



AGRICULTURE, FORESTRY, FISHERIES, VETERINARY MEDICINE AND NATURAL SCIENCES: LATEST IDEAS, PROBLEMS AND CURRENT STATUS

Collective monograph

ISBN 979-8-89940-598-3

DOI 10.46299/ISG.2025.MONO.AGRO.1

BOSTON(USA)-2025

ISBN – 979-8-89940-598-3

DOI – 10.46299/ISG.2025.MONO.AGRO.1

*Agriculture, forestry, fisheries,
veterinary medicine and natural
sciences: latest ideas, problems
and current status*

Collective monograph

Boston 2025

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data

ISBN – 979-8-89940-598-3

DOI – 10.46299/ISG.2025.MONO.AGRO.1

Authors – Мікуліна М., Поливаний А., Ващенко В., Вінюков О., Бондарева О., Шевченко О., Вискуб Р., Фанін Я., Молодченкова О., Легкун І., Шахьнов В., Rusakova T., Нагорний С., Косенко С., Кісь В., Галянчук І.Р., Капустянський А.О., Кравець Т.Ю., Юрасова О.Г.

REVIEWER

Ivan Katerynychuk – Doctor of Technical Sciences, Professor, Honoured Worker of Education of Ukraine, Laureate of the State Prize of Ukraine in Science and Technology, Professor of the Department of Telecommunication and Information Systems of Bohdan Khmelnytskyi National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine.

Kostiantyn Dolia – Doctor of Engineering, Department of automobile and transport infrastructure, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”.

Published by Primedia eLaunch

<https://primediaelaunch.com/>

Text Copyright © 2025 by the International Science Group(iscg-konf.com) and authors.

Illustrations © 2025 by the International Science Group and authors.

Cover design: International Science Group(iscg-konf.com). ©

Cover art: International Science Group(iscg-konf.com). ©

All rights reserved. Printed in the United States of America. No part of this publication may be reproduced, distributed, or transmitted, in any form or by any means, or stored in a data base or retrieval system, without the prior written permission of the publisher. The content and reliability of the articles are the responsibility of the authors. When using and borrowing materials reference to the publication is required.

Collection of scientific articles published is the scientific and practical publication, which contains scientific articles of students, graduate students, Candidates and Doctors of Sciences, research workers and practitioners from Europe and Ukraine. The articles contain the study, reflecting the processes and changes in the structure of modern science.

The recommended citation for this publication is:

Agriculture, forestry, fisheries, veterinary medicine and natural sciences: latest ideas, problems and current status: collective monograph / Rusakova T. – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2025. 169 p. Available at : DOI – 10.46299/ISG.2025.MONO.AGRO.1

TABLE OF CONTENTS

1.	AGRICULTURAL ENGINEERING	
1.1	Мікуліна М.¹, Поливаний А.¹ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ВПЛИВУ УМОВ РОБОТИ МАШИННОГО АГРЕГАТУ НА ЙОГО ЕКОНОМІЧНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ В СИСТЕМАХ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА ¹ Сумський національний аграрний університет, кафедра агроінжинірингу, інженерно-технологічний факультет, Суми, Україна	6
2.	AGRONOMY	
2.1	Ващенко В.¹, Вінюков О.¹, Бондарева О.¹, Шевченко О.², Вискуб Р.¹ АДАПТИВНИЙ ПІДХІД В СЕЛЕКЦІЇ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ В УМОВАХ НЕДОСТАТНЬОГО ЗВОЛОЖЕННЯ ¹ Донецька державна сільськогосподарська дослідна станція НААН, Покровськ, Україна ² Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна	16
3.	BIOLOGY AND BIOCHEMISTRY	
3.1	Фанін Я.¹, Молодченкова О.¹, Легкун І.² БІОХІМІЧНІ КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ХАРЧОВОЇ ТА КОРМОВОЇ ЦІННОСТІ ЗЕРНА ЯЧМЕНЮ ¹ Laboratory of Plant Biochemistry, Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation, Odesa, Ukraine ² Barley Breeding and Seed Production Department, Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation, Odesa, Ukraine	30
4.	EARTH SCIENCES	
4.1	Шахънов В.¹ ЛАНДШАФТНО ПЛАНИРАНЕ И ИДЕНТИФИЦИРАНЕ НА МЕРКИТЕ И ФАКТОРИТЕ ЗА НАМАЛЯВАНЕ НА РИСКА ОТ НАВОДНЕНИЯ В БЪЛГАРИЯ ¹ Катедра „Ландшафтна архитектура“, Лесотехнически университет - София	45
4.1.1	УВОД	45
4.1.2	ЦЕЛ, ЗАДАЧИ И МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО	48
4.1.3	НАВОДНЕНИЕТО ПРИ Р. ДРАЩЕЛА (ВС „ЕЛЕНИТЕ“)	48
4.1.4	ТЕРИТОРИИ В БЪЛГАРИЯ С НАЙ-ГОЛЯМ РИСК КЪМ НАВОДНЕНИЯ	51
4.1.5	ПРИЛОЖЕНИЕ НА ЛАНДШАФТНОУСТРОЙСТВЕНИ МЕРКИ ЗА ПРЕВЕНЦИЯ НА РИСКА ОТ НАВОДНЕНИЯ В БЪЛГАРИЯ	52

