved. One of the strategic goals of sustainable development is related to clean water, quality of water resources. The problem of surface water is one of the key challenges of humanity. In 2018, the International Decade for Action in the Field of Water Resources for Sustainable Development was launched. Water resources are a source of industrial and domestic water supply, and therefore play a crucial role in economic development and human life [1–7].

International experts from the World Health Organization have found that more than 60% of the world's diseases are caused by consumption of poor water. So today, water is regarded not only as a natural resource, it has a pronounced social significance. The regulatory framework for water quality assessment is formed based on general requirements for the composition and properties of water and the values of maximum permissible concentrations of substances in the water of water bodies. The general requirements determine the permissible composition and properties of water, which are assessed by the most important physical, bacteriological and chemical indicators [8–12].

Two indicators of water quality from the sanitary-toxicological group were selected for the study. These are nitrates and orthophosphates. We chose these indicators for the study because Nitrogen and Phosphorus are one of the main biogenic elements, they are the main elements of plant nutrition.

The presence of nitrate ions, NO_3^- , in natural waters is associated with:

- internal processes in the reservoir – nitrification of ammonium ions with the participation of oxygen under the action of nitrifying bacteria;
- atmospheric precipitation, which absorbs oxides of nitrogen formed during atmospheric electric discharges (the concentration of nitrates in precipitation reaches 0.9-1 mg);
- industrial and domestic wastewater, especially after biological treatment, when the concentration reaches 50 mg/dm³;
- runoff from agricultural lands from irrigated fields where nitrogen fertilizers are applied.

The main processes aimed at reducing the concentration of nitrates are their consumption by denitrifying bacteria and phytoplankton, which in the absence of oxygen use nitrate oxygenat to oxidize organic matter.

In surface waters, nitrates are in a dissolved form. The concentration of nitrates in surface waters is subject to seasonal fluctuations: minimal in the growing season, it increases in autumn and reaches a maximum in winter when the minimum consumption of nitrogen is the decomposition of organic matter and the transition of nitrogen from organic to mineral forms. The amplitude of seasonal fluctuations can be one of the indicators of eutrophication of a water body [13, 14, 15].

Orthophosphates, PO_4^{3-} , exist in three forms: orthophosphate, metaphosphate (or polyphosphate P_2O_5) and organically bound phosphate. Orthophosphates are used on agricultural land as fertilizers. They enter surface waters during rains or melting snow. Polyphosphates are used in laundry detergents and synthetic detergents. In water, they are converted to orthophosphate and are available for absorption by plants. Organic phosphate is phosphate that is bound in plant tissue, solid waste, or other organic material. Phosphates are present in clean water bodies in very small

quantities. It is an essential element for plant life, but when too much in the water, it can accelerate the eutrophication of rivers and lakes (a reduction in dissolved oxygen in water bodies caused by the effect of algal blooms). The increased content of phosphates in water is a consequence of its pollution. Natural unpolluted water bodies have a phosphate concentration of less than 0.1 mg/dm^3 , and sometimes even less than 0.03 mg/dm^3 . Phosphate concentrations in the water above 0.3 mg/dm^3 indicate obvious contamination. Phosphorus enters the water in both urban and agricultural environments. Orthophosphate forms are formed by natural processes, but the main sources are influenced by humans.

In recent years, phosphorus compounds have become one of the most dangerous water pollutants, which enter aquatic ecosystems with wastewater from cities, industrial production and agricultural mineral fertilizers. Municipal wastewater (containing detergents and organic waste) is discharged into rivers. Even after mechanical and biological treatment of water in purification plants, a large amount of phosphates enters the water. According to some reports, up to 75% of the total amount of phosphorus discharged into water bodies is brought by municipal wastewater. Another source of phosphates is various industrial wastes from chemical production, processing of vegetables and fruits, pulp and paper industry, etc. The contribution of the industrial group of effluents to the total amount of discharged phosphorus reaches 20%. Phosphorus is a common ingredient in agricultural fertilizers. In turn, grain crops are fed to farm animals, which produce manure rich in orthophosphates. Applying chemical fertilizers to soil already saturated with orthophosphates and applying excessive manure results in orthophosphate runoff during heavy rainfall and contamination of nearby water sources [16, 17, 18, 19, 20].

The purpose of this study is an assessment of the state of the surface water by nitrates and orthophosphates hydrochemical parameters and their regression analysis.

The object of research: nitrates and orthophosphates indicators of the river water state at the observation point Sofiyivske reservoir (drinking water intake of Novy Buh) during 2008–2020.

Study area and methods. The natural surface waters of the Inhul river, which is river of the Northern Black Sea Coast, Ukraine, were chosen as the object of the study. The Inhul river is the largest tributary of the Southern Buh, flowing through the Kirovohrad and Mykolaiv regions, Ukraine. The length of the Ingul River is 354 km, the slope of its flow is 0.4 m/km, and the feeding basin has an area of 9890 km^2 (Fig. 1).



Fig. 1. The Inhul river basin is on the territory of Ukraine [21]

Long-term monitoring of certain parameters allows building mathematical models for forecasting the evolution of surface waters to maintain sustainable use of water resources and prevent environmental crises [22–27]. Increased anthropogenic activity leads to excessive pollution of water resources [28–31].

One of the main problems of water resources of the Mykolaiv region (Ukraine) is the high over-regulation of rivers (dams, artificial ponds), and the discharge of polluted wastewater from industrial facilities and agricultural production. Sewage is discharged by 66% of water users, of which 40% discharges contaminated wastewater [32–35].

The specificity of this study is the temporal analysis of the dependences of nitrates and orthophosphates in the surface waters of the Inhul river on temperature. This allowed us to study the relationships between hydrochemical parameters and temperature changes, as well as to form predictive mathematical models of long-term dynamics. The main problem of water resources in Ukraine is the pollution of water bodies with insufficiently treated industrial and domestic wastewater; moral aging of fixed assets for water supply and water protection purposes, low productivity of treatment facilities.

Research methods. We used the following methods for our study: the method of analysis; cartographic, where the map provides an opportunity to present the object of study in space; mathematical modeling through the use of regression analysis. The regression analysis was used through the Windows Excel software of the multifunctional system CurveExpert to determine the empirical dependencies and find the links found in the regression function.

We have used the criterion of significance, or Fisher (formula 1) to assess the adequacy of the model. Also we have used Fisher distribution tables ($\alpha = 0.10$, $\alpha = 0.05$) for 120 degrees of freedom and critical Fisher distribution points for 12–17 degrees of freedom ($\alpha = 0.01$, $\alpha = 0.05$) to determine the significance of the function coefficients.

$$F = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{n-m-1}{m} , \quad (1)$$

where R is the regression coefficient (determination),
 n is the number of observations,
 m is the factors number in the regression equation.

The regression coefficient (determination) is a fraction of the variance of the dependent indicator, which is explained by the function (formula 2).

$$R^2 = 1 - \frac{\sigma^2}{\sigma(y)^2} , \quad (2)$$

where $\sigma^2(y) = D[y]$ – the variance of the random variable obtained from the measurements;

$\sigma^2 = D[y|x]$ – conditional variance depending on the exponent x in the function for which the regression coefficient is located.

The method of estimating the correlation level involves the possibility of direct use of the determination coefficient as a number describing the degree of deviation of the values from the values of the function, and then the qualitative analysis of the correlation degree is carried out by a table 1.

Table 1. Scale of the regression coefficient (determination)

Value	Interpretation
$R < 0$	Inverse correlation
$0 < R < 0.2$	Very weak
$0.2 < R < 0.5$	Weak
$0.5 < R < 0.7$	Average
$0.7 < R < 0.9$	High
$0.9 < R$	Very high

The quantification also determines the level of the standard error of rank correlation (formula 3) and builds a balance chart, which in the CurveExpert software package occurs automatically.

$$S = \sqrt{\frac{1-R^2}{n-2}} \tag{3}$$

Results

By the nature, features and consequences of the influence on the chemical composition formation of natural waters are influenced by the following factors: physical and geographical (relief, climate, weathering, soil cover); geological (rock composition, hydrogeological conditions); physico-chemical (chemical properties of elements, acid-base conditions, water mixing, ion exchange); biological (vital activity of living organisms in the aquatic environment and in catchment areas); anthropogenic (all factors associated with human activities). Conditions for the formation of the chemical composition of natural waters of different types depending on the ratio and sequence of manifestation of these factors [36–46].

Climate change, which is now a major topic for discussion and research, also has a direct impact on the hydrological and hydrochemical and hydrobiological regimes of the river. We investigated changes in river temperature for more than 10 years (Fig. 2).

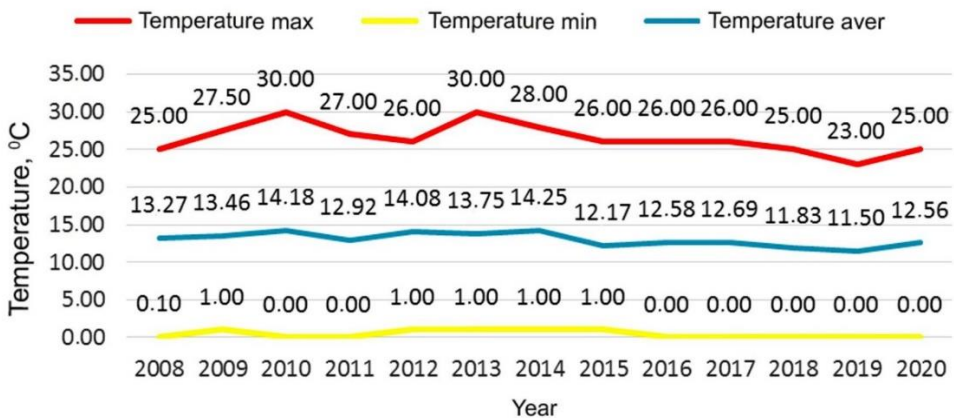


Fig. 2. Average water temperature changes

So, water temperature is the main indicator around which the analysis was carried out. This factor directly affects the hydrobiological and hydrochemical processes, and the solubility of substances. During the study, a regression analysis of the dynamics of annual averages and their seasonal quarterly dynamics during 2002–2020 was performed (data from the laboratory of water and soil monitoring of the Regional Office of Water Resources of the Mykolaiv region (Ukraine) (Law of Ukraine, Regional report). The recurrence of the studied indicators indicates the cyclical nature of natural and man-made processes that generate them (Fig. 3). Analysis of changes in water temperature (Fig. 3), despite the well-known facts of global warming, shows harmonic periodic fluctuations and even some decrease in temperature [21].

The red line indicates the maximum values of measurements, the blue – the average, the yellow – the minimum. The maximum measured data (red line) the peak values in 30°C were fixed in 2010 and 2013, and the minimum 23°C – in 2019. For the minimum values (yellow line) the stable mark in 0°C remains. except for 2009 and the period from 2012 to 2015, when the minimum values were 1°C. For average values, which are taken as a basis for further calculations, the peak values fall on 2010 (14,18°C), 2012 (14,08°C) and 2014 (14,25°C). Deviations were recorded only of the maximum temperatures for 2010 and 2013. The values of average temperatures were predicted for the next 10 years. The predictive mathematical model demonstrates the oscillatory (sinusoidal) nature of temperature change, despite all current claims about the impact of global warming on water resources.

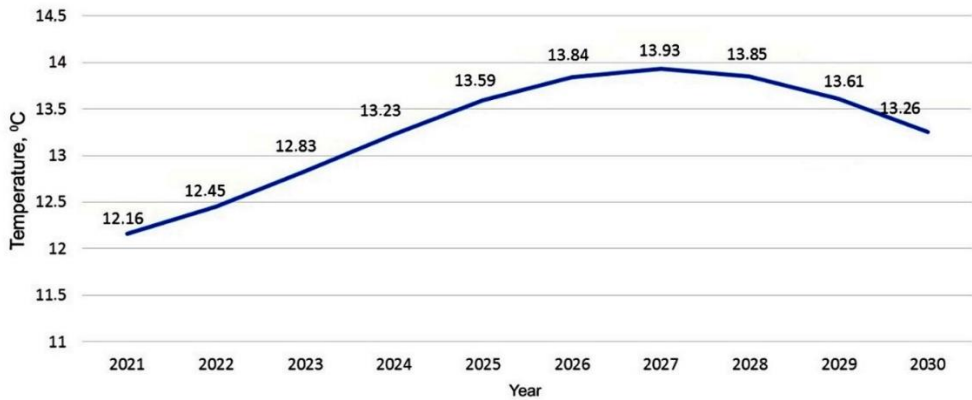


Fig. 3. Water temperature prognosis

Orthophosphates. According to the State Agency for Water Resources, there are two main MPC standards for orthophosphates: for household use and fisheries. Both are currently 3.5 mg/dm³ (Regional office of water resources). It was determined that the maximum values do not exceed the MPC when analyzing the dynamics of orthophosphates concentrations (Fig. 4)

Regression analysis allowed obtaining a sinusoidal dependence on the orthophosphates content, which demonstrated the period of fluctuation of 13 years. However, the period under study here also falls in the area of decline and growth until 2020 (Fig. 5.) Free state phosphorus is not found in natural conditions. In waters phosphorus is in organic and inorganic forms. The base mass of Phosphorus is suspended. Phosphorus compounds enter into natural water as a result of reservoir

processes, weathering and dissolution of rocks, exchange with bottom sediments and anthropogenic sources. The content of various phosphorus forms is influenced by the processes of its circle. In contrast to Nitrogen, the circle of phosphorus is unbalanced, which determines its lower content in water, so Phosphorus is a biogenic element whose content is limited.

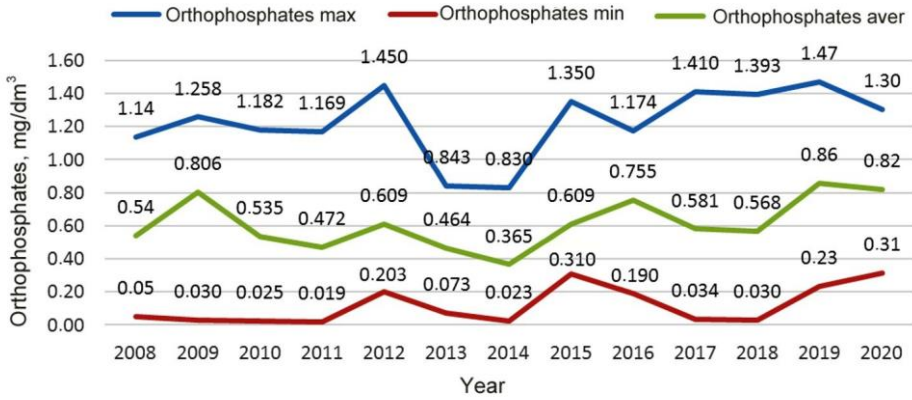


Fig. 4. Dynamics of the orthophosphates

The chemical composition of natural waters is influenced by direct and indirect factors. The direct factors are: atmospheric precipitation; soils, rocks, plants, groundwater, sewage (industrial, agricultural, household sources).

Indirect factors are: climate; relief, vegetation, water regime. Orthophosphates (PO_4^{3-}) are the main cause of eutrophication, as well as an important indicator of diffuse and point sources of pollution. Eutrophication is the result of the natural aging of reservoirs, as well as the consequence of anthropogenic action. The last factor is overwhelming.

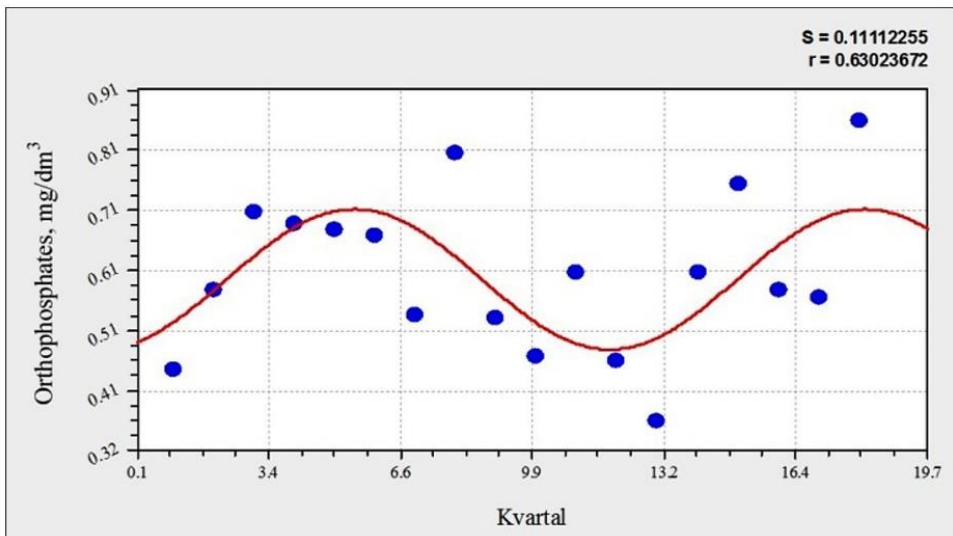


Fig. 5. A sinusoidal wave of orthophosphates content during 2002–2020

When forecasting, it is proposed to use the function (formula 4) as a more complete.

$$T = 0.598 + 0.116 \cos(0.496N - 2.714). \tag{4}$$

The obtained graph (Fig. 6) allows predicting natural fluctuations of phosphate content in the surface waters of the Inhul River. The prognosis, developed based on this function is highly reliable, due to the high regression coefficient of the function.

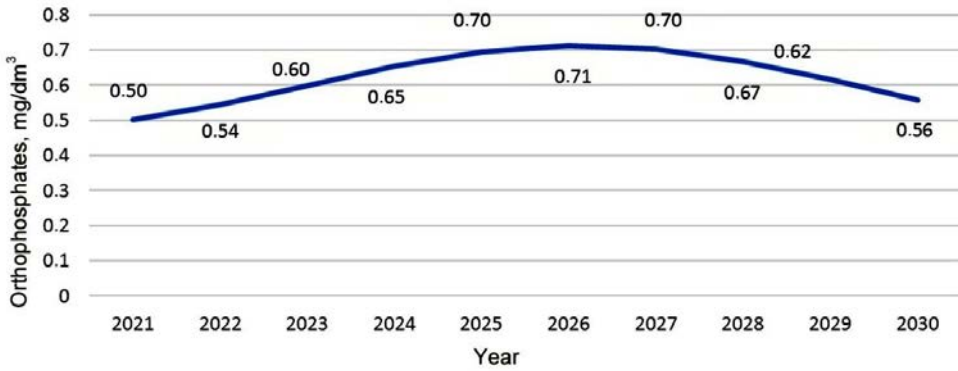


Fig. 6. Prognosis of orthophosphates content by 2030

Nitrates. Analysis of the dynamics of the content of nitrates as the main compounds of nitrogen, as a biogenic element, shows a significant excess of the MPC (45 mg/dm³) to 70.49 mg/dm³ in 2008 (Fig. 7). Nitrates indicators eutrophication and an important indicator of diffuse pollution by fertilizers (leaching from the soil), as the characteristics of the sewage works.

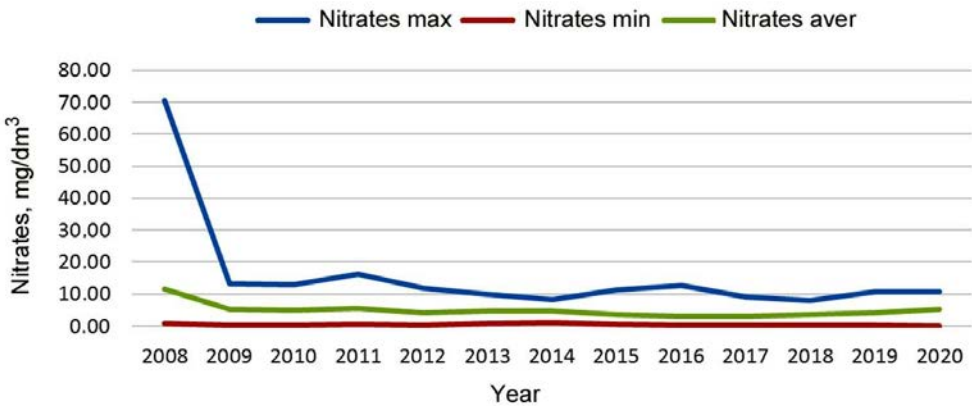


Fig. 7. Dynamics of the nitrates

Due to the anomaly of 2008 caused by mass accidental emissions of Galician treatment plants, which affected the entire river area, we have the highest representativeness for the growth function (Saturation Growth-Rate Model, Fig. 8).

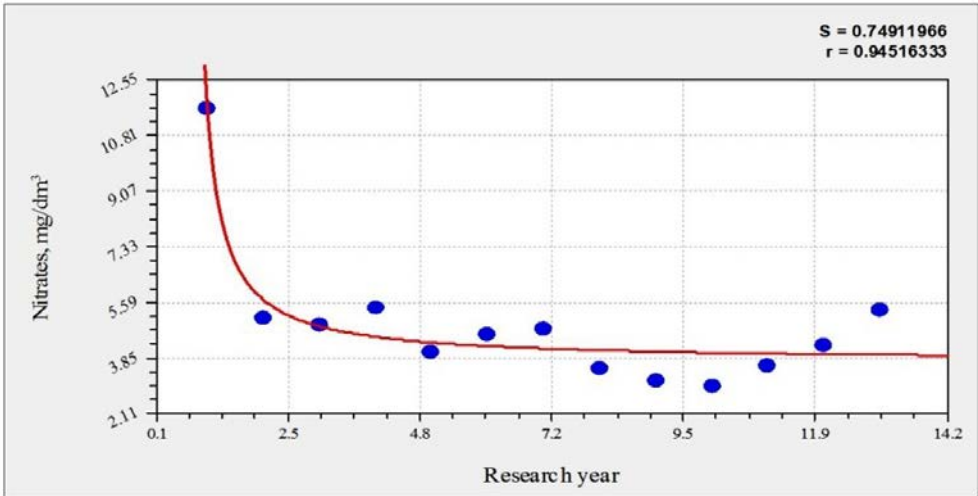


Fig. 8. The function of the nitrates concentration changes

However, although its regression coefficient of the function (formula 5) is high (0.95), we consider it necessary to note that the value of 2008 is the result of artificial pollution, not seasonal dynamics, so the forecast must be built without taking it into account.

$$T = \frac{3.75N}{N-0.68} \quad (5)$$

So if we exclude this anomaly, we get an 11-year sinusoidal wave (Fig. 9) with a period of 10 years and fairly high representativeness (R = 0.85).

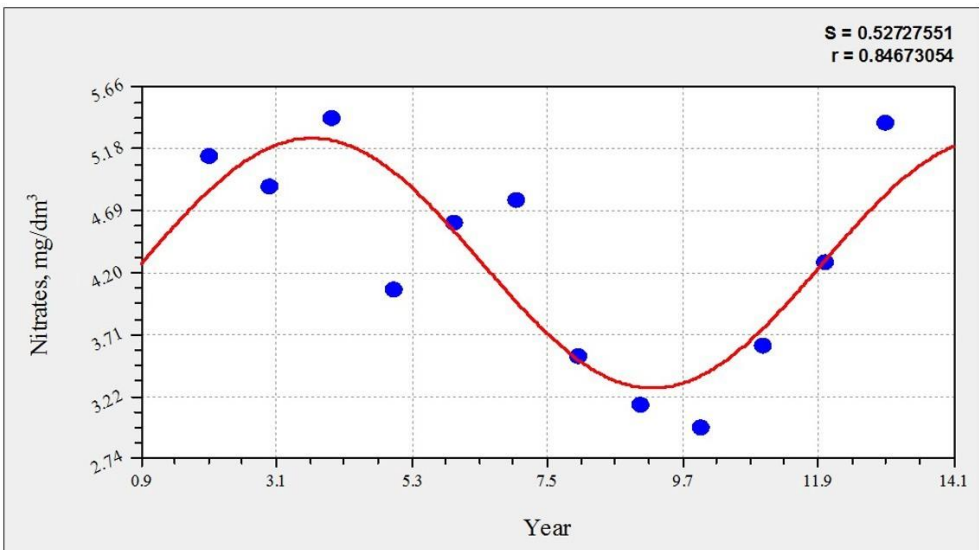


Fig. 9. A sinusoidal wave of nitrate content

The function (formula 6) determines the entry into the study period of the stage of decreasing values.

$$T = 4.28 + 0.985 \cos(0.568N - 2.081). \quad (6)$$

The prognosis (Fig. 10) shows stable natural dynamics of nitrate content in surface water.

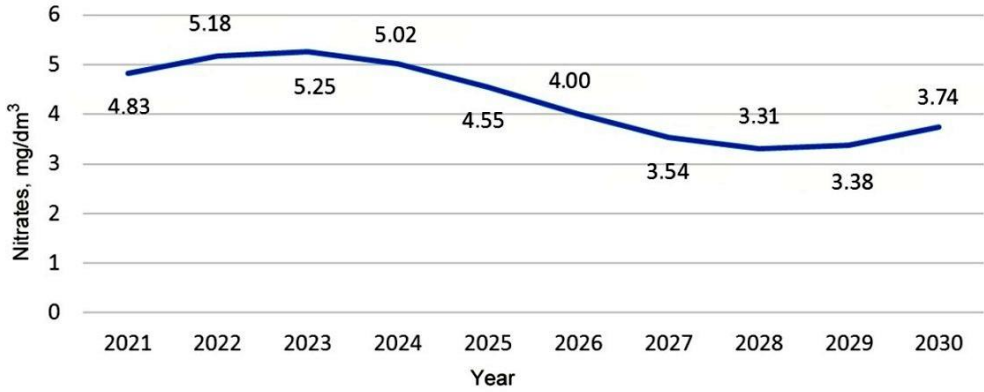


Fig. 10. Prognosis of nitrate content until 2030

Conclusions

The dynamics of the studied indicators over time, namely: temperature, nitrates and orthophosphates were presented as a regression analysis. Against the background of high regulation of the Inhul river basin (the presence of 770 ponds and an irrigation system on 33 hectares, water use is carried out by more than 20 enterprises) has shown the periodic nature of changes in hydrochemical parameters. Based on the obtained functions, prognoses for 2021–2030 on average annual averages have been developed. Regression analysis allows obtaining a sinusoidal dependence on the orthophosphates content, which demonstrates the period of fluctuation of 13 years. The study is the basis for determining the mathematical model of natural fluctuations of the studied indicators. Regression analysis allows obtaining a sinusoidal dependence on the orthophosphates content, which demonstrates the period of fluctuation of 13 years ($R = 0.90$). We have an 11-year sinusoidal wave with a period of 10 years and fairly high representativeness ($R = 0.85$) for nitrates content. The determined sinusoidal dependences of the integrated indicators of water quality allowed determining the average time of fluctuations concerning the processes of self-organization of river waters, which is about 11 years, and confirms the theory of "waves of life". Currently, the surface waters of the river are capable of self-renewal and their hydrochemical status has not yet reached a critical point, after which irreversible changes in the river ecosystem may occur.

Acknowledgements

We would like to express our gratitude to the Regional Office of Water Resources in the Mykolaiv region for creative collaboration during the research, for the opportunity to conduct the experimental work also.

REFERENCES

1. Adeel, Z. (2017). Water security as the centerpiece of the sustainable development agenda. In D. Devlaeminck, Z. Adeel, & R. Sandford (Eds.), *The human face of water security, water security in a new world* (pp. 25–43). essay, Springer, Cham.
2. G20 Leaders Communiqué Hangzhou Summit, 4-5 September 2016, EU. (2016). Retrieved from: http://europa.eu.rapid/press-releases_SIATEMENT-16-2967_en.htm.
3. The United Nations World Water Development Report 2019. (2019). Leaving No One Behind. Paris, UNESCO, France. Retrieved from: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367306>.
4. Chugai, A., & Safranov, T. (2020). Assessment of Technogenic Loading on the Surface Water Bodies of the Separate Regions of the North-Western Black Sea. *Journal of Ecological Engineering*, 21(5), 197–201.
5. Mitryasova, O., Pohrebennyk, V., Kochanek, A., & Stepanova, O. (2017). Environmental Footprint Enterprise as Indicator of Balance it's Activity. In *17th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2017* (17th ed., Vol. 51, no. 17, pp. 371–378). Albena, Bulgaria.
6. Bezsonov, Ye., Mitryasova, O., Smyrnov, V., & Smyrnova, S. (2017). Influence of the South-Ukraine electric power producing complex on the ecological condition of the Southern Bug River. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4/10(88), 20–28. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108322>.
7. Varady, R.G., Albrecht, T.R., Staddon, Ch., Gerlak, A.K., & Zuniga-Teran, A.A. (2021). The Water Security Discourse and Its Main Actors. In *Handbook of Water Resources Management: Discourses, Concepts and Examples* (pp. 215–252).
8. Bakker, K. (2018). The business of water. In: K. Conca, E. Weinthal (eds). *The Oxford handbook of water politics and policy* (pp. 407–429). Oxford University Press, New York.
9. Mitryasova, O., & Pohrebennyk, V. (2020). Hydrochemical Indicators of Water System Analysis as Factors of the Environmental Quality State. In G. Królczyk, M. Wzorek, A. Król, O. Kochan, J. Su, & J. Kacprzyk (eds.), *Sustainable Production: Novel Trends in Energy, Environment and Material Systems. Studies in Systems, Decision and Control* (Vol. 198, pp. 91–104). Springer, Cham.
10. de Strasser, L., Lipponen, A., Howells, M., Stec, S., & Bréthaut, C. (2016). A methodology to assess the water energy food ecosystems nexus in transboundary river basins. *Water*, 8(2), 59.
11. Meyer, A.M., Klein, C., Fünfroeken, E., Kautenburger, R., & Beck, H.P. (2019). Real-time Monitoring of Water Quality to Identify Pollution Pathways in Small and Middle Scale Rivers. *Science of the Total Environment*, 651, 2323–2333.
12. Pohrebennyk, V., Cygnar, M., Mitryasova, O., Politylo, R., & Shybanova, A. (2016). Efficiency of Sewage Treatment of Company «Enzyme». In *16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2016* (Book 5, Ecology, Economics, Education and Legislation, vol. II, Ecology and Environmental Protection, pp. 295–302). Albena, Bulgaria.
13. Mitryasova, O., & Pohrebennyk, V. (2017). Integrated Environmental Assessment of the Surface Waters Pollution: Regional Aspect. In *International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 2017* (Vol. 33, no. 17, pp. 235–242). Vienna, Austria.
14. Nechifor, V. (2018). Modelling freshwater resources use and the economic impacts of demand-driven water scarcity UK. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/327040227_Modelling_freshwater_resources_use_and_the_economic_impacts_of_demand-driven_water_scarcity.
15. Butler, D., Ward, S., Sweetapple, C., Astaraie-Imani, M., Diao, K., Farmani, R., & Fu, G. (2016). Reliable, Resilient and Sustainable Water Management: The Safe and SuRe Approach. *J. Global Challenges*, 1, 63–77.
16. Abbasi, T., & Abbasi, S.A. (2012). Water quality indices. Amsterdam: Elsevier Science Ltd.

17. Jepson, W., Budds, J., Eichelberger, L., Harris, L., Norman, E., O'Reilly, K., ... Young, S. (2017). Advancing human capabilities for water security: A relational approach. *J. Water Security*, 1, 46–52.
18. Mitryasova, O., Koszelnik, P., Gruca-Rokosz, R., Smirnov, V., Smirnova, S., Bezsonov, Ye., Zdeb, M., & Ziembowicz, S. (2020). Features of Heavy Metals Accumulation in Bottom Sediments of the Southern Bug Hydroecosystem. *Journal of Ecological Engineering*, 21(3), 51–60. <https://doi.org/10.12911/22998993/131120>.
19. Ishchenko, V., Pohrebennyk, V., Kochan, R., Mitryasova, O., & Zawislak, S. (2019). Assessment of Hazardous Household Waste Generation in Eastern Europe. In *International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2019* (Vol. 6.1, no. 19, pp. 559–566). Albena, Bulgaria.
20. Charis, M., & Galanakis, E.A. (2010). *Sustainable Water and Wastewater Processing*. Elsevier: Amsterdam, The Netherlands.
21. Mitryasova, O., Cieśla, M., Nosyk, A., & Mats, A. (2021). Hydrochemical Indicators Dynamic in Surface Water. *Journal of Ecological Engineering*, 22(8), 111–122. <https://doi.org/10.12911/22998993/140264>.
22. Ward, S., Borden, D. S., Kabo-Bah, A., Fatawu, A. N., & Mwinkom, X. F. (2019). Water resources data, models and decisions: International expert opinion on knowledge management for an uncertain but resilient future. *Journal of Hydroinformatics*, 21(1), 32–44.
23. Baleta, H., & Winter, K. (2017). Towards a shared understanding of water security risks in the public and private sectors. *Int J Water Resour Dev*, 33(2), 233–245.
24. Borchardt, D., Bogárdi, J., & Ibisch, R.B. (Eds.). (2016). *Integrated water resources management: concept, research and implementation*. Springer, Heidelberg and New York.
25. Soboleva, O.A., Anischenko, L.N., Shchetinskaya, O.S., Dolganova, M.V., & Demichov, V.T. (2020). Assessment of the ecological and chemical state of springs in urban and rural settlements of the Bryansk region based on monitoring data for 2012–2020. *J. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 12(5), 128–149.
26. Schickele, A., Leroy, B., Beaugrand, G., Francour, P., & Raybaud, V. (2020). Modelling European Small Pelagic Fish Distribution: Methodological insights. *Ecological Modelling*, 416, 108902.
27. Gerlak, A.K., House-Peters, L., Varady, R.G., Albrecht, T., Zúñiga-Terán, A., Scott, C.A., de Grenade, R., & Cook, C. (2018). Water security: a review of place-based research. *Environ Sci Policy*, 82, 79–89.
28. Petrov, O., Petrichenko, S., Yushchishina, A., Mitryasova, O., & Pohrebennyk, V. (2020). Electrospray Method in Galvanic Wastewater Treatment for Heavy Metal Removal. *Applied Sciences, Special Issue «Determination and Extraction of Heavy Metals from Wastewater and Other Complex Matrices»*, 10(15), 5148. Retrieved from: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/15/5148/htm>.
29. Jensen, O., & Wu, H. (2018). Urban water security indicators: development and pilot. *Environ Sci Policy*, 83, 33–45.
30. Jepson, W., Budds, J., Eichelberger, L., Harris, L., Norman, E., O'Reilly, K., Pearson, A., Shah, S., Shinn, J., Staddon, C., Stoler, J., Wutich, A., & Young, S. (2017). Advancing human capabilities for water security: a relational approach. *Water Secur*, 1, 46–52.
31. Mitryasova, O., Pohrebennyk, V., Salamon, I., Oleksiuk, A., & Mats, A. (2021). Temporal Patterns of Quality Surface Water Changes. *Journal of Ecological Engineering*, 22(4), 283–295.
32. Yurasov, S.M., Safranov, T.A., & Chugai, A.V. (2012). Otsinka yakosti pryrodnykh vod (Assessment of Natural Water Quality). Odessa: Ecology [in Ukrainian].
33. Lykhovyd, P.V., & Kozlenko, Ye.V. (2018). Assessment and forecast of water quality in the River Ingulets irrigation system. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(1), 350–355.
34. Mitryasova, O., Pohrebennyk, V., & Kardasz, P. (2018). Hydrochemical Aspects of Surface Water Quality Assessment. In *18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2018* (Vol. 5.2., no. 18, pp. 513–520). Albena, Bulgaria.

35. Vasenko, O.G., Rybalova, O.V., & Korobkova, G.V. Ekolohycheskoe normyrovanye kachestva poverkhnostnykh vod s uchetom rehyonalnykh osobennosti (Ecological Rationing of Surface Water Quality Taking into Account Regional Features). *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, 1(44), 21-33 [in Ukrainian].
36. Farrelly, M. & Brown, R. (2011). Rethinking Urban Water Management: Experimentation as a Way Forward? *J. Global Environmental Change*, 21(2), 721-732.
37. Vlasov, B., & Hryshchankava, N. (2014). Community of higher aquatic plants. *Zoology and Ecology*, 24(2). Retrieved from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21658005.2014.925240?scroll=top&needAccess=true>.
38. Jepson, W., Budds, J., Eichelberger, L., Harris, L., Norman, E., O'Reilly, K., ... Young, S. (2017). Advancing human capabilities for water security: A relational approach. *J. Water Security*, 1, 46-52.
39. Shakhman, I. A., & Bystriantseva, A. N. (2017). Assessment of Ecological State and Ecological Reliability of the Lower Section of the Ingulets River. *Hydrobiological Journal*, 53(5), 103-109.
40. Casal-Campos, A., Butler, G. Fu, D., & Moore, A. (2015). An Integrated Environmental Assessment of Green and Grey Infrastructure Strategies for Robust Decision Making. *J. Environmental Science and Technology*, 49(14), 8307-8314.
41. Pohrebennyk, V., Koshelnik, P., Mitryasova, O., Dzhumelia, E., & Zdeb, M. (2019). Environmental Monitoring of Soils of Post Industrial Mining Areas. *Journal of Ecological Engineering*, 20(9), 53-61. <https://doi.org/10.12911/22998993/134199>.
42. Regionalnyj ofis vodnyh resursiv u Mikolaïvs'kij oblasti (Regional office of water resources in the Mykolaiv area). Retrieved from: http://mk-vodres.davr.gov.ua/water_resources [in Ukrainian].
43. Stephenson, K., & Shabman, L. (2017). Can Water Quality Trading Fix the Agricultural Nonpoint Source Problem? *Annual Review of Resource Economics*, 9(1), 95-116.
44. Lintern, A., McPhillips, L., Winfrey, B.J.D., & Grady, C. (2020). Best Management Practices for Diffuse Nutrient Pollution: Wicked Problems Across Urban and Agricultural Watersheds. *Environmental Science & Technology*, 54(15), 9159-9174.
45. Byrne, D. M., Lohman, H. A. C. S., Cook, M., Peters, G. M. & Guest, J. S. (2017). Life Cycle Assessment (LCA) of Urban Water Infrastructure: Emerging Approaches to Balance Objectives and Inform Comprehensive Decision-Making. *J. Environmental Science: Water Research and Technology*, 3(6), 1002-1014.
46. Ignatowicz, K. (2020). Removal of Pesticides from Wastewater by the Use of Constructed Wetlands. *Journal of Ecological Engineering*, 21(1), 210-218.

The article was received 03.08.2022 and was accepted after revision 09.11.2022

О.П. Мітрясова, А.М. Шибанова, Е.А. Джумеля
ПРОГНОЗНІ МОДЕЛІ ВМІСТУ НІТРАТІВ І ФОСФАТІВ У ПОВЕРХНЕВИХ ВОДАХ

Анотація. Проаналізовано динаміку таких гідрохімічних показників, як нітрати та ортофосфати поверхневих вод. На основі аналізу даних широкого часового моніторингу проведено прогноз нітратів і ортофосфатів поверхневих вод.

Мета – оцінка стану поверхневих вод за гідрохімічними показниками нітратів і ортофосфатів та їх регресійний аналіз.

Мета дослідження – визначення нітратно-ортофосфатних показників стану води річки упродовж 12 років.

Для визначення емпіричних залежностей та пошуку зв'язків використовувався метод регресійного аналізу з використанням програми Windows Excel CurveExpert.

На фоні високої зарегульованості басейну річки Інгул (наявність 770 ставків та зрошувальної системи на 33 га, водокористування здійснюють понад 20 підприємств) показано періодичний характер зміни гідрохімічних показників. На основі отриманих функцій здійснено прогнози до 2030 р. за середньорічними показниками. Дослідження

є основою для визначення математичної моделі закономірних коливань досліджуваних показників. Регресійний аналіз дозволив отримати синусоїдальну залежність вмісту ортофосфатів, яка охоплює 13-річне коливання ($R = 0,90$). Отримано 11-річну синусоїду з періодом 10 років і досить високу репрезентативність ($R = 0,85$) за вмістом нітратів. Визначені синусоїдальні залежності інтегральних показників якості води дозволили визначити середній час коливань щодо процесів самоорганізації поверхневих вод, який становить близько 11 років і підтверджує теорію «хвиль життя». Поверхневі води річки здатні до самовідновлення, а їх гідрохімічний стан ще не досяг критичної точки, після якої можуть відбутися незворотні зміни в річковій екосистемі.