4.1.6	НАУЧНА ЛИТЕРАТУРА ПО ТЕМАТА ЗА НАВОДНЕНИЯТА В БЪЛГАРИЯ	54
4.1.7	ЛАНДШАФТНИТЕ КОМПОНЕНТИ И РОЛЯТА ИМ ПО ОТНОШЕНИЕ НА РИСКА ОТ НАВОДНЕНИЯ	56
4.1.8	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	60
4.2	Шахънов В. ¹ ОСНОВНИ МЕТОДИ И КОНЦЕПЦИИ В ЛАНДШАФТНОТО ПЛАНИРАНЕ ЗА НАМАЛЯВАНЕ НА РИСКА ОТ БЕДСТВИЯ ¹ Катедра „Ландшафтна архитектура“, Лесотехнически университет - София	61
4.2.1	УВОД	61
4.2.2	ЦЕЛ, ЗАДАЧИ И МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО	62
4.2.3	ВИД И ЧЕСТОТА НА НАЙ-ЧЕСТО СРЕЩАНИТЕ БЕДСТВИЯ	62
4.2.4	ОБЗОР НА ОСНОВНИ НАПРАВЛЕНИЯ И МЕТОДИ В ЛАНДШАФТНОТО ПЛАНИРАНЕ	64
4.2.5	ПОПУЛЯРНИ ЛАНДШАФТНОУСТРОЙСТВЕНИ КОНЦЕПЦИИ И ДЕТАЙЛНИ РАЗРАБОТКИ	70
4.2.6	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	80
5.	ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGIES	
5.1	Rusakova T. ¹ КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ НАКОПИЧЕНИХ ВІДХОДІВ В УКРАЇНІ: ВПЛИВ ІНВЕСТИЦІЙНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ ¹ Department of Life Safety, Oles Honchar Dnipro National University	82
6.	LIVESTOCK	
6.1	Нагорний С. ¹ , Косенко С. ² , Кісь В. ³ ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ МОЛОКА КОРІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА КУМИСУ ¹ Кафедра технологій та селекції в тваринництві, Державний біотехнологічний Університет, м. Харків ² Кафедра технології виробництва і переробки продукції тваринництва, Одеський державний аграрний університет, м. Одеса ³ Кафедра мехатроніки, безпеки життєдіяльності та управління якістю, Державний біотехнологічний Університет, м. Харків	121
6.1.1	НОРМУВАННЯ КОРОВ'ЯЧОГО МОЛОКА ДО МОЛОКА КОБИЛ ЗА ЖИРНІСТЮ ДЛЯ 2 ЛІТРІВ СУМІШІ	123
6.1.2	НОРМУВАННЯ МОЛОКА КОРІВ ДО МОЛОКА КОБИЛ ЗА ВМІСТОМ ЦУКРУ ДЛЯ 2 ЛІТРІВ СУМІШІ	127
6.1.3	НОРМУВАННЯ МОЛОКА КОРІВ ДО МОЛОКА КОБИЛ ЗА ВМІСТОМ БІЛКА ДЛЯ 2 ЛІТРІВ СУМІШІ	129

6.1.4	НОРМУВАННЯ КОРОВ'ЯЧОГО МОЛОКА ДО МОЛОКА КОБИЛ ЗА ВМІСТОМ ЖИРУ ДЛЯ ОТРИМАННЯ БІЛЬШОЇ КІЛЬКОСТІ СУМІШІ	132
6.1.5	НОРМУВАННЯ КОРОВ'ЯЧОГО МОЛОКА ДО МОЛОКА КОБИЛ ЗА ВМІСТОМ ЦУКРУ ДЛЯ ОТРИМАННЯ БІЛЬШОЇ КІЛЬКОСТІ СУМІШІ	134
6.1.6	НОРМУВАННЯ КОРОВ'ЯЧОГО МОЛОКА ДО МОЛОКА КОБИЛ ЗА ВМІСТОМ БІЛКА ДЛЯ ОТРИМАННЯ БІЛЬШОЇ КІЛЬКОСТІ СУМІШІ	135
6.1.7	ПЕРЕВІРКА ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ	136
7.	MINING AND OIL AND GAS TECHNOLOGIES	
7.1	Галянчук І.Р.¹, Капустянський А.О.¹, Кравець Т.Ю.¹, Юрасова О.Г.¹ СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ У КОНТЕКСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ЕНЕРГОГЕНЕРАЦІЇ ¹ Кафедра теплоенергетики, теплових та атомних електричних станцій, Національний університет «Львівська політехніка»	140
	REFERENCES	156

SECTION 1. AGRICULTURAL ENGINEERING

DOI: 10.46299/ISG.2025.MONO.AGRO.1.1.1

1.1 Аналіз методів оптимізації впливу умов роботи машинного агрегату на його економічну ефективність в системах точного землеробства

Анотація. Дана робота присвячена аналізу методів оптимізації впливу умов роботи машинного агрегату (МА) на його економічну ефективність в системах точного землеробства (СТЗ).

Україна розташована на європейській рівнині з родючими землями та помірно-континентальним кліматом, градація умов роботи – 5 (дуже складні) та вище зустрічається досить рідко, проте умови від нормальних (2) до середньо-складних (4) зустрічаються напрочуд часто. Цей факт суттєво – на 10-20% підвищує експлуатаційні витрати підприємств, що працюють на таких полях.

У статті проводиться аналіз новітніх методів та способів оптимізації впливу польових умов роботи на машинний агрегат з використанням систем точного землеробства. Зокрема, розглядаються такі методи: більш поглиблене використання технологій точного землеробства, таких, як глобальна навігаційна система (ГНСС), датчики та системи збору даних для точного визначення положення та руху агрегату; раціональне планування режимів роботи: врахування прогнозу погодних умов, вологості ґрунту та інших факторів дозволяє підібрати найбільш ефективні стратегії роботи, зменшити затрати на паливо та інші ресурси; використання оптимальних агротехнічних прийомів, в залежності від специфічних особливостей кожного поля і тому подібне.

Зазначені, відносно очевидні методи оптимізації можуть бути досить ефективними для більшості територій України, де градація умов роботи від нормальних до середньо-складних є широко розповсюдженою.

Врахування кліматичних особливостей, умов ґрунту та інших факторів є важливими для вибору найбільш підходящих методів оптимізації. Послідовне застосування цих методів може забезпечити зменшення експлуатаційних витрат,

підвищення ефективності роботи та стабільність сільськогосподарського виробництва.

Дана робота є джерелом додаткової інформації для дослідників, фахівців та практиків в галузі сільського господарства, які зацікавлені в підвищенні ефективності використання машинного агрегату на полях з неідеальними умовами роботи та зменшенні витрат за допомогою використання новітніх технологій точного землеробства. Розглянуті методи оптимізації враховують та специфічні фактори, як географію українських земель, типи українських ґрунтів, клімат та інші.