Ключові слова: нітрати; фосфати; прогнози моделі; безпека водних ресурсів; прогноз стану довкілля

Стаття надійшла до редакції 03.08.2022 і прийнята до друку після рецензування 09.11.2022

Мітрясова Олена Петрівна

доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри екології Чорноморського національного університету імені Петра Могили

Адреса робоча: 54003, Україна, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10

ORCID ID: 0000-0002-9107-4448 **e-mail:** eco-terra@ukr.net

Шибанова Алла Миколаївна

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності НУ «Львівська політехніка»

Адреса робоча: 79013, Україна, м. Львів, вул. С. Бандери, 12

ORCID ID: 0000-0003-0364-7056 **e-mail:** ashybanova16@gmail.com

Джумеля Ельвіра Анатоліївна

доктор філософії, асистент кафедри програмного забезпечення НУ «Львівська політехніка»

Адреса робоча: 79013, Україна, м. Львів, вул. С. Бандери, 12

ORCID ID: 0000-0003-3146-8725 **e-mail:** elviradzhumelia@gmail.com

UDC 504.3.054

Oksana Tykhenko, D.Sc. of Engineering, Ass. Prof.
ORCID ID: 0000-0001-6459-6497 *e-mail*: okstih@ua.fm

Iryna Matvieieva, D.Sc. of Engineering, Prof.
ORCID ID: 0000-0002-8636-0538 *e-mail*: iryna.valeriivna.matvieieva@gmail.com

Valentina Groza, PhD of Physico-mathematical Sciences, Ass. Prof.
e-mail: valentina.groza@gmail.com

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ANALYSIS OF AEROTECHNOGENIC POLLUTION OF THE VINNYTSIA USING PHYTOINDICATION METHODS

***Abstract.** Today, the anthropogenic impact on the environment is increasing, especially in urbanized areas and territories where active hostilities are taking place. Among a number of urgent environmental problems, it is possible to single out atmospheric air pollution, which occurs as a result of the concentration of road transport and industry in safe areas. The article presents the results of research into the state of atmospheric air pollution in the city of Vinnytsia using phytoindication methods, namely the degree of fluctuating asymmetry of warty birch leaves, and established the dependence of the fluctuating asymmetry on the level of traffic load. The research was conducted at the end of July in 2021 and 2022, after the end of the growing season of warty birch (*Betula pendula*). In the city of Vinnytsia, six representative experimental sites with different levels of anthropogenic load were identified. Fluctuation asymmetry coefficients of warty birch leaves were calculated for each experimental site and indicators of the asymmetry coefficient were determined. The level of motor vehicle load on experimental sites was established and a correlation-regression model of the dependence of the coefficient of fluctuation asymmetry of the leaves of the warty birch on the level of motor vehicle load was calculated. Conducting biomonitoring of aerotechnogenic pollution of urban ecosystems is necessary for finding ways to optimize its quality.*

***Key words:** phytoindication; warty birch; coefficients of fluctuation asymmetry; motor vehicle load*

О.М. Тихенко, І.В. Матвєєва, В.А. Гроза

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

АНАЛІЗ АЕРОТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ МІСТА ВІННИЦЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ФІТОІНДИКАЦІЇ

***Анотація.** На сьогоднішній день антропогенний вплив на довкілля посилюється, особливо на урбанізованих та територіях, де ведуться активні бойові дії. Серед низки актуальних екологічних проблем можна виділити забруднення атмосферного повітря, що відбувається внаслідок концентрації автомобільного транспорту та промисловості на безпечних територіях. У статті наведені результати дослідження стану забруднення атмосферного повітря міста Вінниця із застосуванням методів фітоіндикації, а саме ступеня прояву флуктуаційної асиметрії листків берези бородавчастої, та встановлено залежність величини флуктуаційної*

асиметрії від рівня транспортного навантаження. Дослідження проводилися наприкінці липня у 2021 та 2022 рр., після закінчення вегетаційного періоду берези бородавчастої (*Betula pendula*). У місті Вінниця було визначено шість репрезентативних дослідних майданчиків із різним рівнем антропогенного навантаження. Розраховано коефіцієнти флуктуаційної асиметрії листків берези бородавчастої для кожної дослідної ділянки та визначено показники коефіцієнта асиметрії. Встановлено рівень автотранспортного навантаження на дослідних майданчиках та розраховано кореляційно-регресійну модель залежності величини коефіцієнта флуктуаційної асиметрії листків берези бородавчастої від рівня автотранспортного навантаження. Проведення біомоніторингу аеротехногенного забруднення урбоекосистем є необхідним для пошуку шляхів оптимізації його якості.

Ключові слова: фітоіндикація; береза бородавчата; коефіцієнти флуктуаційної асиметрії; автотранспортне навантаження

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.4.44-52>

Вступ

На сьогоднішній день антропогенний вплив на довкілля посилюється, зокрема і внаслідок ведення бойових дій [1]. Погіршення якості атмосферного повітря досить часто спостерігається і на відносно безпечних територіях.

На сьогоднішній день складовою частиною екологічного моніторингу якості повітря є фітоіндикація. Багато рослин чутливі до різних факторів зовнішнього середовища і можуть існувати лише в певних, часто вузьких межах своєї мінливості. При оцінці аеротехногенного навантаження на території метод фітоіндикації досить ефективний, оскільки живі системи надзвичайно чутливі до змін у довкіллі і мають здатність реагувати до того, як ці зміни стануть помітними. Перевагою використання фітоіндикаторів є те, що вони узагальнюють усі біологічно важливі дані про довкілля і відображають його стан у цілому; не вимагають використання дорогих методів дослідження; вказують шляхи та місця накопичення в екосистемах різних видів забруднення; дають змогу оцінити ступінь шкідливості речовин для живої природи [2].

Вінницька область в екологічному рейтингу областей України у 2021 р. була на 9-му місці, а у 2022 р. – на 10-му [3]. За офіційними даними, збільшилася кількість шкідливих викидів в області. Систематичні спостереження за вмістом шкідливих речовин в атмосферному повітрі м. Вінниця проводяться лабораторією спостережень за забрудненням атмосфери Вінницького обласного центру з гідрометеорології на двох стаціонарних постах (ПСЗ): ПСЗ № 1 розташований по вулиці Київська, 25; ПСЗ №2 – на Немирівському шосе, 29 [3, 4]. Проводиться моніторинг 15 забруднювальних домішок, з них основні – завислі речовини, діоксид сірки, оксид вуглецю та діоксид азоту і специфічні – фтористий водень, аміак, формальдегід та вісім важких металів (залізо, кадмій, манган, мідь, нікель, свинець, хром, цинк). Оцінка стану забруднення атмосферного повітря проводиться шляхом порівняння з відповідними гранично допустимими концентраціями (ГДК) речовин у повітрі населених міст. Механізм організації та здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря визначено у [6].

У липні 2022 р. в атмосферному повітрі міста Вінниця спостерігався помірний вміст діоксид азоту, фтористого водню та формальдегіду. Загалом по

місту середня за липень концентрація по діоксид азоту перевищувала ГДК_{сд} у 1,7 раза, по фтористому водню – у 1,6 раза, формальдегіду – 2,4 (табл. 1).

Таблиця 1. Середньомісячні концентрації забруднювальних речовин в атмосферному повітрі м. Вінниця (в кратності ГДК_{сд}) за липень 2022 р. і в порівнянні з липнем 2021 р.

Домішки	Номери ПСЗ		По місту	
	1	2	2022 рік	2021 рік
	середньомісячні концентрації в кратності ГДК			
завислі речовини	0,7	0,5	0,6	0,5
діоксид сірки	0	0	0	0,0
оксид вуглецю	0,2	0,2	0,2	0,3
діоксид азоту	2,3	1,1	1,7	2,4
фтористий водень	1,5	1,6	1,6	1,5
аміак	не визначається	0,2	0,2	0,2
формальдегід	2,4	не визначається	2,4	1,5

За індексом забруднення атмосферного повітря (ІЗА) загальний рівень забруднення у липні 2022 р. по місту Вінниця характеризувався як високий і становив 7,5, але дещо нижчий ніж у 2021 р., коли становив 8,1 [3, 4].

Наразі, за даними екологічного чат-боту SaveEcoBot, у місті Вінниця встановлено 8 станцій моніторингу стану атмосферного повітря [7]. Основними джерелами забруднення повітря у місті Вінниця є підприємства харчової галузі: Вінницька кондитерська фабрика ROSHEN, Вінницький завод фруктових концентратів і вин «Солодка мрія», Вінницький масложиркомбінат (ViOil), Вінницький молокозавод ROSHEN та транспорт.

Метою дослідження є визначення якості атмосферного повітря міста Вінниця на основі флуктуаційної асиметрії листків берези бородавчастої (*Betula pendula*).

Методика дослідження

Для визначення аеротехногенного навантаження у місті Вінниця було застосовано метод фітоіндикації, що базується на морфогенетичному підході. Цей підхід засновано на внутрішньоіндивідуальній мінливості морфологічних структур, а саме, ступені прояву флуктуаційної асиметрії листя. Відхилення в симетрії може бути показником забруднення атмосферного повітря. Тобто, основною вимогою методу є наявність у рослин чітко вираженої двосторонньої асиметрії.

У міському середовищі оптимальними біоіндикаторами зазвичай є деревні рослини, тому що у деревних форм щорічно формується листя і багато видів має широке розповсюдження й чітко виражені ознаки, отже, це дає можливість проводити постійний моніторинг. Принцип дослідження базується на порушенні симетрії листової пластинки у деревних форм рослин під впливом антропогенного фактора. Як біоіндикатор, який був використаний для експрес-оцінки якості атмосферного повітря міста Вінниця за флуктуаційною асиметрією, була обрана береза бородавчаста (*Betula pendula*).

Для дослідження морфометричних параметрів листя збір матеріалу проводився після закінчення інтенсивного росту наприкінці липня. На кожній дослідній ділянці було зібрано по 40 листків. Листя було зібране з нижньої частини крони приблизно однакового розміру з максимальної кількості доступних гілок на рівні піднятої руки, всі листки упаковувались в поліетиленовий пакет, у нього поміщали етикетку з назвою місця і дати збору. Для вимірів довжини черешка, довжини і ширини листкової пластинки використовували вимірювальний циркуль та лінійку, для вимірювання кута між жилками використовувався транспортир.

Рівень флуктуаційної асиметрії листка визначали за методикою В.М. Захарова [8]. З кожного екземпляра знімали показники за п'ятьма ознаками з лівого і правого боків листка. Заміри здійснювалися вимірювальним циркулем та лінійкою, значення отримували у см, кут між жилками – транспортиром, показники відмічалися у градусах.

Листки вимірювалися за наступними параметрами з обох сторін:

1. ширина половини листка;
2. довжина другої від основи листка жилки 2-го порядку;
3. відстань між основою першої та другої жилок 2-го порядку;
4. відстань між кінцями першої та другої жилок 2-го порядку;
5. кут між основною жилкою і другою від основи листка жилкою 2-го порядку.

Величину асиметрії у рослин визначали як різницю у вимірах зліва і справа, віднесено до суми вимірів на двох сторонах. Спочатку для кожного листка за кожною ознакою розраховували відносні величини асиметрії. Для цього, згідно з формулою 1, визначали відмінність у вимірах кожної з п'яти ознак (A_i).

$$A_i = \frac{X_{л}-X_{п}}{X_{л}+X_{п}}, \quad (1)$$

де $X_{л}$ – модуль різниці між вимірами зліва; $X_{п}$ – модуль різниці між вимірами справа.

За допомогою значень флуктуаційної асиметрії листя за кожною ознакою було обчислено показник асиметрії для кожного листка (B_i), підсумовуючи їх, отримане значення ділили на кількість ознак ($N = 5$), формула 2:

$$B_i = \frac{A_1+A_2+A_3+A_4+A_5}{N}. \quad (2)$$

Після цього було визначене значення коефіцієнта асиметрії для кожної дослідної ділянки (X_i) за формулою 3:

$$X_i = \frac{B_1+B_2+\dots+B_q}{q}, \quad (3)$$

де q – кількість листків.

За середнім значенням коефіцієнта асиметрії листя можна зробити висновки про якість повітря на певній території відповідно до 5-бальної шкали якості середовища існування живих організмів за показником флуктуаційної асиметрії вищих рослин (для берези бородавчастої) (табл. 2).

Таблиця 2. Балова система якості середовища існування живих організмів за показником флуктуаційної асиметрії вищих рослин

Кількість балів	Коефіцієнт асиметрії (X_i)	Характеристика повітря
1 бал	До 0,055	Чисте повітря
2 бали	0,055-0,06	Відносно чисте повітря
3 бали	0,06-0,065	Забруднене повітря
4 бали	0,065-0,07	Сильно забруднене повітря
5 балів	Більше 0,07	Надто сильно забруднене повітря

Результати досліджень

Для дослідження забрудненості повітря на території міста Вінниця було виділено шість дослідних ділянок з різним ступенем антропогенного навантаження (рис. 1).

Ділянкою з найбільшим антропогенним навантаженням є ділянка № 1, яка розташована біля залізничного вокзалу, також поряд знаходяться кілька автостоянок (як самостійні, так і біля торговельних центрів).

Ділянка № 2, віддалена від центру міста, друга за ступенем забрудненості, вона піддається не лише впливу автотранспорту, а також знаходиться біля ПрАТ «Roshen».

Ділянка № 3 знаходиться в центрі міста, основний вплив на живі організми чинять викиди автотранспорту.

Ділянка № 4 розташована на території парку, біля селітебної зони.

Ділянка № 5 знаходиться за містом, її оточує лісовий масив. Проте, не дивлячись на віддаленість ділянки від міста, тут спостерігається досить інтенсивний рух автотранспорту на позаміській автомагістралі.

Ділянка № 6 знаходиться на околиці міста, але рух автотранспорту тут досить інтенсивний.

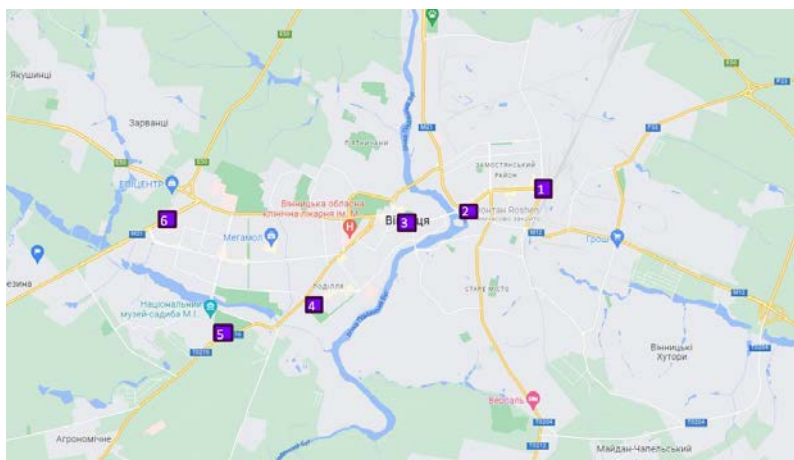


Рис. 1. Карта-схема дослідних ділянок

У табл. 3 наведена узагальнена характеристика дослідних ділянок та інтенсивність руху автотранспорту по кожній ділянці.

Таблиця 3. Характеристика дослідних ділянок

№ ділянки	Характеристика	Інтенсивність руху автотранспорту, авто/год		2022/ 2021 (x)
		2021	2022	
1	Ділянка поблизу залізничного вокзалу, також поряд розташовані кілька стоянок	6132	6252	1,019
2	Ділянка поблизу ПрАТ «Roshen»	3927	4021	1,023
3	Центр міста, основне джерело забруднення – викиди автотранспорту	3705	3744	1,010
4	Ділянка на території парку, біля селітебного району	974	935	0,96
5	Ділянка, що знаходиться за межею міста, лісовий масив	2539	2756	1,085
6	Район з посиленням рухом автотранспорту	4546	4632	1,018

В результаті проведення дослідження аеротехногенного забруднення міста Вінниця було розраховано середній коефіцієнт асиметрії для кожної дослідної ділянки в 2021 та 2022 рр. (рис. 2, 3).

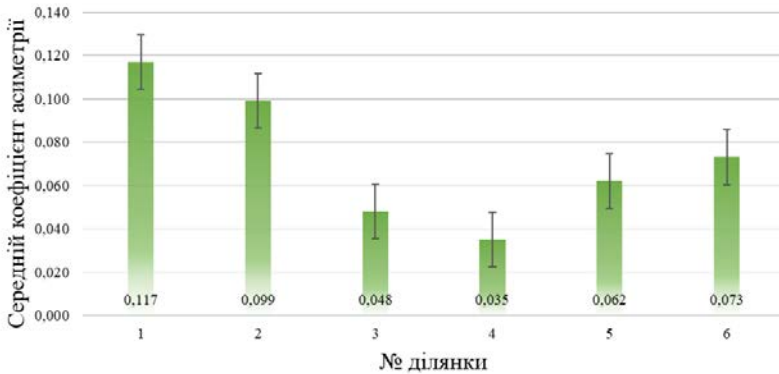


Рис. 2. Значення середнього коефіцієнта асиметрії листків на дослідних ділянках у 2021 р.

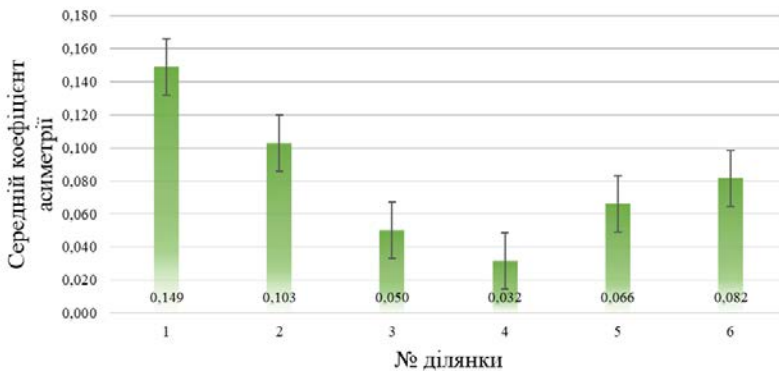


Рис. 3. Значення середнього коефіцієнта асиметрії листків на дослідних ділянках у 2022 р.

Відповідно до балової системи якості середовища існування живих організмів за показником флуктуаційної асиметрії вищих рослин (для берези бородавчастої) (табл. 2) визначено рівень аеротехногенного забруднення.

Практично по усіх дослідних ділянках спостерігається зростання коефіцієнта асиметрії у 2022 р. у порівнянні з 2021 р. Найбільше зростання коефіцієнта асиметрії спостерігається на дослідній ділянці № 1, що можна пов'язати зі збільшенням рівня транспортного навантаження (табл. 3).

Також збільшився коефіцієнт асиметрії на дослідній ділянці № 2, 5, 6, що також можна пов'язати зі збільшенням інтенсивності руху автотранспорту у даних районах.

Найменший показник коефіцієнта асиметрії у 2021 р. спостерігається на дослідній ділянці № 3, найбільший – на ділянці № 1. У 2022 р. найбільший показник спостерігається також на ділянці № 1, найменший – на ділянці № 3. На рис. 4 відображена динаміка зміни коефіцієнта асиметрії листя берези бородавчастої у 2021 і 2022 рр.

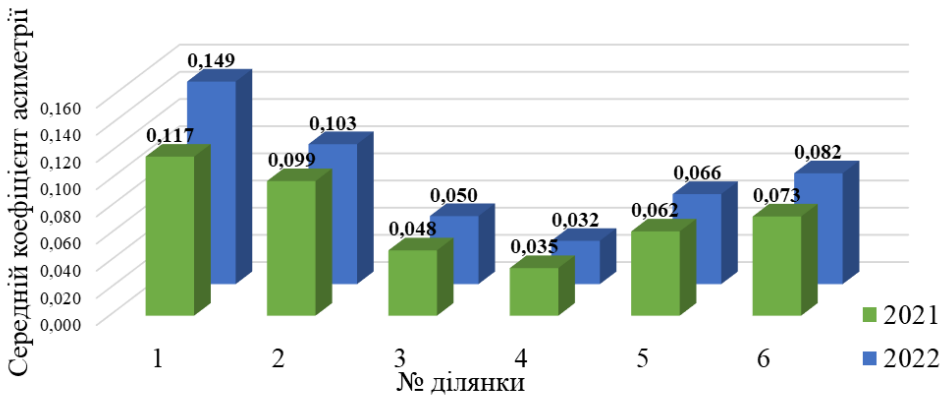


Рис. 4. Динаміка коефіцієнта асиметрії 2021–2022 рр.

З метою визначення зв'язку між коефіцієнтом асиметрії та транспортним навантаженням було створено регресійну модель (табл. 4).

Таблиця 4. Розрахунок параметрів рівняння регресії

№ ділянки	2022/ 2021 (y)	x	Розрахункові величини			Теоретичне значення \hat{y}	Квадрат відхилень	
			yx	y^2	x^2		$(\hat{y} - y_{сер})^2$	$(y - \bar{y})^2$
1	1,27	1,019	1,299	1,623	1,04	1,075	2,84E-08	0,03937
2	1,04	1,023	1,065	1,082	1,049	1,080	1,96E-05	0,00156
3	1,04	1,010	1,055	1,089	1,021	1,066	9,40E-05	0,00050
4	0,9	0,96	0,873	0,827	0,922	1,013	3,97E-03	0,01062
5	1,07	1,085	1,16	1,142	1,178	1,145	4,80E-03	0,00578
6	1,12	1,018	1,138	1,248	1,038	1,075	7,31E-07	0,00180
Σ	6,453	6,2	6,664	7,012	6,41	6,453	0,01036	0,0596
Середнє	1,076	1,033	1,11	1,169	1,069	1,076	0,00148	0,0099

Розрахунок парного коефіцієнта кореляції ($r = 0,927$) показав високий ступінь зв'язку між аналізованими параметрами. Різниця між індексом

кореляції та коефіцієнтом кореляції менше 0,1, тоді зв'язок вважати прямолінійним: $i - r = 0,976 - 0,927 = 0,049$. Отже, в якості моделі можна використовувати регресійне рівняння $\bar{y} = 0,00124 + 1,053 * x$.

Висновки

1. За результатами дворічного дослідження флуктуаційної асиметрії листя берези бородавчастої проаналізовано зміни якості повітря у місті Вінниця. За бальною системою якості середовища існування живих організмів за показником флуктуаційної асиметрії вищих рослин встановлено, що в центрі міста (дослідна ділянка № 3) рівень забруднення повітря низький, тобто в цьому районі спостерігається мінімальне аеротехногенне навантаження. Дуже високий рівень забруднення повітря встановлений на ділянці поблизу залізничного вокзалу (дослідна ділянка № 1).

2. Регресійне рівняння $\bar{y} = 0,00124 + 1,053 * x$ показує залежність зміни коефіцієнта асиметрії (\bar{y}) від зміни транспортного навантаження і його можна використовувати для визначення змін інтенсивності руху транспорту в залежності від динаміки флуктуаційної асиметрії, що є важливим для діагностики стану міського середовища і надасть можливість швидко та зручно визначати динаміку змін аеротехногенного навантаження на урбокосистеми.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рибалова О. В., Бригада О. В., Ільїнський О. В., Бондаренко О. О., Рихлик К. В. Забруднення атмосферного повітря на Сході України внаслідок бойових дій. *Science and innovation of modern world. Proceedings of the 2nd International scientific and practical conference.* (October 26-28, 2022). Cognum Publishing House. London, United Kingdom. 2022. PP. 319–328. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/10/SCIENCE-AND-INNOVATION-OF-MODERN-WORLD-26-28.10.22.pdf>.
2. Nykytiuk P. Phytoindication: basic diagnostic characteristics and approaches. *Danish Scientific Journal.* №35, 2020. PP. 5–9.
3. Вінниччина – в екологічному рейтингу областей. FOCUS.UA: веб-сайт. URL: <https://focus.ua/uk/ratings/504721-ekologicheskij-reyting-oblastey-ukrainy-2021>.
4. Щомісячний бюлетень забруднення атмосферного повітря міста Вінниці за липень 2021 року № 07 / Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Вінницький обласний центр з гідрометеорології. URL: <https://www.vmr.gov.ua/ecology#3>.
5. Щомісячний бюлетень забруднення атмосферного повітря міста Вінниці за липень 2022 року № 07 / Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Вінницький обласний центр з гідрометеорології. URL: <https://www.vmr.gov.ua/ecology#3>.
6. Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря. Постанова Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 р. № 827. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF#n18>.
7. SaveEcoBot: Мапа якості атмосферного повітря. URL: <https://www.saveecobot.com/maps#7/48.698/24.961/aqi>.
8. Савосько В. М. Методика дослідження флюктуючої асиметрії листків деревних видів в промислових регіонах (на прикладі берези повислої (*Betula pendula* Roth)). Екологічний вісник Криворіжжя: збірник наукових та науково-методичних праць. Кривий Ріг, 2015. Вип. 1. С. 105–110. <https://doi.org/10.31812/123456789/2933>.

Стаття надійшла до редакції 11.07.2022 і прийнята до друку після рецензування 24.10.2022

REFERENCES

1. Rybalova, O.V., Bryhada, O.V., Ilinskyi, O.V., Bondarenko, O.O., & Rykhlyk, K.V. (2022). Zabrudnennia atmosfernoho povitria na Skhodi Ukrainy vnaslidok boiovykh dii. In *Science and innovation of modern world. Proceedings of the 2nd International scientific and practical conference* (pp. 319–328). London, United Kingdom: Cognum Publishing House. Retrieved from: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/10/SCIENCE-AND-INNOVATION-OF-MODERN-WORLD-26-28.10.22.pdf> [in Ukrainian].
2. Nykytiuk, P. (2020). Phytoindication: basic diagnostic characteristics and approaches. *Danish Scientific Journal*, 35, 5–9.
3. Vinnychchyna – v ekolohichnomu reitynhu oblastei. FOCUS.UA. Retrieved from: <https://focus.ua/uk/ratings/504721-ekologicheskyy-reyting-oblastey-ukrainy-2021>.
4. Shchomisiachnyi biuletyn zabrudnennia atmosfernoho povitria mista Vinnytsi za lypen 2021 roku № 07. Derzhavna sluzhba Ukrainy z nadzvychainykh sytuatsii. Vinnytskyi oblasnyi tsentr z hidrometeorolohii. Retrieved from: <https://www.vmr.gov.ua/ecology#3>.
5. Shchomisiachnyi biuletyn zabrudnennia atmosfernoho povitria mista Vinnytsi za lypen 2022 roku № 07. Derzhavna sluzhba Ukrainy z nadzvychainykh sytuatsii. Vinnytskyi oblasnyi tsentr z hidrometeorolohii. Retrieved from: <https://www.vmr.gov.ua/ecology#3>.
6. Deiaki pytannia zdiisnennia derzhavnoho monitorynhu v haluzi okhorony atmosfernoho povitria. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 14 serpnia 2019. № 827. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF#n18>.
7. SaveEcoBot: Mapa yakosti atmosfernoho povitria. Retrieved from: <https://www.saveecobot.com/maps#7/48.698/24.961/aqi>.
8. Savosko, V.M. (2015). Metodyka doslidzhennia fliktuiuchoi asymetrii lystkiv derevnykh vydiv v promyslovykh rehionakh (na prykladi berezy povysloi (*Betula pendula* Roth)). *Ekolohichniy visnyk Kryvorizhzhia: zbirnyk naukovykh ta naukovo-metodychnykh prats*, 1, 105–110 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31812/123456789/2933>.

The article was received 11.07.2022 and was accepted after revision 24.10.2022

Тихенко Оксана Миколаївна

д.т.н., доц., професор кафедри екології Національного авіаційного університету
Адреса робоча: 03058 Україна, м. Київ, пр-т Любомира Гузара, 1
ORCID ID: 0000-0001-6459-6497 *e-mail*: okstih@ua.fm

Матвєєва Ірина Валеріївна

д.т.н., проф., професор кафедри екології Національного авіаційного університету
Адреса робоча: 03058 Україна, м. Київ, пр-т Любомира Гузара, 1
ORCID ID: 0000-0002-8636-0538 *e-mail*: iryna.valeriivna.matvieieva@gmail.com

Гроза Валентина Анатоліївна

к.ф.-м.н., доц., доцент кафедри екології Національного авіаційного університету
Адреса робоча: 03058 Україна, м. Київ, пр-т Любомира Гузара, 1
e-mail: valentina.groza@gmail.com

УДК 628.4.02

Ihor V. Satin^{1,2}, PhD, Associate Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture, Acting deputy director, Scientific, Research, Design and Technology Institute of Municipal Economy, State Enterprise
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2028-9791> **e-mail:** satin@nikti.org.ua

Tetyana I. Romanova², PhD, Head of the Laboratory
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5747-8270> **e-mail:** romanova@nikti.org.ua

Olena S. Panchenko², Head of the Laboratory
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3680-7036> **e-mail:** panchenko@nikti.org.ua

¹ Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

² Scientific, Research, Design and Technology Institute of Municipal Economy, State Enterprise, Kyiv, Ukraine

OVERVIEW OF THE TECHNOLOGIES OF THE COLLECTION, TRANSPORTATION, RECOVERY AND DISPOSAL OF MUNICIPAL SOLID WASTE

Abstract. Solving the problem of the lack of effective technologies for the recovery of solid municipal waste consists, first of all, of the construction of an effective technological scheme for the collection, transportation, recovery and disposal of municipal waste. Achieving the goals of reducing the volume of municipal waste disposal to 30% in 2030, which are set by the National Strategy for Waste Management in Ukraine until 2030, is possible by applying coordinated technological stages of collection, transportation, recovery and disposal of municipal waste in settlements and territorial communities.

Research is aimed at organizing effective and unified management of solid waste flows, their proper storage, collection, transportation, processing, and disposal taking into account the resource potential of solid waste, the need and feasibility of implementing a certain technology for processing, recovery and disposal of waste, taking into account its characteristics and application limitations, and the need to minimize the environmental burden associated with waste.

The purpose and task of this publication are to describe the complete technological cycle of waste management and establish a sequence of unified methodical approaches to the stages and technological processes of solid household waste management (collection, transportation, recovery and disposal).

Key words: municipal solid waste management; municipal solid waste; municipal solid waste collection; transportation; recovery; disposal; mixed municipal solid waste

© I.B. Сатін, Т.І. Романова, О.С. Панченко, 2022

І.В. Сатін^{1,2}, Т.І. Романова², О.С. Панченко²

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

² Державне підприємство «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства», м. Київ, Україна

ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ЗБИРАННЯ, ПЕРЕВЕЗЕННЯ, ВІДНОВЛЕННЯ ТА ВИДАЛЕННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

***Анотація.** Вирішення проблеми відсутності дієвих технологій відновлення твердих побутових відходів полягає насамперед у побудові ефективної технологічної схеми збирання, перевезення, відновлення та видалення побутових відходів. Досягання цілей зі зменшення обсягу захоронення побутових відходів до 30% у 2030 році, які встановлені Національною стратегією управління відходами в Україні до 2030 року, можливо при застосуванні в населених пунктах, територіальних громадах взаємоузгоджених технологічних етапів зі збирання, перевезення, відновлення та видалення побутових відходів.*

Дослідження спрямовані на організацію ефективного та уніфікованого управління потоками ТПВ, їх належного зберігання, збирання, транспортування, оброблення, видалення, враховуючи ресурсний потенціал ТПВ, необхідність та доцільність впровадження певної технології оброблення, відновлення та видалення відходів з урахуванням її характеристик і обмежень застосування та необхідність мінімізації навантаження на довкілля, пов'язаного з відходами.

Призначення та завдання даної публікації – це опис повного технологічного циклу управління відходами та встановлення послідовності уніфікованих методичних підходів до етапів та технологічних процесів управління твердими побутовими відходами (збирання, перевезення, відновлення та видалення).

***Ключові слова:** управління побутовими відходами; побутові відходи; збирання; перевезення; відновлення; видалення; змішані побутові відходи*

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.4.53-71>

Вступ

Постановка завдання. За оцінкою Мінрегіону в Україні за 2021 рік утворилось понад 51 млн м³ побутових відходів, або понад 10 млн тонн, які захоронюються на 6 тис. сміттєзвалищ і полігонів загальною площею майже 9 тис. га [1]. Тільки 79% населення України охоплено послугами з вивезення побутових відходів. В 1725 із 29 711 населених пунктів впроваджено роздільне збирання побутових відходів, побудовано 34 сміттесортувальні лінії, діє один сміттєспалювальний завод (завод «Енергія», м. Київ) та три сміттєспалювальні установки. Загалом в Україні перероблено та утилізовано близько 7,64% побутових відходів, з них: 1,14% спалено, а 6,5% побутових відходів потрапило на заготівельні пункти вторинної сировини та сміттепереробні лінії [1].

Кількість переважаних сміттєзвалищ становить 230 од. (3,8%), а 824 од. (13,8%) не відповідають нормам екологічної безпеки. З 371 сміттєзвалища, які потребують рекультивації, фактично рекультивовано тільки 29 одиниць [1].

Таким чином, тільки 7,64% побутових відходів відновлюються, а 92,36% відходів захоронюють на полігонах та сміттєзвалищах. Домінуючим способом

поводження з побутовими відходами залишається їх захоронення на полігонах та сміттєзвалищах. Внаслідок відсутності дієвої системи поводження з побутовими відходами щороку утворюється понад 27 тис. несанкціонованих сміттєзвалищ [2].

Відсутність розвинутої інфраструктури з перероблення та ефективної системи роздільного збирання побутових відходів призводить до втрати цінної вторинної сировини, що міститься у змішаних побутових відходах, які потенційно можуть бути введені у господарський обіг. Розвиток систем роздільного збирання та перероблення відходів є невід'ємною частиною підвищення ефективності використання природних ресурсів і переходу до сталої економіки.

Робота виконується в рамках реалізації Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України № 820-р від 8 листопада 2017 року.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Необхідності впровадження роздільного збирання побутових відходів з урахуванням подальших етапів перероблення та видалення приділяється увага в дослідженнях Л. Нападівської, А. Пашкова, І. Корнієнко, А. Кошма, О. Шекеля, Л. Шевченко [3–5].

В монографії науковців В. Савуляка та О. Березюк приділено увагу питанням забезпечення ефективними машинами та механізмами для вирішення проблем накопичення твердих побутових відходів на полігонах та сміттєзвалищах. Авторами запропоновано виділити та послідовно розглядати три стадії життєвого циклу відходів: утворення, збирання та перевезення; сортування та підготовка до переробки; переробка та утилізація [6, 14].

Для забезпечення ефективного перевезення побутових відходів на великі відстані та узгодженості з етапом переробки та утилізації відходів в роботі Л. Савченко, Ю. Дяченко пропонується двоетапна схема перевезення побутових відходів [7].

Ю. Матвєєв та Г. Гелетуґа зазначають, що роздільне збирання, повторне використання та рециклінг розвиваються одночасно з енергетичним використанням твердих побутових відходів, конкурують між собою за сировину, але не виключають одне одного [8].

Фактори, які впливають на участь у сортуванні побутових відходів, проаналізовані в [9], оптимальну схему збору та транспортування ТПВ, яка фокусується на проблемі мінімізації довжини кожного маршруту збору та транспортування відходів, розглянуто в [10].

Варіанти розроблених, запропонованих до використання та які вже практикуються у міських центрах, економічно доцільних, екологічно стійких, соціально зручних та технологічно оновлених систем збирання та перевезення ТПВ розглянуті в [11].

У літературі запропоновано кілька показників для оцінки систем збору ТПВ. Ці інструменти оцінки враховують лише деякі аспекти, які впливають на ефективність роботи системи збору. В [12] запропонований набір легких для розрахунку показників, які подолують це обмеження, враховуючи як характеристики зібраних відходів, так і експлуатаційно-економічні показники. У [13] пропонується скоригована версія популярної методики вимірювання ефективності аналізу охоплення даних, яка дає змогу оцінити економічну ефективність муніципалітетів у зборі та переробці багатьох фракцій побутових відходів, підвищити ефективність витрат оцінки впливу помилок вимірювання

в даних або муніципалітетах з віддаленими та нетиповими показниками (якщо вони присутні у вибірці). Методика [13] також застосовується для виправлення оцінок на відмінності в робочому середовищі муніципалітетів (наприклад, такі фактори, як демографія та середній дохід населення муніципалітету).

Скорочення обсягів, відновлення ресурсів, оцінку відходів, охорону навколишнього середовища та рекультивуацію території для розвитку міст обговорено в [14–20].

Мета дослідження

Встановлення послідовності уніфікованих методичних підходів до етапів та технологічних процесів поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ) (збирання, перевезення, відновлення та видалення), визначення загальних складових кожного з етапів поводження з ТПВ, розвитку та підвищення якості надання послуг у сфері управління побутовими відходами (ПВ) в населених пунктах шляхом впровадження системного підходу до управління відходами, спираючись на Національну стратегію управління відходами та чинне законодавство України.

Результати дослідження

Система управління ТПВ (відповідно до Закону України «Про управління відходами») – це комплекс заходів із збирання, перевезення та оброблення ПВ, включаючи створення об'єктів їх оброблення, в т.ч. об'єктів видалення відходів.

Збирання побутових відходів

(включаючи роздільне збирання) полягає у вилученні, накопиченні та зберіганні ТПВ з метою подальшого перевезення до об'єктів оброблення та має відбуватися з використанням незмінюваних (стаціонарних) та/або змінюваних (нестаціонарних) сміттєзбірних контейнерів відповідно до вимог ДСТУ 8476:2015 «Контейнери для побутових відходів. Загальні технічні вимоги». Для збирання відходів на тих територіях населених пунктів, де обмежена можливість проїзду сміттєвозного транспорту та його маневрування, застосовується безконтейнерний метод шляхом використання поліетиленових пакетів (мішків). Система збирання ПВ включає обов'язкове впровадження планово-регулярної системи збирання ПВ та облаштування контейнерних майданчиків у відповідності до вимог чинного законодавства, в тому числі ДСанПін «Державні санітарні норми та правила утримання територій населених місць», затверджені Наказом МОЗ України № 145 від 17.03.2011 (zareєстровано в Міністерстві юстиції України 05.04.2011 за № 457/19195). Сміттєзбірні контейнери мають розміщуватись на контейнерних майданчиках, облаштованих відповідно до вимог ДСТУ-Н Б Б.2.2-7:2013 «Настанова з улаштування контейнерних майданчиків» та ДСанПін «Державні санітарні норми та правила утримання територій населених місць».

Додатково до контейнерної системи збирання ПВ мають бути створені:

– спеціалізовані комунальні пункти приймання відходів (у відповідності до Національної Стратегії управління відходами), які можуть приймати тільки ті відходи, для яких є наявні технології та існують діючі підприємства з їх оброблення, та з відповідним обґрунтуванням – виконувати додаткові функції;

– пункти збирання відходів для повторного використання та перероблення – для збирання і можливості повторного використання меблів, побутової техніки, одягу та інших товарів, які були у вжитку. Ці пункти можуть створюватись як складова об'ємно-просторового плану спеціалізованих комунальних пунктів збирання відходів (для тих населених пунктів, де вони вже створені) з відокремленим приміщенням, або окремо, насамперед в обласних центрах;

– центри із збирання відходів для їх ремонту з метою повторного використання – передбачаються насамперед для ВЕЕО, їх доцільно організовувати як додатковий блок до спеціалізованих комунальних пунктів збирання відходів в обласних центрах.

Система збирання ТПВ від домогосподарств та з інших джерел, якщо ці відходи подібні за своїм складом до відходів домогосподарств, відбувається наступними шляхами:

- збирання змішаних ТПВ (нероздільно зібраних побутових відходів);
- роздільне збирання ТПВ.

Збирання змішаних ТПВ – існуюча практика, яка не передбачає виконання процесу оброблення, а передбачає доставку зібраних ТПВ безпосередньо на полігон ТПВ.

Збирання роздільно зібраних відходів – є першим кроком етапу оброблення відходів та має на меті їх подальше оброблення (повторне використання / рециклінг / оброблення) – це етап, який обов'язково та невід'ємно передує етапу оброблення ПВ, безпосередньо залежить від прийнятої технологічної схеми оброблення та є початковим етапом оброблення ПВ. Технологічна схема збирання ПВ визначається після прийняття технологічної моделі оброблення (відновлення та видалення) ПВ відповідно до запланованих операцій.

Роздільне збирання як перший крок етапу оброблення ПВ забезпечує ефективність всього процесу оброблення, тому для підвищення ефективності роздільного збирання всіх видів ТПВ є важливим проведення на постійній основі публічних та освітніх акцій зі збирання окремих компонентів із залученням мешканців населеного пункту, створення інформаційних ресурсів у соціальних мережах з метою популяризації екоосвіти та базових дій мешканців щодо поводження з відходами, створення освітнього простору з метою популяризації базових знань щодо найкращих практик управління відходами та розроблення публічних просвітніх (довідкових) матеріалів з описом дій мешканців щодо поводження з ПВ.

Моделі роздільного збирання ТПВ формуються в залежності від прийнятої моделі поводження з відходами та можуть включати в себе роздільне збирання:

- базисно ресурсоцінних елементів (папір, картон, пластик, скло, метал, упаковка, деревина, текстиль тощо);
- біовідходів;
- небезпечних відходів (НВ) у складі побутових;
- відходів електричного та електронного обладнання (ВЕЕО);
- великогабаритних відходів (ВГВ);
- ремонтних відходів (РВ);
- інших відходів.

Збирання **змішаних побутових відходів** відбувається за планово-регулярною системою збирання побутових відходів – в один контейнер відповідно до «Методики роздільного збирання побутових відходів»,

затвердженої Наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України № 133 від 01.08.2011 (зареєстровану в Міністерстві юстиції України за № 1157/19895 від 10.10.2011). Для збирання встановлюються контейнери мобільного типу КМП класів 2-4 за ДСТУ 8476:2015. Обрання типу контейнерів для ТПВ та їх розстановки здійснюється самостійно органами місцевого самоврядування в межах кожного населеного пункту.

Роздільне збирання **побутових відходів, призначених для підготовки до повторного використання та рециклінгу**, може здійснюватися шляхом роздільного збирання за контейнерною системою за технологічними схемами відповідно до «Методики роздільного збирання побутових відходів» та роздільного збирання в спеціалізованих комунальних пунктах приймання відходів. Роздільне збирання побутових відходів, призначених для підготовки до повторного використання та рециклінгу, здійснюється на місцевому рівні та включає встановлення окремих контейнерів для ПВ, призначених для підготовки до повторного використання та рециклінгу, типу КМП класів 1-4 за ДСТУ 8476:2015 або аналогічних.

Роздільне збирання **біовідходів** здійснюється на місцевому рівні та включає роздільне збирання за контейнерною системою встановленням окремих контейнерів коричневого кольору для біовідходів типу КМП класів 1-4 за ДСТУ 8476:2015 з метою рециклінгу (має ґрунтуватись на економічній доцільності впровадження будівництва об'єкта оброблення) та роздільне збирання і компостування у приватних домогосподарствах. Можливе використання варіанта відокремлення частини відходів від зелених насаджень (гілки та залишки дерев) з метою подальшого подрібнення до щепи, яка може бути реалізована у відповідних сферах. Роздільне збирання та компостування біовідходів у приватних домогосподарствах здійснюється для їх власних потреб шляхом встановлення на подвір'ях домогосподарств індивідуальних компостерів. Кількість та параметри обладнання для індивідуального компостування біовідходів визначаються власниками домогосподарств, виходячи з їх потреби. Для домогосподарства з 2-3 осіб може бути рекомендовано індивідуальний компостер місткістю 1 м³.

Спосіб організації роздільного збирання **небезпечних відходів у складі побутових** визначається самостійно відповідними органами місцевого самоврядування та закріплюється в місцевих планах управління відходами населених пунктів. НВ у складі побутових збираються окремо від інших видів ПВ, а також мають відокремлюватися на етапі збирання чи сортування та передаватися спеціалізованим підприємствам, що одержали ліцензії на здійснення операцій у сфері поводження з НВ. Роздільне збирання НВ у складі побутових здійснюється наступними шляхами: роздільним збиранням за контейнерною системою (за обґрунтування економічної доцільності); спеціалізованими комунальними пунктами приймання відходів; мобільними (пересувними) пунктами приймання НВ; проведенням на постійній основі освітніх публічних акцій зі збирання окремих компонентів НВ у складі побутових з широким оглядом в ЗМІ. Роздільне збирання НВ у складі побутових за контейнерною системою здійснюється на місцевому рівні та включає встановлення окремих контейнерів для НВ у складі побутових типу КМП класів 1-4 за ДСТУ 8476:2015, червоного кольору відповідно до «Методики роздільного збирання побутових відходів».

Спосіб організації роздільного збирання **відходів електричного та електронного обладнання**, що є у складі ПВ, визначається самостійно відповідними органами місцевого самоврядування та закріплюється в місцевих планах управління відходами населених пунктів. Роздільне збирання ВЕЕО відбувається згідно з «Методичними рекомендаціями щодо збирання відходів електричного та електронного обладнання, що є у складі побутових відходів» (затверджені Наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України № 15 від 22.01.2013), та до моменту впровадження в Україні принципу розширеної відповідальності виробника і впровадження системи збирання на національному рівні може здійснюватися в рамках пілотних проєктів за наступними напрямками: створення спеціалізованих комунальних пунктів приймання відходів; створення мобільних (пересувних) пунктів приймання НВ; проведення регулярних публічних акцій зі збирання ВЕЕО з широким оглядом в ЗМІ.

Спосіб організації роздільного збирання **великогабаритних відходів** визначається самостійно відповідними органами місцевого самоврядування, відображається в місцевих планах управління відходами населених пунктів та включає створення спеціалізованих комунальних пунктів приймання відходів та впровадження системи роздільного збирання ВГВ біля джерел утворення. Роздільне збирання великогабаритних відходів відбувається в контейнери типу КЗВ за ДСТУ 8476:2015 або спеціально пристосовані для цього контейнери на прибудинкових контейнерних майданчиках та/або в спеціалізованих комунальних пунктах приймання відходів.

Спосіб організації роздільного збирання **ремонтних відходів** визначається самостійно відповідними органами місцевого самоврядування, відображається в місцевих планах управління відходами населених пунктів та включає створення спеціалізованих комунальних пунктів приймання відходів та впровадження системи роздільного збирання БВ біля джерел утворення. Роздільне збирання БВ відбувається в контейнери типу КЗР за ДСТУ 8476:2015 або спеціально пристосовані для цього контейнери (наприклад, «Big Bag») на прибудинкових контейнерних майданчиках та/або в спеціалізованих комунальних пунктах приймання відходів.

Роздільне збирання інших відходів, які утворюються в домогосподарствах, відбувається окремо від інших видів відходів, спосіб організації роздільного збирання відповідного виду відходів визначається самостійно відповідними органами місцевого самоврядування та відображається в місцевих планах управління відходами населених пунктів.

Перевезення побутових відходів

відбувається від місць утворення та/або накопичення та первісного зберігання ТПВ до об'єкта оброблення відходів спеціально обладнаним транспортом (збиральним), який може бути із боковим та/або верхнім маніпуляторним завантаженням, заднім завантаженням механізмом з поворотною скобою, із боковим ліфтовим завантаженням або ручним завантаженням різної вантажопідйомності в залежності від призначення. Для оптимізації транспортних потоків та зменшення транспортних витрат при великих (більше 20 км) відстанях перевезень застосовується двоетапне перевезення відходів з використанням сміттєперевантажувальних станцій та

систем і транспортного кузовного спецавтотранспорта. Рішення про впровадження двоетапного перевезення ПВ приймається на основі техніко-економічних розрахунків.

Система перевезення змішаних та/або роздільно зібраних ТПВ може відбуватись за планово-регулярною або заявочною системами та складатись з перевезення: змішаних ТПВ; відходів, призначених для підготовки до повторного використання та рециклінгу (папір, картон, пластик, скло, метал, упаковка, деревина, текстиль тощо); біовідходів; НВ у складі побутових; ВЕЕО; ВГВ; РВ; перевезення інших відходів, яке має здійснюватися у строки, передбачені санітарними правилами, регіональними планами управління відходами, та/або відповідно до договірних умов, вказаних в договорах з отримувачем послуг.

Технології перевезення ПВ базуються на використанні спеціальних транспортних засобів – кузовних та контейнерних збиральних сміттевозів різного класу вантажопідйомності (малої та середньої місткості).

Транспортна схема перевезення ПВ в залежності від логістичної доцільності може бути:

– одноетапна – без застосування перевантажувальних станцій та розрахована на використання сміттевозів для вивезення відходів від джерел утворення до МВВ;

– двоетапна – передбачає наявність сміттевозів-збирачів, транспортних сміттевозів і сміттеперевантажувальної станції, здійснюється для зниження транспортних витрат на паливе і мастила та, відповідно, тарифів на послуги з вивезення ТПВ, зменшення кількості сміттевозів, що працюють при збиранні і перевезенні відходів, підвищення продуктивності роботи, поліпшення екологічного стану довкілля.

Перевезення **змішаних** ТПВ здійснюється окремо від інших видів відходів за визначеним графіком з застосуванням відповідних спеціалізованих транспортних засобів з місць збирання на об'єкт МБО для сортування.

Перевезення **відходів, призначених для підготовки до повторного використання та рециклінгу**, здійснюється окремо від інших видів відходів за визначеним графіком з застосуванням відповідних спеціалізованих транспортних засобів з місць збирання на об'єкт МБО для сортування або на оброблення в якості сировини на спеціалізовані підприємства.

Перевезення **біовідходів** здійснюється окремо від інших видів відходів за визначеним графіком та/або за заявочною системою із застосуванням відповідних спеціалізованих транспортних засобів з місць збирання на об'єкт МБО для сортування та подальшого оброблення.

Перевезення **НВ у складі побутових** необхідно здійснювати з застосуванням спеціалізованих спеціально обладнаних транспортних засобів, які можуть також застосовуватися для організації збирання НВ в якості «мобільних пунктів приймання». Перевезення відбувається суб'єктом господарювання у сфері управління відходами, який отримав ліцензію на здійснення господарської діяльності з управління НВ, з місць збирання у визначене місце тимчасового зберігання НВ у складі ПВ для подальшої передачі відповідним спеціалізованим підприємствам, які одержали дозволи на здійснення операцій з оброблення відходів та ліцензії на здійснення господарської діяльності з управління НВ.

Перевезення **ВЕЕО** необхідно здійснювати з застосуванням спеціалізованих транспортних засобів з місць збирання до складського приміщення суб'єкта господарювання у сфері управління відходами з оброблення електричних та електронних приладів для сортування за придатністю до подальшого використання (придатне/непридатне до повторного використання).

Перевезення **ВГВ** здійснюється окремо від інших видів відходів за визначеним графіком та/або за заявочною системою з застосуванням відповідних спеціалізованих транспортних засобів з місць збирання на об'єкт МБО на сортування (для подальшого подрібнення – на ділянку подрібнення БВ і ВГВ).

Перевезення **БВ** здійснюється окремо від інших видів відходів за визначеним графіком та/або за заявочною системою з застосуванням відповідних спеціалізованих транспортних засобів з місць збирання на об'єкт МБО на сортування (для подальшого подрібнення – на ділянку подрібнення БВ і ВГВ).

Перевезення інших відходів здійснюється за заявочною системою окремо від інших видів відходів з застосуванням відповідних спеціалізованих транспортних засобів з місць утворення на об'єкти оброблення.

Оброблення побутових відходів

полягає у відновленні та/або видаленні ТПВ, включаючи підготовку відходів до таких операцій, та залежить від прийнятої технологічної схеми збирання ПВ. У свою чергу прийнята технологічна модель оброблення ПВ визначає технологічну схему збирання ТПВ. Відновлення ПВ відбувається на об'єктах оброблення відходів відповідно до прийнятої технології оброблення. Перелік операцій з відновлення ТПВ наведено в Законі України «Про управління відходами».

Відновлення твердих побутових відходів

Механіко-біологічне оброблення твердих побутових відходів

Найпоширенішою операцією з відновлення ТПВ є механіко-біологічне оброблення (МБО) ПВ, яке охоплює широкий спектр процесів та може бути налаштоване для досягнення декількох різних цілей, зазвичай включає роздільне збирання ТПВ, відокремлення з ТПВ відходів, призначених для підготовки до повторного використання та рециклінгу, і певну форму біологічної обробки органічної фракції ТПВ (біовідходів).

Першою операцією МБО є роздільне збирання ТПВ, яке забезпечує плановану ефективність всього процесу оброблення. Процес роздільного збирання ТПВ включає в себе формування (встановлення спеціально пристосованих до різних видів сировини контейнерів, наявність спеціально обладнаного транспорту та за потреби облаштування контейнерних майданчиків), обслуговування (дотримання санітарного стану) розгалуженої мережі контейнерних майданчиків, де розташовані контейнери для роздільного збирання потрібних фракцій ТПВ, та подальше їх транспортування до місць переробки. Перелік фракцій, що роздільно збираються, визначається технологічною схемою подальшого МБО.

Механіко-біологічне оброблення ПВ відбувається на об'єкті МБО, комплектація та облаштування якого можлива за різними технологічними схемами, та складається з наступних операцій оброблення:

- механічне оброблення, яке включає: вивантаження та тимчасове зберігання відходів, механічне сортування, пресування;
- біологічне оброблення, яке включає статичні або динамічні моделі оброблення.

МБО ПВ поділяється на три основних типи за технологічною моделлю: механіко-біологічне оброблення зі стадією компостування, механіко-біологічне оброблення зі стадією анаеробної ферментації та механіко-біологічне оброблення зі стадією стабілізації з отриманням компосту.

Механічне сортування проводиться на сортувальній лінії об'єкта МБО за допомогою різних процесів та полягає у відокремленні різних фракцій відходів, в результаті можуть бути отримані: відходи, призначені для підготовки до повторного використання та рециклінгу; SRF-сировина; біорозкладна фракція ТПВ; мінеральні залишки; відходи (залишки), які підлягають захороненню на полігонах.

Отримані **відходи, призначені для підготовки до повторного використання та рециклінгу**, зберігаються до отримання обсягу, який можна транспортувати, потім реалізується на відповідні промислові підприємства, які здійснюють діяльність з реалізації відходів, призначених для підготовки до повторного використання та рециклінгу, або які використовують їх для виробництва власної продукції.

SRF (Solid Recovered Fuel)-сировина – частина твердих відходів, яка використовується для виготовлення SRF-палива – альтернативного виду палива, що за хімічним складом й фізичними властивостями задовольняє вимогам споживача, відповідає конкретній специфікації, встановленій споживачем, та може замінювати вугілля, газ та інші види палива зі встановленими показниками. Відсоток вмісту горючих матеріалів, з яких можна отримати SRF, залежить від організації в населених пунктах роздільного збирання відходів, призначених для підготовки до повторного використання та рециклінгу, – чим ефективніше роздільне збирання, тим меншим може бути вміст горючих матеріалів.

Основними споживачами SRF-палива можуть бути цементні заводи, які використовують його не тільки для спалювання (виробничих процесів), але і золу від його спалювання в якості добавки в клінкер, забезпечуючи майже безвідходне використання. Цементна промисловість вимагає високоякісного стандартизованого палива SRF за якістю не менше 3-го класу згідно з ДСТУ EN 15359:2018 «Тверде відновлювальне паливо. Технічні характеристики та класи».

Отримання SRF-палива зменшує кількість відходів, що підлягають захороненню на полігоні ТПВ, та зменшує викиди метану, які могли б статися у разі їх захоронення на полігоні ТПВ. Крім того, використання SRF-палива призводить до зменшення викидів CO₂ завдяки заміщенню спалювання викопного палива (зазвичай природного газу).

Існує необхідність вирішення фінансових питань щодо умов приймання SRF-палива підприємством (потребує заключення договорів, узгодження та дослідження калорійності ТПВ та SRF-палива, визначення обсягів його поставок, що несе додаткові витрати та ризики в реалізації SRF-палива).

Біорозкладна частина ТПВ – органічна речовина, що є у складі змішаних ПВ, яка зазнає біологічного розкладу (харчові відходи, опале листя, садово-паркові відходи тощо) (згідно з СОУ ЖКГ 03.09-014:2010 «Побутові відходи. Технологія перероблення органічної речовини, що є у складі побутових відходів») та є джерелом забруднення навколишнього середовища (наприклад, парниковими газами). Загальний вміст та співвідношення між основними компонентами ТПВ залежать від місцевих умов та змінюються у часі. Частина ТПВ, яка легко розкладається, складає значну частину ТПВ з загальної маси ТПВ та може становити майже 50%.

Біорозкладна частина ТПВ може бути ефективно використана. Вилучення органічної речовини з ПВ треба проводити шляхом сортування на підприємствах сортування та оброблення ТПВ – об'єкті МБО (Додаток А СОУ ЖКГ 03.09-014:2010).

Після отримання на об'єкті МБО біорозкладна частина ТПВ направляється на біологічне оброблення (див. п. 5.1.16).

Мінеральні залишки – несортована частина ТПВ, яка залишилася після сортування змішаних відходів та відокремлення вторинної сировини, SRF-сировини та біорозкладної частини органічної складової ТПВ. Складається переважно з негорючої фракції (переважно включає компоненти, інертні до оточуючого природного середовища) та певної кількості органічних включень.

Після проведення відповідних процедур зі стабілізації частина мінеральних залишків стає умовно інертною та може бути або використана в разі необхідності на об'єкті МБО чи за його межами, або потрапляє на захоронення на полігон.

Шкідливі залишки ТПВ – різні види НВ, які потрапили до складу ТПВ на стадії збирання та відокремлюються на стадії механічного сортування змішаних відходів на об'єкті МБО.

Після проведення відповідної процедури відокремлення шкідливих залишків ТПВ із загальної маси ТПВ необхідно забезпечити умови для зберігання їх на об'єкті МБО та організувати подальшу передачу спеціалізованим підприємствам, які мають ліцензію на здійснення господарської діяльності з управління НВ та забезпечать оброблення НВ та їх знешкодження до стану інертних залишків.

Біологічне оброблення відходів, що біологічно розкладаються (відходів від зелених насаджень, харчових відходів) – аеробне (компостування) або анаеробне оброблення органічної речовини, що є у складі ПВ, – відбувається на об'єкті МБО.

Порядок проведення процесів біологічного оброблення органічної речовини, що є у складі ПВ, а саме аеробного (компостування) та анаеробного оброблення, а також використання готового компосту установлює стандарт СОУ ЖКГ 03.09-014:2010 «Технологія перероблення органічної речовини, що є у складі побутових відходів».

Вибір методу біологічного оброблення органічної речовини в складі ТПВ треба здійснювати з урахуванням природно-кліматичних умов, санітарного стану та кількісно-якісних параметрів органічної речовини, санітарно-гігієнічних вимог, вимог до використання готового продукту, технічних можливостей підприємства тощо.

Для можливості використання в анаеробному зброджуванні органічна речовина в складі ТПВ має відповідати вимогам, визначеним СОУ ЖКГ 03.09-014:2010.

При анаеробному розкладанні органічної речовини, що є у складі ПВ, різними видами бактерій, утворюється **біогаз**, який може використовуватися як паливо для спеціалізованих енергетичних установок (котлоагрегати, промислові печі, стаціонарні двигуни-генератори) або після додаткового очищення для заправки в балони. В результаті роботи об'єкта МБО із стадією анаеробної ферментації з 1 умовної тонни ТПВ виробляється 70–170 м³ біогазу. Вміст метану у 1 м³ біогазу становить від 40% до 55%.

Технологічне обладнання процесу анаеробного оброблення (зброджування) органічної речовини, вилученої з ПВ – це система конвеєрів, бункер-прямок, подрібнювальне обладнання, проціджувачі, насоси, метантенки, газгольдери, теплообмінники, обладнання для очищення біогазу, когенераційна установка.

З метою використання біогазу на полігоні ТПВ та можливості використання біогазу проєктуються інженерні системи збирання та утилізації біогазу для визначеного полігону ТПВ. Проєктування інженерної мережі збирання та утилізації біогазу на полігоні ТПВ здійснюється відповідно до вимог ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів».

Компост – ґрунтоподібний матеріал, отриманий в результаті аеробного процесу розкладання органічної складової ТПВ різними видами бактерій та грибків. Для приготування компостів треба використовувати техніку і транспортні засоби серійного виробництва. Технологічне обладнання процесу компостування – система конвеєрів, бункер-прямок, подрібнювальне обладнання для подрібнювання органічної маси ТПВ, біобарабани (або біотермічні камери, котловани, ділянки чи штабелі), подрібнювальне обладнання для подрібнювання компосту з магнітним сепаратором, грейферний кран (згідно з СОУ ЖКГ 03.09-014:2010). Існує декілька технологічних схем компостування, окремі вузли яких можна компонувати в залежності від обладнання підприємства МБО.

Отриманий компост можна використовувати відповідно до СОУ ЖКГ 10.09-014:2010 як добриво у зеленому будівництві, рекультивативі земель, лісному господарстві відповідно до агрохімічних, мікробіологічних, токсикологічних та фізико-хімічних показників. Після устаткування з отримання біогазу залишається компост технічний або компостоподібний продукт, який складає $\approx 35\text{--}40\%$ з 1 умовної тонни ТПВ.

Термічне оброблення твердих побутових відходів

Термічне оброблення ТПВ – спалювання або їх термічне використання – застосовується як важлива операція з відновлення ТПВ та є найбільш надійним і ефективним варіантом отримання енергії та відведення тепла методом утилізації непереробних відходів, які не можуть відновлюватися іншим шляхом.

Найпоширенішими є методи спалювання – спалювання на колосникових ґратах і спалювання у зваженому шарі.

Спалювання на колосникових ґратах застосовується до масового спалювання твердих змішаних побутових та промислових відходів та має велику сферу застосування. Дає змогу виробляти енергію з відходів (зокрема, когенерація). Для даного методу використовуються різні системи топків з колосниковими ґратами.

Подача відходів, що спалюються, відбувається на колосникові ґрати в камері згоряння системами завантаження. Спалювання здійснюється безперервно протягом доби, доставка відходів до установки – періодично (здебільшого у денний час). Перед шаровою топкою завжди встановлюється підземний бункер, який забезпечує постійне зберігання необхідного запасу відходів та їх перемішування для забезпечення їх гомогенізації перед спалюванням (встановлення приблизно стабільних показників теплотворної можливості).

Ефективне спалювання на колосникових ґратах відбувається при температурі 850–950°C. В кінці повільної решітки, що рухається, залишки після згоряння падають в заповнений водою пристрій шлаковидалення.

Димові гази утворюються здебільшого в зоні камери для спалювання, де вони вигоряють при температурі від 850°C до вище 1000°C. У розташованому далі паровому казані димові гази охолоджуються до 200–400°C. При цьому утворюється в більшості випадків перегріта пара (не більше 40 бар, 400°C). Пару можна використовувати для виробництва електроенергії, як технологічну пару для централізованого тепlopостачання.

В результаті спалювання на колосникових ґратах утворюються шлак, котельна зола та димові гази. До якості матеріалу, що виходить, встановлені наступні вимоги – шлак: $C < 3$ ваг. %, у сучасних установках втрати при прожарюванні, загальний органічний вуглець становлять менше 0,5 ваг. %.

Спалювання на колосникових ґратах може застосовуватися в комбінації зі всіма попередніми спалюваннями заходами та процесами оброблення відходів. Спалювання виконує мінералізацію всіх горючих речовин, які вже не можуть використовуватись або оброблятися іншим способом. Перевагою методу є синергетичний ефект при взаємопов'язанні з процесами/промисловістю, що мають велику потребу в тепловій енергії і яку вони можуть отримати від сміттєспалювальних заводів або здійснити підведення основного навантаження централізованого тепlopостачання мереж.

Метод спалювання на колосникових ґратах необхідно пов'язувати з очищенням димових газів, так як гази, що утворюються при спалюванні, містять значну кількість шкідливих для здоров'я речовин.

Спалювання у зваженому шарі є особливо ефективною технологією, яка утворює невелику кількість шкідливих речовин. За цієї технології горючі речовини (відходи) піддаються процесу спалювання в потоці повітря, що піднімається. В результаті виходить турбулентне змішування газу та твердих речовин (зважений шар). Збурювання відходів дозволяє здійснювати ефективні хімічні реакції та ефективно перенесення тепла. Спалювання у зваженому шарі було розроблено, зокрема, для того, щоб частково виключити або мінімізувати дорогі процеси очищення з метою скорочення викидів шкідливих речовин, наприклад із використанням скрубєрів.

Застосування цієї технології особливо часто зустрічається при спалюванні осаду та використанні альтернативних видів палива (SRF).

В результаті спалювання у зваженому шарі утворюються зола без шлаку або з малим вмістом шлаку (частка вуглецю в межах 0,5% або частка горючих компонентів $< 0,5$ ваг.%), котельний пил, димові гази. До якості матеріалу, що виходить, встановлені наступні вимоги – низька частка оксидів азоту NO_x , відсутність необхідності або низька потреба в денітрифікації димових газів та низьке зв'язування важких металів у золі внаслідок відносно низької температури процесу.

При спалюванні у зваженому шарі подрібнені відходи з інертними матеріалами приводяться у зважений стан і спалюються при відносно низькій температурі 750–850°C. Тривалий час перебування, велика питома поверхня та хороше перенесення тепла призводять до гарного вигорання (залишковий вміст вуглецю < 0,5 ваг. %). Температура згоряння знаходиться нижче межі утворення оксидів азоту, що призводить до утворення відносно малої кількості NO_x, але спостерігається утворення звеселяючого газу.

Низька температура процесу гарантує відсутність спікання золи, у зв'язку з чим важкі метали зв'язуються у золі у невеликій кількості. Змішування в зваженому шарі призводить також до того, що димові гази стикаються з речовинами, що абсорбують сірку (вапняк, доломіт). Це призводить до поглинання великої частки сірки сорбційними матеріалами в котлі.

Системи спалювання у зваженому шарі можна розділити на дві основні групи: атмосферну систему (FCB) та систему під тиском (PFBC). Остання працює з підвищеним тиском і створює потік повітря під високим тиском, який дозволяє вводити в дію газову турбіну. Пара, що створюється теплом зваженого шару, прямує у парову турбіну. Таким чином, процес є високоефективною комбінованою системою циркуляції.

Принципово можна виділити три різні види систем зі зваженим шаром, які визначаються способом відведення димових газів: стаціонарний зважений шар, зважений шар, що обертається, і циркулюючий зважений шар.

Спалювання у зваженому шарі застосовується особливо для термічної обробки горючих відходів, які непридатні для інших видів обробки (наприклад, відходи < 30 мм, мул очисних споруд). Тому воно може принципово комбінуватися з усіма передвключеними етапами та процесами оброблення відходів.

Перевага методу спалювання у зваженому шарі виникає при досягненні синергетичних ефектів шляхом взаємопов'язання з процесами, які потребують великої кількості теплової енергії (наприклад, на папероробних фабриках, де можна використовувати на таких установках значну кількість технологічних відходів). Альтернативно повинна бути, як мінімум, можливість спрямовувати зайву енергію (пару або гарячу воду) стороннім споживачам або постачати електроенергію до мережі загального користування.

Процеси методу спалювання у зваженому шарі у будь-якому випадку повинні бути об'єднані з очищенням газів, що відходять.

До всіх термічних процесів оброблення ТПВ повинні застосовуватися суворі правила та вимоги щодо запобігання, скорочення та контролю потенційно токсичних та інших емісій, що істотно впливають на навколишнє середовище.

Видалення побутових відходів

відбувається на об'єктах оброблення відходів відповідно до прийнятої технології оброблення. Перелік операцій з видалення ТПВ наведено в Законі України «Про управління відходами».

Найпоширенішою операцією з видалення ТПВ після операції з їх відновлення, що не передбачає подальшого оброблення відходів, є **захоронення твердих побутових відходів**, а саме – непридатного до використання залишку. Всі залишки оброблення при дотриманні заданих критеріїв можуть бути спрямовані на захоронення. Забороняється змішування чи захоронення відходів, для утилізації яких в Україні існує відповідна технологія.

Захоронення має бути впорядкованим та забезпечувати надійне та контрольоване зберігання непридатного до використання залишку ТПВ, тому захоронення ТПВ дозволяється тільки на спеціально обладнаних для цього полігонах. Проектування нового будівництва, реконструкцію, технічне переоснащення й рекультивацію полігонів ТПВ виконують відповідно до вимог ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування». Для задоволення різної потреби в обсязі та надійності захоронення відходів виділені три класи полігонів: полігони для небезпечних відходів; полігони для відходів, що не є небезпечними; полігони для умовно інертних та інертних відходів. Полігон відповідного класу може приймати на захоронення тільки ті відходи, для яких він був призначений та облаштований.

Полігони для небезпечних відходів – спеціально відведені та охоронювані майданчики для зберігання небезпечних або потенційно НВ, потенціал небезпеки та ризики впливу яких на навколишнє середовище не можуть бути знижені шляхом попереднього оброблення. Полігони для НВ можуть мати характер як проміжних сховищ, так і могильників. Вони відрізняються один від одного за ступенем небезпеки захоронених у них відходів, а також будівельного виконання, насамперед конструкцій та матеріально-технічних компонентів, призначених для запобігання потраплянню небезпечних речовин у навколишнє середовище.

Полігони для відходів, що не є небезпечними – спеціально обладнані майданчики, оснащені необхідними пристроями для зберігання ТПВ, що не становлять небезпеки. Підлягають систематичному контролю з метою недопущення виникнення небезпеки для навколишнього середовища та здоров'я людей, а також виключення зараження ґрунту та ґрунтових вод. Відходи укладаються на санкціонованому полігоні шарами, які наприкінці кожного робочого дня максимально ущільнюються та забезпечуються покриттям.

Полігони для інертних відходів являють собою спеціально відведені майданчики або установки з нескладним оснащенням, призначені для надійного та довгострокового зберігання відходів – мінеральних речовин з інертними властивостями (в т.ч., залишкові відходи домогосподарств, організацій та підприємств), що не містять потенційно небезпечних або шкідливих для навколишнього середовища речовин у підвищеній концентрації та не становлять небезпеки для навколишнього середовища. Часто для цих цілей використовуються шахти, виведені з експлуатації кам'яні кар'єри або колишні родовища копалин з відкритим способом видобутку, що відповідають принципам гідрологічним вимогам. Цей тип полігону є найпоширенішим технічним варіантом захоронення інертних відходів або залишкових матеріалів після обробки цих відходів.

Управління полігоном здійснює суб'єкт господарювання, який повинен мати дозвіл на здійснення операцій з видалення відходів, а в разі захоронення НВ – ліцензію на здійснення господарської діяльності з управління НВ.

Висновки і перспективи подальших досліджень

Сфера поводження з ТПВ в Україні здебільшого складається із підприємств по вивезенню ТПВ та полігонів для їх захоронення. Існуючий стан справ не є прийнятним як з точки зору негативного впливу на навколишнє середовище,

так і з точки зору необхідності гармонізації законодавства України до вимог ЄС. Вимоги екології, ресурсозбереження та економії можливо виконати виключно за допомогою впровадження найкращих доступних технологій, тобто застосування тих методів виробництва, які на сучасному рівні науково-технічних знань надають можливість гарантувати якомога вищу екологічну безпеку.

Дослідження спрямовані на аналіз організації ефективного та уніфікованого управління потоками ТПВ та огляд технологій їх належного збирання, перевезення, відновлення та видалення, враховуючи ресурсний потенціал ТПВ, необхідність та доцільність впровадження певної технології оброблення, відновлення та видалення відходів з урахуванням її характеристик і обмежень застосування та необхідність мінімізації навантаження на довкілля, пов'язаного з відходами.

Показано важливість встановлення послідовності уніфікованих методичних підходів до етапів та технологічних процесів поводження з ТПВ, визначення складових кожного з етапів поводження з ТПВ, задач та цілей, які мають бути досягнуті на кожному з етапів поводження з ТПВ, розвитку та підвищення якості надання послуг у сфері управління ПВ в населених пунктах, створення умов для підвищення стандартів життя населення шляхом впровадження системного підходу до управління відходами, спираючись на Національну стратегію управління відходами та чинне законодавство України.

Подальші дослідження будуть спрямовані на побудову технологічних моделей та схем поводження з побутовими відходами з урахуванням п'ятиступеневої ієрархії обігу побутових відходів, за аналогією до існуючих у країнах ЄС. Важливо приділяти увагу цілісному опису схеми на кожному етапі, оскільки загальна ефективність і досяжність цілей Національної стратегії залежить від ефективності саме кожного етапу вивезення, транспортування, збирання і перероблення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2021 рік.* (б. д.). <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/terretory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-vidhodamy-v-ukrayini-za-2021-rik/>.
2. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року, Розпорядження Кабінету Міністрів України № 820-р (2020) (Україна). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-p#Text>.
3. Нападівська, Л. А., & Пашков, А. П. (б. д.). Економіка, технології та перспективи роздільного збирання твердих побутових відходів в Україні (на прикладі досвіду провідних країн світу). У *Національний форум «Поводження з відходами в Україні: Законодавство, економіка, технології»* (с. 44–47).
4. Корнієнко, І., Корнієнко, С., & Кошма, А. (2016). Розроблення моделі мережі роздільного збирання твердих побутових відходів. *Технічні науки та технології*, (1), 122–130.
5. Шекель, О. Й., & Шевченко, Л. В. (2010). Технології та обладнання для сфери поводження з побутовими відходами. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*, (1), 84–89.
6. Савуляк, В. І., & Березюк, О. В. (2006). *Технічне забезпечення збирання, перевезення та підготовки до переробки твердих побутових відходів*. УНІВЕРСУМ-Вінниця.

7. Савченко, Л. В., Дьяченко, Ю. С., & Величко, А. В. (2015). Двоетапна схема перевезення твердих побутових відходів міста. *Вісник Національного транспортного університету*, (31), 463–468.
8. Матвеев, Ю., & Гелетуца, Г. (2019, 22 квітня). *Перспективи енергетичної утилізації твердих побутових відходів в Україні*. <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/01/position-paper-uabio-22-ua.pdf>.
9. Rousta, K., Zisen, L., & Hellwig, C. (2020). Household waste sorting participation in developing countries – a meta-analysis. *Recycling*, 5(1), 6. <https://doi.org/10.3390/recycling5010006>.
10. Das, S., & Bhattacharyya, B. K. (2015). Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes. *Waste Management*, 43, 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.033>.
11. Yadav, V., & Karmakar, S. (2020). Sustainable collection and transportation of municipal solid waste in urban centers. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101937. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101937>.
12. Bertanza, G., Ziliani, E., & Menoni, L. (2018). Techno-economic performance indicators of municipal solid waste collection strategies. *Waste Management*, 74, 86–97. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.009>.
13. Rogge, N., & De Jaeger, S. (2013). Measuring and explaining the cost efficiency of municipal solid waste collection and processing services. *Omega*, 41(4), 653–664. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2012.09.006>.
14. Nanda, S., & Berruti, F. (2020). Municipal solid waste management and landfilling technologies: A review. *Environmental Chemistry Letters*. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01100-y>.
15. Chen, D. M.-C., Bodirsky, B. L., Krueger, T., Mishra, A., & Popp, A. (2020). The world's growing municipal solid waste: Trends and impacts. *Environmental Research Letters*, 15(7), 074021. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8659>.
16. Gisi, S. D., Alberotanza, A., Todaro, F., Campanaro, V., & Notarnicola, M. (2020). Separate collection of municipal solid waste and fate of the residual unsorted fraction: A scenario analysis. *Environmental Engineering and Management Journal*, 19(10), 1731–1740. <https://doi.org/10.30638/eemj.2020.163>.
17. Gundupalli, S. P., Hait, S., & Thakur, A. (2017). A review on automated sorting of source-separated municipal solid waste for recycling. *Waste Management*, 60, 56–74. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.09.015>.
18. Zhang, J., Qin, Q., Li, G., & Tseng, C.-H. (2021). Sustainable municipal waste management strategies through life cycle assessment method: A review. *Journal of Environmental Management*, 287, 112238. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112238>.
19. van der Sloot, H. A., Kosson, D. S., & Hjelmar, O. (2001). Characteristics, treatment and utilization of residues from municipal waste incineration. *Waste Management*, 21(8), 753–765. [https://doi.org/10.1016/s0956-053x\(01\)00009-5](https://doi.org/10.1016/s0956-053x(01)00009-5).
20. Alzamora, B. R., & Barros, R. T. d. V. (2020). Review of municipal waste management charging methods in different countries. *Waste Management*, 115, 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.020>.

Стаття надійшла до редакції 21.06.2022 і прийнята до друку після рецензування 03.10.2022

REFERENCES

1. *Stan sfery povodzhennja z pobutovymy vidhodamy v Ukraïni za 2021 rik.* (b. d.). Retrieved from: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhhk/terretory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-vidhodamy-v-ukrayini-za-2021-rik/> [in Ukrainian].

2. Pro shvalennja Nacional'noi' strategii' upravlinnja vidhodamy v Ukrai'ni do 2030 roku, Rozporjadzhennja Kabinetu Ministriv Ukrai'ny № 820-r (2020) (Ukrai'na). Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-r#Text> [in Ukrainian].
3. Napadovs'ka, L. A., & Pashkov, A. P. (b. d.). Ekonomika, tehnologii' ta perspektyvy rozdil'nogo zbyrannja tverdyh pobutovyh vidhodiv v Ukrai'ni (na prykladi dosvidu providnyh krai'n svitu). In *Nacional'nyj forum «Povodzhennja z vidhodamy v Ukrai'ni: Zakonodavstvo, ekonomika, tehnologii'»* (pp. 44–47) [in Ukrainian].
4. Kornijenko, I., Kornijenko, S., & Koshma, A. (2016). Rozroblennja modeli merezhi rozdil'nogo zbyrannja tverdyh pobutovyh vidhodiv. *Tehnichni nauky ta tehnologii'*, (1), 122–130 [in Ukrainian].
5. Shekel', O. J., & Shevchenko, L. V. (2010). Tehnologii' ta obladnannja dlja sfery povodzhennja z pobutovymy vidhodamy. *Tehnogenno-ekologichna bezpeka ta cyvil'nyj zahyst*, (1), 84–89 [in Ukrainian].
6. Savuljak, V. I., & Berezjuk, O. V. (2006). Tehnichne zabezpechennja zbyrannja, perevezennja ta pidgotovky do pererobky tverdyh pobutovyh vidhodiv. Vinnycja: UNIVERSUM [in Ukrainian].
7. Savchenko, L. V., D'jachenko, Ju. S., & Velychko, A. V. (2015). Dvoetapna shema perevezennja tverdyh pobutovyh vidhodiv mista. *Visnyk Nacional'nogo transportnogo universytetu*, (31), 463–468 [in Ukrainian].
8. Matvjejev, Ju., & Geletuha, G. (2019). *Perspektyvy energetychnoi' utylizacii' tverdyh pobutovyh vidhodiv v Ukrai'ni*. Retrieved from: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/01/position-paper-uabio-22-ua.pdf> [in Ukrainian].
9. Roust, K., Zisen, L., & Hellwig, C. (2020). Household waste sorting participation in developing countries – a meta-analysis. *Recycling*, 5(1), 6. <https://doi.org/10.3390/recycling5010006>.
10. Das, S., & Bhattacharyya, B. K. (2015). Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes. *Waste Management*, 43, 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.033>.
11. Yadav, V., & Karmakar, S. (2020). Sustainable collection and transportation of municipal solid waste in urban centers. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101937. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101937>.
12. Bertanza, G., Ziliani, E., & Menoni, L. (2018). Techno-economic performance indicators of municipal solid waste collection strategies. *Waste Management*, 74, 86–97. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.009>.
13. Rogge, N., & De Jaeger, S. (2013). Measuring and explaining the cost efficiency of municipal solid waste collection and processing services. *Omega*, 41(4), 653–664. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2012.09.006>.
14. Nanda, S., & Berruti, F. (2020). Municipal solid waste management and landfilling technologies: A review. *Environmental Chemistry Letters*. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01100-y>.
15. Chen, D. M.-C., Bodirsky, B. L., Krueger, T., Mishra, A., & Popp, A. (2020). The world's growing municipal solid waste: Trends and impacts. *Environmental Research Letters*, 15(7), 074021. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8659>.
16. Gisi, S. D., Alberotanza, A., Todaro, F., Campanaro, V., & Notarnicola, M. (2020). Separate collection of municipal solid waste and fate of the residual unsorted fraction: A scenario analysis. *Environmental Engineering and Management Journal*, 19(10), 1731–1740. <https://doi.org/10.30638/eemj.2020.163>.
17. Gundupalli, S. P., Hait, S., & Thakur, A. (2017). A review on automated sorting of source-separated municipal solid waste for recycling. *Waste Management*, 60, 56–74. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.09.015>.
18. Zhang, J., Qin, Q., Li, G., & Tseng, C.-H. (2021). Sustainable municipal waste management strategies through life cycle assessment method: A review. *Journal of Environmental Management*, 287, 112238. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112238>.

19. van der Sloot, H. A., Kosson, D. S., & Hjelmar, O. (2001). Characteristics, treatment and utilization of residues from municipal waste incineration. *Waste Management*, 21(8), 753–765. [https://doi.org/10.1016/s0956-053x\(01\)00009-5](https://doi.org/10.1016/s0956-053x(01)00009-5).
20. Alzamora, B. R., & Barros, R. T. d. V. (2020). Review of municipal waste management charging methods in different countries. *Waste Management*, 115, 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.020>.

The article was received 21.06.2022 and was accepted after revision 03.10.2022

Сатін Ігор Валентинович

канд. техн. наук, доцент Київського національного університету будівництва і архітектури, т.в.о. заступника директора Державного підприємства «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства»

Адреса робоча: вул. Митрополита В. Липківського, 35, м. Київ, Україна, 03035

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2028-9791> **e-mail:** satin@nikti.org.ua

Романова Тетяна Іванівна

канд. техн. наук, завідувач лабораторії Державного підприємства «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства»

Адреса робоча: вул. Митрополита В. Липківського, 35, м. Київ, Україна, 03035

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5747-8270> **e-mail:** romanova@nikti.org.ua

Панченко Олена Сергіївна

завідувач лабораторії Державного підприємства «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства»

Адреса робоча: вул. Митрополита В. Липківського, 35, м. Київ, Україна, 03035

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3680-7036> **e-mail:** panchenko@nikti.org.ua

UDC 504.4.054

Sachli A. Ganiyeva¹, PhD
e-mail: meliorasiya58@gmail.com

Ramal M. Danziyev¹
e-mail: meliorasiya58@gmail.com

Eldar A. Gurbanov¹, Doctor of Agrarian Sciences
e-mail: meliorasiya58@gmail.com

Zumrud R. Gurbanova²
e-mail: meliorasiya58@gmail.com

¹ Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku, Azerbaijan

² Azerbaijan State University of Petroleum and Industry Introduction, Baku, Azerbaijan

INFLUENCE OF CLIMATE CHANGE AND ENLARGEMENT OF IRRIGATED SOILS ON QUALITATIVE INDICATORS OF RIVER WATER

***Annotation.** It was determined that beginning from 1990s increase happened in temperature and amount of the precipitations significantly reduced. These climate changes affected the quantitative indicators of the Kur water. The ion content of the river water considerably rose in 2018 in comparison with 1952 and 1990s. This rise was more intensive towards the river mouth. In 1952 the ion sum in the Girag Kasaman station was 419,0 mg/l, but in 1990 this figure was 608,3 mg/l, in 2018 it was 620,5 mg/l. But in Banka near the river mouth a quantity of ions was 865,0 mg/l in 1952, 874,7 mg/l in 1990, but it was 888,1 mg/l in 2018. The climate alteration affected mineralogical composition and amount of biogenic elements. A quantity of minerals legally rose while approaching the river mouth. Especially this increase has risen even further for 30 years.*

Change of the Kur water quality in this direction causes formation of some problems in irrigation use. Tons of harmful salts enter every hectare of land. The undrained and old unrepaired drained soil are salinized and create condition for degradation.
Key words: the Kur river; climate changes; ion content; mineralization; biogenic elements; water quality

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.4.72-79>

Introduction

At present there are some problems on the earth and the ecological problems are more urgent. The climate changes occupy a very important place among them. This has created and continues to create a fundamental problem on the Earth, including in the Azerbaijan Republic.

Increase of the temperature and reduction of the rainfalls directly affect the water supply and rivers including the Kur wateriness. It is known from the statistic information that the temperature rise and rainfall decrease show itself sharply in the areas where the Kur river crosses.

A main aim of the researches was to study dependence of the climate change of the qualitative indicators as its irrigative water and influence of expansion of the irrigated soils along with the change of the Kur mellowness.

Some different specialists performed researches in this direction and showed increase of the water mineralization indicators of the water in the Kur in different years [2, 4, 5, 7, 8, 9]. E.A. Gurbanov [3], Babayev and others [11], noted the height of great effect of these waters on soil degradation.

The climate change shows itself in quantity indicators of two main factors: temperature and an amount of rainfall. Difference of the zone climate along the Kur of the Azerbaijan Republic have been statistically defined on seasons of 1970–1994 and 1995–2015 (Table 1). An analysis of the temperature on the basis of the information of the metrological stations in the physical-geographical province of the Kur valley has been performed and it is clear from the investigations that an increase of temperature in winter was most 4,4°C in Mingachevir, the least in Ganja – 0,8°C. But in the spring months the temperature decreased – 0,1-1,2°C in all other stations. In the summer months the temperature increased in all other stations except the Mingachevir station (Table 1).

Table 1. Difference of the temperatures on seasons of 1980–1994 and 1995–2015

№	Metrological station	Height (m)	Winter	Spring	Summer	Autumn	Annual
1	Mingachevir	93	+4,4	-0,5	-0,1	+1,1	+1,2
2	Zardab	-5	+1,1	-0,4	+1,7	+1,9	+1,1
3	Salyan	-22	+0,8	+0,2	+1,3	+1,8	+1,0
4	Shamkir	165	+0,9	-0,1	+0,9	-1,0	+0,2
5	Ganja	309	+0,8	-1,2	+1,2	+1,3	+0,6
6	Aghstafa	340	+0,9	-0,2	+1,1	+1,2	+1,0

Table 2. Difference of the precipitations on seasons of 1970–1994 and 1995–2015

№	Metrological station	Height (m)	Winter	Spring	Summer	Autumn	Annual
1	Mingachevir	93	-12,6	+25,6	-3,3	-65,8	-65,7
2	Zardab	-5	+5,8	+6,2	-23,5	-20,1	-31,7
3	Salyan	-22	+1,5	+25,7	-19,3	-24,6	-16,7
4	Shamkir	165	-12,1	+0,1	+7,6	-44,7	-49,1
5	Ganja	309	-1,6	+27,3	-1,9	-19,8	+4,0
6	Aghstafa	340	-13,4	21,2	-18,9	-23,5	-34,6

The temperature grew in all the station except Shamkir station in autumn. The performed analysis gives a chance to say that the most temperature rise was observed in the zones along the Kur in autumn. An average annual rise of the temperature was observed in all the stations along the Kur.