Постановка проблеми. З розвитком систем точного землеробства стає все більш актуальним питання оптимізації надлишкових фінансових витрат, пов'язаних з не ідеальними умовами роботи машинного агрегату на сільськогосподарських полях. Існують різноманітні сучасні методи оцінки умов роботи, та дослідження їх впливу на економічну ефективність, але недостатньо досліджено способи оптимізації надлишкових експлуатаційних витрат машинних агрегатів від роботи на таких сільськогосподарських територіях. До цього часу відсутні стандартизовані методи оптимізації впливу умов роботи на економічну ефективність машинного агрегату. Отже, проблема полягає в недостатній дослідженості методів оптимізації впливу умов роботи на економічну ефективність машинного агрегату в системах точного землеробства та недостатній кількості розроблених відповідних рекомендацій для практичного впровадження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливі питання оцінки загального стану та впровадження різних методів оптимізації виробничих витрат у своїх роботах досліджували такі українські учені, як Л. М. Демиденко, В. С. Стельмах [1], Н. В. Клецова [2], З. І. Мацак [3] та інші. Однак, до цього часу відсутні стандартизовані методи оптимізації впливу умов роботи машинних агрегатів на їх економічну ефективність з урахуванням специфіки українських сільськогосподарських угідь.

Мета статті – дослідження методів оптимізації впливу неідеальних польових умов роботи машинного агрегату на його економічну ефективність з використанням новітніх технологій в рамках систем точного землеробства.

Виклад основного матеріалу. Градація умов роботи на полі відноситься до класифікації або розподілу різних рівнів складності та сприятливості умов, з якими стикається машинний агрегат під час виконання польових робіт. Цей підхід дозволяє систематизувати та оцінити вплив різних факторів, таких як стан ґрунту, погодні умови, наявність перешкод та інших параметрів, на продуктивність та ефективність роботи машинного агрегату.

Градація умов роботи надає можливість порівняти результати роботи при різних рівнях складності та визначити їх вплив на техніко-економічні показники та прямі експлуатаційні витрати[4].

Рівні градації умов роботи на полі від 1 до 9 визначаються таким чином:

Рівень 1: умовно ідеальні умови роботи. На цьому рівні умови роботи вважаються дуже сприятливими. Поле має рівний та стабільний ґрунт без перешкод або обмежень. Погодні умови є мало впливовими, немає небезпеки для машинного агрегату, і виконання роботи є досить простим і безпечним.

Рівні 2-4: на цих рівнях умови роботи є сприятливими, але з деякими незначними ускладненнями, перешкодами та вимогами. Ґрунт може бути незначно нерівним або містити деякі перешкоди, такі як каміння або кореневі системи рослин. Погодні умови помірні та мають невеликий вплив на роботу машинного агрегату. Українським сільськогосподарським угіддям найчастіше присвоюють саме один з цих трьох рівнів: 2 - нормальні; 3 - середні; 4 – середньо-складні умови.

Рівні 5-7: на цих рівнях умови роботи стають все складнішими. Ґрунт може бути нерівним, з різними ухилами або надто м'який чи надто твердий, що може ускладнити рух та стабільність машинного агрегату, підвищити вібрації у вузлах системи, пришвидшити знос робочих органів та внутрішніх елементів. Погодні умови можуть включати сильні вітри, дощі або високу вологість, що можуть впливати на продуктивність та безпеку роботи.

Рівні 8-9: це найвищі рівні градації, що вказують на надзвичайно складні та небезпечні умови роботи, відповідно.

Ґрунт може бути дуже нерівним, болотистим або містити великі камені або кореневі системи, що робить рух машинного агрегату дуже важким і ризикованим. Погодні умови можуть включати сильні шторми, повені або град, що створює високий ризик пошкодження агрегату та безпеку для оператора.

Кожен рівень градації умов роботи має свої унікальні особливості та вплив на продуктивність, ефективність та безпеку роботи машинного агрегату на полі. Розуміння цих різних рівнів допомагає визначити оптимальні стратегії та заходи для покращення економічної ефективності та продуктивності в системах точного землеробства.

Оцінка умов роботи на полі може бути надана експертом у сфері сільського господарства, програмним забезпеченням або комбінацією обох підходів [5].

1) Експерт. Експертна оцінка умов роботи на сільськогосподарському полі виконується за допомогою досвіду та знань кваліфікованих фахівців. Експерт вивчає різні аспекти, такі як стан ґрунту, погодні умови, наявність перешкод або обмежень. Вони здійснюють візуальний огляд та використовують свої професійні знання для оцінки умов роботи. Експерти також можуть враховувати інші фактори, які впливають на продуктивність та безпеку роботи, такі як рельєф місцевості та ландшафтні особливості.