The most index was in Mingachevir – 1,2°C, the least index was in Shamkir – 0,2°C. It is possible to conclude from the investigations that the temperature which is a main element of the climate has risen significantly in the last 20 years (in the zones around the Kur (Table 1)).

It is seen from Table 2 that reduction happened in an average annual quantity of precipitations in other stations except Ganja station. The precipitation decrease was mainly observed in summer and autumn. But in spring months increase of the rainfalls is felt.

Object and method of the research

An object of the research is a great river of Kur in General Caucasus, its total length is 1515 km. The Kur belongs to three countries – Turkey, Georgia and Azerbaijan. Its length is slightly more in Azerbaijan [4]. An average yearly water consumption is 229–288 m³/sec, in Mingachevir, 440–480 m³/sec, in Surra hydro-station after joining the Araz, but 395–436 m³/sec in Banka hydrostation some distance from the Araz. Its water consumption was 392–434 m³/sec, in the mouth of the river was 392–434 m³/sec, in 1980–1985. But it is important to note that the water consumption rises till 2000 m³/sec, in some years. Construction of the water storages over the Kur and the climate changes in last 30 years affected decrease of its water consumption. The riverbed is formed in the zones with semi-desert and arid steppe climate with mild winter [7, 8].

The mathematic-statistic method along with the modern and traditional methods was also used. Some information related to water Management Project Institute off Azerbaijan [1].

The chemical analysis of water was performed by generally accepted methods [6, 10]. The water for analysis was taken in containers of 100 gm³ from upper, middle and bottom part in vertical direction. The water samples were obtained in irrigation period of the agricultural plants – in May and August months.

Conclusion and analysis

The information obtained from the researches shows that it is possible to divide the reasons of change of the substance amount in water content of the Kur into two groups: natural and anthropogenic. A basis of the natural reason is climate alterations and phenomena. A nutrition source of the Kur is 36% snow, 30% subsoil water, 20% rain, and 14% glacial water. 80% of the Kur water directly related to climate. Therefore, the climate change affects its wateriness and water content intensively. We got the information due to 1952 and 1990 from the reference and archive materials to define this change [7, 8]. The information of 1952 was taken because after that time construction of the water storage over the Kur river shattered its natural flow regime, and this didn't go unnoticed by the water amount and quality. After 1990s the changes occurring in climate directly affected the Kur flow and water qualitative content.

The alteration of ion content in waters of the separate hydrostations was determined in the Kur river of Azerbaijan on years (Table 3). The consequences of the analyses of the there – year information for comparison have been given. A main character of 1952 is that the flow of the Kur wasn't regulated until this year. That is the dam and water storage weren't constructed. That's why, it is necessary to compare the results of the information of the next years with this year.

According to the information of 1952 the ion content changes as it reaches the mouth. A sum of ions was 522,6 mg/l, while it was 419,0 mg/l in the Giragkasaman massive, but its amount grows and becomes 865,2 mg/l as it reaches the mouth. An amount of anions SO₄, HCO₃ and Cl⁻ quickly increased as it reaches the mouth, but Ca⁺² cation amount sharply decreased. A quantity of cation comparatively grew in the Surra hydrostation after joining the Araz. An amount of Mg²⁺ cation decreased in the Surra hydrostation and grew towards the mouth again.

Table 3. Alteration of ion content of the waters in the Kur in separate stations on years

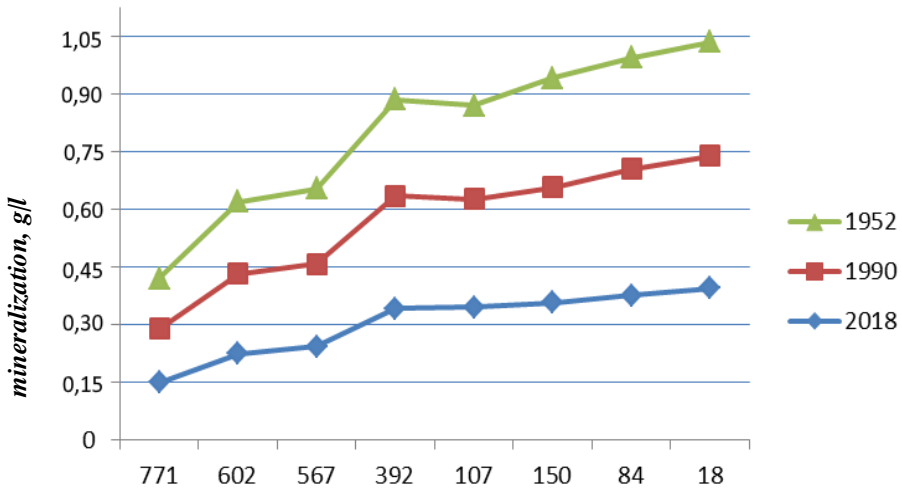
Hydrostation	Distance from the station, km	Ion content of water, ml/l						Total mg/l	Water consumption m^3/san
		Ca	Mg	Na+K	SO ₄	HCO ₃	Cl		
1952									
Giragkasaman	771	70,2	21,3	71,5	206,2	172,8	39,8	419,0	381
Mingachevir	602	55,8	27,6	87,5	193,5	178,6	89,6	522,6	390
Yevlakh	567	52,4	33,7	93,5	198,3	192,4	92,7	663,0	371
Zardab	392	52,8	34,3	88,8	193,5	182,5	97,6	649,5	366
Surra	207	52,6	24,4	94,4	210,6	195,4	100,3	677,7	558
Şirvan	150	64,5	35,3	132,6	255,7	190,3	111,5	789,0	548
Salyan	87	67,4	50,3	141,6	260,3	211,2	113,7	844,5	525
Banka	18	67,6	47,2	136,4	281,4	219,0	113,5	865,2	524
1990									
Giragkasaman	771	69,6	28,5	87,7	201,0	176,3	45,2	608,3	308
Mingachevir	602	51,2	30,1	82,9	206,2	184,1	93,5	648,0	279
Yevlakh	567	52,5	34,3	91,6	204,9	186,8	101,9	671,9	263
Zardab	392	53,6	38,0	92,5	211,0	188,1	98,5	681,7	271
Surra	207	56,2	39,1	96,7	212,6	191,3	103,8	804,7	509
Şirvan	150	62,6	43,2	128,6	250,0	199,5	112,6	806,5	491
Salyan	84	68,8	51,3	148,7	268,9	212,8	116,2	866,7	479
Banka	18	69,1	63,7	142,5	276,7	210,3	112,9	874,7	402
2018									
Giragkasaman	771	67,3	22,5	78,1	211,7	179,2	51,7	620,5	299
Mingachevir	602	55,9	24,5	85,6	238,2	196,4	69,5	670,1	273
Yevlakh	567	57,5	36,1	90,3	211,4	193,7	106,7	695,7	269
Zardab	392	54,8	29,8	93,9	223,5	199,8	101,2	703,0	251
Surra	207	67,7	28,8	136,5	259,1	202,0	103,5	797,0	508
Şirvan	150	68,9	34,1	139,2	268,2	201,8	101,6	813,8	489
Salyan	84	69,5	57,2	147,0	269,7	216,5	119,3	879,2	425
Banka	18	69,8	59,6	149,7	271,4	219,0	118,6	88,1	382

According to the information of 1990 a quantity of ion was more (Table 3). A main reason of these changes is anthropogenic factors, but the climate alterations must be felt. The information of 2018 shows that an increase of ions amount is related to the climate changes.

The ions change in the river waters occurs in two directions. The first is an increase of ions amount in the water towards the mouth. The second is the increase of ions from previous years to the present. The main reasons of this are increase of temperature and intensification of evaporation. The reduction of the rainfalls stimulates this increase.

The analysis shows that an influence of the changes occurring in climate is felt in all ions amount of the water (Table 3). The general mineralization in waters increases under an influence of the climate changes (Graphics 1). It is clear from the graphics analysis that mineralization increases to Mingachevir, but this increase is very little noticeable. Though mineralization rises up two times in hydrostation after Yevlakh i.e. in Zardab, this increase weakly shows that the rise.

The researches show that the rise on years and stations is observed in an amount of the biogenic elements of the water (Table 4). A quantity of total nitrogen in Giragkasaman hydrostation grew 1,01 mg/l in 1952, but it was 1,98 mg/l in 1990, it became 2,25 mg/l in connection with the climate change in 2018. Such change is observed in a quantity of total phosphorus. The directions of the alterations occurring in mineralization repeat in biogenic elements. According to the information of 2018 an amount of total nitrogen is 2,25 mg/l in Giragkasaman and it gradually reduces towards the place at the joining of the Araz river, then. This index intensively rises. Undoubtedly, this is influenced by the composition of the waters of the Araz river. But this state isn't observed in total phosphorus. Change of mineralization in hydrostations as they move away from the mouth of the Kur river on years (pic. 1).



Picture 1. Change of salt quantity over years

Table 4. Alternation of biogenic elements in the separate hydrostations of the Kur river on years

Hydrostation	Distance from the mouth, km	Sum of total hydrogen, mg/l			Sum of total phosphorus, mg/l		
		1952	1990	2018	1952	1990	2018
Girag Kasaman	771	1,01	1,98	2,25	0,017	0,031	0,048
Mingachevir	602	1,03	1,31	1,32	0,019	0,036	0,051
Yevlakh	567	1,11	1,35	1,42	0,026	0,049	0,054
Zardab	392	1,19	1,30	1,28	0,029	0,051	0,063
Surra	207	1,43	1,57	1,52	0,022	0,048	0,057
Şirvan	150	1,50	1,62	1,79	0,027	0,052	0,059
Salyan	84	1,52	1,78	1,86	0,030	0,056	0,064
Banka	18	1,55	1,81	1,84	0,033	0,059	0,068

It is seen from the information of 2018 that total phosphorus gradually rises towards the mouth. It is clear from the information that a quantity of biogenic elements in water occurs in increase direction beginning from 1990s. It is possible

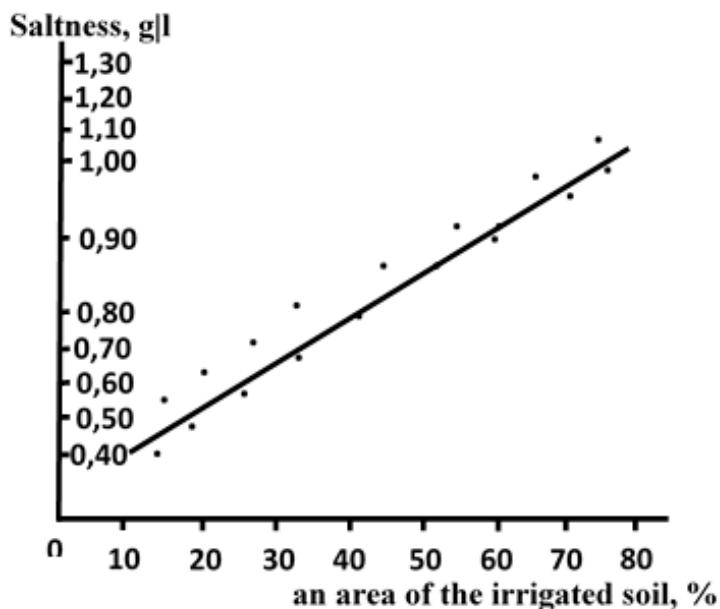
to relate it to the changes occurring in climate. Though these alterations are observed by floods for two times, the noticeable reductions are available in an amount of water consumption.

The researches indicate that the water mineralization increased in the rivers including in the Kur basin for recent decades. There are other factors in the climate along with the temperature increase and precipitation decrease.

As we mentioned above, expansion of irrigated soil, the water returning in the opposite direction in irrigation raise mineralization. Expansion of irrigation intensifies this process.

The irrigative water causes increase of groundwater in the higher areas. The irrigative water which is salinized in the Kur river mixes with the groundwater and returns to the Kur again. This process occurs several times, firstly returning of excess water from surface irrigation, and the second is due to the construction of the collector drainage, and the water is collected and mixed with the river water, the third is water storage constructed on the Kur, Araz and other rivers. The water which collects in these storages intensively evaporates in a hot period and therefore mineralization rises. For.ex: the water storages built in the rivers of Mingachevir, Shamkir, Tazakand, Varvara on the Kur, and Araz, Mil-Mughan and other rivers on the Araz increased mineralization of the Kur River.

The observations indicate that water mineralization in the river rises even higher in the dry years. We have prepared a graph of water salinization due to enlargement of the irrigated soil area on the basis of the above results (pic. 2).



Picture 2. Impact of increase of the irrigated area on salinization

It is known from the graph that an enlargement of the irrigated area in the low flow of the Kur river is a reason for saltiness increase. Growth of the irrigated part of the general area is attributed to water salinity. For.ex: if 10% of the general area is irrigated, the saltness doesn't change. But if 5% of the soil is irrigated, the saltness rises for 2 times. The irrigated soil area rises 2,5 times at 80%.

Conclusion

The research and statistics analyses show that the changes in climate of the Kur river – the temperature rise and rainfalls decrease are occurring. This doesn't pass unnoticed to the ecosystem and human economic activities, it seriously affects the qualitative and quantitative indicators of the water supply.

The information in the hydrostations over the Kur river on different years indicates that an amount of ions in water content rose and this increase grew until two times after 1990s. A quantity of minerals in water content rose more than 50% towards the mouth. The biogenic elements in water content – total nitrogen and total phosphorus also increased, this rise is observed in the stations which are far from the stations. As a result of enlargement of the irrigated soil area, the saltness indicator rose in the water of the Kur river.

Increase of the ion content and mineral of the irrigative water created salinization risk of soils and this causes the entry of harmful salts (on average 10 tons per hectare). As a result of enlargement of the irrigated soil area, the saltness indicator rose in the water of the Kur river.

REFERENCES

1. Pashayev, E., & Hasanov, F. (2010). Historical and development way of the Institute “Azerbaijan State Water Management Project”. Baku: “East – West”.
2. Gurbanov, E.A. (2016). Effects of the climate changes. Baku: “Teacher”.
3. Gurbanov, E.A. (2018). Scientific bases of the direction and protection of the soils change under an influence of anthropogenic effects in the Kur – Araz valley. Diss. Synopsis of thesis. Baku.
4. Abduev, M.A., & Ismayilov, R.A. (2012). Role of the Kur river in pollution of the Caspian Sea. *Geographic news*, 3(22), 75-79.
5. Abduev, M.A. (2009). Investigation of ion content of the mountainous rivers of Azerbaijan. News. *RGO*, 141(1), 72-76.
6. Axenov, V.I., Umakova, L.I., & Nichkova, I.I. (2014). Water chemistry, analytical decontamination of laboratory practice. Yekaterinburg: Uralik University pub. House.
7. Babayev, M.P. (1984). Irrigated soils of the Kur – Araz valley and their productive capacity. Baku: “Elm” (Science).
8. Mansimov, M.R., Suleymanov, B.A., Ahmedova, J.N., & Ahmedova, S.A. (2007). Change of the salt content of water resources. Basin of the Kur. *Works of SO Azerbaijan*, 11, 465-470.
9. Mansimov, M.R. (2007). Consequence of climate change in Azerbaijan and their social-economic aspects. *Works of SO Azerbaijan*, 10, 439-447.
10. Muraveva, A.G. (2018). *Water analysis guide. Potable and natural water, soil extracts* (Doctoral dissertation, 2018) (p. 360). S.P.B.: Christmas.
11. Babayev, M.P., Qurbanov, E.A., & Ramazanova, F.M. (2015). Main Types of Soil Degradation in the Kura – Aras Lowland of Azerbaijan. *Eurosion Soil Science*, 48(4), 102-105.

The article was received 05.09.2022 and was accepted after revision 07.11.2022

С.А. Ганієва, Р.М. Данзієв, Е.А. Гурбанов, З.Р. Гурбанова ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН ТА РОЗШИРЕННЯ ЗРОШУВАННЯ ҐРУНТІВ НА ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ РІЧКОВОЇ ВОДИ

Анотація. Встановлено, що починаючи з 1990-х років відбулося підвищення загальної температури повітря і кількість опадів значно зменшилася. Ці зміни клімату вплинули на кількісні показники якості води річки Кура. Вміст іонів у річковій воді

у 2018 р. значно зріс у порівнянні з 1952 та 1990 рр. Інтенсивніше зростання спостерігалось поблизу гирла річки. Якщо в 1952 р. вміст іонів на гідрологічній станції Гіраг Касаман становив 419,0 мг/л, то в 1990 р. цей показник склав 608,3 мг/л, а в 2018 р. – 620,5 мг/л. А на гідрологічній станції Банка біля гирла річки кількість іонів становила 865,0 мг/л у 1952 р., 874,7 мг/л у 1990 р. та 888,1 мг/л – у 2018 р. Зміна клімату вплинула на мінералогічний склад і кількість біогенних елементів річкової води. З наближенням до гирла річки рівень мінералізації закономірно зростає. Особливо показовим є це зростання за останні 30 років.

Зміна якості води р. Кура викликає значні проблеми при застосуванні зрошувальних заходів. На кожен гектар землі потрапляють тонни шкідливих солей. Неосушені та старі невідновлені осушені ґрунти засолюються, і, таким чином, створюються умови для подальшої деградації ґрунтів.

Ключові слова: р. Кура; зміни клімату; вміст іонів; мінералізація; біогенні елементи; якість води

Стаття надійшла до редакції 05.09.2022 і прийнята до друку після рецензування 07.11.2022

Ганісва Сачлі

кандидат с.-г. наук, Азербайджанський університет архітектури та будівництва
Адреса робоча: AZ1073 Азербайджан, м. Баку, вул. А. Султанова, 5
e-mail: meliorasiya58@gmail.com

Данзієв Рамал

Азербайджанський університет архітектури та будівництва
Адреса робоча: AZ1073 Азербайджан, м. Баку, вул. А. Султанова, 5
e-mail: meliorasiya58@gmail.com

Гурбанов Ельдар

доктор аграрних наук, Азербайджанський університет архітектури та будівництва
Адреса робоча: AZ1073 Азербайджан, м. Баку, вул. А. Султанова, 5
e-mail: meliorasiya58@gmail.com

Гурбанова Зумруд

Азербайджанський державний університет нафти та промисловості
Адреса робоча: AZ1073 Азербайджан, м. Баку
e-mail: meliorasiya58@gmail.com

УДК 628.4.03

Ihor V. Satin^{1,2}, PhD, Associate Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture, Acting deputy director, Scientific, Research, Design and Technology Institute of Municipal Economy, State Enterprise
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2028-9791> **e-mail:** satin@nikti.org.ua

Serhii V. Khytruk², Research Fellow
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8536-6874> **e-mail:** hytruk@nikti.org.ua

Olena S. Panchenko², Head of the Laboratory
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3680-7036> **e-mail:** panchenko@nikti.org.ua

¹ Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

² Scientific, Research, Design and Technology Institute of Municipal Economy, State Enterprise, Kyiv, Ukraine

DETERMINATION OF THE NORMS FOR THE TRANSPORTATION OF HOUSEHOLD WASTE FOR HIRSKA AMALGAMATED TERRITORIAL COMMUNITY SETTLEMENTS

***Abstract.** Solving the problem of household waste management is based on determining the amount of waste generated. It is important to conduct research for both urban and rural settlements with different degrees of coverage of the population by a centralized system of collection and removal of household waste in order to obtain more reliable results.*

The purpose of the work is to improve methodological approaches to determining the norms of providing services for the transportation of household waste in populated areas.

Analysis of literature data shows that there is no valid data on field measurements and their results, and there are no consistent forms of presentation of the obtained results. This makes it impossible to compare them and carry out a deeper analysis to identify the dependence of the calculated accumulation rates on the population and the level of coverage by the centralized collection system and transportation of household waste in cities, territorial communities and villages.

This article presents field studies performed to determine the volume of household waste generation from the sources of its generation. On-site measurements were carried out on the territory of the Hirska Amalgamated Territorial Community.

***Key words:** municipal household waste; mixed household waste; service provision norms; formation norms*

© I.B. Сатін, С.В. Хитрук, О.С. Панченко, 2022

І.В. Сатін^{1,2}, С.В. Хитрук², О.С. Панченко²

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

² Державне підприємство «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства», м. Київ, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ НОРМ НАДАННЯ ПОСЛУГ З ВИВЕЗЕННЯ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ДЛЯ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ ГІРСЬКОЇ СІЛЬСЬКОЇ ОБ'ЄДНАНОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ

***Анотація.** Вирішення проблеми управління побутовими відходами базується на визначенні кількості їх утворення. Причому важливо проводити дослідження як для міських, так і для сільських населених пунктів з різним ступенем охоплення населення централізованою системою збирання та вивезення побутових відходів для отримання більш достовірних результатів. Метою роботи є удосконалення методологічних підходів до визначення норм надання послуг з вивезення побутових відходів у населених пунктах.*

Із аналізу літературних даних встановлено, що відсутні достовірні дані про проведені натурні заміри та їх результати, відсутні єдині форми подання отриманих результатів, що унеможливило їх порівняння та проведення глибшого аналізу із виявлення залежності розрахованих норм накопичення до кількості населення та рівня охоплення централізованою системою збирання та вивезення побутових відходів у містах, територіальних громадах та селах.

У представленій роботі виконані натурні дослідження з визначення обсягів утворення побутових відходів від джерел їх утворення. Проведення натурних замірів відбувались на території Гірської сільської об'єднаної територіальної громади.

***Ключові слова:** побутові відходи; змішані побутові відходи; норми надання послуг; норми утворення*

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.4.80-90>

Вступ

Постановка завдання. Однією з причин екологічно небезпечної ситуації, яка склалась в Україні в сфері управління відходами, є неефективність систем збирання та транспортування побутових відходів від місць утворення до об'єктів перероблення, відновлення або видалення відходів. Техніко-економічні показники системи збирання та транспортування побутових відходів залежать від обсягів утворення побутових відходів. Відомо, що основними джерелами утворення побутових відходів в населених пунктах є житлові будинки домогосподарств та підприємства, організації, установи.

Проектування схеми системи збирання та транспортування побутових відходів та визначення її потужності залежать від обсягів утворення відходів, обраної технології відновлення та виділення відходів, природно-кліматичних умов в регіоні, особливостей рельєфу місцевості, перспективи забудови території, прогнозованої зміни чисельності населення, морфологічного складу та фізико-хімічних властивостей побутових відходів.

Прогнозування обсягів утворення побутових відходів з урахуванням соціально-демографічних, містобудівних, економічних чинників стає можливим при визначенні норми надання послуг з вивезення побутових відходів.

Норми надання послуг з вивезення побутових відходів – це кількісний показник споживання послуг з вивезення побутових відходів, які утворюються на одну розрахункову одиницю за певний час (наприклад, добу, місяць або рік) [1].

Визначення норм дозволяє використовувати отримані значення при розрахунках техніко-економічних параметрів систем збирання та перевезення побутових відходів при розробці Схем санітарного очищення та прибирання населених пунктів, плануванні господарської діяльності, розробці регіональних та місцевих планів управління відходами або при проектуванні нових ділянок забудови населених пунктів.

Робота виконується в рамках реалізації Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України № 820-р від 8 листопада 2017 року та з урахуванням вимог постанови Кабінету Міністрів України № 1070 від 10.12.2008 «Про затвердження Правил надання послуг з вивезення побутових відходів».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковий та практичний досвід авторів робіт [2–5] засвідчує суттєвий вплив різних факторів на обсяги утворення побутових відходів. Так, в роботі [2] показано, що найбільший вплив на утворення побутових відходів в м. Житомир мають доходи населення. В статті зазначається, що розвиток промислових виробництв та зростання рівня добробуту громадян напряму впливають на обсяги утворення ТПВ. В той же час, автори при прогнозуванні обсягів утворення використовують прогнозні показники чисельності населення [2].

Вплив на збільшення норми утворення побутових відходів під дією змін у споживанні та соціально-економічного розвитку відображено в роботі [4]. Автори роботи використовують норму надання послуг з вивезення побутових відходів як вихідну інформацію для дослідження регіональних особливостей захоронення побутових відходів.

Також, визначення норми утворення та використання при подальших прогнозних розрахунках обсягів утворення побутових відходів зазначено в роботах [4–14].

Таким чином, визначення норм надання послуг з вивезення побутових відходів дозволить забезпечити ефективне прогнозування обсягів утворення побутових відходів в населеному пункті та розрахувати техніко-економічні показники системи збирання та транспортування побутових відходів.

Мета дослідження. Визначення кількісних показників утворення побутових відходів від житлових будинків багатоквартирних та одноквартирних (з наявністю усіх видів благоустрою), житлових будинків індивідуальної забудови (будинків приватного сектору), підприємств, установ та організацій на прикладі населених пунктів Гірської сільської територіальної громади.

Результати дослідження

Визначення норм надання послуг з вивезення побутових відходів розроблялись згідно з вимогами Правил визначення норм надання послуг з вивезення побутових відходів, затверджених наказом Мінжитлокомунгоспу України № 259 від 30.07.2010 [1].

Для розрахунку норм визначають фактичну кількість побутових відходів за джерелами їх утворення на основі натурних замірів протягом 7 днів.

Середньорічні розрахунки включають використання коефіцієнтів сезонної нерівномірності утворення твердих побутових відходів (за об'ємом).

Тверді побутові відходи у Гірській сільській об'єднаній територіальній громаді збираються, переважно, в контейнери місткістю 0,75 м³, 1,1 м³, які розміщені в місті на контейнерних майданчиках, або безпосередньо в сміттєвоз, коли він рухається за маршрутом.

Для населених пунктів Гірської сільської об'єднаної територіальної громади відповідно до вимог [1] прийнято, що вимірювання кількості ТПВ для житлових будинків проводять на частині території житлової забудови населеного пункту, де проживають 2% від загальної чисельності мешканців.

Для проведення досліджень були обрані три контейнерні майданчики багатоквартирних будинків з населенням 589 чол., сім вулиць з населенням 530 чол. в одноквартирних будинках та будинках індивідуальної забудови, з присадибною ділянкою.

Під час вимірювання кількості твердих побутових відходів, що утворюються на підприємствах, установах, організаціях, обирають найбільш характерні для даного населеного пункту джерела у кількості не менше двох.

Для проведення замірів і досліджень були прийняті наступні види джерел утворення ТПВ:

- Житлові будинки багатоквартирні та одноквартирні упорядковані (з наявністю усіх видів благоустрою);
- Житлові будинки індивідуальної забудови (будинки приватного сектору), з присадибною ділянкою;
- Готелі;
- Гуртожитки;
- Загальноосвітні школи;
- Дошкільні дитячі заклади;
- Склади;
- Адміністративні та громадські установи і організації;
- Заклади культури і мистецтва;
- Промтоварні магазини, ларьки, кіоски;
- Продовольчі магазини, ларьки, кіоски;
- Аптеки;
- Ринки;
- Заклади громадського харчування (ресторани, кафе, їдальні та ін.);
- Підприємства побутового обслуговування;
- Поліклініки;
- Кладовища, колумбарії.

В період з 08.08 по 14.08.2022 р. проведені натурні дослідження на території Гірської сільської об'єднаної територіальної громади.

На обраних джерелах утворення побутових відходів у визначені терміни в місцях розміщення сміттєзбірних контейнерів здійснювались щоденні (впродовж не менш семи днів поспіль) спостереження та заміри кількості відходів за об'ємом та масою.

Для вимірювання кількості твердих побутових відходів використовували наступне обладнання:

- а) рулетка;
- б) динамометр ДПУ-5-2 5 на 500 кг, похибка зважування $\pm 2\%$.

Вимірювання кількості твердих побутових відходів розпочинали з вибору маршрутів спеціального автотранспорту, що здійснює збирання та перевезення твердих побутових відходів (сміттєвоз), для кожного з обраних джерел, а також кількості розрахункових одиниць для кожного маршруту.

Під час проведення вимірювання кількості твердих побутових відходів фіксували:

- кількість контейнерів, од.;
- об'єм кожного контейнера, куб. м;
- ступінь заповнення контейнерів твердими побутовими відходами;
- масу контейнера порожнього та заповненого твердими побутовими відходами або масу порожнього та заповненого твердими побутовими відходами сміттєвоза, т.

Перед початком вимірювання усі контейнери були очищені від твердих побутових відходів.

Під час вимірювання була виключена можливість ущільнення обслуговуючим персоналом твердих побутових відходів у контейнері.

Під час проведення вимірювання кількості твердих побутових відходів поверхня твердих побутових відходів, що знаходилися в контейнері, розрівнювалась та визначалась ступінь його заповнення. Об'єм твердих побутових відходів дорівнював об'єму наповненої відходами частини контейнера.

Якщо контейнер був наповнений з верхом, надлишок ТПВ знімали, перевантажували у незаповнений контейнер, або, у разі його відсутності, завантажували у той самий контейнер після його спорожнення, після чого проводили вимірювання.

Після відповідної систематизації дані заносились у спеціальні табличні форми первинних даних. Після чого ці первинні дані опрацьовувалися за стандартними методиками статистичного опрацювання та аналізу експериментальних даних наукових досліджень із визначенням середньостатистичних величин, середніх значень досліджуваних величин, їх вірогідних інтервалів тощо.

Результати натурних замірів ТПВ за об'єктами їх утворення наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Норми надання послуг з вивезення побутових відходів у Гірській сільській об'єднаній територіальній громаді

Джерело утворення побутових відходів	Розрахункова одиниця	Кількість розрахункових одиниць	Утворення побутових відходів у середньому на рік на одну розрахункову одиницю		Щільність ТПВ кг/м ³
			V, м ³	m, кг	
1. Житлові будинки багатоквартирні та одноквартирні упорядковані (з наявністю усіх видів благоустрою)	1 мешканець	589	2,70	439,66	163

Джерело утворення побутових відходів	Розрахункова одиниця	Кількість розрахункових одиниць	Утворення побутових відходів у середньому на рік на одну розрахункову одиницю		Щільність ТПВ кг/м ³
			V, м ³	m, кг	
2. Житлові будинки індивідуальної забудови (будинки приватного сектору), з присадибною ділянкою	1 мешканець	530	3,08	545,7	177
3. Готелі	1 місце	60	1,84	294,1	160
4. Гуртожитки	1 місце	58	2,12	327,7	155
5.1 – загальноосвітні школи	1 учень	1 560	0,22	32,4	146
5.2 – дошкільні дитячі заклади	1 місце	190	1,61	254,7	158
6. Склади	1 м ² площі	8 550	0,08	15,5	193
7. Адміністративні та громадські установи і організації	1 робоче місце	67	2,30	288	125
8. Заклади культури і мистецтва	1 місце	450	0,51	77,2	150
9. Промтоварні магазини, ларьки, кіоски	1 м ² торгової площі	1 080	0,22	30,9	142
10. Продовольчі магазини, ларьки, кіоски	1 м ² торгової площі	550	1,80	274,0	153
11. Аптеки	1 м ² торгової площі	130	0,59	78,2	133
12. Ринки	1 м ² торгової площі	1 000	0,36	65,6	184
13. Заклади громадського харчування (ресторани, кафе, їдальні та ін.)	1 місце	250	2,11	381,7	181
14. Підприємства побутового обслуговування	1 робоче місце	14	1,29	215,7	167
15. Поліклініки	1 відвідування	4 000	0,02	2,9	143
16. Кладовища, колумбарії	1 м ² площі території	67 00	0,06	9,9	155

Для джерел утворення побутових відходів, на яких відходи утворюються щоденно, середньорічна норма (м³) за рік розраховується множенням середньодобової норми на 365 (кількість днів року), для підприємств, установ та організацій – 251.

Середня щільність твердих побутових відходів, які утворюються у житлових будинках, а також на підприємствах, установах і організаціях, розраховується за формулою:

$$\rho_{сер.} = \left(\left[\frac{(\rho_{б.б.} * K_{б.б.} + \rho_{н.с.} * K_{н.с.})}{K_{б.б.} + K_{н.с.}} \right] + \rho_{с.н} \right) * 0,5, \quad (1)$$

де $\rho_{б.б.}$ – середня арифметична щільність твердих побутових відходів, які утворюються у багатоквартирних житлових будинках, кг/м³;

$K_{б.б.}$ – кількість населення у багатоквартирних житлових будинках в межах дослідження, чол.;

$\rho_{н.с.}$ – середня арифметична щільність твердих побутових відходів, які утворюються у житлових будинках приватного сектору, кг/м³;

$K_{н.с.}$ – кількість населення у житлових будинках приватного сектору в межах дослідження, чол.;

$\rho_{с.н}$ – середня арифметична щільність твердих побутових відходів, які утворюються на підприємствах, установах і організаціях, кг/м³;

$\rho_{сер.}$ – середня щільність твердих побутових відходів, які утворюються у житлових будинках, а також на підприємствах, установах і організаціях, кг/м³.

Провівши вищезгадані розрахунки, ми отримали, що середня щільність ТПВ на території Гірської сільської об'єднаної територіальної громади складає 163,1 кг/м³.

Залежність обсягів утворення побутових відходів від дня тижня наведені на рис. 1 та 2.



Рис. 1. Залежність обсягів утворення побутових відходів від населення багатоквартирного сектору на території Гірської сільської об'єднаної територіальної громади (куб. м)



Рис. 2. Залежність обсягів утворення побутових відходів від населення індивідуальної забудови на території Гірської сільської об'єднаної територіальної громади (куб. м)

На рис. 1 та 2 показано обсяги замірів утворення побутових відходів на досліджуваних об'єктах, а саме житлових будинків багатоквартирних та житлових будинків індивідуальної забудови.

На рис. 1 ми бачимо, що тенденція обсягів утворення побутових відходів з понеділка по п'ятницю є середньо-стабільною та варіюється від 4 до 6,5 м³ із подальшим спадом у вихідні дні майже до нульового значення.

На рис. 2 ми бачимо, що тенденція обсягів утворення побутових відходів з понеділка по п'ятницю є варіативною, з піковими значеннями у понеділок та четвер до 8 м³, середнім обсягом утворення від 3 до 4 м³ в інші дні та спадом до нульових значень у вихідні дні.

Отримані результати дозволяють спрогнозувати обсяги утворення відходів, що забезпечить краще оптимізування графіків та маршрутів для збирання побутових відходів спеціально обладнаними транспортними засобами.

Висновки і перспективи подальших досліджень

Проведені натурні заміри та розрахунки норм надання послуг з вивезення твердих побутових відходів для житлових будинків багатоквартирних та одноквартирних (з наявністю усіх видів благоустрою), житлових будинків індивідуальної забудови (будинків приватного сектору), з присадибною ділянкою, готелів, гуртожитків, загальноосвітніх шкіл, дошкільних дитячих закладів, складів, адміністративних та громадських установ і організацій, закладів культури і мистецтва, промтоварних (магазинів, ларьків, кіосків), продовольчих (магазинів, ларьків, кіосків), аптек, ринків, закладів громадського харчування (ресторанів, кафе, їдалень та ін.), підприємств побутового обслуговування, поліклінік, кладовищ, колумбаріїв, серед яких було обрано не менше двох найбільш характерних для населених пунктів Гірської сільської об'єднаної територіальної громади.

Отримані результати досліджень дозволять забезпечити прогнозування обсягів утворення побутових відходів з урахуванням соціально-демографічних, містобудівних, економічних чинників. Норми надання послуг з вивезення побутових відходів будуть закладені в прогнозні розрахунки обсягів робіт з санітарного очищення території населених пунктів Гірської сільської об'єднаної територіальної громади та розрахунки тарифів на надання послуг з поводження з побутовими відходами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Про затвердження Правил визначення норм надання послуг з вивезення побутових відходів, Наказ Міністерства з питань житлово-комунального господарства України № 259 (2021) (Україна). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0871-10#Text>.
2. Коцюба, І. Г., Щербатюк, А. Ф., & Годовська, Т. Б. (2016). Прогнозування обсягів утворення твердих побутових відходів в місті Житомирі. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: *Механіко-технологічні системи та комплекси*, (7), 95–100. <http://mtsc.khpi.edu.ua/article/view/93183>.
3. Буряк, Н. Б., & Лукаш, С. В. (2012). Проблеми збирання, транспортування та утилізації твердих побутових відходів в Україні. *Науковий вісник НЛТУ України*, (5), 82–90.

4. Приходько, В. Ю. (2019). Дослідження регіональних особливостей захоронення твердих побутових відходів в Україні. *Вісник Харківського національного університету імені ВН Каразіна Серія "Екологія"*, (21), 51–62.
5. Масловський, М. А., & Шаніна, Т. П. (б. д.). Неоднорідність умов утворення твердих побутових відходів у Київському районі міста Одеси. У *Галузеві проблеми екологічної безпеки* (с. 112–114).
6. Рябічев, В. Д., & Кіященко, В. В. (2011). Тверді побутові відходи – екологічна загроза міста. У *IV Міжнародна науково-практична конференція "Економічні, екологічні та соціальні проблеми вугільних регіонів СНД"* (с. 171–174). Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля.
7. Храмцова, А. М., & Коцюба, І. Г. (2017). Прогнозування обсягів утворення твердих побутових відходів в місті Житомирі. У *Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченої Дню науки* (с. 241–241). ЖДТУ.
8. Huang, L., Cai, T., Zhu, Y., Zhu, Y., Wang, W., & Sun, K. (2020). LSTM-Based forecasting for urban construction waste generation. *Sustainability*, 12(20), 8555. <https://doi.org/10.3390/su12208555>.
9. Soni, U., Roy, A., Verma, A., & Jain, V. (2019). Forecasting municipal solid waste generation using artificial intelligence models – a case study in India. *SN Applied Sciences*, 1(2). <https://doi.org/10.1007/s42452-018-0157-x>.
10. Al-Khatib, I. A., Eleyan, D., & Garfield, J. (2015). A system dynamics model to predict municipal waste generation and management costs in developing areas. *The Journal of Solid Waste Technology and Management*, 41(2), 109–120. <https://doi.org/10.5276/jswtm.2015.109>.
11. Chhay, L., Reyad, M. A. H., Suy, R., Islam, M. R., & Mian, M. M. (2018). Municipal solid waste generation in China: Influencing factor analysis and multi-model forecasting. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 20(3), 1761–1770. <https://doi.org/10.1007/s10163-018-0743-4>
12. Minousepehr, M., Alizadeh, M. R., & Talebbeydokhti, N. (2017). Performance assessment of computational intelligence techniques in solid waste generation forecasting: (A case study). *Civil and Environmental Engineering*, 67–75.
13. Hoang, Minh & Pham Phu, Song Toan & K.T., Nguyen & Fujiwara, Takeshi. (2017). Predicting waste generation using Bayesian model averaging. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 3, 385-402. 10.22034/GJESM.2017.03.04.005.
14. Klavenieks, K., & Blumberga, D. (2016). Forecast of waste generation dynamics in Latvia. *Energy Procedia*, 95, 200–207. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.049>.
15. Moruf, A. A., Oluwasinaayomi, F. K., & Mubarak, O. L. (2020). Public-Private Partnership (PPP) in residential solid waste management in Ibadan: *Challenges and opportunities*. *Journal of Geography and Regional Planning*, 13(1), 30–40. <https://doi.org/10.5897/jgrp2019.0721>.
16. Aparcana, S. (2017). Approaches to formalization of the informal waste sector into municipal solid waste management systems in low- and middle-income countries: Review of barriers and success factors. *Waste Management*, 61, 593–607. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.028>.
17. Ferronato, N., & Torretta, V. (2019). Waste mismanagement in developing countries: A review of global issues. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(6), 1060. <https://doi.org/10.3390/ijerph16061060>.
18. Sinha, R., Michelsen, J. D., Akcura, E., & Njie, L. (б. д.). *COVID-19's impact on the waste sector*. <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/dfbceda0-847d-4c16-9772-15c6afdc8d85/202006-COVID-19-impact-on-waste-sector.pdf?MOD=AJPERES&CVID=na-eKpI>.
19. Kulkarni, B. N., & Anantharama, V. (2020). Repercussions of COVID-19 pandemic on municipal solid waste management: Challenges and opportunities. *Science of the Total Environment*, 743, 140693. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140693>.