2) Програмне забезпечення. Спеціалізоване програмне забезпечення використовується для автоматизованої оцінки умов роботи на полі. Воно може базуватися на алгоритмах та моделях, що враховують різні параметри, такі як геолокація, супутникові зображення, дані з сенсорів, метеорологічні дані та інші. Увесь масив зібраної за допомогою систем точного землеробства інформації сортується по категоріям, наприклад, параметри рельєфу, погодні умови і тому подібне. Далі алгоритм аналізує ці дані та видає кожній категорії оцінку, після чого оцінка кожної з категорій множиться на відповідний коефіцієнт, усі отримані значення по категоріям додаються та порівнюються зі шкалою градації умов роботи від 1 до 9. Такий автоматизований спосіб оцінювання дозволяє

операторам та керівникам приймати практичні рішення, володіючи всією повнотою інформації.

3) Комбінований підхід. Деякі методи оцінки умов роботи можуть комбінувати експертну думку та використання програмного забезпечення. Наприклад, експерти можуть використовувати спеціальні інструменти або програми, щоб отримати доступ до додаткових даних та розрахунків, які полегшують та роблять більш точною їх оцінку. Комбінований підхід дозволяє поєднувати переваги людського досвіду та програмного забезпечення для отримання більш точної та об'єктивної оцінки умов роботи.

Аналізуючи ці три підходи, оцінка умов роботи на сільськогосподарському полі стає більш об'єктивною та інформованою, коли в процесі її надання використовуються різноманітні дані, отримані за допомогою СТЗ, що допомагає підприємствам приймати раціональні рішення щодо виконання робіт та оптимізації економічної ефективності.

Умов роботи на полі чинять значний вплив на всі техніко-економічні, експлуатаційні й інші показники роботи агрегату. Собівартість виконання агроробіт розраховується за формулою (1) [6].

$$Q = C_{\text{п}} + C_{\text{ПММ}} + C_{\text{в}} + A + C_{\text{ТО}} \quad (1)$$

де, Q – собівартість проведення аграрних робіт на полі, грн/га;

$C_{\text{п}}$ – витрати на паливо, грн/га;

$C_{\text{ПММ}}$ – витрати на паливо-мастильні матеріали, грн/га;

$C_{\text{в}}$ – витрати на оплату праці водіїв, грн/га;

A – амортизаційні відрахування, грн/га;

$C_{\text{ТО}}$ – витрати на ТО та ремонт, грн/га.

Автори М. О. Мікуліна, Б. О. Саржанов та А. Д. Поливаний [7] за результатами проведених досліджень створили графічну модель, що відображає вплив умов роботи МА на прямі експлуатаційні витрати для виконання посівних робіт зернових культур на 1 гектарі поля (рис. 1). Дана модель чітко дає зрозуміти ступінь впливу неідеальних умов роботи агрегатів у полі на їх економічну ефективність.

Україна знаходиться на європейській рівнині з родючими землями та помірно-континентальним кліматом, градація умов роботи – 5 (дуже складні) та вище зустрічається досить рідко, проте умови від нормальних (2) до середньо-складних (4) зустрічаються напрочуд часто. Як видно з графіку, це доволі суттєво, на 10-20%, підвищує експлуатаційні витрати підприємств, що працюють на таких полях. У випадку оптимізації та збереження цих надлишкових витрат, український агробізнес зможе отримати додаткові ресурси для розвитку та інвестицій, що здатне посилити його позиції, як драйвера вітчизняної економіки.

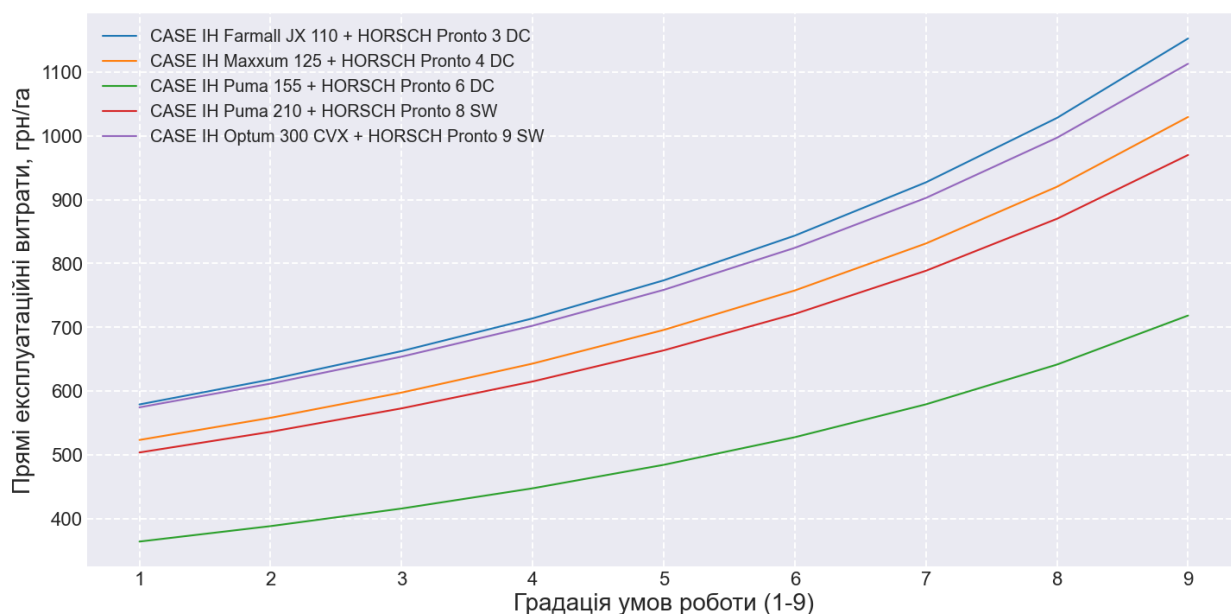


Рисунок 1. Вплив умов роботи МА на прямі експлуатаційні витрати, пов’язані з виконанням механізованих технологічних операцій з посіву зернових культур [7].

Оптимізація впливу умов роботи машинного агрегату на сільськогосподарському полі на його економічну ефективність може включати різні методи та способи. Основна мета полягає у зменшенні витрат і підвищенні продуктивності праці машинного агрегату. Нижче перераховані деякі можливі методи та способи оптимізації:

1. Використання технологій точного землеробства: Застосування сучасних технологій, таких як глобальна навігаційна спутникова система (ГНСС), системи автоматичного управління, датчики та картографування полів, дозволяє досягти

більш точного і ефективного використання ресурсів. Наприклад, застосування точного оприскування добрив і пестицидів дозволяє зменшити витрати на ці матеріали і одночасно збільшити врожайність.

2. Вибір оптимальних часових і погодних умов: Врахування оптимальних періодів для проведення робіт на полі може знизити ризик неблагоприятного впливу погодних умов на продуктивність працівників та машинних агрегатів. Наприклад, робота на полі при найкращих погодних умовах може сприяти збільшенню продуктивності та зниженню ризику непередбачуваних перешкод.

3. Раціональне планування режимів роботи: Оптимізація режимів роботи машинного агрегату може включати визначення оптимальних швидкостей, режимів навантаження та зовнішніх параметрів для досягнення максимальної продуктивності та економії палива. Наприклад, встановлення оптимальної швидкості руху машинного агрегату залежно від типу оброблюваної поверхні може знизити знос та споживання палива.

Формула для оптимізації режимів роботи машинного агрегату може включати швидкість (v) та інші параметри ($p_1, p_2, \dots, p_n$), які впливають на його продуктивність та споживання палива. Параметрів таких може бути безліч, зі збільшенням їх кількості збільшується точність розрахунків.

$f(x)$ є цільовою функцією, яку потрібно мінімізувати або максимізувати. Цільова функція (f) може бути складена з кількох компонентів, таких як час роботи, витрати палива та інші показники ефективності. Наприклад, цільова функція може мати наступний вигляд:

$$f(v, p_1, p_2, \dots, p_n) = w_1 \times t(v, p_1, p_2, \dots, p_n) + w_2 \times \text{fuel}(v, p_1, p_2, \dots, p_n) + \dots \quad (2)$$

де:

- $t(v, p_1, p_2, \dots, p_n)$ представляє функцію, яка визначає час роботи залежно від швидкості та інших параметрів;

- $\text{fuel}(v, p_1, p_2, \dots, p_n)$ представляє функцію, яка визначає витрати палива залежно від швидкості та інших параметрів;

- $w_1, w_2, \dots$ є ваговими коефіцієнтами, які визначають важливість кожного компонента цільової функції.