20. Mol, M. P. G., & Caldas, S. (2020). Can the human coronavirus epidemic also spread through solid waste? *Waste Management & Research*, 38(5), 485–486. <https://doi.org/10.1177/0734242x20918312>
21. Rajmohan, K. V. S., Ramya, C., Raja Viswanathan, M., & Varjani, S. (2019). Plastic pollutants: Effective waste management for pollution control and abatement. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 12, 72–84. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2019.08.006>

Стаття надійшла до редакції 22.09.2022 і прийнята до друку після рецензування 05.12.2022

REFERENCES

1. Pro zatverdzhennja Pravyl vyznachennja norm nadannja poslug z vyvezennja pobutovyh vidhodiv, Nakaz Ministerstva z pytan' zhytlovo-komunal'nogo gospodarstva Ukrai'ny № 259 (2021) (Ukrai'na). Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0871-10#Text> [in Ukrainian].
2. Kocjuba, I. G., Shherbatjuk, A. F., & Godovs'ka, T. B. (2016). Prognozuvannja obsjagiv utvorennja tverdyh pobutovyh vidhodiv v misti Zhytomyri. *Visnyk Nacional'nogo tehničnogo universytetu «HPI». Serija: Mehaniko-tehnologichni systemy ta kompleksy*, (7), 95–100. Retrieved from: <http://mtsc.khpi.edu.ua/article/view/93183> [in Ukrainian].
3. Burjak, N. B., & Lukash, S. V. (2012). Problemy zbyrannja, transportuvannja ta utylizacii' tverdyh pobutovyh vidhodiv v Ukrai'ni. *Naukovyj visnyk NLTU Ukrai'ny*, (5), 82–90 [in Ukrainian].
4. Pryhod'ko, V. Ju. (2019). Doslidzhennja regional'nyh osoblyvostej zahoronennja tverdyh pobutovyh vidhodiv v Ukrai'ni. *Visnyk Harkivs'kogo nacional'nogo universytetu imeni VN Karazina Serija "Ekologija"*, (21), 51–62 [in Ukrainian].
5. Maslovs'kyj, M. A., & Shanina, T. P. (b. d.). Neodnoridnist' umov utvorennja tverdyh pobutovyh vidhodiv u Kyi'vs'komu rajoni mista Odesy. U *Galuzevi problemy ekologichnoi' bezpeky* (pp. 112–114) [in Ukrainian].
6. Rjabichev, V. D., & Kijashhenko, V. V. (2011). Tverdi pobutovi vidhody – ekologichna zagroza mista. U *IV Mizhnarodna nauково-praktyčna konferencija "Ekonomichni, ekologichni ta social'ni problemy vugil'nyh regioniv SND"* (pp. 171–174). Shidnoukrai'ns'kyj nacional'nyj universytet imeni Volodymyra Dalja [in Ukrainian].
7. Hramcova, A. M., & Kocjuba, I. G. (2017). Prognozuvannja obsjagiv utvorennja tverdyh pobutovyh vidhodiv v misti Zhytomyri. U *Tezy Vseukrai'ns'koi' nauково-praktychnoi' on-line konferencii' aspirantiv, molodyh uchenyh ta studentiv, prysvjachenoj' Dnju nauky* (pp. 241–241). ZhDTU [in Ukrainian].
8. Huang, L., Cai, T., Zhu, Y., Zhu, Y., Wang, W., & Sun, K. (2020). LSTM-Based forecasting for urban construction waste generation. *Sustainability*, 12(20), 8555. <https://doi.org/10.3390/su12208555>.
9. Soni, U., Roy, A., Verma, A., & Jain, V. (2019). Forecasting municipal solid waste generation using artificial intelligence models – a case study in India. *SN Applied Sciences*, 1(2). <https://doi.org/10.1007/s42452-018-0157-x>.
10. Al-Khatib, I. A., Eleyan, D., & Garfield, J. (2015). A system dynamics model to predict municipal waste generation and management costs in developing areas. *The Journal of Solid Waste Technology and Management*, 41(2), 109–120. <https://doi.org/10.5276/jswtm.2015.109>.
11. Chhay, L., Reyad, M. A. H., Suy, R., Islam, M. R., & Mian, M. M. (2018). Municipal solid waste generation in China: Influencing factor analysis and multi-model forecasting. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 20(3), 1761–1770. <https://doi.org/10.1007/s10163-018-0743-4>.
12. Minousepehr, M., Alizadeh, M. R., & Talebbeydokhti, N. (2017). Performance assessment of computational intelligence techniques in solid waste generation forecasting: (A case study). *Civil and Environmental Engineering*, 67–75.

13. Hoang, Minh & Pham Phu, Song Toan & K.T., Nguyen & Fujiwara, Takeshi. (2017). Predicting waste generation using Bayesian model averaging. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 3, 385-402. <https://doi.org/10.22034/GJESM.2017.03.04.005>.
14. Klavenieks, K., & Blumberga, D. (2016). Forecast of waste generation dynamics in latvia. *Energy Procedia*, 95, 200–207. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.049>.
15. Moruf, A. A., Oluwasinaayomi, F. K., & Mubarak, O. L. (2020). Public-Private Partnership (PPP) in residential solid waste management in Ibadan: *Challenges and opportunities*. *Journal of Geography and Regional Planning*, 13(1), 30–40. <https://doi.org/10.5897/jgrp2019.0721>.
16. Aparcana, S. (2017). Approaches to formalization of the informal waste sector into municipal solid waste management systems in low- and middle-income countries: Review of barriers and success factors. *Waste Management*, 61, 593–607. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.028>.
17. Ferronato, N., & Torretta, V. (2019). Waste mismanagement in developing countries: A review of global issues. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(6), 1060. <https://doi.org/10.3390/ijerph16061060>.
18. Sinha, R., Michelsen, J. D., Akcura, E., & Njie, L. (n.d.). *COVID-19's impact on the waste sector*. Retrieved from: <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/dfbcda0-847d-4c16-9772-15c6afdc8d85/202006-COVID-19-impact-on-waste-sector.pdf?MOD=AJPERES&CVID=na-eKpI>.
19. Kulkarni, B. N., & Anantharama, V. (2020). Repercussions of COVID-19 pandemic on municipal solid waste management: Challenges and opportunities. *Science of the Total Environment*, 743, 140693. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140693>.
20. Mol, M. P. G., & Caldas, S. (2020). Can the human coronavirus epidemic also spread through solid waste? *Waste Management & Research*, 38(5), 485–486. <https://doi.org/10.1177/0734242x20918312>.
21. Rajmohan, K. V. S., Ramya, C., Raja Viswanathan, M., & Varjani, S. (2019). Plastic pollutants: Effective waste management for pollution control and abatement. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 12, 72–84. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2019.08.006>.

The article was received 22.09.2022 and was accepted after revision 05.12.2022

Сатін Ігор Валентинович

канд. техн. наук, доцент Київського національного університету будівництва і архітектури, т.в.о. заступника директора Державного підприємства «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства»
Адреса робоча: вул. Митрополита В. Липківського, 35, м. Київ, Україна, 03035
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2028-9791> **e-mail:** satin@nikti.org.ua

Хитрук Сергій Володимирович

науковий співробітник Державного підприємства «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства»
Адреса робоча: вул. Митрополита В. Липківського, 35, м. Київ, Україна, 03035
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8536-6874> **e-mail:** hytruk@nikti.org.ua

Панченко Олена Сергіївна

завідувач лабораторії Державного підприємства «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства»
Адреса робоча: вул. Митрополита В. Липківського, 35, м. Київ, Україна, 03035
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3680-7036> **e-mail:** panchenko@nikti.org.ua

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ INFORMATION RESOURCES AND MATHEMATICAL MODELING

УДК 681.58

Stanislav O. Dovgii, Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, D. S. (Computer science), professor, Director-organizer
ORCID ID: 0000-0003-1078-0162 *e-mail*: s.dovgii@gmail.com

Oleh V. Kopyika, D. S. (Computer science), professor, Head of department
ORCID ID: 0000-0003-0189-3915 *e-mail*: okopyika@gmail.com

Oleksii S. Kozlov, Postgraduate
ORCID ID: 0000-0003-1889-3153 *e-mail*: alexey.ua84@gmail.com

Institute of Telecommunications and Global Information Space of NASU, Kyiv, Ukraine

INFORMATION TECHNOLOGY OF IT-INFRASTRUCTURE MANAGEMENT ARCHITECTURE ELEMENTS

***Abstract.** The development of the System Architecture of the IT-infrastructure focused on the use of modern Data Centers is considered. At the same time, it is envisaged to create components that describe: general approaches to building a system architecture; IT-services – information technologies that solve the task of providing IT-services; logical model of IT-infrastructure. Formulated logic of IT-infrastructure construction: IT-infrastructure architectures define a set of services. IT-services are provided to three groups of clients. IT-services and clients are connected by 5 implementation scenarios. The integration of IT-services is determined by 5 architectures. As IT-services, we understand information technologies aimed at maintaining the following elements in a technically good state: network devices, computing equipment, data storage devices, automatic software deployment services, network services, perimeter protection services, directory services, file and print services, data management services, business application services, IT-management services, archiving and recovery services, certificate management services, integration services. Architectures define the fundamental principles of building IT-services and their relationship. Also, requirements for the creation of IT-services are formed on the basis of the architecture. One of the most important architectures is architecture of IT-infrastructure management. The architecture of the management system ensures the necessary level of IT-services of the Data Center due to the organization of three components – personnel, processes, technologies. The tasks of the architecture are: use of processes and information technologies to identify and minimize failures of IT-services; ensuring a high degree of integration of information technologies;*

ensuring response to changes in system parameters and performance of service functions in real time. As an example, the management function of the IT-service “network administration” (monitoring and control of configuration management services, coordination of changes, remote management and debugging) is considered. The algorithmic synthesis of programs and devices network management is considered, which consists in the construction of a functional scheme of control devices in two stages – abstract and structural synthesis, and all the steps of its solution and subsequent hardware synthesis are determined.

Keywords: system architecture; IT-infrastructure; standardization and unification

С.О. Довгий, О.В. Копійка, О.С. Козлов

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ, Україна

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЕЛЕМЕНТІВ АРХІТЕКТУРИ УПРАВЛІННЯ ІТ-ІНФРАСТРУКТУРОЮ

Анотація. Розглянуто розвиток Системної Архітектури ІТ-інфраструктури, орієнтованої на використання сучасних Дата-центрів. При цьому передбачається створення компонентів, що описують: загальні підходи побудови системної архітектури; ІТ-сервіси – інформаційні технології, які вирішують завдання надання ІТ-послуг; логічну модель ІТ-інфраструктури. Сформульована логіка побудови ІТ-інфраструктури: архітектури ІТ-інфраструктури визначають набір сервісів. ІТ-сервіси надаються трьома групами клієнтів. ІТ-сервіси та клієнти пов'язані 5 сценаріями реалізації. Інтеграцію ІТ-сервісів визначають 5 архітектур. В якості ІТ-сервісів ми розуміємо інформаційні технології, спрямовані на підтримання в технічно справному стані таких елементів: мережні пристрої, обчислювальна техніка, пристрої зберігання даних, служби автоматичного розгортання програмного забезпечення, мережеві служби, служби захисту периметра, служби каталогу, служби файлів і друку, служби управління даними, служби бізнес-додатків, служби управління ІТ, служби архівування та відновлення, служби управління сертифікатами, служби інтеграції. Архітектури визначають фундаментальні принципи побудови ІТ-сервісів і їх взаємозв'язок. Також, на базі архітектури формуються вимоги до створення ІТ-сервісів. Однією з найважливіших архітектур є архітектура управління ІТ-інфраструктурою. Архітектура системи управління забезпечує необхідний рівень ІТ-сервісів Дата-центру за рахунок організації трьох компонентів – персоналу, процесів, технологій. Завданнями архітектури є: використання процесів та інформаційних технологій для виявлення та мінімізації відмов ІТ-сервісів; забезпечення високого ступеня інтеграції інформаційних технологій; забезпечення реагування на зміну параметрів систем і виконання сервісних функцій в режимі реального часу. Для прикладу розглянуто функцію управління ІТ-сервісом адміністрування мережі (моніторинг і контроль сервісів управління конфігураціями, координація змін, віддалене управління та налагодження). Розглянуто алгоритмічний синтез програм і пристроїв управління процесами адміністрування мережі, що полягає у побудові функціональної схеми пристроїв управління на двох етапах – абстрактний і структурний синтез, і визначені всі кроки його розв'язання та подальший апаратний синтез.

Ключові слова: системна архітектура; ІТ-інфраструктура; стандартизація та уніфікація

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.4.91-113>

ВСТУП

Враховуючи сучасні вимоги до інформаційно-комунікаційних технологій, при реалізації проєктів для крупних підприємств, економічно доцільно використовувати «хмарні технології». Сучасним трендом при цьому є побудова єдиного інформаційного простору для підприємства з використанням сучасної ІТ-інфраструктури [1–22]. Основними складовими єдиного інформаційного простору є: єдине транспортне середовище (програмно-конфігуровані мережі SDN (software-defined networking)); сервісно-орієнтована архітектура інформаційних систем; інфраструктурні та функціональні сервіси [23]. Технологічною основою є сервісні Дата-центри як сервіс DCaaS (DataCenter as a Service).

Основою сервісних Дата-центрів є набір ІТ-сервісів. В якості ІТ-сервісів ми розуміємо інформаційні технології, спрямовані на підтримання в технічно справному стані таких елементів: мережа; дані; ІТ-інфраструктура; інфраструктура інформаційних систем; безпека [24–32].

У цій статті розглядатимемо розвиток Системної Архітектури ІТ-інфраструктури, орієнтованої на використання сучасних Дата-центрів.

Метою даних досліджень є вироблення стратегії розвитку Системної Архітектури ІТ-інфраструктури на основі застосування передових методологій та концепцій провідних виробників апаратного та програмного забезпечення (HP, SUN, EMC, CISCO, Microsoft, ORACLE, Veritas).

КОНЦЕПЦІЯ РОЗВИТКУ ІТ-ІНФРАСТРУКТУРИ

Реалізація концепції розвитку ІТ-інфраструктури за рахунок побудови Дата-центрів показана на рис. 1.

Такий підхід дозволяє проаналізувати існуючу ІТ-інфраструктуру та визначити шляхи побудови нової на базі протестованої, еталонної архітектури MSA [16].



Рис. 1. Концепція розвитку ІТ-інфраструктури

При цьому створюється система компонентів, що описують: загальні підходи побудови системної архітектури; IT-сервіси – технологічні системи, які вирішують завдання корпорації; логічну модель IT-інфраструктури.

У випадку переходу в Дата-центри і використання «хмарових технологій» основним елементом успішної побудови сучасної IT-інфраструктури є платформа загальносистемного забезпечення. Ця платформа призначена для більш раціональної реалізації усіх систем автоматизації діяльності підприємств та виробництва мережових послуг шляхом:

1. Спрощення.
2. Стандартизації.
3. Модульності.
4. Інтеграції.

Спрощення

Спрощені програмні застосування і системи легше адаптувати, використовувати, об'єднувати, управляти ними та їх модифікувати. Один із способів вирішення цього завдання – консолідація ресурсів. При цьому ми досягаємо простоти управління та зменшення кількості серверів, також скорочується час, необхідний на створення резервних копій і відновлення інформації, і, як наслідок, час простою.

Стандартизація

Стандарти збільшують вигоду від спрощення і можуть застосовуватися для різних процесів, процедур, технологій та програм. Стандартизація IT-інфраструктури досягається наступним чином:

1. Використанням промислово стандартизованих інтерфейсів, платформ і методів розробки програмного забезпечення.
2. Узгодженням загальних процесів і політик для управління змінами.
3. Синхронізацією IT-програм з поточними потребами бізнес-процесів, для яких вони призначені.
4. Підтримкою і сумісністю з існуючими підсистемами, технологіями та компонентами.
5. Розробкою загальних вимог до системи управління, безпеки, контролю версій, конфігурацій, ємностей та іншим.

Модульність

Побудова системи за принципом модульності дозволяє змінювати один з її компонентів, виключаючи при цьому вплив на інші.

Модульність досягається одним із способів:

1. Групування системи за ознакою цільових завдань.
2. Побудова систем таким чином, щоб вони могли поєднуватися або роз'єднуватися практично в реальному часі.
3. Можливість зміни будь-якої групи, конфігурації або компоненти, виключаючи вплив на інші елементи системи.
4. Доступність аутсорсингу для максимальної кількості процесів.

Інтеграція

Інтеграція завдяки однорідному середовищу полегшує внесення змін, управління і модифікацію.

Вищевказані принципи – спрощення, стандартизація, модульність, інтеграція – закладені і реалізовані в типовій системній архітектурі.

Сформулюємо наступний принцип побудови ІТ-інфраструктури: архітектури ІТ-інфраструктури визначають набір сервісів. ІТ-сервіси надаються трьом групам клієнтів. ІТ-сервіси та клієнти пов'язані 5 сценаріями реалізації. Інтеграцію ІТ-сервісів визначають 5 архітектур.

В якості ІТ-сервісів ми розуміємо інформаційні технології, спрямовані на підтримання в технічно справному стані таких елементів:

- мережні пристрої;
- обчислювальна техніка;
- пристрої зберігання даних;
- служби автоматичного розгортання ПЗ;
- мережеві служби;
- служби захисту периметра;
- служби каталогу;
- служби файлів і друку;
- служби управління даними;
- служби бізнес-додатків;
- служби управління ІТ;
- служби архівування та відновлення;
- служби управління сертифікатами, служби інтеграції.

Всі клієнти підприємства діляться на чотири основні групи. При необхідності, клієнти діляться всередині кожної категорії окремо: співробітники, партнери та партнерські організації, зовнішні споживачі.

Сценарії реалізації: Дата-центр, департамент, віддалений офіс, екстранет, Інтернет Дата-центр.

Архітектури: безпеки, управління, зберігання даних, програмних додатків, мережева.

Архітектури визначають фундаментальні принципи побудови ІТ-сервісів і їх взаємозв'язок. Також, на базі архітектури формуються вимоги до створення ІТ-сервісів.

АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ІТ-ІНФРАСТРУКТУРОЮ

Однією з найважливіших Архітектур є Архітектура системи управління ІТ-інфраструктурою.

Архітектура системи управління ІТ-інфраструктурою забезпечує необхідний рівень ІТ-сервісів Дата-центру за рахунок організації трьох компонентів – персоналу, процесів та технологій для управління ІТ-інфраструктурою.

Завданнями архітектури є:

1. Надати процеси та інформаційні технології для виявлення та мінімізації відмов ІТ-сервісів.

2. Забезпечити високий ступінь інтеграції інформаційних технологій управління.

3. Забезпечити реагування на зміну параметрів систем і виконання сервісних функцій в режимі реального часу.

Регламент організації процесів управління пропонується забезпечувати на основі практичної реалізації ІТІЛ, що охоплює команди і ролі фахівців, процеси взаємодії, готові операційні інструкції (Operation Guide) для кожного сервера та інструментарію (рис. 2).

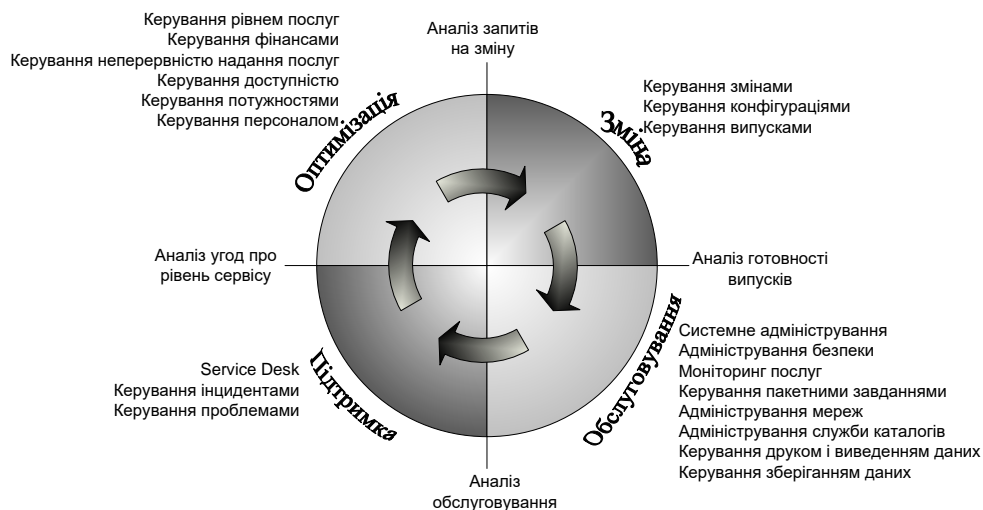


Рис. 2. Управління ІТ-сервісами Компанії

Методологія управління

Методологія управління відповідає за організацію персоналу, процесів та інформаційних технологій для виконання завдань управління.

Життєвий цикл версій ІТ-сервісів підтримується чотирма наборами функцій – квадрантами:

1. Управління змінами.
2. Управління експлуатацією.
3. Управління підтримкою.
4. Управління оптимізацією.

Кожен квадрант включає сервісні функції, ролі, вхідні та вихідні документи. Наприклад, квадрант експлуатації включає в себе функцію регулярного тестового відновлення системи Exchange з резервної копії. Виконується згідно з журналом інженерами Дата-центру, до яких прив'язана роль Системного Адміністратора Exchange. Процедура описана в інструкції з експлуатації системи Exchange.

Крім моделей організації процесів управління, архітектура визначає інструментальні засоби управління ІТ-системами.

У Дата-центрі повинен існувати набір віртуальних команд фахівців, які відповідають за кожен ІТ-сервіс. Віртуальною командою називається тому, що її член може входити одночасно в іншу команду і перебувати в іншому підрозділі. Наприклад, служба безпеки Active Directory. У команді виконують роль Системного Адміністратора шість інженерів, які до того ж входять у команду управління Exchange. Функції управління – змінами, експлуатацією, підтримкою та оптимізацією виконуються для трьох груп систем: мережа і мережеві системи, сервери Дата-центру, робочі станції.

Перелік 14 технологій управління представлений в Табл. 1.

Табл. 1. Технології управління IT-сервісами Компанії

Назва задачі	Технологія для забезпечення задачі	Результат для архітектури управління
Резервне копіювання і відновлення	ПЗ для копіювання і відновлення, диски, стрічкові бібліотеки	Швидке і надійне копіювання і відновлення даних забезпечує доступність сервісів і захищеність (цілісність) IT.
Моніторинг і контроль сервісів	ПЗ для моніторингу та оповіщення, агенти моніторингу	Моніторинг мереж, систем, обладнання та програм для діагностики проблем і їх максимально швидкого вирішення.
Управління мережею	ПЗ для управління мережею	Моніторинг та управління мережами і мережевими пристроями для забезпечення адекватної мережевої продуктивності та доступності. Інтегрується з сервісом моніторингу та контролю для централізації оповіщень.
Управління пристроями	ПЗ управління апаратним забезпеченням, агенти управління	Моніторинг систем для ідентифікації відмов апаратного забезпечення і критичних подій. Інтегрується з сервісом моніторингу та контролю для централізації оповіщень.
Служба каталогу	ПЗ служби каталогу	Зберігання об'єктів для представлення користувачів, машин та інших ресурсів в середовищі для забезпечення централізованого управління ім'ям, аутентифікацією, авторизацією. Підтримка розподіленої структури служби для забезпечення доступності всім користувачам Компанії.
Управління змінами	БД управління змінами	Контроль змін у програмному забезпеченні, апаратному забезпеченні, процесах і пристроях. Забезпечення ефективності процесів експлуатації.
Управління конфігураціями	ПЗ системного управління, безпеки та аудиту конфігурацій	Документовані політики зміни конфігурацій і контроль стандартів систем, безпеки і ПЗ.

Назва задачі	Технологія для забезпечення задачі	для	Результат управління	для	архітектури
Відстеження інцидентів і проблем	Helpdesk ПЗ		Відстеження інцидентів від створення до дозволу. Відповідає за взаємодію між організацією підтримки і клієнтом.		
Бібліотека авторизованого ПЗ	Сервіс доступу до файлів з підтримкою реплікації.	з	Забезпечує сховище ПЗ, використовуваного в ІТ-інфраструктурі. Контролює поширення ПЗ в Компанії.		
Установка оновлень	ПЗ для установки оновлень, виправлень і сервіс паків	і	Оновлює системи та програми для забезпечення високого рівня безпеки. Автоматизує оновлення і підтримує каталог доступних оновлень.		
Управління додатками	ПЗ для встановлення та управління додатками	та	Автоматизує управління і установку ПЗ на робочі станції і сервери. Відповідає за перенацілювання (repurposing) серверів в режимі реального часу.		
Установка серверів і робочих станцій	ПЗ для управління іміджами та/або автоматичною установкою	та/або	Встановлення нових серверних систем та/або робочих станцій в Компанії. Забезпечує цілісність процесу створення нових систем для введення в експлуатацію.		
Віддалене управління	ПЗ віддаленої консолі		Забезпечення доступу до віддаленої системи для виконання функцій допомоги або управління.		
Налагодження	ПЗ служби терміналів		Забезпечує налагодження і рішення проблем, пов'язаних з ПЗ в ІТ-інфраструктурі.		

Архітектура управління визначає взаємозв'язок між функціями управління, процесами, інструментами та ролями (рис. 3).



Рис. 3. Вивчення функцій управління ІТ-сервісом Оператора

Взаємозв'язки між трьома компонентами архітектури управління визначені наступною таблицею.

Табл. 2. Взаємозв'язки між компонентами архітектури управління Оператора

Функція управління IT-сервісом (SMF)	Засоби (процеси та інструменти)	Роль
Управління Змінами (Change Management)	Процес резервного копіювання і відновлення управління конфігураціями Відстеження інцидентів і проблем Бібліотека авторизованого ПЗ установка оновлень управління Додатками Установка серверів і робочих станцій координація змін	Менеджер змін власник змін Комітет узгодження змін (CAB)
Управління конфігураціями	управління конфігураціями управління змінами Відстеження інцидентів і проблем установка оновлень управління Додатками Установка серверів і робочих станцій Моніторинг та Контроль IT-Сервісів	Менеджер конфігурацій
Управління версіями (Release Management)	Процес резервного копіювання і відновлення управління конфігураціями Відстеження інцидентів і проблем Бібліотека авторизованого ПЗ установка оновлень управління Додатками Установка серверів і робочих станцій координація змін	Менеджер введення в експлуатацію власник змін координатор комунікацій координатор документації координатор тестування координатор навчання
Управління безпекою	віддалене управління налагодження служба каталогів Моніторинг і контроль сервісів Процес резервного копіювання і відновлення управління конфігураціями Відстеження інцидентів і проблем Бібліотека авторизованого ПЗ установка оновлень управління Додатками Установка серверів і робочих станцій координація змін	Менеджер безпеки Інженер безпеки Адміністратор Операційної Системи Інженер безпеки апаратного забезпечення Інженер безпеки мережі Інженер безпеки будівель Менеджер зовнішніх розробок аудитор безпеки
Системне адміністрування	Процес резервного копіювання і відновлення Моніторинг і контроль сервісів служба каталогів	Менеджер експлуатації Адміністратор додатки

Функція управління IT-сервісом (SMF)	Засоби (процеси та інструменти)	Роль
	управління конфігураціями Відстеження інцидентів і проблем Бібліотека авторизованого ПЗ установка оновлень управління Додатками Установка серверів і робочих станцій координація змін віддалене управління налагодження	
Адміністрування мережі	Процес резервного копіювання і відновлення Моніторинг і контроль сервісів управління конфігураціями координація змін віддалене управління налагодження	Менеджер мережі архітектор мережі аналітик мережі Інженер мережі Аналітик захисту мережі
Моніторинг і контроль сервісів	Процес резервного копіювання і відновлення Моніторинг і контроль сервісів управління конфігураціями Відстеження інцидентів і проблем координація змін налагодження	Ініціатор моніторингу IT-сервісів Менеджер Моніторингу оператор Моніторингу Спеціаліст підтримки Зовнішній Постачальник Послуг Підтримки
Адміністрування IT-сервісу (служби каталогів)	Моніторинг і контроль сервісів управління конфігураціями Відстеження інцидентів і проблем управління Додатками	Адміністратор IT-сервісу Архітектор IT-сервісу
Управління Зберіганням Інформації	Процес резервного копіювання і відновлення Моніторинг і контроль сервісів служба каталогів управління конфігураціями координація змін	Адміністратор Сховища бібліотекар
Управління розкладом робіт	Моніторинг і контроль сервісів Відстеження інцидентів і проблем віддалене управління	Менеджер Навантаження
Управління проблемами	Процес резервного копіювання і відновлення Моніторинг і контроль сервісів управління конфігураціями Відстеження інцидентів і проблем установка оновлень управління Додатками Установка серверів і робочих станцій координація змін	Менеджер проблем Інженер підтримки

Функція управління ІТ-сервісом (SMF)	Засоби (процеси та інструменти)	Роль
Управління інцидентами	Процес резервного копіювання і відновлення Моніторинг і контроль сервісів управління конфігураціями Відстеження інцидентів і проблем Бібліотека авторизованого ПЗ управління Додатками координація змін віддалене управління налагодження	Менеджер Інцидентів Спеціаліст Сервіс Деск ведучий інциденту Інженер Підтримки
Сервіс Деск	Процес резервного копіювання і відновлення Моніторинг і контроль сервісів служба каталогів управління конфігураціями Відстеження інцидентів і проблем	Менеджер Сервіс Деск Спеціаліст Сервіс Деск
Управління безперервністю ІТ-сервісів	Процес резервного копіювання і відновлення Моніторинг і контроль сервісів управління Додатками	Менеджер доступності архітектор додатків архітектор інтеграції архітектор мережі Архітектор апаратної платформи
Управління людськими ресурсами	служба каталогів Відстеження інцидентів і проблем	Менеджер відділу кадрів
Фінансове управління	Моніторинг і контроль сервісів управління конфігураціями координація змін	Фінансовий менеджер бюджетний комітет
Управління доступністю	Процес резервного копіювання і відновлення Моніторинг і контроль сервісів управління конфігураціями Відстеження інцидентів і проблем управління Додатками координація змін налагодження	Менеджер доступності
Управління навантаженням	Процес резервного копіювання і відновлення Моніторинг і контроль сервісів управління конфігураціями Відстеження інцидентів і проблем управління Додатками координація змін налагодження	Менеджер навантаження
Управління рівнем сервісу	Моніторинг і контроль сервісів Відстеження інцидентів і проблем управління Додатками	Менеджер рівня сервісу

Функції управління реалізуються у формі Централізованої Моделі Управління. Кожна функція має одне подання в Дата-центрі (рис. 4).

Робоче місце є компонентом трьох ІТ-сервісів:

1. Сервіс Бізнес застосувань.
2. Обчислювальна техніка.
3. Сервіс розгортання ПЗ.

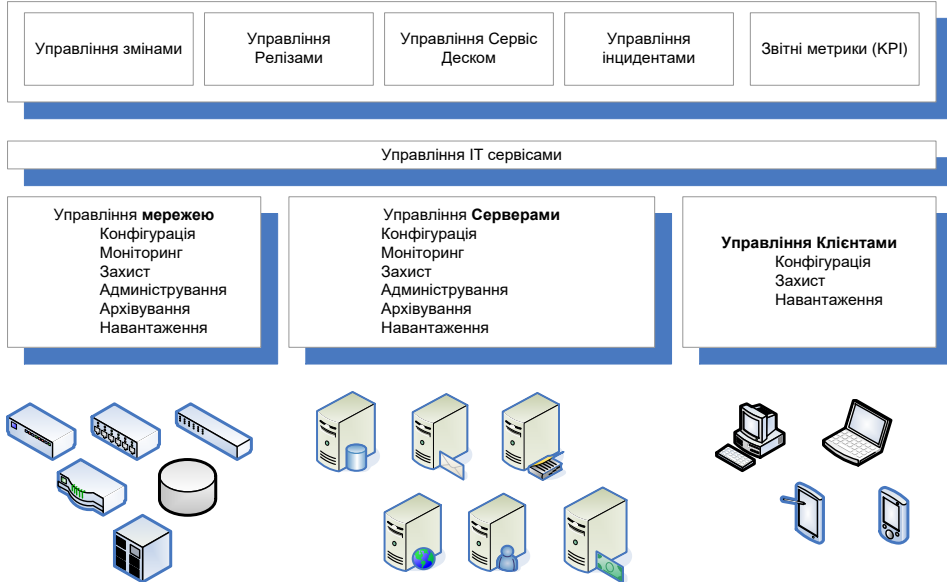


Рис. 4. Централізована модель управління ІТ-сервісами Компанії

Управління даними ІТ-сервісами включає в себе наступні функції (з прикладами):

1. Управління версіями (релізами) – управління стандартами робочих місць.
2. Системне адміністрування – виконання обов'язкових операцій з обслуговування сервісів, наприклад підключення нового робочого місця.
3. Управління змінами – створення нового стандарту робочого місця.
4. Управління конфігураціями – зміна налаштувань робочого столу.
5. Управління безпекою – аналіз ризиків несанкціонованої роботи користувачів з чужих робочих місць і обмеження.

Виконання кожної функції, крім системного адміністрування, виконується однією командою Оператора. Створення стандарту робочого місця, фіксування версії і авторизація стандарту, розгортання стандарту, зміна основних налаштувань робочих місць можуть виконуватися тільки в одному місці Оператора і не дублюються (рис. 5).

Такий підхід дозволяє:

1. Консолідувати інструментарій управління, скоротивши кількість систем управління, що використовуються Оператором (до 14 технологій).
2. Уніфікувати групи і завдання експлуатації.
3. Зменшити складність систем управління.

Основні функції управління, які централізуються, включають перелічені нижче.

Управління Змінами

Централізація забезпечує цілісність процесу оцінки та авторизації змін. Результатом буде якість ІТ-сервісів, мінімізація вартості ресурсів, видимість змін на рівні всієї Компанії.

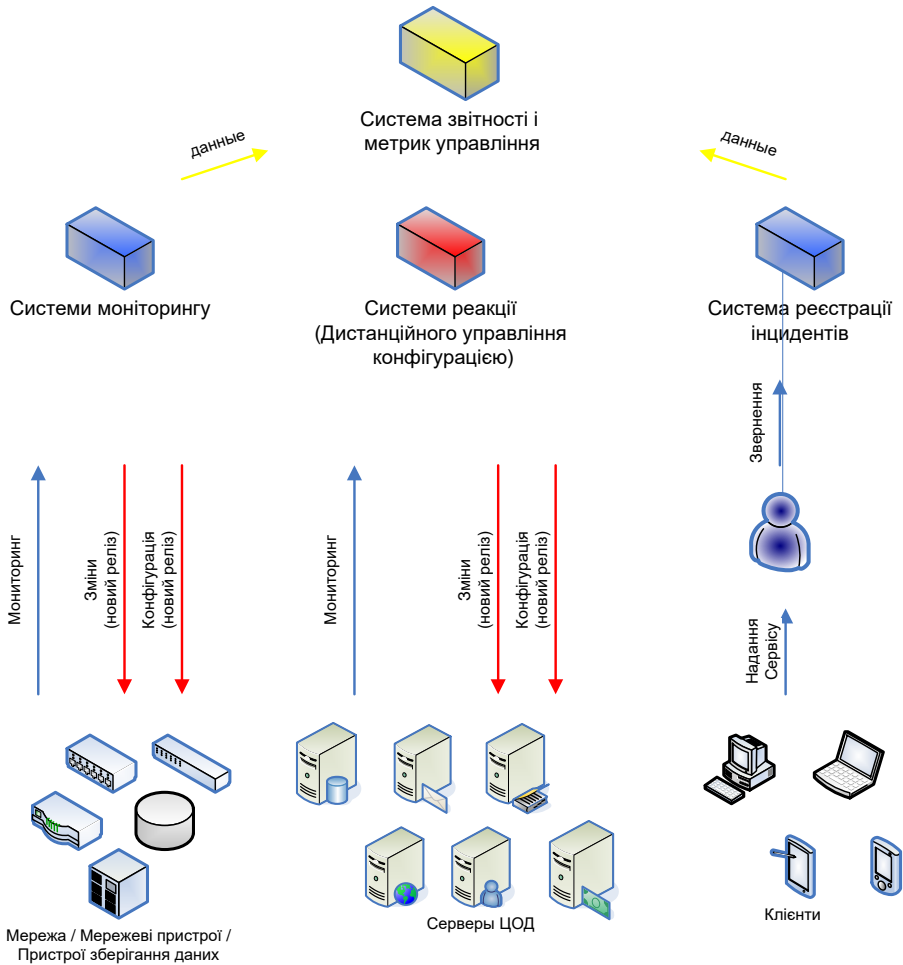


Рис. 5. Інформаційні потоки в системі управління ІТ-сервісами Оператора

Управління версіями (релізами)

Централізація забезпечить цілісне управління створенням рішень, таким чином виключить дублювання і наявність у Оператора десятків і сотень версій одного рішення (наприклад, типів робочих місць). Крім того, управління релізами формалізує взаємодію між різними групами, що відповідають за введення рішення (компонента ІТ-інфраструктури) в експлуатацію.

Сервіс Деск

Централізація – це прямиий шлях зменшення витрат і необхідних ресурсів для підтримки тисяч користувачів. Технічні ресурси Сервіс ДЕСКО повинні бути централізовані, проте на кожному майданчику Оператора повинні бути представники служби підтримки користувачів, які можуть допомогти користувачеві звернутися з інцидентом і на місці вирішити його.

Управління інцидентами

Централізація технічних ресурсів для управління інцидентами дозволяє зменшити вартість і консолідувати знання, необхідні для аналізу і пошуку рішень. Крім того, централізація дозволяє створити цілодобову службу роботи з інцидентами.

Метрики

Централізація звітності, метрик успішності дозволяє коригувати архітектуру управління відповідно з якісними і кількісними показниками. Єдина ієрархія звітів, показників продуктивності – надає загальну картину «здоров'я» ІТ-сервісів Оператора і дозволяє розглядати реалізацію Угод Рівня Сервісу (SLA).

Управління Зберіганням Даних

Централізація процесів та інструментів управління розміщенням дискового простору, доступом, резервним копіюванням і відновленням даних можлива в Дата-центрі.

У централізованій моделі управління буде виняток – процеси управління ІТ-сервісами для клієнтів, продуктами компанії. У випадку з управлінням Дата-центром – Інтернет-процеси, метрики та інструменти повинні бути відокремлені. З іншого боку, співробітники Оператора можуть входити в обидві групи команд.

Елементи архітектури

Повноцінна архітектура управління складається з наступного списку елементів.

Табл. 3. Елементи архітектури управління ІТ-сервісами Оператора

Ім'я елемента	Специфікація
Сервіс каталогу	Сервіс каталогу необхідний для управління аутентифікацією користувачів, авторизацією та іншими об'єктами ІТ-інфраструктури.
Системи виявлення вторгнень	Спеціалізовані системи призначені для виявлення несанкціонованого доступу до ІТ-сервісів Компанії. Дана система повинна бути інтегрована з системами моніторингу та контролю таким чином, щоб єдина група операторів отримувала інформацію про стан середовища і готувала дії реакції.
Системи антивірусного захисту	Обов'язковий компонент захисту ІТ-інфраструктури.
Сервіс сертифікатів	Сервіс забезпечує адміністрування захисту.
Сервіс служб моніторингу та контролю	Сервіс моніторингу забезпечує збір, консолідацію та надання інформації про параметри ІТ-сервісів і їх стан.
Резервне копіювання і відновлення	Процес і інструменти призначені для забезпечення цілісності даних.

Ім'я елемента	Специфікація
Служби управління інфраструктурою	Служби забезпечують можливість віддаленого і групового управління та підтримки ІТ-систем. Віддалена установка, віддалена зміна конфігурації, віддалене виконання операцій на одній, на групі систем або всіх системах.
Служби поновлення	Служба поновлення актуальна для підтримки програмного забезпечення на рівні останньої (захищеної) версії виробника.
Бібліотека авторизованого ПО	Бібліотека забезпечує зберігання ПЗ. Тільки авторизоване ПЗ (релізи) потрапляє в бібліотеку і поширюється для використання в Компанії.
Визначення ролей	Хоча цей компонент не є ні сервісом, ні службою, визначення ролей повинно застосовуватися в Компанії. Ролі є сполучною ланкою між – функціями управління, посадовими інструкціями і командами.
Каталог ІТ-сервісів	Компанія буде підтримувати каталог ІТ-сервісів, які знаходяться в стадії експлуатації.
Інструкції експлуатації	Інструкція з експлуатації повинна існувати для кожного ІТ-сервісу в Компанії. Інструкція описує, як виконувати завдання кожної з функцій управління SMF.

ФУНКЦІЯ УПРАВЛІННЯ ІТ-СЕРВІСОМ (SMF) (АДМІНІСТРУВАННЯ МЕРЕЖІ)

Управління ІТ не є ергатичною системою, функції управління технологічними процесами у вузлах покладаються на пристрої автоматичного управління. Для прикладу розглянемо функцію управління ІТ-сервісом (SMF) Адміністрування мережі (моніторинг і контроль сервісів управління конфігураціями, координація змін, віддалене управління та налагодження).

У якості мережі будемо використовувати програмно-конфігуровані мережі (software-defined networking SDN). SDN – це підхід до управління мережею, який забезпечує динамічну, програмно ефективну конфігурацію мережевих елементів з метою покращення продуктивності мережі та моніторингу, що робить її більше схожою на хмарні обчислення, ніж на традиційне керування мережею [33]. SDN призначена для створення статичної архітектури традиційних мереж. SDN намагається централізувати дані про мережу в одному мережевому компоненті, відокремлюючи процес пересилання мережевих пакетів (площина даних) від процесу маршрутизації (площина керування) [34]. Площина управління складається з одного або кількох контролерів, які вважаються мозком мережі SDN, в якій об'єднано весь інтелект. Однак централізація має свої недоліки, коли йдеться про безпеку [33], масштабованість та гнучкість [33], і це головна проблема SDN [35].

SDN зазвичай асоціювалась з протоколом OpenFlow (для віддаленого зв'язку з елементами мережевої площини з метою визначення шляху мережевих пакетів через мережеві комутатори) з моменту появи останнього в 2011 році. Однак з 2012 року цей термін також використовували власні системи [36, 37]. До них належать відкрите мережеве середовище Cisco Systems і платформа віртуалізації мережі Nicira.

При технічному проектуванні адміністрування мережі синтез виконавчої частини кожної функціональної конструктивної одиниці (КО) системи, як правило, є добре відпрацьованою формальною процедурою, але синтез управляючої частини даної КО пов'язаний з врахуванням неформальних, специфічних умов застосування КО і потребує докладного розгляду.

АЛГОРИТМІЧНИЙ СИНТЕЗ ПРОГРАМ І ПРИСТРОЇВ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ АДМІНІСТРУВАННЯ МЕРЕЖІ

Розглянемо алгоритмічний синтез програм і пристроїв для адміністрування мережі [38–40].

«Лінійним» є технологічний процес, який складає послідовність у часі функціональних і логічних операцій; лінійний процес (ЛП) відрізняється від складного процесу «сітьового» типу, в якому одночасно може реалізуватися декілька простих процесів. Управління простими (лінійними) технологічними процесами КО даної інформаційної функції реалізується пристроями управління (ПУ), чи мікропроцесорами, які представляють собою так звані дискретні автомати (ДА) з пам'яттю. Такі ДА можуть мати дві різних структури – ДА Мура і ДА Мілі.

Структурі ДА Мура відповідає система функціональних рівнянь

$$\left. \begin{aligned} z_i &= \varphi(x_i, z_{i-1}) \\ y_i &= \psi(z_i) \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де z_{i-1} – стан ДА у попередній дискретний момент часу t_{i-1} ;

x_i – вхідна команда (ознака умови скінчення попередньої операції процесу від виконавчого пристрою) в поточний дискретний момент часу t_i ;

z_i – стан ДА, в який його переводить x_i ;

y_i – вихідна команда ДА (команда на початок відповідної подальшої операції процесу виконавчому пристрою) в момент часу t_i .