Таким чином, оптимізаційна задача полягає в пошуку значень швидкості (v) та інших параметрів ($p_1, p_2, \dots, p_n$), які мінімізують цільову функцію (f), при дотриманні певних обмежень (наприклад, максимальна швидкість, допустимі значення параметрів тощо).

4. Використання оптимальних агротехнічних прийомів: Впровадження оптимальних агротехнічних прийомів, таких як правильне розміщення культур, використання мульчування, міжрядкового обробітку та систем зрошення, може зменшити фізичне навантаження на машинний агрегат і знизити витрати на паливо та інші ресурси [8].

5. Використання передового обладнання та технологій: Оновлення машинного парку та використання передових технологій може призвести до покращення продуктивності, зменшення витрат на експлуатацію та підвищення точності роботи. Наприклад, використання сучасних тракторів з автоматичним управлінням та оптимізованою ходовою системою може забезпечити більш ефективне виконання робіт на полі.

6. Фінансовий аналіз та планування: Важливо проводити фінансовий аналіз впливу умов роботи на економічні показники і розробляти планування витрат. Це дозволяє виявити потенційні області оптимізації та встановити пріоритети для впровадження відповідних заходів [9].

Компенсація збільшених витрат від умов роботи машинного агрегату, відмінних від умовно ідеальних, ґрунтується на пошуку резервів зниження цих витрат. Основні способи компенсації можуть включати:

1. Вдосконалення технологій: Використання нових технологій, які дозволяють знижувати витрати, такі як енергоефективні системи освітлення,

компактні енергозберігаючі пристрої, ефективні системи управління енергією, може допомогти зменшити споживання енергії машинним агрегатом і знизити витрати на паливо та енергію.

2. Використання екологічно чистих та енергоефективних матеріалів:

Використання екологічно чистих та енергоефективних матеріалів для виробництва компонентів та запасних частин машинного агрегату може сприяти зменшенню зносу, підвищенню тривалості їх служби і зниженню витрат на ремонт і обслуговування.

3. Підвищення кваліфікації персоналу: Навчання та підвищення кваліфікації операторів машинного агрегату може допомогти у використанні оптимальних режимів роботи, ефективному використанні ресурсів та підтримці високої продуктивності.

4. Профілактичне обслуговування та регулярний технічний огляд: Регулярне проведення профілактичного обслуговування та технічного огляду машинного агрегату може допомогти у виявленні та усуненні можливих несправностей та збільшити тривалість його безперебійної роботи.

5. Використання альтернативних джерел енергії: Враховуючи зростаючу популярність відновлювальних джерел енергії, використання сонячних панелей або вітрових установок для забезпечення додаткового джерела енергії може зменшити залежність від традиційних джерел енергії та знизити витрати на паливо.

6. Впровадження систем контролю та моніторингу: Використання систем контролю та моніторингу дозволяє в режимі реального часу відслідковувати роботу машинного агрегату, виявляти витрати та неефективність, що дозволяє своєчасно приймати рішення та вживати заходів для оптимізації.

Ці методи та способи можуть бути використані окремо або в комбінації для оптимізації впливу умов роботи машинного агрегату на сільськогосподарському полі та компенсації збільшених витрат. Варто враховувати, що вибір конкретних методів і способів оптимізації буде залежати від конкретних умов, типу машинного агрегату та особливостей сільськогосподарського виробництва.

Висновки.

В даній статті було проведено аналіз методів оптимізації впливу неідеальних польових умов роботи машинного агрегату на його економічну ефективність з

використанням новітніх технологій в рамках систем точного землеробства. Аналізовані методи оптимізації, такі, як раціональне планування режимів роботи, вибір оптимальних часових і погодних умов, використання передового обладнання та технологій, фінансовий аналіз та планування, використання оптимальних агротехнічних прийомів тощо, демонструють потенціал у зниженні витрат та підвищенні ефективності роботи машинного агрегату. Застосування цих методів, з урахуванням географічних особливостей, клімату та параметрів ґрунту, може сприяти забезпеченню фінансової стабільності та підвищенню продуктивності в сільськогосподарському виробництві нашої країни.