Структурі ДА Мілі відповідає система функціональних рівнянь

$$\left. \begin{aligned} z_i &= \Phi(x_i, z_{i-1}) \\ y_i &= \Psi(x_i, z_{i-1}) \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

де z_{i-1} – стан ДА у попередній дискретний момент часу t_{i-1} ;

x_i – вхідна команда (ознака умови ходу процесу) в поточний дискретний момент часу t_i ;

z_i – стан ДА, в який його переводить x_i ;

y_i – вихідна команда ДА (команда) в момент часу t_i .

Множина внутрішніх станів $\{z\}$ ДА представляється комбінаціями станів бінарних елементів пам'яті («двоїчним» кодом); вибором функцій (φ, ψ) ДА Мура та (Φ, Ψ) ДА Мілі стає можливим забезпечити перетворення інформації, відповідно до потрібних правил, за допомогою даних структур ДА.

Алгоритмічний синтез ПУ на ґрунті ДА підрозділяється на два етапи – абстрактний і структурний синтез.

Абстрактний синтез ПУ полягає в одержанні абстрактної моделі ДА – графа станів і переходів. Для цього схема алгоритму управління «відмічається» символами станів ДА, і потім аналізуються переходи ДА у суміжні стани при

усіх можливих вхідних командах (логічних умовах). Кожна вхідна команда x_i реально відповідає можливій комбінації логічних змінних «умов» –

$$\langle p_i(\overline{p_i}), i = \overline{1, m} \rangle, \quad (3)$$

де p_i – значення логічної змінної «істина» i -ої умови контролю перебігу процесу; $\overline{p_i}$ – значення логічної змінної «помилка» i -ої умови.

Кожна вихідна команда y_j відповідає єдиній з команд управління, яку видає ПУ об'єкту управління –

$$\langle A_j, j = \overline{1, n} \rangle. \quad (4)$$

Для ПУ типу ДА Мура, як то впливає із (1), кількість станів ДА дорівнює кількості різних команд управління, тому на графі ДА його вершинами будуть

$$z_0(ПО, КО); z_1(A_1); \dots; z_n(A_n), \quad (5)$$

де стан z_0 відповідає початку операцій (ПО) і кінцю операції (КО) процесу управління. Кожна дуга графу ДА повинна відповідати можливому операційному переходу в схемі алгоритму і мати «вагу» – логічний вираз умови переходу ДА у суміжний стан.

Для ПУ типу ДА Мілі, як це видно із (2), кількість станів ДА дорівнює кількості різних команд управління, тому на графі ДА його вершини з'єднуються дугами відповідно операційному переходу в схемі алгоритму і мають «вагу» – логічний вираз умови переходу ДА у суміжний стан та команду управління, яку видає ПУ при даному переході.

Структурний синтез ПУ полягає у побудові функціональної схеми ПУ і містить наступні кроки.

1) Вибір кількості і типу елементів процесу (ЕП).

Оскільки стани ДА надаються двоїчним кодом, то кількість ЕП для ДА Мілі і Мура при кількості їх станів m знаходиться за формулою –

$$N_{en} = E[\log_2 m]. \quad (6)$$

Звичайно в якості бінарних ЕП застосовуються елементи з установчими входами $R(I)$ та $S(O)$ і «прямим» $q(I)$ та «інверсним» $\overline{q}(O)$ входами.

2) Складання логічних функцій управління ЕП.

Завчасно кожному стану ДА присвоюється його значення в двоїчному коді

$$z_j = \langle q_n q_{n-1} \dots q_1 \rangle, \quad (7)$$

де кожне q приймає значення 1 або 0. Тоді у відповідності з першим рівнянням систем (1), (2) маємо –

$$\left. \begin{aligned} R_i &= \bigcup_{k=1}^m (\overline{q_i})_{k-1} \cdot (q_i)_k \cdot (x_{k-1,k}), \quad i = \overline{1, m} \\ S_i &= \bigcup_{k=1}^m (q_i)_{k-1} \cdot (\overline{q_i})_k \cdot (x_{k-1,k}), \quad i = \overline{1, m}. \end{aligned} \right\}. \quad (8)$$

Тут m – кількість станів ДА;

$(k-1)$ – стан, з якого можливий перехід ДА у даний k -й стан;

$x_{k-1,k}$ – логічний вираз (слово) умови переходу;

$(q, \bar{q})_{k-1}$ – наявні стани ЕП для $(k-1)$ -го стану ДА;

$(\bar{q}, q)_k$ – потрібні стани ЕП для (k) -го стану ДА.

3) Складання логічних функцій вихідних команд.

У відповідності до другого рівняння систем (1), (2) маємо:

для ДА Мура –

$$y_j = \bigcap_{i=1}^m q_i^{nomp}(z_j), j = A1, A2, \dots, KO, \quad (9)$$

де q_i^{nomp} – потрібний стан i -го ЕП відповідно до коду стану z_j ,

для ДА Мілі –

$$y_j = \bigcap_{i=1}^m q_i^{nomp}(z_{j-1}) \cdot \Psi_{j-1,j}, j = A1, A2, \dots, KO. \quad (10)$$

4) Синтез функціональної схеми ПУ.

Блок ЕП є їх простою сукупністю; логічний перетворювач ПУ синтезується у вигляді сукупності комбінаційних схем – вузлів формування усіх сигналів S, R, Y .

На цьому алгоритмічний синтез ПУ закінчується і надалі здійснюється апаратний (схемний) синтез ПУ.

ВИСНОВКИ

1. Розглянуто розвиток Системної Архітектури ІТ-інфраструктури, орієнтованої на використання сучасних Дата-центрів. При цьому передбачається створення компонентів, що описують: загальні підходи побудови системної архітектури; ІТ-сервіси – технологічні системи, які вирішують завдання корпорації; логічну модель ІТ-інфраструктури.

2. Сформульовано наступний принцип побудови ІТ-інфраструктури: архітектури ІТ-інфраструктури визначають набір сервісів. ІТ-сервіси надаються трьом групам клієнтів. ІТ-сервіси та клієнти пов'язані 5 сценаріями реалізації. Інтеграцію ІТ-сервісів визначають 5 архітектур. В якості ІТ-сервісів ми розуміємо інформаційні технології, спрямовані на підтримання в технічно справному стані таких елементів: мережні пристрої, обчислювальна техніка, пристрої зберігання даних, служби автоматичного розгортання програмного забезпечення, мережеві служби, служби захисту периметра, служби каталогу, служби файлів і друку, служби управління даними, служби бізнес-додатків, служби управління ІТ, служби архівування та відновлення, служби управління сертифікатами, служби інтеграції.

3. Архітектури визначають фундаментальні принципи побудови ІТ-сервісів і їх взаємозв'язок. Також, на базі архітектури формуються вимоги до створення ІТ-сервісів.

4. Однею з найважливіших архітектур є архітектура управління ІТ-інфраструктурою.

5. Архітектура системи управління забезпечує необхідний рівень IT-сервісів Дата-центру за рахунок організації трьох компонентів – персоналу, процесів, технологій, для управління IT-інфраструктурою.

6. Завданнями архітектури є: використання процесів та інформаційних технологій для виявлення та мінімізації відмов IT-сервісів; забезпечення високого ступеня інтеграції інформаційних технологій управління; забезпечення реагування на зміну параметрів систем і виконання сервісних функцій в режимі реального часу.

7. Для прикладу розглянуто функцію управління IT-сервісом адміністрування мережі (моніторинг і контроль сервісів управління конфігураціями, координація змін, віддалене управління та налагодження).

8. Розглянуто алгоритмічний синтез програм і пристроїв управління процесами адміністрування мережі, що полягає у побудові функціональної схеми пристроїв управління на двох етапах – *абстрактний і структурний синтез*, і визначені всі кроки його розв'язання та подальший апаратний синтез.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. "Data Centres and Data Transmission Networks – Analysis". IEA. Retrieved 2022-03-06: веб-сайт. URL: <https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks> (Last accessed: 07.04.2022).
2. The European Commission H2020 EURECA Data Centre Project - Data centre energy efficiency guidelines, extensive online training material, case studies/lectures (under events page), and tools: веб-сайт. URL: <https://www.dceureca.eu/> (Last accessed: 07.04.2022).
3. "An Oregon Mill Town Learns to Love Facebook and Apple". *The New York Times*. March 6, 2018: веб-сайт. URL: <https://www.nytimes.com/2018/03/06/business/apple-facebook-data-center.html> (Last accessed: 07.04.2022).
4. "Google announces London cloud computing data centre". *BBC.com*. July 13, 2017: веб-сайт. URL: <https://www.bbc.com/news/technology-40590080> (Last accessed: 07.04.2022).
5. "Cloud Computing Brings Sprawling Centers, but Few Jobs". *The New York Times*. August 27, 2016. *data center .. a giant .. facility .. 15 of these buildings, and six more .. under construction*: веб-сайт. URL: <https://www.nytimes.com/2016/08/27/technology/cloud-computing-brings-sprawling-centers-but-few-jobs-to-small-towns.html> (Last accessed: 07.04.2022).
6. John, Holusha. (2000). "Commercial Property/Engine Room for the Internet; Combining a Data Center With a 'Telco Hotel'". *The New York Times*. Retrieved June 23, 2019: веб-сайт. URL: <https://www.nytimes.com/2000/05/14/realestate/commercial-property-engine-room-for-internet-combining-data-center-with-telco.html> (Last accessed: 07.04.2022).
7. "Data center staff are aging faster than the equipment". *Network World*. August 30, 2018: веб-сайт. URL: <https://www.networkworld.com/article/3301883/data-center-staff-are-aging-faster-than-the-equipment.html> (Last accessed: 07.04.2022).
8. "This Wave of Data Center Consolidation is Different from the First One". February 8, 2018: веб-сайт. URL: <https://www.datacenterknowledge.com/manage/wave-data-center-consolidation-different-first-one> (Last accessed: 07.04.2022).
9. Kantor, Alice. (2021). "Big Tech races to clean up act as cloud energy use grows". *Financial Times*. Retrieved 2022-03-06: веб-сайт. URL: <https://www.ft.com/content/c719f655-149c-4ce0-a7a5-18527c7776cf> (Last accessed: 07.04.2022).
10. Rabih, Bashroush. (2018). A Comprehensive Reasoning Framework for Hardware Refresh in Data Centres. *IEEE Transactions on Sustainable Computing*. 3 (4). 209–220.
11. Mohammad, Noormohammadpour. (2018). Cauligi Raghavendra Datacenter Traffic Control: Understanding Techniques and Tradeoffs. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 20 (2). 1492-1525. doi:10.1109/comst.2017.2782753.

12. Довгий, С.О., & Копійка, О.В. (1996). Автоматизована система для підтримки прийняття рішень при ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС. К.: ВПЦ ТИРАЖ.
13. Волошин, О.Ф., & Машенко С.О. (2010). Моделі та методи прийняття рішень. навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., 2-ге вид., перероб. та допов. К. : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет".
14. Rubinstein, A. (2013). *Lecture Notes in Microeconomic Theory*, 2nd., Princeton University Press. ISBN 978-0-691-15413-8.
15. Kopeika, O., Tarasenko, I., Kisselevskiy, A., Karichenskiy, A., & Valiulin, T. (2007). Softline applies TMF standards as a guide when building Resource Inventory solution for nation-wide carrier Ukraine Telecom. TM Forum Case Study Handbook. Volume 3. May.
16. Довгий, С.О. (2001) Приватизація, інвестиції та фондовий ринок: правові засади та практика. У 4-х т. К.: Укртелеком.
17. Jew, Jonathan. (2010). BICSI Data Center Standard: A Resource for Today's Data Center Operators and Designers. BICSI News Magazine. May/June.
18. Niles, Susan. (2011). Standardization and Modularity in Data Center Physical Infrastructure. Schneider Electric.
19. Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers. (2005) TIA STANDARD TIA-942. TELECOMMUNICATIONS INDUSTRY ASSOCIATION. April.
20. ANSI/BICSI 002-2011 Data Center Design and Implementation Best Practices. Committee Approval. January 2011 First Published: March.
21. TIA is accredited by the American National Standards Institute (ANSI) as a standards developing organization (SDO). URL: <http://www.tiaonline.org/standards/> (Last accessed: 07.04.2022).
22. Довгий, С.О. & Сергієнко, І.В. (2013). Інформаційно-аналітичне супроводження бюджетного процесу. К.: ТОВ «Інформаційні системи».
23. Концепции сетецентрического боевого управления ВС США, Великобритании и ОВС НАТО. Общее и различия. URL: http://factmil.com/publ/strana/velikobritanija/koncepcii_setecentricheskogo_boevogo_upravlenija_vs_ssha_velikobritanii_i_ovs_nato_ob_shhee_i_razlichija_2010/9-1-0-420 (Last accessed: 07.04.2022).
24. Choi, M.-J., Ju, H.-T., Hong, J. W.-K., & Yun D.-S. (2008). Design and Implementation of Web Services-based NGOSS Technology Specific Architecture, *Annals of Telecommunications*, Special Issue on "Next Generation Network and Service Management". Vol. 63. No. 3-4. April.
25. Копейка, О.В. (2014). Архитектура системы управления ИТ-инфраструктурой в современных Дата-центрах. Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. № 29. С. 29-37.
26. Копійка, О.В. (2014). Архітектура мережі в сучасних дата-центрах. Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. № 2(30). 34-41.
27. Копейка, О.В. (2014). Архитектура системы безопасности ИТ-инфраструктуры в дата-центрах. Сучасний захист інформації. № 1. 48–57.
28. Копейка, О.В. (2014). Проектирование сервисов инфраструктуры приложений в дата-центрах. Телекомунікаційні та інформаційні технології. № 1. 19–27.
29. Копейка, О.В. (2014). Сетевые службы и службы сетевых устройств в дата-центрах // Системи управління, навігації та зв'язку: наукове періодичне видання. №4(28). 98-104.
30. Беркман, Л.Н. (2014). Теоретичні основи методології синтезу інформаційно-комунікаційних систем. Телекомунікаційні та інформаційні технології. 2014. №4. 12–20.
31. Довгий, С. (2000). Стан та проблеми розвитку телекомунікаційної мережі України, Наука та наукознавство.
32. Choi, M.-J., & Hong, J.W.-K. (2007). Towards Management of Next Generation Networks. *IEICE Transaction Communications E Series B*. Vol. 90. No. 11. 3004-3014.
33. Benzekki, Kamal & El Fergougui, Abdeslam., & Elbelrhiti Elalaoui, Abdelbaki. (2016). Software-defined networking (SDN): A survey. *Security and Communication Networks*. Vol. 9 (18). 5803–5833. doi:10.1002/sec.1737.

34. Montazerolghaem, Ahmadreza. (2020). Software-defined load-balanced data center: design, implementation and performance analysis. *Cluster Computing*. Vol. 24 (2). 591–610. doi:10.1007/s10586-020-03134-x. ISSN 1386-7857. S2CID 220490312.
35. Montazerolghaem, Ahmadreza. (2021). Software-defined Internet of Multimedia Things: Energy-efficient and Load-balanced Resource Management. *IEEE Internet of Things Journal*. Vol. 9 (3). 2432–2442. doi:10.1109/JIOT.2021.3095237. ISSN 2327-4662. S2CID 237801052.
36. Software-defined networking is not OpenFlow, companies proclaim. URL: <https://www.techtarget.com/searchnetworking/> (Last accessed: 07.04.2022).
37. InCNTRE's OpenFlow SDN testing lab works toward certified SDN product. URL: <https://www.techtarget.com/news/> (Last accessed: 07.04.2022).
38. Стеклов, В.К., & Беркман, Л.Н. (2006). Теорія електричного зв'язку: Підручник для ВНЗ. К.: Техніка.
39. Стеклов, В.К., Беркман, Л.Н., & Кільчицький, Є.В. (2004). Оптимізація та моделювання пристроїв і систем зв'язку. Підруч. Для вищ. навч. закл. К.: Техніка.
40. Стеклов, В.К., & Беркман Л.Н. (2002). Проектування телекомунікаційних мереж : підручник для ВНЗ. К. : Техніка. ISBN 966-575-070-4.

Стаття надійшла до редакції 22.09.2022 і прийнята до друку після рецензування 05.12.2022

REFERENCES

1. "Data Centres and Data Transmission Networks – Analysis". IEA. Retrieved 2022-03-06 from <https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks> (Last accessed: 07.04.2022).
2. The European Commission H2020 EURECA Data Centre Project - Data centre energy efficiency guidelines, extensive online training material, case studies/lectures (under events page), and tools. Retrieved from <https://www.dceureca.eu/> (Last accessed: 07.04.2022).
3. "An Oregon Mill Town Learns to Love Facebook and Apple". *The New York Times*. March 6, 2018. Retrieved from <https://www.nytimes.com/2018/03/06/business/apple-facebook-data-center.html> (Last accessed: 07.04.2022).
4. "Google announces London cloud computing data centre". *BBC.com*. July 13, 2017. Retrieved from <https://www.bbc.com/news/technology-40590080> (Last accessed: 07.04.2022).
5. "Cloud Computing Brings Sprawling Centers, but Few Jobs". *The New York Times*. August 27, 2016. *data center .. a giant .. facility .. 15 of these buildings, and six more .. under construction*. Retrieved from <https://www.nytimes.com/2016/08/27/technology/cloud-computing-brings-sprawling-centers-but-few-jobs-to-small-towns.html> (Last accessed: 07.04.2022).
6. Holusha, John. (2000). "Commercial Property/Engine Room for the Internet; Combining a Data Center With a 'Telco Hotel'". *The New York Times*. Retrieved June 23, 2019 from <https://www.nytimes.com/2000/05/14/realestate/commercial-property-engine-room-for-internet-combining-data-center-with-telco.html> (Last accessed: 07.04.2022).
7. "Data center staff are aging faster than the equipment". *Network World*. August 30, 2018. Retrieved from <https://www.networkworld.com/article/3301883/data-center-staff-are-aging-faster-than-the-equipment.html> (Last accessed: 07.04.2022).
8. "This Wave of Data Center Consolidation is Different from the First One". February 8, 2018. Retrieved from <https://www.datacenterknowledge.com/manage/wave-data-center-consolidation-different-first-one> (Last accessed: 07.04.2022).
9. Kantor, Alice. (2021). "Big Tech races to clean up act as cloud energy use grows". *Financial Times*. Retrieved 2022-03-06 from <https://www.ft.com/content/c719f655-149c-4ce0-a7a5-18527c7776cf> (Last accessed: 07.04.2022).

10. Rabih, Bashroush. (2018). A Comprehensive Reasoning Framework for Hardware Refresh in Data Centres. *IEEE Transactions on Sustainable Computing*, 3 (4), 209–220.
11. Mohammad, Noormohammadpour. (2018). Cauligi Raghavendra Datacenter Traffic Control: Understanding Techniques and Tradeoffs. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20 (2), 1492-1525. <https://doi.org/10.1109/comst.2017.2782753>.
12. Dovgyi, S.O., & Kopiika, O.V. (1996). Automated system for the process of taking decisions during the liquidation of the inheritance of an accident at the CNPP. K.: VPC TYRAG [in Ukrainian].
13. Voloshyn, O.F., & Mashchenko, S.O. (2010). Decision-making models and methods. education manual for students higher education acc., 2nd ed., revision. and added. K.: Kyiv University Publishing and Printing Center [in Ukrainian].
14. Rubinstein, A. (2013). *Lecture Notes in Microeconomic Theory*, 2nd., Princeton University Press. ISBN 978-0-691-15413-8.
15. Kopeika, O., Tarasenko, I., Kisselevskiy, A., Karichenskiy, A., & Valiulin, T. (2007). Softline applies TMF standards as a guide when building Resource Inventory solution for nation-wide carrier Ukraine Telecom. *TM Forum Case Study Handbook*. Volume 3. May.
16. Dovgyi, S.O. (2001). Privatization, Investment and the Stock Market: Legal Principles and Practice. In the 4th grade: Ukrtelecom [in Ukrainian].
17. Jew, Jonathan. (2010). BICSI Data Center Standard: A Resource for Today's Data Center Operators and Designers. *BICSI News Magazine*. May/June.
18. Niles, Susan. (2011). Standardization and Modularity in Data Center Physical Infrastructure. Schneider Electric.
19. Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers. (2005). TIA STANDARD TIA-942. TELECOMMUNICATIONS INDUSTRY ASSOCIATION. April.
20. ANSI/BICSI 002-2011 Data Center Design and Implementation Best Practices. Committee Approval. January 2011 First Published: March.
21. TIA is accredited by the American National Standards Institute (ANSI) as a standards developing organization (SDO). Retrieved from <http://www.tiaonline.org/standards/> (Last accessed: 07.04.2022).
22. Dovgyi, S.O. & Sergienko, I.V. (2013). Informational and analytical support of the budget process. K.: TOV "Information systems" [in Ukrainian].
23. Concepts of network-centric combat control of the US Armed Forces, Great Britain and NATO Allied Forces. General and differences. Retrieved from http://factmil.com/publ/strana/velikobritanija/koncepcii_setecentricheskogo_boevogo_up_ravlenija_vs_ssha_velikobritanii_i_ovs_nato_obshhee_i_razlichija_2010/9-1-0-420 (Last accessed: 07.04.2022) [in Russian].
24. Choi, M.-J., Ju, H.-T., Hong, J. W.-K., & Yun D.-S. (2008). Design and Implementation of Web Services-based NGOSS Technology Specific Architecture, *Annals of Telecommunications*, Special Issue on "Next Generation Network and Service Management". Vol. 63. No. 3-4. April.
25. Kopiika, O.V. (2014). The architecture of the IT infrastructure management system in modern data centers. *Scientific Notes of the Ukrainian Scientific Research Institute of Communications*. No. 29. 29-37 [in Ukrainian].
26. Kopiika, O.V. (2014). Network architecture in modern data centers. *Scientific notes of the Ukrainian Research Institute of Communications*, 2(30), 34-41 [in Ukrainian].
27. Kopiika, O.V. (2014). The architecture of the IT infrastructure security system in data centers. *Current defender of information*. No. 1. 48–57 [in Russian].
28. Kopiika, O.V. (2014). Designing application infrastructure services in data centers. *Telecommunications and information technologies*. No. 1. 19–27 [in Russian].
29. Kopiika, O.V. (2013). Network services and network device services in Data Centers. *Control, navigation and communication systems*, 4 (28), 98-104 [in Russian].
30. Berkman, L.N. (2014). Theoretical bases of methodology of synthesis of information and communication systems. *Telecommunication and information technologies*, 4, 12-20 [in Ukrainian].

31. Dovgyi, S. (2000). The state and problems of the development of the telecommunications network of Ukraine, Science and scientific studies [in Ukrainian].
32. Choi, M.-J., & Hong, J.W.-K. (2007). Towards Management of Next Generation Networks. IEICE Transaction Communications E Series B. Vol. 90. No. 11. 3004-3014.
33. Benzekki, Kamal & El Fergougui, Abdeslam., & Elbelrhiti Elalaoui, Abdelbaki. (2016). Software-defined networking (SDN): A survey. Security and Communication Networks. Vol. 9 (18). 5803–5833. <https://doi.org/10.1002/sec.1737>.
34. Montazerolghaem, Ahmadreza. (2020). Software-defined load-balanced data center: design, implementation and performance analysis. Cluster Computing. Vol. 24 (2). 591–610. <https://doi.org/10.1007/s10586-020-03134-x>. ISSN 1386-7857. S2CID 220490312.
35. Montazerolghaem, Ahmadreza. (2021). Software-defined Internet of Multimedia Things: Energy-efficient and Load-balanced Resource Management. IEEE Internet of Things Journal. Vol. 9 (3). 2432–2442. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3095237>. ISSN 2327-4662. S2CID 237801052.
36. Software-defined networking is not OpenFlow, companies proclaim. Retrieved from <https://www.techtarget.com/searchnetworking/> (Last accessed: 07.04.2022).
37. InCNTRE's OpenFlow SDN testing lab works toward certified SDN product. Retrieved from <https://www.techtarget.com/news/> (Last accessed: 07.04.2022).
38. Steklov, V.K., & Berkman, L.N. (2006). Theory of electrical communication: Textbook for universities. K.: Technology [in Ukrainian].
39. Steklov, V.K., Berkman, L.N., & Kilchytskyi, E.V. (2004). Optimization and modeling of communication devices and systems. Understudy For higher education closing. K.: Technology [in Ukrainian].
40. Steklov, V.K., & Berkman, L.N. (2002). Designing telecommunication networks: a textbook for universities. K.: Technology. ISBN 966-575-070-4 [in Ukrainian].

The article was received 22.09.2022 and was accepted after revision 05.12.2022

Довгий Станіслав Олексійович

академік НАН України, доктор фізико-математичних наук, професор, Почесний директор Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

Адреса робоча: 03186, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13
ORCID ID: 0000-0003-1078-0162 **e-mail:** s.dovgii@gmail.com

Копійка Олег Валентинович

доктор технічних наук, професор, завідувач відділу Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

Адреса робоча: 03186, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13
ORCID ID: 0000-0003-0189-3915 **e-mail:** okopiyka@gmail.com

Козлов Олексій Сергійович

аспірант Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

Адреса робоча: 03186, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13
ORCID ID: 0000-0003-1889-3153 **e-mail:** alexey.ua84@gmail.com

УДК: 622.692.4.053

Oleg Mandryk, Doctor of Technical Sciences, Professor, the first vice-rector
ORCID ID: 0000-0002-2689-7165 *e-mail*: o.mandryk@nung.edu.ua

Roman Mykhailyuk, Postgraduate
ORCID ID: 0000-0002-1810-2211 *e-mail*: mromanm2016@gmail.com

Volodymyr Artym, Doctor of Technical Sciences, Professor
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8938-552X> *e-mail*: viartym@gmail.com

Vasyl Mykhailyuk, PhD, Ass. Prof.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3329-2068> *e-mail*: myhajlyukv@ukr.net

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

STUDY OF HYDRODYNAMIC PARAMETERS OF A SELF-OPERATING SLUGE TO PREVENT FLOOD SPILLS

***Abstract.** All methods of combating the flooding of populated areas are directly related to the execution of significant volumes of earthworks, the construction of special structures, and therefore require comprehensive analysis and substantiation and the selection of the most economically feasible and affordable project options during design.*

But analyzing the main methods of protecting the territory of settlements from flooding, it should be noted that even with their optimal use, the problem of flooding territories due to river tributaries remains. Therefore, it is worth focusing attention on the search for a technical solution that would make it possible to pump water from the tributary to the river without using expensive, complex in design and energy-consuming equipment. One of the promising solutions is the use of automatic gateways.

The purpose of the work is to study the hydrodynamic parameters of the proposed design of the self-acting lock to prevent flood spills.

The design of a hydrotechnical structure (self-acting sluice to prevent flood spills) is proposed, which is designed to prevent flooding of territories due to river spills and can be used to regulate the water level in hydraulic systems. It is shown that the use of the developed structure will make it possible to significantly reduce the negative consequences of possible flood spills in the territories.

A three-dimensional model of the self-acting sluice was developed in the SolidWorks program to confirm its performance and study the hydrodynamic parameters of the self-acting sluice. The simulated simulation of the proposed design of the ejector pump in the FlowSimulation software module confirmed its efficiency and made it possible to determine the distribution of pressures and fluid movement speeds in it. It was established that the flow rate of the liquid flowing through the cross-section of the pipeline for water intake from the tributary is 0.055 m³/s at a river flow speed of 3 m/s.

***Keywords:** flood; flooding of territories; automatic gateway; ejector pump; simulation modeling*

О.М. Мандрик, Р.Й. Михайлюк, В.І. Артим, В.В. Михайлюк

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ САМОДІЮЧОГО ШЛЮЗУ ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ ПАВОДКОВИМ РОЗЛИВАМ

***Анотація.** Всі методи боротьби із затопленням території населених пунктів безпосередньо пов'язані з виконанням значних об'ємів земляних робіт, будівництвом спеціальних споруд і тому при проектуванні вимагають усестороннього аналізу і обґрунтування та вибору найбільш економічно доцільних і доступних варіантів проєкту.*

Але аналізуючи основні способи захисту території населених пунктів від затоплення, слід відзначити, що навіть при їх оптимальному використанні залишається проблема затоплення території через притоки річок. Тому варто зосередити увагу на пошуку технічного рішення, яке б дало змогу проводити відкачування води із притоки у річку без застосування вартісного, складного за конструкцією та енерговитратного обладнання. Одним з перспективних рішень є використання самодіючих шлюзів.

Метою роботи є дослідження гідродинамічних параметрів запропонованої конструкції самодіючого шлюзу для запобігання паводковим розливам.

Запропоновано конструкцію гідротехнічної споруди (самодіючого шлюзу для запобігання паводковим розливам), що призначена для запобігання затопленню територій внаслідок розливу рік і може бути використана для регулювання рівня води в гідротехнічних системах. Показано, що використання розробленої конструкції дасть змогу значно зменшити негативні наслідки на територіях від можливих паводкових розливів.

Для підтвердження працездатності та дослідження гідродинамічних параметрів самодіючого шлюзу розроблено його тривимірну модель у програмі SolidWorks. Проведене імітаційне моделювання запропонованої конструкції ежекторного насоса в програмному модулі FlowSimulation підтвердило її працездатність та дало змогу визначити у ній розподіл тисків і швидкостей руху рідини. Встановлено, що витрата рідини, яка протікає через поперечний переріз трубопроводу для відбору води із притоки, складає $0,055 \text{ м}^3/\text{с}$ за швидкості течії річки $3 \text{ м}/\text{с}$.

***Ключові слова:** паводок; затоплення територій; самодіючий шлюз; ежекторний насос; імітаційне моделювання*

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.4.114-127>

Вступ

Аналіз закордонних та вітчизняних досліджень і публікацій

***Захист території від затоплення.** Затоплення території виникає, як правило, в результаті виливу рік, озер або інтенсивних опадів чи танення снігу. Періодичне затоплення території (один раз на певну кількість років), вибраної для будівництва населеного пункту, називається ймовірністю перевищення і виражається у відсотках (%). Якщо затоплення території відбувається один раз на 100 років, то ймовірність перевищення (ЙП) складає 1%, а на 50 років ЙП складає 2% тощо [1].*

У відповідності з правилами планування і забудови населених пунктів території, які затоплюються частіше одного разу в 25 років ($Y_P = 4\%$) з максимальним рівнем затоплення заплави ріки більше як 0,6 м, відносяться до несприятливих територій, які потребують захисту від затоплення. При затопленні території, призначеної для капітального будівництва, ймовірність забезпечення допускається в межах від 1% до 3%, що відповідає затопленню від одного разу в 100 років до одного разу у 33 роки.

У боротьбі з затопленням територій населених пунктів, які розташовані на берегах рік та інших водоймищ, використовують різні способи, які залежать від місцевих умов, характеру ріки або водоймища (режиму, швидкості течії, рівня води тощо) та особливостей використання забудови та благоустрою території, яка періодично затоплюється [1].

Основними способами захисту території населених пунктів від затоплення є [1]:

- 1) суцільна підсипка території, яка затопляється або підтопляється;
- 2) обвалування території шляхом огороження населеного пункту валами, влаштування захисних дамб (греблі) зі сторони ріки;
- 3) пониження рівня води в ріці в межах населеного пункту, регулювання стоку і витрат води шляхом будівництва водосховищ вище населеного пункту за течією води в ріці і створення відвідного водоскидного русла;
- 4) збільшення пропускної здатності ріки в межах території населеного пункту для пропуску більшої кількості води шляхом розчистки та поглиблення русла ріки.

У багатьох випадках доцільно використовувати одночасно різні заходи в комплексі.

Крім періодичних затоплень, може бути постійне затоплення території населених пунктів, розмішених у зоні підпору греблі на великих ріках, а також при створенні штучних водосховищ.

Методи захисту території від затоплення залежать від висоти підпору і площі ділянки, цінності будівель і споруд на території, природних особливостей [1].

При неширокій смузі заплави ріки доцільна загальна підсипка на всій території до незатоплюваних відміток. При середній висоті підсипки (1,5–2,0 м) і наявності поблизу земляної маси ґрунту цей метод є економічно виправданим.

При широкій смузі території затоплення споруджують дамби обвалування. Верхня відмітка дамби повинна бути вищою за рівень паводкових вод. Ширина дамби приймається в межах 4,5 м, що забезпечує під'їзд експлуатаційного транспорту.

Разом з цим при спорудженні дамб часто погіршуються умови архітектурно-планувального використання забудованої території: перекривається безпосередній зв'язок населеного пункту рікою, погіршуються санітарно-гігієнічні умови території, ускладнюються умови експлуатації підземних комунікацій, бо для відведення поверхневого стоку за межі дамби треба споруджувати станції перекачування води. Забудова території можлива тільки після спорудження дамби. Однак при захисті від затоплення вже забудованих територій доцільне тільки спорудження дамб обвалування (рис. 1) [1].

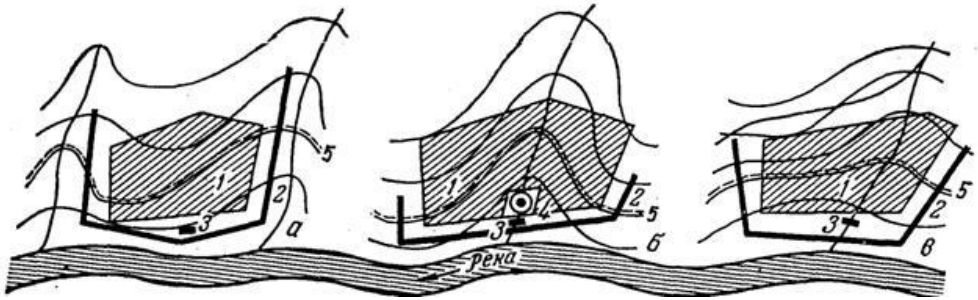


Рис. 1. Схема захисних споруд для населених пунктів у заплавної частині рівнинних рік: а – населений пункт між двома притоками ріки; б – населений пункт на притоці ріки; в – населений пункт на притоці ріки, русло відведене за межі дамби; 1 – населений пункт; 2 – дамба обвалована; 3 – насосна станція; 4 – регулюючий басейн; 5 – межа затоплення

На підтоплованій території відбувається підвищення рівня ґрунтових вод, пониження якого забезпечується шляхом спорудження берегового дренажу вздовж підшви дамб обвалування. При тимчасовому підпорі підземних вод вони випускаються з дренажної мережі за допомогою спеціальної станції перекачування.

Всі методи боротьби з затопленням території населених пунктів безпосередньо пов'язані з виконанням значних об'ємів земляних робіт, будівництвом спеціальних споруд і тому при проектуванні вимагають всестороннього аналізу й обґрунтування та вибору найбільш економічно доцільних і доступних варіантів проекту [1].

Зважаючи на основні способи захисту території населених пунктів від затоплення, варто додати, що навіть при їх використанні залишається проблема – затоплення територій через притоки річок. Оскільки рівень води під час повені у річці зростає, то відбувається її перетікання у притоку річки. У випадку наявності дамби, що відгороджує річку від притоки, необхідними є насосні станції, що відкачуватимуть воду з притоки у річку. Такі насосні станції потребують підведення електроенергії, сервісного обслуговування тощо. Це викликає певні труднощі при їх експлуатації. Тому варто зосередити увагу на пошуку технічного рішення, яке б дало змогу проводити відкачування води із притоки у річку без застосування дорогавартісного, складного за конструкцією та енерговитратного обладнання.

Одним із доволі простих пристроїв для попередження паводкових розливів є пристрій [2], зображений на рисунку 2. Фактично він є шлюзом-регулятором та складається із водовідбійної стінки 1 з водопропускними отворами і клапанними затворами 3, 4, 5. Клапанні затвори розташовані вертикально та верхньою частиною за допомогою шарнірів 6, 7, 8 закріплені до водовідбійної стінки 1 з можливістю почергового (знизу догори) відкриття водопропускних отворів. При цьому у водовідбійну стінку 1 додатково встановлено під кутом до отвору із клапанним затвором трубу аварійного скиду 9 із зворотним клапаном 10 на викидному кінці.

На рисунку 3 зображено схему розташування шлюза-регулятора відносно ріки, притоки та дамби.

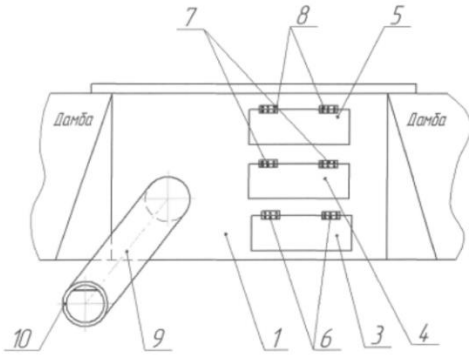


Рис. 2. Пристрій для попередження паводкових розливів: 1 – водовідбійна стінка; 3, 4, 5 – клапани-регулятори; 6, 7, 8 – шарніри; 9 – труба аварійного скиду; 10 – зворотний клапан

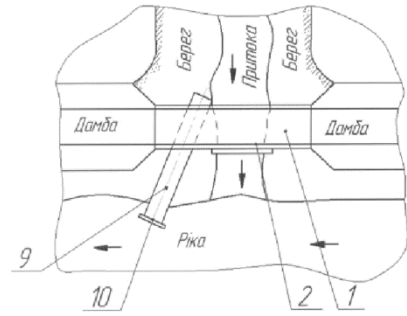


Рис. 3. Схема розташування шлюза-регулятора відносно ріки, притоки та дамби: 1 – водовідбійна стінка; 2 – отвір із клапанним затвором; 9 – труба аварійного скиду; 10 – зворотний клапан

При нормальному рівні води у ріці і притоці вода з притоки тече до водовідбійної стінки і через отвір з клапанним затвором 2 надходить до нижнього клапана-регулятора 3, який закріплений на шарнірі 6, привідкривається під напором води, відхиляючись від поверхні водовідбійної стінки 1, і дає можливість витоку води із притоки в річку. За необхідності підняти рівень води у притоці клапан-регулятор 3 застоплюється у закритому положенні, і вода випускається через наступний, розташований вище, клапан-регулятор 4, закріплений шарніром 7. Якщо рівень води у притоці різко зростає і пропускна здатність клапанів-регуляторів 4, 5, 6 є недостатньою, тоді злив води додатково проводиться через трубу 9 аварійного скиду із зворотним клапаном 10, запобігаючи розливу води на великі території.

У випадку підняття рівня води у ріці вище рівня води у притоці клапани-регулятори 3, 4, 5 завдяки шарнірам 6, 7, 8 будуть знаходитись у закритому положенні. За необхідності зворотний клапан 10 також перекриє трубу 9 аварійного скиду.

Проте у цього пристрою є недолік – при піднятті рівня води у річці будуть по чергово закриватися клапани регулятори 3, 4 та 5 і вода із річки не потраплятиме у притоку, але у притоці також можливе підняття рівня води, що може спричинити підтоплення території.

Мета роботи та обґрунтування необхідності її виконання

Метою роботи є дослідження гідродинамічних параметрів самодіючого шлюзу для запобігання паводковим розливам.

Викладення основного матеріалу

Одним із технічних рішень, що може бути використано при конструюванні пристроїв для попередження паводкових розливів, є застосування сифонів (рис. 4).

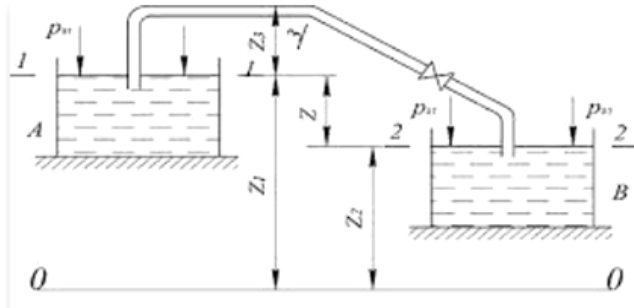


Рис. 4. Принципова схема сифона

Проте використати тільки сифон для відкачування води з притоки у річку є неможливо, оскільки рівень рідини у притоці повинен бути меншим рівня рідини у річці, а рушійною силою для створення розрідження у сифоні має бути швидкісний напір (від швидкості течії річки).

Розглядаючи теорію течії рідини крізь зовнішню циліндричну насадку [3], можна помітити особливість – виникнення вакууму, що сприяє витіканню рідини. Така особливість руху рідини дає змогу запропонувати розміщення спеціального пристрою на стороні всмоктувальної труби, що розміщена в річці. Це дасть змогу створити розрідження, що забезпечить відсмоктування рідини із притоки.

Спеціальним пристроєм, що можна встановити на всмоктувальній трубі, може бути ежекторний насос (рис. 5) [4].

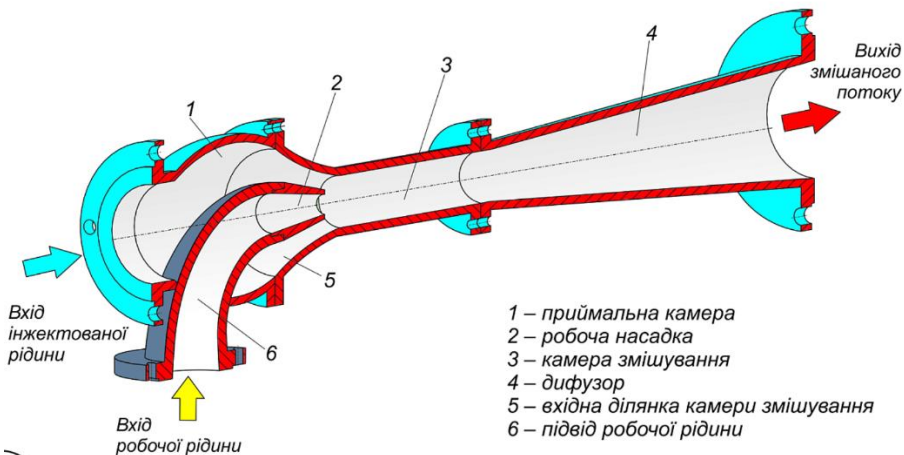


Рис. 5. Конструкція ежекторного (струминного) насоса

Отже, запропоновано конструкцію гідротехнічної споруди (самодіючого шлюзу для запобігання паводковим розливам), що призначена для запобігання затопленню території внаслідок розливу рік і може бути використана для регулювання рівня води в гідротехнічних системах [5].

Самодіючий шлюз для запобігання паводковим розливам (рис. 6) складається з водовідбійної стінки 1, в якій є отвори 2, 3, 4 з клапанами-регуляторами 5, 6, 7, які розташовані вертикально в ряд і відповідно закріплені шарнірами 8, 9, 10 до водовідбійної стінки 1. У водовідбійній стінці

встановлена труба аварійного скидання 11 на рівні найвищого отвору 4 перпендикулярно до русла ріки. З боку притоки всмоктуючий торець труби аварійного скидання знаходиться в площині отвору 3. З боку ріки довжина труби аварійного скидання сягає русла ріки при повені. На викидному торці труби аварійного скидання 11 встановлений ежекторний насос 12. В найвищій точці труби аварійного скидання встановлений розповітрявач 13.

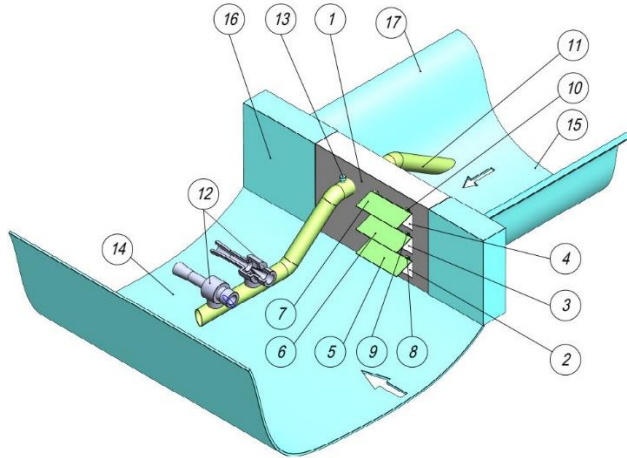


Рис. 6. Самодіючий шлюз для запобігання паводковим розливам: 1 – водовідбійна стінка; 2, 3, 4 – отвори; 5, 6, 7 – клапани-регулятори; 8, 9, 10 – шарніри; 11 – труба аварійного скидання; 12 – ежекторний насос; 13 – розповітрявач; 14 – русло річки; 15 – русло притоки; 16 – дамба

При нормальному рівні води у ріці 14 і притоці 15 вода з притоки тече до водовідбійної стінки і через отвір 2 надходить до нижнього клапана – регулятора 5, який закріплений на шарнірі 8, привідкривається під напором води, відхиляючись від поверхні водовідбійної стінки 1, і дає можливість витоку води із притоки в ріку. При піднятті рівня води в ріці вище нижнього рівня отвору 2 клапан-регулятор 5 закривається під напором води в ріці і вода з ріки не буде поступати в притоку. Вода з притоки може витікати в ріку при досягненні рівня отвору 3. Якщо рівень води в ріці 14 піднімається вище отвору 3, то клапан-регулятор 6 закриється і вода з ріки не буде поступати в притоку. Аналогічно при піднятті рівня води в ріці 14 до рівня отвору 4 клапан-регулятор 7 закриється і вода з ріки не буде поступати в притоку. Таким чином, при піднятті рівня води в ріці 14 до рівня висоти захисної дамби 16 вода з ріки не буде затоплювати прилеглу територію в місці впадання притоки в ріку.

Можливе одночасне підняття рівня води в ріці 14 і в притоці 15. Тоді вода з притоки, не маючи витоку та досягнувши рівня берега, може затопити територію, прилеглу до дамби 16. В цьому випадку через трубу аварійного скидання 11 вода з притоки буде відкачуватись в ріку. На викидному кінці в трубі аварійного скидання ежекторний насос 12 знизить тиск і, крім того, тиск біля цього торця труби буде меншим порівняно з тиском біля всмоктуючого торця труби за законом Бернуллі, що забезпечить рух води від притоки до ріки. Всмоктуючий і викидний кінці труби аварійного скидання 11 плавно змінюють свій рівень, щоб виключити різкі перегини, забезпечуючи вільний рибохід між рікою і притокою.

Враховуючи те, що труба аварійного скидання буде заповнюватися водою з двох кінців, можливе утворення в ній повітряних пробок, які будуть стравлюватися через розповітрявач 13.

Таким чином, використання самодіючого шлюзу для запобігання паводковим розливам дасть можливість значно зменшити негативні наслідки на територіях від можливих паводкових розливів.

Для підтвердження працездатності та дослідження гідродинамічних параметрів самодіючого шлюзу проаналізовано результати комп'ютерного моделювання гідродинамічних процесів вітчизняних [6–7] і зарубіжних вчених [8–11]. Розроблено тривимірну модель самодіючого шлюзу (рис. 7) у програмі *SolidWorks*. Саме ж імітаційне моделювання виконано у її програмному модулі *FlowSimulation*.

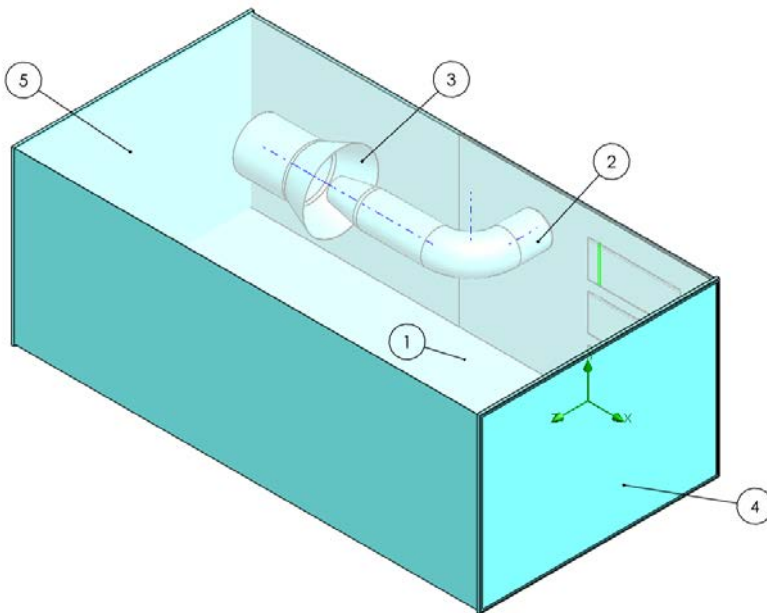


Рис. 7. Тривимірна модель для імітаційного моделювання: 1 – русло річки; 2 – відбір води з притоки; 3 – ежекторний насос; 4 – вхід рідини (течія річки); 5 – вихід рідини (течія річки)

Вхідними даними для моделювання прийнято швидкість течії річки рівною 3 м/с та тиск у відборі води з притоки 1 атм, робоча рідина – вода.

Окрім цього, варто зауважити, що у моделі зроблено деякі спрощення, а саме: не побудовано перегородки для кріплення деталей ежекційного насоса та дослідження проводиться у замкнутому об'ємі. Але ці спрощення суттєво не впливають на отримані результати.

Розрахункова схема наведена на рисунку 8.

Для зручності відображення отриманих результатів картини розподілу гідродинамічних параметрів наведено у поздовжньому перерізі труби відбору води із притоки (рис. 9–11).

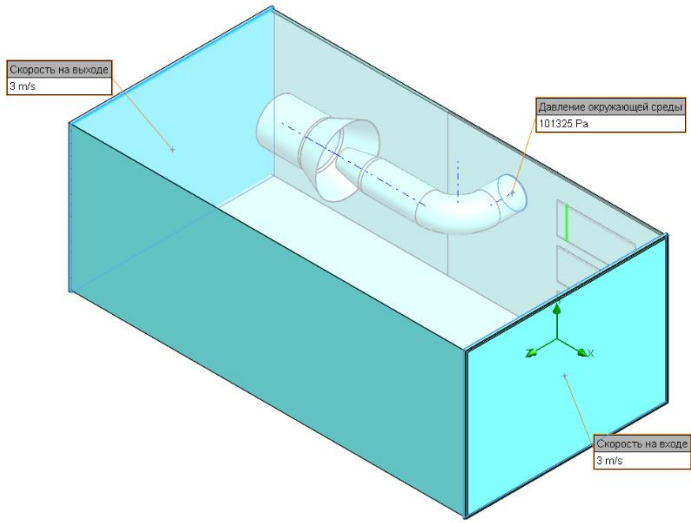


Рис. 8. Розрахункова схема

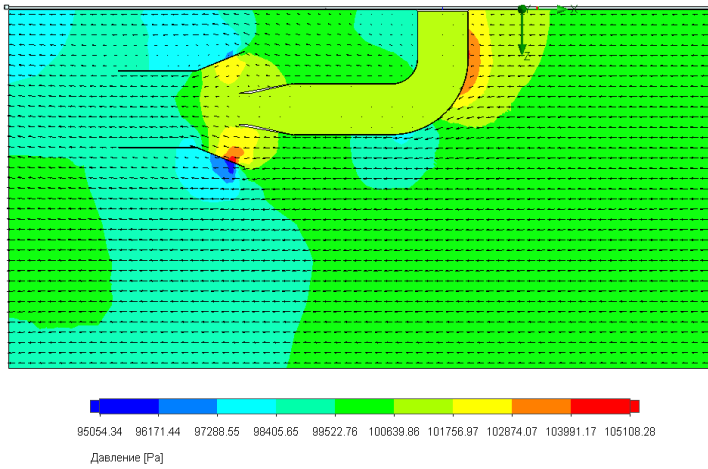


Рис. 9. Розподіл тиску

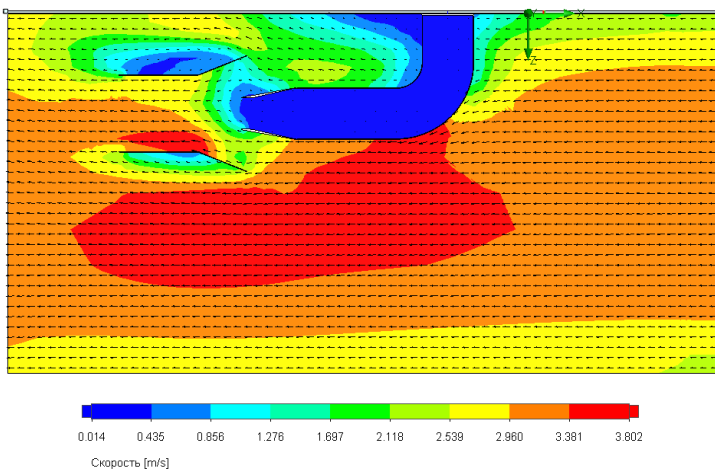


Рис. 10. Розподіл швидкості руху рідини

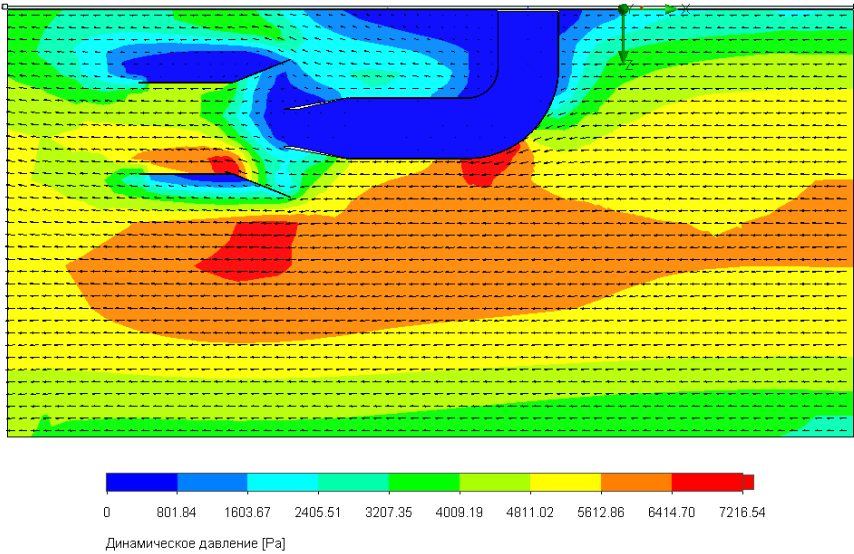


Рис. 11. Розподіл динамічного тиску

Проаналізувавши отримані результати, встановлено, що за використання конструкції ежекторного насоса, зображеного на рисунку 8, є неможливим відбір води із притоки у річку. Відбувається зворотний процес – рух рідини з річки у притоку.

Для усунення цього недоліку пропонується використати конструкцію ежекторного насоса, зображеного на рисунку 12.

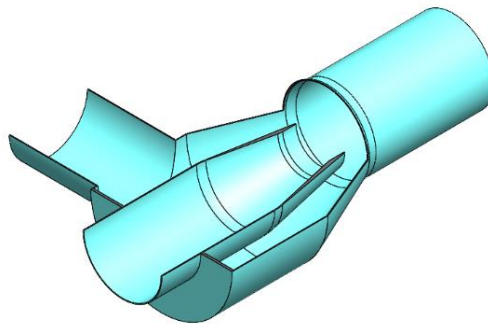


Рис. 12. Конструкція ежекторного насоса

На рисунку 13 зображено розподіл тиску рідини, на рисунку 14 – також розподіл тиску, але із зазначенням маркерами величини тиску у декількох точках. На рисунку 15 показано розподіл швидкості рідини.

Виходячи із результатів моделювання (рис. 7), у ежекторному насосі відбувається зменшення тиску робочої рідини із 110640 Па у вхідному патрубку насоса до 101147 Па у зоні змішування потоків. Тиск 101147 Па є також нижчим за тиск на вході у трубопровід відбору води із притоки (101315Па). В цьому випадку відбуватиметься підсмоктування рідини за допомогою ежекторного насоса із трубопроводу відбору води з притоки та перекачування її у річку.

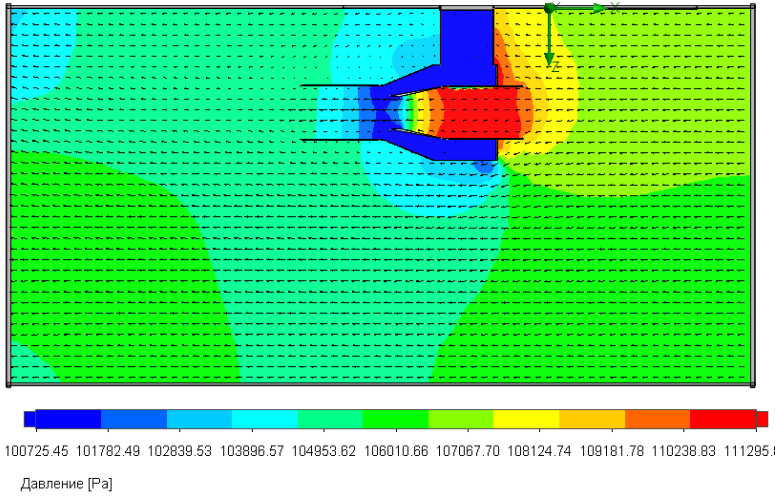


Рис. 13. Розподіл тиску

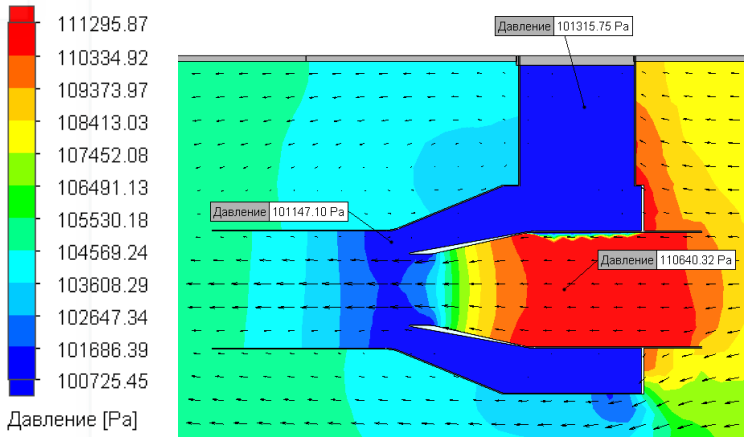


Рис. 14. Розподіл тиску (із зазначенням маркерами величини тиску у декількох точках)

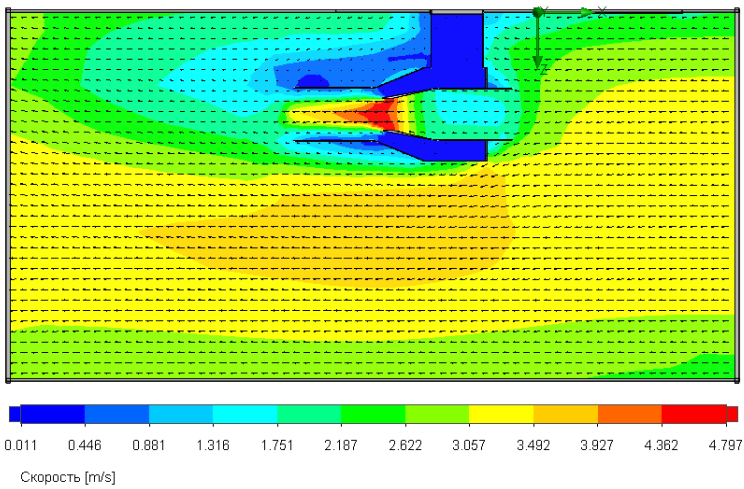


Рис. 15. Розподіл швидкості руху рідини

Швидкість руху води у трубопроводі відбору води з притоки під час використання ежекторного насоса (рис. 12) складає 0,07 м/с. Витрата рідини, що протікає через поперечний переріз цього трубопроводу за такої швидкості, становить близько 0,055 м³/с.

Варто зауважити, що досліджена конструкція ежекторного насоса є тільки прототипом і в подальшому потребує оптимізації геометричних та гідродинамічних параметрів. Завдяки оптимізації можна буде отримати більші швидкості руху води у трубопроводах відбору із притоки, зменшити гідравлічний опір конструкції ежекторного насоса тощо.

Висновки

Застосування шлюзів є одним із способів для запобігання паводковим розливам. Запропонований самодіючий шлюз досліджено за допомогою імітаційного моделювання та встановлено, що перша запропонована конструкція ежекторного насоса, яка у ньому застосована, є непрацездатною. Проведене імітаційне моделювання другої запропонованої конструкції ежекторного насоса дозволило підтвердити її працездатність та визначити у ній розподіл тисків і швидкостей руху рідини. Встановлено, що витрата рідини, яка протікає через поперечний переріз трубопроводу для відбору води із притоки, складає 0,055 м³/с за швидкості течії річки 3 м/с.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Використання земель населених пунктів з основами містобудування: монографія / за ред. д.е.н. А.Я. Сохнич. Львів: Видавництво «Ліга-Прес», 2010. 168 с.
2. Патент 2299947 (RU), МПК E02B 3/00. Устройство для предупреждения паводковых разливов / Ворошилов Н.А., Гладышев В.П., Гумеров С.У., Кургузов В.Н.: заявл. 18.07.2005. опубл. 27.05.2007.
3. Навроцький Б.І. Технічна механіка рідин : [підручник для технічних вузів] / Б.І. Навроцький, Є.І. Сухін – К. : [Знання], 1999. – 374 с. – ISBN 966-618-056-1.
4. Михайлюк В.В., Концур І.Ф., Копей Б.В., Дейнега Р.О. Гідромашини: атлас схем та конструкцій. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2022. 26 с.
5. Патент на корисну модель № 151593, Україна, E02B 3/10, E02B 8/00. Самодіючий шлюз для запобігання паводковим розливам / Мандрик Олег Миколайович (UA); Михайлюк Роман Йосипович (UA); Витриховський Євстахій Андрійович (UA); Михайлюк Василь Володимирович (UA); Шкіца Ярослав Ігорович (UA) – u2022 00025; Заявл. 04.01.2022; Опубл. 17.08.2022, Бюл. № 33.
6. Інтегровані рішення функціональних мехатронних модулів в задачах синтезу пакувальних машин / О.С. Володін, Л.О. Кривопляс-Володіна, О.М. Гавва, Т.Т. Гнатів // Гідроаеромеханіка в інженерній практиці : Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, 19-22 червня 2018 р., м. Київ. – К. : ІАЦ НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2018. – С. 69-41.
7. Мельников, О.П. Дослідження впливу геометричних параметрів проточної частини свердловинного струминного насоса на його характеристики / О.П. Мельников // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2013. – № 2. – С. 165-173.
8. Deshpande ON, Narappanawar NL (2015) Space advantage provided by De-Laval nozzle and bell nozzle over venturi. Proceedings of the world congress on engineering 2015, vol II WCE 2015, July 1–3, 2015, London, UK [WCE2015_pp1165-1168.pdf].

9. Murillo W.O., Palacio-Fernandez J.A., Patiño Arcila I.D., Zapata Monsalve J.S., Hincapié Isaza J.A. Analysis of a Jet Pump Performance under Different Primary Nozzle Positions and Inlet Pressures using two Approaches: One Dimensional Analytical Model and Three Dimensional CFD Simulations, *J. Appl. Comput. Mech.*, 6(SI), 2020, 1228–1244. <https://doi.org/10.22055/JACM.2020.33339.2205> [JACM_Volume 6_Issue Special Issue_Pages 1228-1244.pdf].
10. Wang, Wan, "Simulation of Venturi Tube Design for Column Flotation Using Computational Fluid Dynamics" (2017). Graduate Theses, Dissertations, and Problem Reports. 6909. <https://researchrepository.wvu.edu/etd/6909> [Simulation of Venturi Tube Design for Column Flotation Using Comp.pdf].
11. Sree Harsha Bandaru, Arjun Singh. "CFD analysis of De Laval Nozzle Geometry & Reverse Flow Cavitation Phenomenon", Volume 5, Issue I, International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET) Page No: 129-134, ISSN : 2321-9653, www.ijraset.com [doc.pdf].

Стаття надійшла до редакції 12.09.2022 і прийнята до друку після рецензування 19.12.2022

REFERENCES

1. Sokhnych, A.Ya. (Ed.). (2010). *Vykorystannya zemel' naselenykh punktiv z osnovamy mistobuduvannya: monohrafiya*. L'viv: Vydavnytstvo «Liha-Pres» [in Ukrainian].
2. Voroshylov, N.A., Hladyshev, V.P., Humerov, S.U., & Kurhuzov, V.N. (27.05.2007). *Patent 2299947 (RU), MPK E02V 3/00. Ustroystvo dlya preduprezhdeniya pavodkovykh razlyvov*.
3. Navrots'kyu, B.I., & Sukhin, YE.I. (1999). *Tekhnichna mekhanika ridyn: pidruchnyk dlya tekhnichnykh vuziv*. Kyiv: Znannya [in Ukrainian].
4. Mykhaylyuk, V.V., Kontsur, I.F., Kopey, B.V., & Deyneha, R.O. (2022). *Hidromashyny: atlas skhem ta konstruktsiy*. Ivano-Frankivs'k: IFNTUNH [in Ukrainian].
5. Mandryk, O.M., Mykhaylyuk, R.Y., Vytrykhovs'kyu, Y.A., Mykhaylyuk, V.V., & Shkitsa, Y.I. (17.08.2022). *Patent na korysnu model' № 151593, Ukrayina, E02B 3/10, E02B 8/00. Samodiyuchyy shlyuz dlya zapobihannya pavodkovym rozlyvam*. Byul. № 33.
6. Volodin, O.S., Kryvoplyas-Volodina, L.O., Havva, O.M., & Hnativ, T.T. (2018). Intehrovani rishennya funktsional'nykh mekhatronnykh moduliv v zadachakh syntezu pakuval'nykh mashyn. In *Hidroaeromekhanika v inzhenerniy praktytsi: Materialy mizhnarodnoyi naukovy-tekhnichnoyi konferentsiyi* (pp. 69-41). Kyiv: IATS NTUU«KPI im. I. Sikors'koho» [in Ukrainian].
7. Mel'nykov, O.P. (2013). Doslidzhennya vplyvu heometrychnykh parametriv protochnoyi chastyny sverdlovnynoho strumynnoho nasosa na yoho kharakterystyky. *Naukovyy visnyk Ivano-Frankivs'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu nafty i hazu*, 2, 165-173 [in Ukrainian].
8. Deshpande, O.N., & Narappanawar, N.L. (2015). Space advantage provided by De-Laval nozzle and bell nozzle over venturi. In *Proceedings of the world congress on engineering* (vol. II WCE 2015, pp. 1165-1168). London, UK.
9. Murillo, W.O., Palacio-Fernandez, J.A., Patiño Arcila, I.D., Zapata Monsalve, J.S., & Hincapié Isaza, J.A. (2020). Analysis of a Jet Pump Performance under Different Primary Nozzle Positions and Inlet Pressures using two Approaches: One Dimensional Analytical Model and Three Dimensional CFD Simulations. *J. Appl. Comput. Mech.*, 6(SI), 1228–1244. <https://doi.org/10.22055/JACM.2020.33339.2205>.
10. Wang, Wan. (2017). *Simulation of Venturi Tube Design for Column Flotation Using Computational Fluid Dynamics*. *Graduate Theses, Dissertations, and Problem Reports*. 6909. <https://researchrepository.wvu.edu/etd/6909>. <https://doi.org/10.33915/etd.6909>.

11. Sree Harsha Bandaru, & Arjun Singh. CFD analysis of De Laval Nozzle Geometry & Reverse Flow Cavitation Phenomenon. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET)*, 5(I), 129-134.

The article was received 12.09.2022 and was accepted after revision 19.12.2022

Мандрик Олег Миколайович

доктор технічних наук, професор, перший проректор Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

Адреса робоча: 76019 Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2689-7165> **e-mail:** o.mandryk@nung.edu.ua

Михайлюк Роман Йосипович

аспірант Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

Адреса робоча: 76019 Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1810-2211> **e-mail:** mromanm2016@gmail.com

Артим Володимир Іванович

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедрою будівництва та енергоефективних споруд Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

Адреса робоча: 76019 Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8938-552X> **e-mail:** viartym@gmail.com

Михайлюк Василь Володимирович

кандидат технічних наук, доцент, докторант Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

Адреса робоча: 76019 Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3329-2068> **e-mail:** myhajlyukv@ukr.net

УДК 621.039.586:614.876

Volodymyr M. Vashchenko¹, Dr. of Sci., Professor of the Department of Ecology
e-mail: nucleoroid@gmail.com

Volodymyr I. Skalozubov², Dr. of Sci., Professor of the Department of Nuclear Power Plants, Scientific Director of the Interdepartmental Center for Fundamental Scientific Research in the Field of Energy and Ecology of the NASU, "Odesa Polytechnic" and Ministry of Ecology of Ukraine
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2361-223X> *e-mail*: skalozubov@op.edu.ua

Iryna B. Korduba³, Cand. of Tech. Sci., associate professor of the Department of Ecology
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5135-8465> *e-mail*: kordubairuna@gmail.com

Serhiy I. Kosenko², Cand. of Tech. Sci., associate professor of the Department of Theoretical and Experimental Nuclear Physics, researcher of the Center
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7082-5644> *e-mail*: skosenko@op.edu.ua

Olena H. Zhukova³, Cand. of Tech. Sci., associate professor of the Department of Ecology
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0662-9996> *e-mail*: zhukova.og@knuba.edu.ua

¹ National Aviation University, Kyiv, Ukraine

² Odesa Polytechnic State University, Odesa, Ukraine

³ Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

CRITERIA OF THERMOCHEMICAL CONDITIONS OF STEAM GAS EXPLOSIONS IN DYNAMIC ACCIDENT MODES AT NUCLEAR POWER UNITS WITH WWER REACTORS

***Abstract.** The main lessons of the major accident at the Fukushima-Daiichi NPP in 2011 for the nuclear power industry identify the need to model, analyze and develop emergency measures for relatively unlikely events with catastrophic environmental consequences, taking into account multiple failures of safety systems. Steam-gas explosions became one of the main causes of the catastrophic environmental consequences of the Chernobyl and Fukushima accidents. Criteria and conditions for the occurrence of steam-gas explosions in dynamic emergency modes in the "tight" reactor circuit of nuclear power reactor units (NPP) with water-water reactors (WWER) with failures of safety systems valves and emergency steam gas removal are determined by the rate of change of thermodynamic and physico-chemical parameters. A method for determining the criteria and conditions for the occurrence of steam-gas explosions in dynamic accident modes with a "tight" reactor circuit and failure of safety valves for modeling the initial emergency events – seismic effects, falling of massive objects, etc. is presented. The conditions for the occurrence of hydrogen explosions are determined by the maximum rate of increase in the temperature of fuel oil shells, and the conditions for steam explosions are determined by the maximum rate of pressure increase as a result of the intensification of vaporization processes. The criteria for the occurrence of steam explosions in dynamic emergency modes are determined by the maximum pressure amplitude and the propagation speed of acoustic disturbances in the steam volume. And the criteria for hydrogen detonation in dynamic emergency modes are determined by the maximum amplitude of the increase in the temperature of the fuel shells and the average flow rate of the coolant in the active zone of the reactor.*

***Key words:** steam-gas explosion; nuclear power unit*

В.М. Ващенко¹, В.І. Скалозубов², І.Б. Кордуба³, С.І. Косенко², О.Г. Жукова³

¹ Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

² Державний університет «Одеська політехніка», м. Одеса, Україна

³ Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

КРИТЕРІЇ ТЕРМОХІМІЧНИХ УМОВ ПАРОГАЗОВИХ ВИБУХІВ У ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМАХ АВАРІЙ НА ЯДЕРНИХ ЕНЕРГОБЛОКАХ ІЗ РЕАКТОРАМИ ВВЕР

***Анотація.** Основні уроки великої аварії на АЕС Fukushima-Daiichi у 2011 р. для ядерної енергетики визначають необхідність моделювання, аналізу та розробки протиаварійних заходів для відносно малоймовірних подій з катастрофічними екологічними наслідками, з урахуванням численних відмов систем безпеки. Парогазові вибухи стали одною з основних причин катастрофічних екологічних наслідків Чорнобильської і Фукусімської аварій. Критерії і умови виникнення парогазових вибухів у динамічних аварійних режимах у «щільному» реакторному контурі ядерних енергетичних реакторних блоків (ЯЕРБ) із водо-водяними реакторами (ВВЕР) з відмовами систем запобіжних клапанів і аварійного парогазовидалення визначаються швидкістю зміни термодинамічних і фізико-хімічних параметрів. Представлено метод визначення критеріїв і умов виникнення парогазових вибухів при динамічних режимах аварій зі «щільним» реакторним контуром та відмовами запобіжних клапанів моделювання вихідних аварійних подій – сейсмічні впливи, падіння масивних об'єктів тощо. Умови виникнення водневих вибухів визначаються максимальною швидкістю збільшення температури оболонки твєлів, а умови парових вибухів – максимальною швидкістю збільшення тиску в результаті інтенсифікації процесів пароутворення. Критерії виникнення парових вибухів у динамічних аварійних режимах визначаються граничною амплітудою тиску та швидкістю розповсюдження акустичних обурень у паровому об'ємі. А критерії водневої детонації у динамічних аварійних режимах визначаються граничною амплітудою збільшення температури оболонки твєлів та середньою швидкістю течії теплоносія в активній зоні реактора.*

***Ключові слова:** парогазовий вибух; ядерний енергоблок*

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.4.128-134>

Вступ

Питанням моделювання аварій і аналізу безпеки ядерних енергоустановок (ЯЕУ) присвячено багато досліджень [1–11 та ін.]. Однак питання визначення критеріїв і умов виникнення парогазових вибухів під час аварій вивчені недостатньо.

Руйнівні парогазові вибухи стали одною з основних причин катастрофічних екологічних наслідків Чорнобильської і Фукусімської аварій [1, 2].

При виконанні аналізу безпеки ЯЕРБ із ВВЕР зазвичай моделюються умови парогазових вибухів для відносно «повільно» протікаючих аварійних процесів, виходячи з наступних причин:

1. Априорі покладається успішне спрацьовування систем безпеки (СБ), які обмежують тиск у реакторній установці – запобіжні клапани, пароскидальні пристрої, СБ подачі охолодження та ін. Однак уроки аварії на АЕС «Фукусіма-1»

визначають необхідність моделювання аварійних процесів з урахуванням численних відмов СБ. До того ж відмови запобіжних клапанів реактора стали однією з головних причин важкої запроектої ядерної аварії на АЕС ТМІ-2 в США, у 1979 р., та аварійного інциденту на Рівненській АЕС в Україні, у 2009 р.

2. Питання визначення критеріїв і умов виникнення парогазових вибухів у динамічних/«швидкоплинних» аварійних режимах зі «щільним» реакторним контуром з відмовами запобіжних клапанів поки що не розглядалися. Термохімічні критерії і умови виникнення парогазових вибухів у динамічних аварійних режимах визначаються швидкістю зміни термодинамічних і фізико-хімічних параметрів.

До аварій зі «щільним» реакторним контуром відносяться: екстремальні вихідні події – землетруси, затоплення, торнадо, урагани, падіння великих об'єктів та ін.; реактивні аварії і відмови аварійного захисту реактора; течі і розриви парових та живильних трубопроводів 2-го контуру ЯЕРБ із ВВЕР; відмови головних циркуляційних насосів тощо.

Традиційно в ядерній енергетиці аналіз безпеки проводиться на основі ймовірного і детерміністичного моделювання вихідних аварійних подій (течі реакторного контуру, повна тривала втрата електрозабезпечення енергоблоків, розриви паропроводів, відмови систем, важливих для безпеки, людський фактор (критичні помилкові неадекватні дії персоналу), сейсмічні впливи, падіння масивних об'єктів – літаків, метеоритів, затоплення промислових майданчиків АЕС, смерчі, урагани, піщані бурі і інше) [3–11].

У даній роботі запропоновано метод визначення критеріїв і умов виникнення парогазових вибухів при динамічних режимах аварій зі «щільним» реакторним контуром та відмовами запобіжних клапанів.

Критерії і умови парогазових вибухів при аваріях із «щільним» реакторним контуром.

Основні положення і допущення.

1. Умови виникнення парогазових вибухів моделюються для динамічних аварійних режимів у «щільному» реакторному контурі з відмовами запобіжних клапанів компенсатора тиску і систем аварійного парогазовидалення.

2. Критерій водневого вибуху визначається максимальною швидкістю зміни температури оболонки твелів і генерації водню внаслідок термохімічної пароцирконієвої реакції, а критерій парового вибуху – максимальною швидкістю збільшення тиску внаслідок інтенсифікації процесів пароутворення.

3. Реакторний контур і парогенератори моделюються як системи з осередненими по об'ємах теплогідродинамічними параметрами.

4. Консервативно покладається достатня для водневої детонації кількість розчиненого повітря.

З урахуванням прийнятих допущень рівняння теплогідродинаміки в реакторному контурі і парогенераторах ЯЕУ із ВВЕР [3–6]:

$$R_{TV} = \frac{\delta_F}{\lambda_F} + \frac{\delta_g}{\lambda_g} + \frac{\delta_{ob}}{\lambda_{ob}}, \quad (1)$$

де δ_F , δ_g , δ_{ob} – товщина паливної матриці, газового зазору і оболонки твела;
 λ_F , λ_g , λ_{ob} – коефіцієнт теплопровідності паливної матриці, газового зазору і оболонки твела.

Умови водневої детонації у відносно «повільних» аварійних процесах:

$$T_{0b} \geq T_{0bm}; \quad C_H \geq C_{Hm}, \quad (2)$$

де C_H , C_{Hm} – поточна і гранично допустима для вибухобезпечності концентрація водню.

C_{Hm} у загальному випадку залежить від концентрації кисню (каталізатор водневої детонації) і паровмісту [1, 2].

Умови парогазових вибухів у динамічних аварійних режимах:

$$\frac{dP_R}{dt} \geq (P_{Rm} - P_{R0})a_V(P_R)/H_{VR}, \quad (3)$$

$$\frac{dP_g}{dt} \geq (P_{gm} - P_{g0})a_V(P_g)/H_{Vg}, \quad (4)$$

$$\frac{dT_{0b}}{dt} \geq (T_{0bm} - T_{0b0})v_T/H_a, \quad (5)$$

де P_{R0} , P_{g0} – початковий тиск у RC і SG; P_{Rm} , P_{gm} – гранично допустимий тиск у RC і SG; a_V – швидкість звуку в паровому об'ємі; – гранично допустима і початкова температура оболонок твелів; H_{VR} , H_{Vg} – еквівалентний розмір парового об'єму в реакторі і парогенераторі; v_T – середня швидкість теплоносія в активній зоні реактора; H_a – висота активної зони.

Враховуючи рівняння (1)–(5), у загальному випадку умови парогазових вибухів у «щільному» RC і SG:

$$f_R(t_1) \geq (P_{Rm} - P_{R0})v_{aR}(t_1), \quad (6)$$

$$f_g(t_2) \geq (P_{gm} - P_{g0})v_{ag}(t_2), \quad (7)$$

$$f_{0b}(t_3) \geq (T_{0bm} - T_{0b0})v_H(T_{0bm}), \quad (8)$$

$$T_{0b}[f_{0b}(t_4)] \geq T_{0bm}; \quad C_H(t_5) \geq C_{Hm}. \quad (9)$$

Момент можливого настання парогазового вибуху в процесі позапроектної аварії зі «щільним» реакторним контуром і парогенератором:

$$t_0 = \min(t_1, t_2, t_3, t_4, t_5). \quad (10)$$

Висновки

1. Основні уроки великої аварії на АЕС “Fukushima-1” у 2011 р. для ядерної енергетики визначають необхідність моделювання, аналізу та розробки протиаварійних заходів для відносно малоймовірних подій, але які мають катастрофічні екологічні наслідки, з урахуванням численних відмов систем безпеки.

2. Критерії і умови виникнення парогазових вибухів у динамічних аварійних режимах у «щільному» реакторному контурі ядерних енергоустановок із ВВЕР та з відмовами систем запобіжних клапанів і аварійного парогазовидалення визначаються швидкістю зміни термодинамічних і фізико-хімічних параметрів.

3. Представлено детерміністський метод визначення критеріїв і умов парогазових вибухів у динамічних аварійних режимах у «щільному» реакторному контурі з відмовами запобіжних клапанів та систем аварійного парогазовидалення. Умови виникнення водневих вибухів визначаються максимальною швидкістю збільшення температури оболонок твेलів, а умови парових вибухів – максимальною швидкістю збільшення тиску внаслідок інтенсифікації процесів пароутворення.

4. Критерії виникнення парових вибухів у динамічних аварійних режимах визначаються граничною амплітудою тиску та швидкістю розповсюдження акустичних обурень у паровому об'ємі. Критерії водневої детонації у динамічних аварійних режимах визначаються граничною амплітудою збільшення температури оболонок твелів та середньою швидкістю течії теплоносія в активній зоні реактора.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. IAEA International Fact Finding Expert Mission of the Fukushima Dai-Ichi NPP Accident Following the Great East Japan Earthquake and Tsunami: IAEA Mission Report. IAEA, 2011. 160 p.
2. Skalozubov V. I., Huiyu Zhou, Chulkin O. A., Pirkovskiy D. S. Modelling method of conditions for reliability-critical hydraulic impacts on pumps of thermal and nuclear power plants. Problems of Atomic Science and Technology. 2017. No. 4(110). P. 74–78.
3. Skalozubov V., Bilous N., Pirkovskiy D., Kozlov I., Komarov Yu., Chulkin O. Water hammers in transonic modes of steam-liquid flows in NPP equipment. Nuclear & Radiation Safety. 2019. No. 2(82). P. 46–49.
4. Skalozubov V., Kozlov I., Chulkin O., Komarov Yu., Piontkovskiy O. Analysis of reliability-critical hydraulic impact conditions at WWER-1000 NPP active safety systems. Nuclear & Radiation Safety. 2019. No. 1(81). P. 42–45.
5. Вышемирский М. П., Мазурок А. С., Носовский А. В. Анализ влияния начальных и граничных условий на формирование термоудара корпуса реактора. Ядерная та радіаційна безпека. 2013. № 1(57). С. 26–30.
6. Мазурок А. С., Алексеев Ю. П., Крушинский А. Г., Корницкий А. В. Валидация теплогидравлической модели реакторной установки с детальной разбивкой опускного участка для анализа термических нагрузок на корпус реактора. Ядерная та радіаційна безпека. 2012. № 1(53). С. 16–21.
7. Результаты проведения стресс-тестов: Национальный отчет Украины. ГИЯРУ, 2011. 137 с.
8. Воробьев Ю. Ю., Перепелица М. Л., Свердлов В. В. Анализ тяжелой аварии в бассейне выдержки отработавшего топлива для энергоблока ВВЭР-1000 при помощи MELCOR 1.8.5. Ядерная та радіаційна безпека. 2012. № 3(55). С. 3–9.
9. Accident Management Programs in Nuclear Power Plants: A Guidebook. Technical Report Series No 368. Vienna.
10. Beclman R. J. Soviet-Designed Pressurized Water Reactor Symptomatic Emergency Operating Instruction Analytical Validation Procedure. International Nuclear Safety Program. Idaho.
11. Antonyuk N., Gerliga V., Skalozubov V. Excitation of thermoacoustic oscillations in a heated channel. Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 1990. V. 59, Iss. 4. P. 1323–1328.

Стаття надійшла до редакції 25.07.2022 і прийнята до друку після рецензування 12.10.2022

REFERENCES

1. IAEA International Fact Finding Expert Mission of the Fukushima Dai-Ichi NPP Accident Following the Great East Japan Earthquake and Tsunami: IAEA Mission Report. (2011). IAEA.
2. Skalozubov, V.I., Huiyu, Z., Chulkin, O.A., & Pirkovskiy, D.S. (2017). Modelling method of conditions for reliability-critical hydraulic impacts on pumps of thermal and nuclear power plants. *Problems of Atomic Science and Technology*, 4(110), 74–78.
3. Skalozubov, V., Bilous, N., Pirkovskiy, D., Kozlov, I., Komarov, Yu., & Chulkin, O. (2019). Water hammers in transonic modes of steam-liquid flows in NPP equipment. *Nuclear & Radiation Safety*, 2(82), 46–49.
4. Skalozubov, V., Kozlov, I., Chulkin, O., Komarov, Yu., & Piontkovskiy, O. (2019). Analysis of reliability-critical hydraulic impact conditions at WWER-1000 NPP active safety systems. *Nuclear & Radiation Safety*, 1(81), 42–45.
5. Vyshemirskij, M.P., Mazurok, A.S., & Nosovskij, A.V. (2013). Analiz vlijanija nachal'nyh i granichnyh uslovij na formirovanie termoudara korpusa reaktora. *Jaderna ta radiacijna bezpeka*, 1(57), 26–30.
6. Mazurok, A.S., Alekseev, Ju.P., Krushinskij, A.G., & Kornickij, A.V. (2012). Validacija teplogidravlicheskoj modeli reaktornoj ustanovki s detal'noj razbivkoj opusknogo uchastka dlja analiza termicheskikh nagruzok na korpus reaktora. *Jaderna ta radiacijna bezpeka*, 1(53), 16–21.
7. Rezul'taty provedenija stress-testov: Nacional'nyj otchet Ukrainy. (2011). GIJaRU.
8. Vorob'ev, Ju.Ju., Perepelica, M.L., & Sverdlov, V.V. (2012). Analiz tjazhelej avarii v bassejne vyderzhki otrabotavshego topliva dlja jenergobloka VVJeR-1000 pri pomoshhi MELCOR 1.8.5. *Jaderna ta radiacijna bezpeka*, 3(55), 3–9.
9. Accident Management Programs in Nuclear Power Plants: A Guidebook. Technical Report Series No 368. Vienna.
10. Beclman, R.J. Soviet-Designed Pressurized Water Reactor Symptomatic Emergency Operating Instruction Analytical Validation Procedure. International Nuclear Safety Program. Idaho.
11. Antonyuk, N., Gerliga, V., & Skalozubov, V. (1990). Excitation of thermoacoustic oscillations in a heated channel. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 59(4), 1323–1328.

The article was received 25.07.2022 and was accepted after revision 12.10.2022

Ващенко Володимир Миколайович

доктор фізико-математичних наук, професор кафедри екології Національного авіаційного університету

Адреса робоча: пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058

e-mail: nucleoroid@gmail.com

Скалозубов Володимир Іванович

доктор технічних наук, професор кафедри Атомних електростанцій, науковий керівник Міжвідомчого центру фундаментальних наукових досліджень в галузі енергетики та екології НАН України, «Одеської політехніки» та Мінекології України

Адреса робоча: пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2361-223X> **e-mail:** skalozubov@op.edu.ua

Кордуба Ірина Богданівна

кандидат технічних наук, доцент кафедри екології Київського національного університету будівництва і архітектури

Адреса робоча: Повітрофлотський проспект, м. Київ, Україна, 03037

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5135-8465> **e-mail:** kordubairuna@gmail.com

Косенко Сергій Ілліч

кандидат технічних наук, доцент кафедри Теоретичної і експериментальної ядерної фізики, науковий співробітник Центру

Адреса робоча: пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7082-5644> **e-mail:** skosenko@op.edu.ua

Жукова Олена Григорівна

кандидат технічних наук, доцент кафедри екології Київського національного університету будівництва і архітектури

Адреса робоча: Повітрофлотський проспект, м. Київ, Україна, 03037

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0662-9996> **e-mail:** zhukova.og@knuba.edu.ua

УДК 551.4+477.8

Denys O. Zorin, PhD, Associate Professor of Ecology Institute of Natural Sciences and Tourism, Department of Ecology, IFNTUOG
ORCID ID: 0000-0002-3519-8171 *e-mail*: denzor@gmail.com

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

THE GEO-INFORMATION SYSTEM OF ENVIRONMENTAL SECURITY OF THE "GORGANY" NATURE RESERVE IN THE UKRAINIAN CARPATHIANS

Abstract. Among the protected territories of the Ukrainian Carpathians, the nature reserve "Gorgany" in the Ivano-Frankivsk region is an example of a rich diversity of natural conditions and natural resources. The reserve has an area of 5,344 hectares and was organized in 1996 in Prydovbushansky Gorgany. There are 3 legacy zones and 10 components of environmental audit: lithosphere (geological environment), geophysisphere (physical fields), geomorphosphere (relief), hydrosphere, atmosphere, pedosphere, phytosphere, zoosphere, sociosphere and technosphere. The latter "presses" on the previous 9, creating the ecological situation of the territory. The basis of research is natural-anthropogenic geosystem. Research materials are obtained according to the algorithm, starting with field research with sampling, their analysis for toxic elements and substances, building databases of environmental information, and ending with the compilation of elemental and component-by-element ecological-technogeochemical computer maps and a general ecological map safety. It is proposed to organize a geo-informational model for the protection of the safety of the nature reserve "Gorgany".

Keywords: nature reserve; natural resources; natural conditions; geocomponents; geoinformation system

Д.О. Зорін

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна

ГЕОІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИРОДНОГО ЗАПОВІДНИКА «ГОРГАНИ» В УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТАХ

Анотація. Серед заповідних територій Українських Карпат природний заповідник «Горгани» в Івано-Франківській області є прикладом багатого різноманіття природних умов та природних ресурсів. Заповідник має площу 5344 га, організований у 1996 р. в Придовбушанських Горганах. Виділяються 3 зони заповідання та 10 компонентів екологічного аудиту: літосфера (геологічне середовище), геофізсфера (фізичні поля), геоморфосфера (рельєф), гідросфера, атмосфера, педосфера, фітосфера, зоосфера, соціосфера і техносфера. Остання "тисне" на 9 попередніх, створюючи екологічну ситуацію території. Пропонується організувати геоінформаційну модель захисту безпеки природного заповідника "Горгани".

Ключові слова: природний заповідник; природні ресурси; природні умови; геоконпоненти; геоінформаційна система

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.4.135-148>

Вступ

За кількістю об'єктів природно-заповідного фонду Карпатський регіон є лідером серед інших регіонів України [8, 9]. Природний заповідник «Горгани» ПЗФ розташований у Придовбушанських Горганах Івано-Франківської області (рис. 1–3) [5].

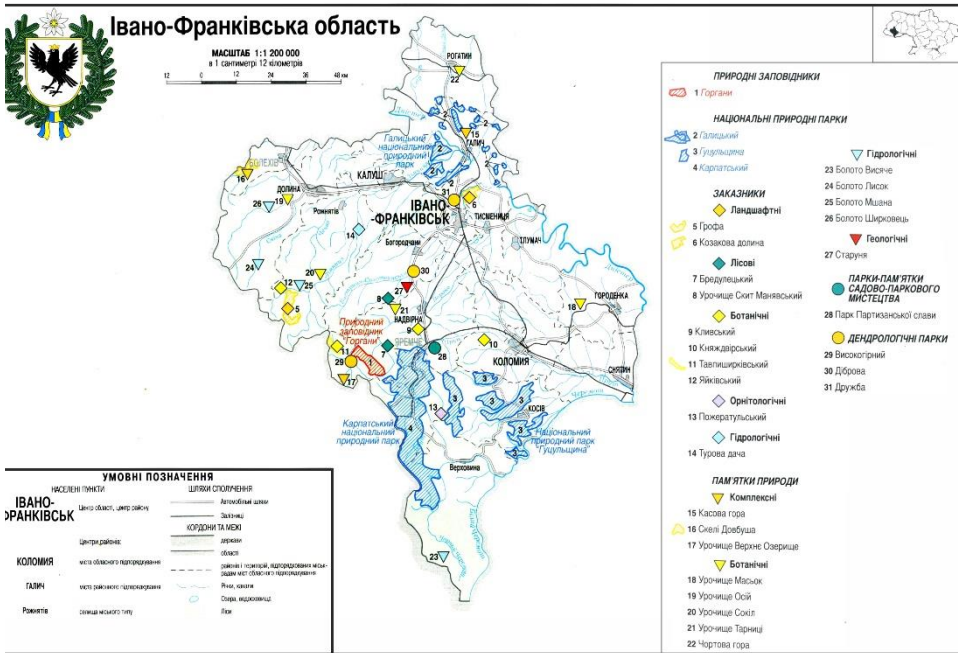


Рис. 1. Об'єкти природно-заповідного фонду Івано-Франківської області (ПЗФ)



Рис. 2. Адміністративний корпус ПЗГ у м. Надвірна по вул. Комарова, 7

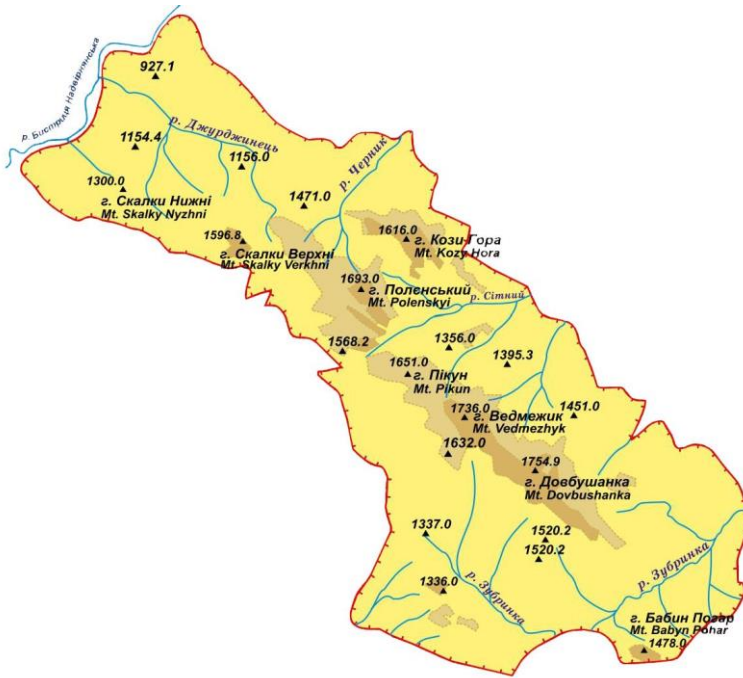


Рис. 3. Географічне розташування ПЗГ

Територія заповідника становить 5344,2 га [5, 8]. Заснований 1996 року. Створений для збереження реліктової кедрової сосни європейської (*Pinus sembra*). Територія заповідника має типові для району Горган геоморфологічну будову, структуру рослинного покриву і тваринного світу, тому заповідник становить велику цінність для збереження, відтворення і вивчення біорізноманіття району та Українських Карпат загалом. У 2005 році йому було надано статус «державний заповідник».

З 13 липня 2017 року ділянка заповідника «Горгани» площею 753,48 га входить у світову спадщину ЮНЕСКО як один з масивів букових пралісів Карпат та інших регіонів Європи.

У 1940 році Рада Народних Комісарів УРСР хотіла організувати заповідник у Горганах, площею 50 тис. га, однак цьому перешкодила Друга світова війна. А в 50–70-х роках на території Надвірнянського лісокомбінату було створено декілька заказників (наприклад, заказник Садки) і пам'яток природи, завдяки чому в районі Добушанських Горган збереглося багато унікальних природних комплексів. У 1974 році тут було організовано Горганське заповідне лісництво. Тоді на місці цього лісництва хотіли створити заповідник. Але лише 12 вересня 1996 року згідно з Указом Президента України було організовано природний заповідник «Горгани» (рис. 4).

Методика та матеріали досліджень

Автори використовують методику екологічного аудиту [1], яка полягає у визначенні сучасної екологічної ситуації на території досліджень та сучасного стану геокомпонентів. Основою досліджень є ПАГС (природно-антропогенна геосистема) (рис. 5) [3].

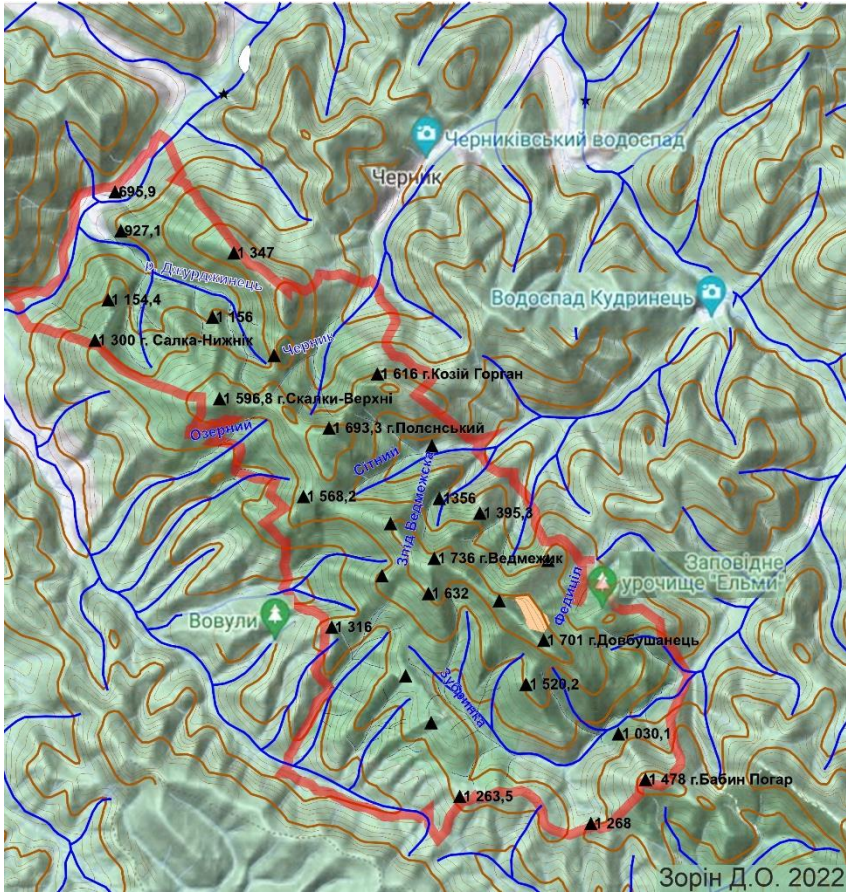


Рис. 4. Карта природного заповідника «Горгани»



Рис. 5. Структура ПАГС (Адаменко О.М., Рудько Г.І., 1998)

Матеріали досліджень отримуємо згідно з алгоритмом (рис. 6), починаючи з польових досліджень з відбором проб, їх аналізу на токсичні елементи та речовини, побудови баз даних екологічної інформації і завершуючи складанням поелементних та покомпонентних еколого-техногеохімічних комп'ютерних карт та загальної карти екологічної безпеки (рис. 7).

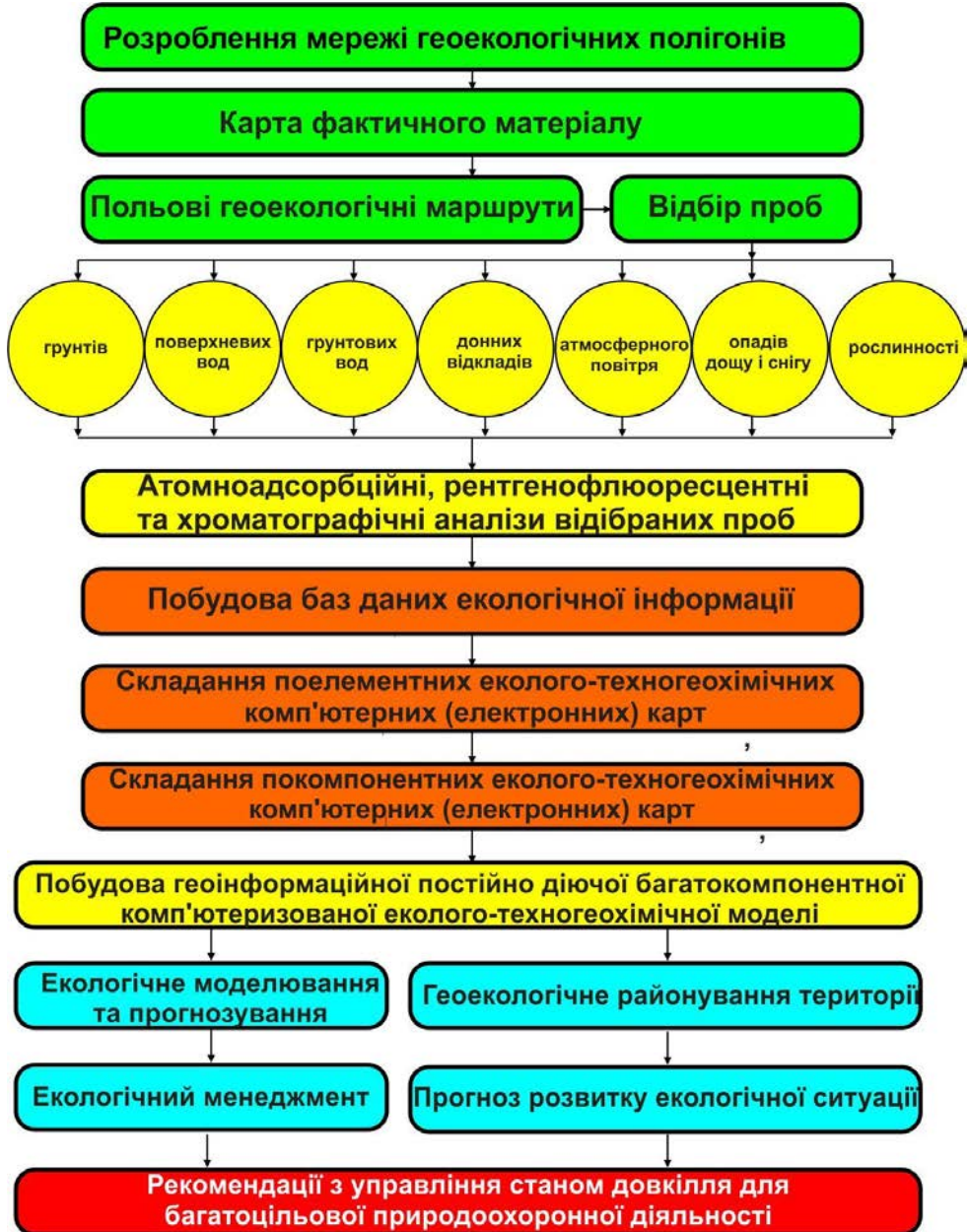


Рис. 6. Алгоритм польових експедиційних досліджень

Екологічні компоненти природно-антропогенної геосистеми

Літосфера (геологічне середовище)

Природний заповідник «Горгани» розташований в південно-західній частині Івано-Франківської області у районі Довбушанських Горган – найбільш недоступної високогірної кам'янистої частини Українських Карпат. Геологічна будова відповідає скибовій зоні Карпат та складається з крейдової Стрийської світи [7]. На ній залягають палеогенові кросненська піщана-алевроліто-аргелітова, мінілітова, грубопіщана Ямненська та інші світи (рис. 8).

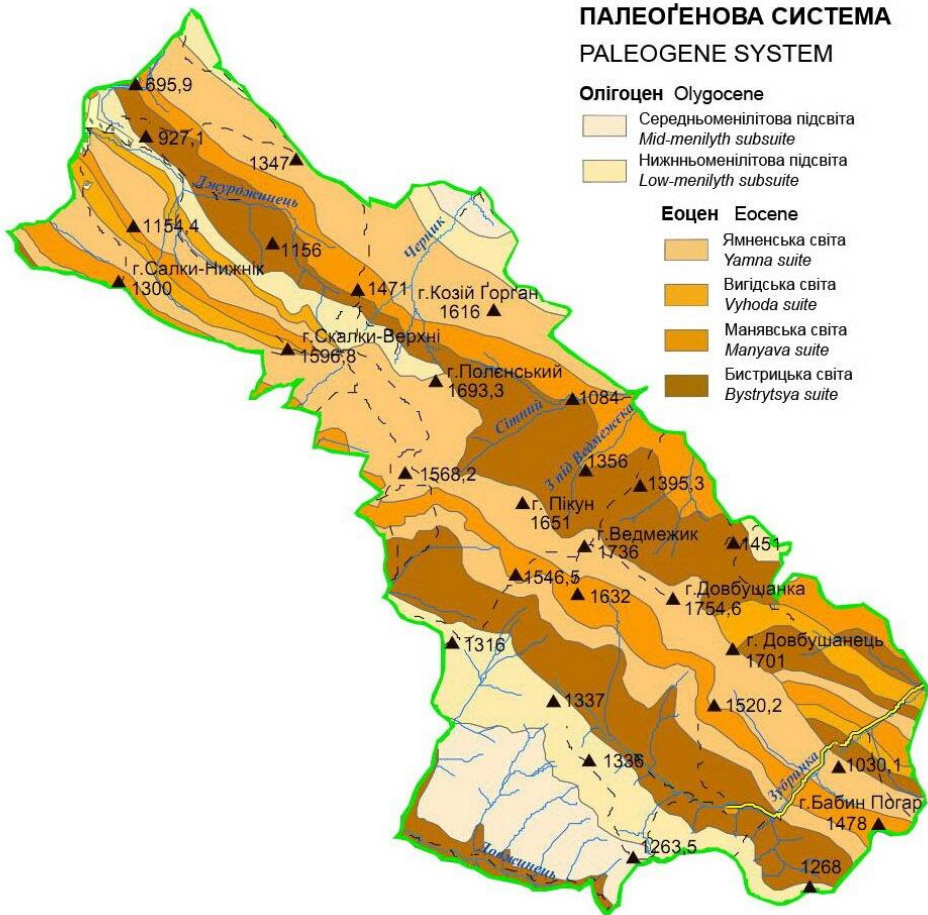


Рис. 8. Геологічна будова

Геофізсфера (фізичні поля)

Дослідженнями гравітаційного поля у редукції Буге масштабу 1:200 000 виявлена аномалія до 2 мілігал безпосередньо під ПЗ «Горгани», яка відповідає позитивній структурі – антиклінальній складці-лусці (рис. 9). Такі ж антиклінальні структури є під Братківським хребтом і на північ від гірськолижного курорту Буковель. На південь від нього є глибока аномалія до 6 мілігал, що відповідає Чорнотисецькій депресії [4, 2].

Магнітне поле (рис. 10) спокійне, з аномальними значеннями 160–240 нанотесл, які підкреслюють карпатський напрямок регіональних структур.

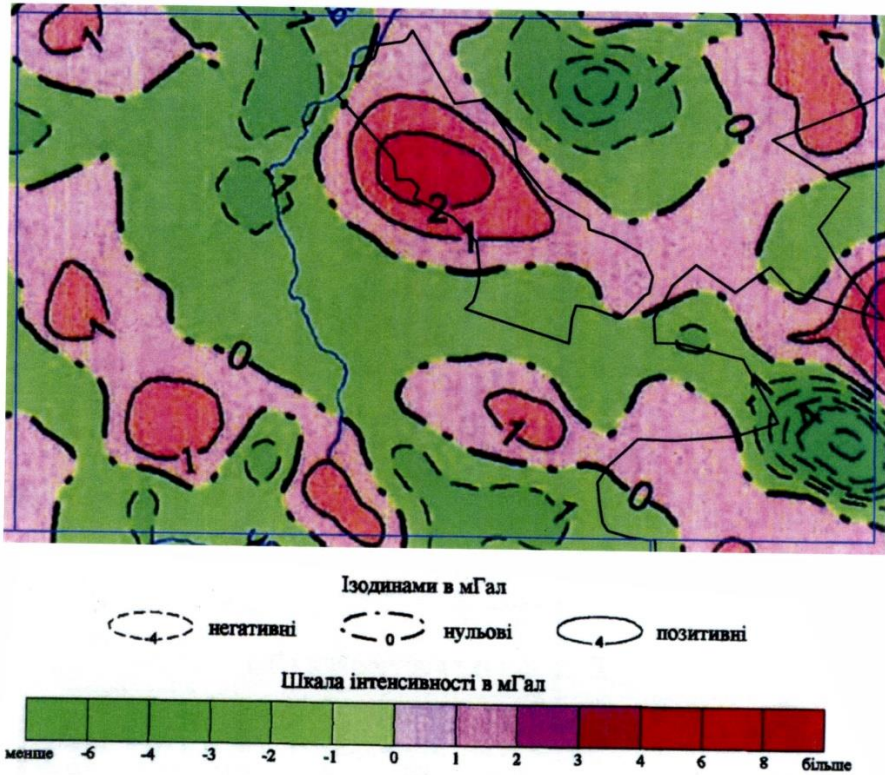


Рис. 9. Аномальні гравітаційні поля

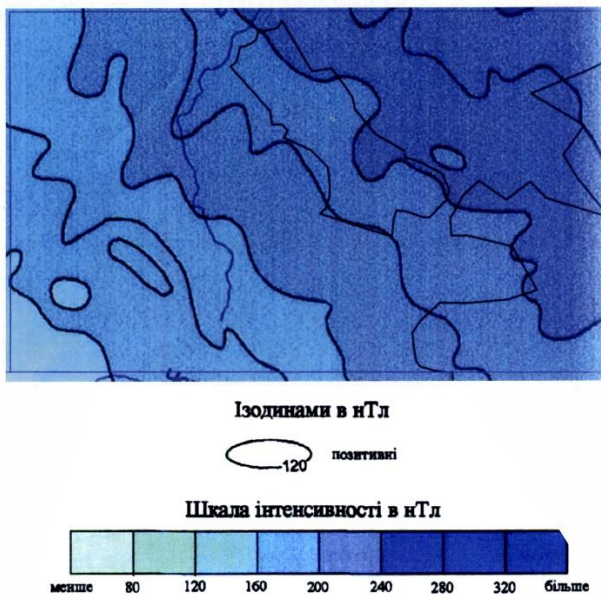


Рис. 10. Аномальні магнітні поля

Геоморфосфера (рельєф)

Довбушанський масив – один із трьох основних масивів Ґорган. Його вершини та верхні частини схилів вкриті кам'янистими розсипами – курумами. Для Довбушанського масиву характерні видовжені хребти з гострими вершинами й стрімко спадними північно-східними та більш пологими південно-західними схилами. Найвищі вершини – Довбушанка (1754 м) та Ведмежик (1736 м) (рис. 11) [7, 5].



Рис. 11. Гора Довбушанка – найвища вершина (1754 м)

Саму назву хребта пояснюють двояко. Власне ґорганами називають каміння, масивні брили, які рухаючись, зсуваючись схилами «ґорґочуть», тобто скреґочуть, створюють глухі звуки. Також із румунської «gorgan» – це курган (рис. 12).

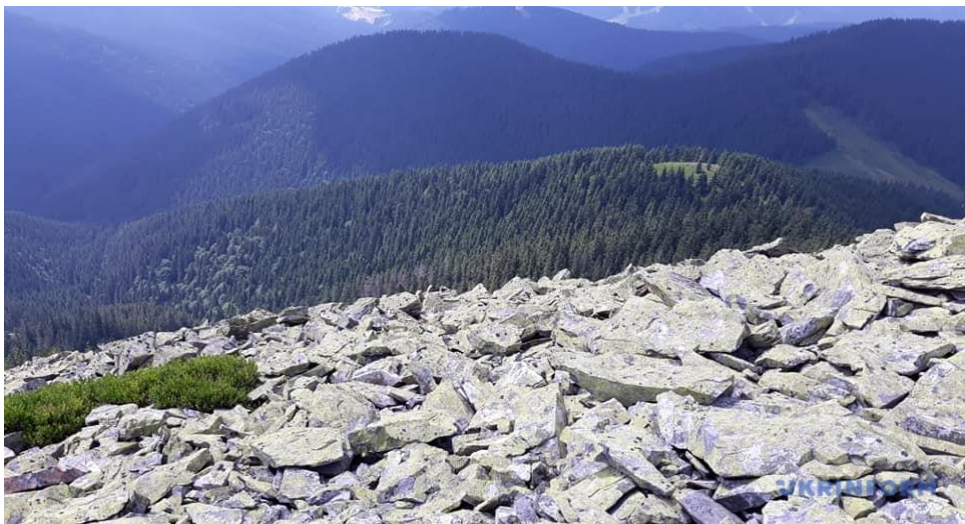


Рис. 12. Кам'яні потоки-куруми у Ґорґанах

Гідросфера

У ПЗГ беруть свій початок такі гірські потоки: Черник, Сітний, Джурджинець, Зубрівка, Пікун, які є правими притоками р. Бистриці Надвірнянської (рис. 13) [7].



Рис. 13. Ущелина гірської річки Черник

Атмосфера та клімат

Середньорічна температура від +5 до 0°C. Річна кількість опадів становить від 900 до 1400 мм. Сніговий покрив стійкий із середньою потужністю 40 см [3, 2].

Педосфера

Ґрунтовий покрив складається переважно з лісових буроземних, дерново-буроземних ґрунтів та гірсько-лучних буроземів [3].

Фітосфера

Своєрідність і різноманітність фізико-географічних умов сприяли формуванню багатого видового складу рослин, серед яких значна частина рідкісних, реліктових та ендемічних видів. Ліси займають 84% площі. Вони утворюють гірський лісовий пояс буково-ялицево-смерекових (27%), смереково-ялицево-букових (3,3%) та чистих смерекових (44,5%) лісів [5, 3].

На території заповідника росте 402 види вищих судинних рослин, які належать до 5 відділів, 75 родин, 236 родів. Значна частина видів рідкісні, ендемічні й реліктові, наприклад кедр європейський (рис. 14).

Особливу групу (20 видів, або 5%) становлять види, занесені до Червоної книги України.



Рис. 14. Кедр європейський

Зоосфера

У заповіднику живуть представники понад 1000 видів безхребетних тварин. Серед них найчисленнішою групою є комахи. У фауні хребетних тварин заповідника налічується 149 видів, які належать до 6 класів. Іхтіофауна представлена 12 видами риб [3, 8, 10, 5].

Герпетофауна заповідника бідна – всього 6 видів. Фауна птахів налічує 135 видів.

Фауна ссавців представлена 45 видами. Звичними в заповіднику є олень благородний, козуля, кабан дикий, заєць-русак, вівірка звичайна. Мешкає тут 18 видів дрібних ссавців – мишоподібних гризунів. З хижаків водяться ведмідь бурий, рись звичайна, лисиця, видра річкова, норка європейська, тхір звичайний, два види куниць, зрідка заходять вовки.

З фауни 20 видів є рідкісними та занесені до Червоної книги України.

Соціосфера

Цей геокомпонент характеризує демографічний стан території ПЗГ, здоров'я населення залежно від природних умов та техногенного навантаження, професійні захворювання та ін. [6, 2, 9, 1].

Техносфера

Найбільш шкідливими для природно-антропогенної системи є неконтрольовані рубки лісу, а також господарська діяльність з тваринництва (рис. 15).

За останні роки швидко розповсюджуються заклади оздоровчого напрямку, відпочинкові бази, спортивні комплекси та ін.



Рис. 15. Найцінніше господарське заняття

Обговорення результатів

Отримані згідно з алгоритмом досліджень результати характеризують екологічний стан усіх геокомпонентів як окремо, так і разом, що створює геоінформаційну систему будь-якої території, в тому числі і природного заповідника Горгани (рис. 16) [3].

На рис. 16 зображена модель ГІС впливу нафтогазових підприємств на природні геосистеми. Ця модель успішно використана на території низки об'єктів: Снятинського району – Адаменко О.М., Міщенко Л.В. [1], Гусятинського району – Триснюк В.М. [10], Надвірнянського району – Скрипник В.С. [10], Парку Льодовикового періоду – Мосюк М.І. [4], Дністровського каньйону – Зорін Д.О. [6] та ін.

Отриманий досвід та численні публікації в монографіях і статтях засвідчують про можливість використання таких ГІС для природного заповідника «Горгани» та інших об'єктів.

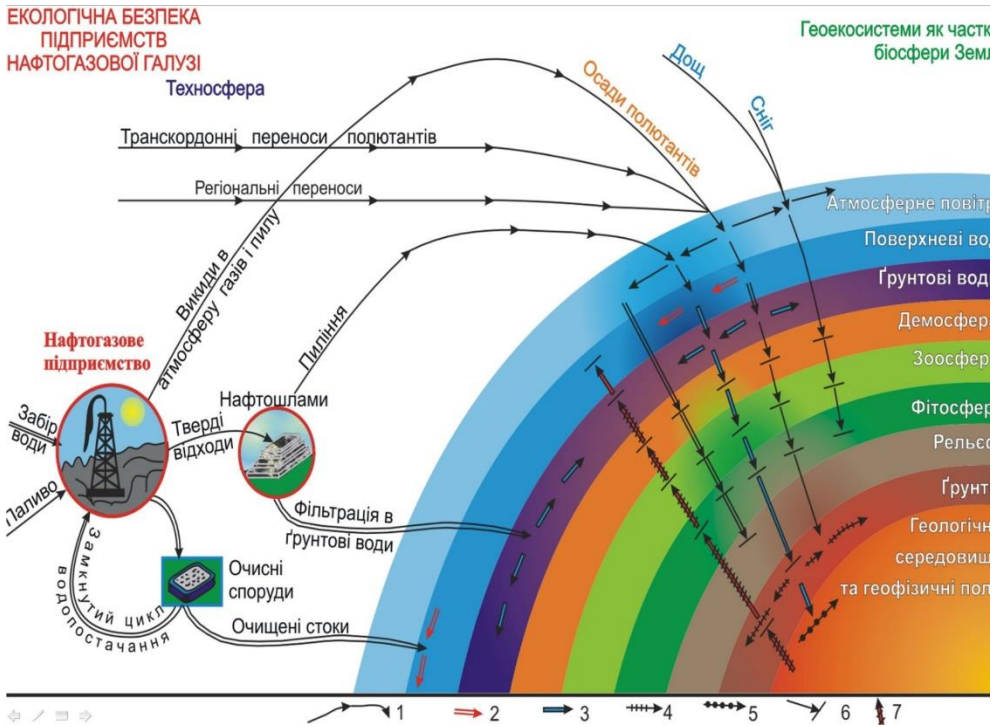


Рис. 16. Геоінформаційна система та оцінка впливу техногенного навантаження на природно-антропогенні геосистеми

Висновки

1. Природний заповідник «Горгани» є прикладом використання багатой природної спадщини природно-заповідного фонду.
2. На прикладі природного заповідника «Горгани» розроблено та пропонується покомпонентний аналіз всіх 10 складових природно-антропогенної геосистеми, який необхідно впроваджувати для багатьох об'єктів природного середовища.
3. Запропонована авторами геоінформаційна система безпеки ґрунтується на взаємодії, взаємовідносинах та взаємозалежності усіх компонентів один від одного та усіх разом.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Екологічний аудит території. Підручник для студентів екологічних спеціальностей вищих навчальних закладів. Автори О.М. Адаменко і Л.В. Міщенко. Редактор О.М. Адаменко. Івано-Франківськ, видавництво «Факел», 2000 р.
2. Методологія та організація наукових досліджень в екології: підручник / О.М. Адаменко, Н.О. Зоріна – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – Івано-Франківськ: Супрун В.П., 2015. – 172 с.
3. Стан довкілля у річкових долинах з катастрофічними паводками. Перший етап екологічних досліджень на Дністровському протипаводковому полігоні (2012–2018 рр.): монографія / О.М. Адаменко, Д.О. Зорін; за ред. О.М. Адаменка – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2018. – 240 с.

4. Періодичність розвитку Землі: монографія / О.М. Адаменко. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2021 – 212 с., 150 іл.
5. Природний заповідник «Горгани» / М.В. Чернявський, М.Б. Шпільчак – Івано-Франківськ: Фоліант, 2010. Друге видання доповнене. – 76 с.
6. Географічні інформаційні системи екологічної безпеки: навчальний посібник / Д.О. Зорін – ІФНТУНГ. – Івано-Франківськ: Супрун В.П., 2016. – 180 с.
7. Рельєф Українських Карпат: Я. Кравчук. Монографія. – Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2021. – 576 с.
8. Природно-заповідний фонд України: території та об'єкти загальнодержавного значення. – К.: ТОВ "Центр екологічної освіти та інформації", 2009. – 332 с.
9. Локальний моніторинг довкілля для адміністративних районів і територіальних громад: Радловська К.О.: монографія / за ред. О.С. Волошкіної – ІФНТУНГ. – Івано-Франківськ: Супрун В.П. 2015. – 168 с.
10. Українські Карпати. Комплексний атлас автотуриста / упорядник В. Грицеляк – Львів: НВФ "Карпати і Атласи", 2016. – 120 с.

Стаття надійшла до редакції 08.07.2022 і прийнята до друку після рецензування 23.09.2022

REFERENCES

1. Adamenko, O.M., & Mishchenko, L.V. (2000). Ekolohichnyy audyt terytoriyi. Pidruchnyk dlya studentiv ekolohichnykh spetsial'nostey vyshchyykh navchal'nykh zakladiv (O.M. Adamenko, Ed.). Ivano-Frankivs'k: Vydavnytstvo «Fakel» [in Ukrainian].
2. Adamenko, O.M., & Zorina, N.O. (2015). Metodolohiya ta orhanizatsiya naukovykh doslidzhen' v ekolohiyi. Ivano-Frankivs'k: Suprun V.P. [in Ukrainian].
3. Adamenko, O.M., & Zorin, D.O. (2018). Stan dovkillya u richkovykh dolynakh z katastrofichnymy pavodkamy. Pershyy etap ekolohichnykh doslidzhen' na Dnistrovs'komu protypavodkovomu polihoni (2012-2018 rr.): Monohrafiya (O.M. Adamenko, Ed.). Ivano-Frankivs'k: IFNTUNH [in Ukrainian].
4. Adamenko, O.M. (2021). Periodychnist' rozvytku Zemli: monohrafiya. Ivano-Frankivs'k: IFNTUNH [in Ukrainian].
5. Chernyavs'kyu, M.V., & Shpil'chak, M.B. (2010). Pryrodnyy zapovidnyk «Horhany» (2nd ed.). Ivano-Frankivs'k: Foliant [in Ukrainian].
6. Zorin, D.O. (2016). Neohrafichni informatsiyni systemy ekolohichnoyi bezpeky: navchal'nyy posibnyk. Ivano-Frankivs'k, IFNTUNH: Suprun V.P. [in Ukrainian].
7. Kravchuk, Ya. (2021). Rel'yef Ukrayins'kykh Karpat: Monohrafiya. L'viv: LNU im. Ivana Franka [in Ukrainian].
8. Pryrodno-zapovidnyy fond Ukrayiny: terytoriyi ta ob'yekty zahal'noderzhavnoho znachennya. (2009). Kyiv: TOV "Tsentral'nyy osvity ta informatsiyi" [in Ukrainian].
9. Radlovs'ka, K.O. (2015). Lokal'nyy monitorynh dovkillya dlya administratyvnykh rayoniv i terytorial'nykh hromad: Monohrafiya (O.S. Voloshkina, Ed.). Ivano-Frankivs'k, IFNTUNH: Suprun V.P. [in Ukrainian].
10. Hrytselyak, V. (Ed.). (2016). Ukrayins'ki Karpaty. Kompleksnyy atlas avto-turysta. L'viv: NVF "Karpaty i Atlasy" [in Ukrainian].

The article was received 08.07.2022 and was accepted after revision 23.09.2022

Зорін Денис Олексійович

кандидат геологічних наук, доцент кафедри екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

Адреса робоча: 76019 Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

ORCID ID: 0000-0002-3519-8171 **e-mail:** denzor@gmail.com

© Авторські і суміжні права належать авторам окремих публікацій, Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Київському національному університету будівництва і архітектури.

Copying © authors of publications, Institute of Telecommunications and Global Information Space of NAS of Ukraine, Kyiv National University of Construction and Architecture. All rights reserved.

ДО УВАГИ АВТОРІВ ЗБІРНИКА

Зміст матеріалів, що направляються до редакції, повинен відповідати профілю та науково-технічному рівню збірника.

Кожна наукова стаття повинна мати вступ, розділи основної частини та висновки, а також анотацію і ключові слова (не менше п'яти) двома мовами (українською та англійською).

Підготовка статті здійснюється в текстовому редакторі MS WORD for WINDOWS, з використанням шрифту Times New Roman, Суг, кегль 11, одинарний інтервал, полями 2,0 см з кожного боку, заданим розміром сторінок 17x26 см.

Усі формули мають бути набрані в редакторі MathType.

Ілюстрації повинні обов'язково нумеруватися, мати книжкову орієнтацію і не можуть перевищувати за розміром задану сторінку (параметри сторінки 17x26 см з полями 2,0 см). Перелік літературних джерел перекладається англійською мовою (або транслітерується в романському алфавіті) і подається відповідно до міжнародного стандарту оформлення наукових публікацій **APA (American Psychological Association) style** загальним списком у кінці статті за чергою посилань у тексті.

Наприкінці статті наводиться коротка довідка про авторів, де вказуються прізвище, повне ім'я та по батькові авторів, науковий ступінь, вчене звання, посада, назва підрозділу (кафедри) та організації, особисті дані кожного з авторів (адреса, місто, країна, контактний телефон, e-mail), ORCID ID.

Обов'язково слід надати електронну версію статті в редакторі Microsoft Word.

Усі представлені в редакцію рукописи проходять ретельне багатоланкове рецензування відповідними фахівцями за профілем статті. Якщо сумарна оцінка рецензентів менша за встановлений поріг, рукописи відхиляються.

Зміст статті та якість написання або перекладу (українською або англійською мовами) переглядаються коректорами збірника, проте відповідальність за зміст та якість статті несуть автори матеріалу. До статті можуть бути внесені зміни редакційного характеру без згоди автора.

Розділ збірника, до якого буде віднесена стаття, визначається редакцією, узгоджується – головним редактором або його заступником. Остаточний висновок щодо публікації матеріалів схвалює редакційна колегія збірника.

Електронна версія збірника, правила оформлення та вимоги до статей містяться в Інтернеті на сайті <http://www.es-journal.in.ua>, який систематично оновлюється.

Збірник наукових праць також представлений на сайті Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського, на сайті Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України <http://itgip.org/> у розділі «Видавнича діяльність» та на сайті бібліотеки Київського національного університету будівництва і архітектури <http://library.knuba.edu.ua/node/883>.

Редактор – В.П. Берчун

Надруковано в ТОВ «Видавництво «Юстон»
01034, м. Київ, вул. О. Гончара, 36а.
Тел.: (044) 360-22-66
www.yuston.com.ua

**Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру
видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції
серія дк № 497 від 09.09.2015 р.**

Підписано і здано до друку 29.12.22 Формат 70x108/16. Папір офсетний.
Офсетний друк. Умовн. друк. арк. 12.3
Обл.-вид. арк. 8.69 Тираж 300 примірників
Замовлення № _____

КИЇВ 2022