SECTION 2. AGRONOMY

DOI: 10.46299/ISG.2025.MONO.AGRO.1.2.1

2.1 Адаптивний підхід в селекції пшениці м'якої озимої в умовах недостатнього зволоження

Сорт – один із значущих факторів, визначаючий рівень урожайності пшениці м'якої озимої, самий дешевий та доступний засіб її підвищення. Якщо в світі новому сорту зазвичай належить 30–50% добавки урожайності, то в нашій країні ця частка становить 50–70 %. Це пов'язано з тим, що більшість території відноситься до зони нестійкого та недостатнього зволоження. Також відомо чим гірші ґрунтово-кліматичні умови, та низький рівень матеріального оснащення виробництва тим більше значення має більш адаптивний сорт. Вдається, що 25% урожайності визначається його генетичними особливостями, і значення генотипу в підвищенні і стабілізації урожаю постійно зростає. Сорт як елемент технології є одним із головних факторів, який забезпечує необхідну кількість високоякісної продукції. На сучасному етапі найважливішим завданням селекції пшениці м'якої озимої є створення сортів з високим генетичним потенціалом продуктивності і якості зерна та адаптивністю на варіюючі екологічні умови, що забезпечують максимальну реалізацію можливостей сорту [10-13].

Екологічна пластичність дозволяє ефективно використовувати сприятливі фактори зовнішнього середовища, здатність сорту протистояти стресовим факторам. Ступінь реакції генотипів на зміну умов зовнішнього середовища характеризується коефіцієнтом екологічної пластичності, який вибирає напрям і рівень змін індивідуальних показників сортозразка відносно адаптивної норми [13, 14].

Адаптивність сорту збалансоване поєднання більшості ознак, в яких перевага надається найбільш важливим, що формують продуктивність рослин. Рівень адаптивності сорту залежить не тільки від його пристосованості, а і від специфіки екологічних умов, створюваних в агроценозі [15].

До адаптивного сорту пред'являють наступні вимоги:

- екологічна пластичність, здатність формувати середню урожайність в діапазоні коливань умов вегетації;
- гетерогенність агропопуляцій;
- скоростиглість (по ознаці виходу рослин в трубку);
- інтенсивність (реакція на покращення погодних умов та технологій вирощування);
- стійкість до біо- та абіотичних факторів.

Сортовий досвід визначає, що підвищення урожайності вирощуваних сортів базується на вдосконаленні технологій та досягнень селекції. Завдяки створенню та використанню взаємодоповнюючих сортів збільшується урожайність через пристосування до ґрунтово-кліматичних умов. Новостворений сорт може бути розповсюдженим тільки в тому разі, якщо він формує більшу і стабільну урожайність, ніж існуючі [16].

В основу адаптивної селекції закладено ідею створення сортів з високим потенціалом урожайності та стійких до стресів, мінімізувати які технічними засобами майже не можливо. Важливим фактором при створенні нових, більш врожайних сортів, є правильний підбір батьківських сортів при гібридизації, основному методі селекції пшениці озимої. Багаторічна оцінка селекційного матеріалу при різних погодних умовах дозволяє виділити високоврожайні, зимостійкі, посухостійкі, з високою хлібопекарською якістю зерна, стійкі до хвороб і вилягання, найбільше пристосовані сортозразки для вирощування в умовах недостатнього зволоження південно-східного Степу України [17, 18].

В існуючих моделях сортів пшениці встановлені вимоги до рівня урожайності, структурі її елементів стійкості до біотичних і абіотичних умов. В фактичних моделі зафіксовано досягнутий рівень урожайності, структура його компонентів і їх співвідношення. Перспективна біологічна модель націлена на розкриття генетичного потенціалу пшениці м'якої озимої та запропонування шляхи його реалізації. В такій моделі необхідні конкретні співвідношення частин рослини, її фізіологічний тип, вегетаційний період, показники адаптивності при формуванні різних агроценозах. Це неможливо без даних генетичної мінливості

кількісних ознак, результатів біохімічного, імунологічного аналізів, які є базою вивчення, створення вихідного матеріалу та перспективних економічно-орієнтованих сортів.

Основним завданням селекції пшениці м'якої озимої Донецької державної сільськогосподарської дослідної станції НААН України (ДДСДС НААН) є створення пластичних сортів з високим адаптивним потенціалом. Сорти ДДСДС НААН створені на основі оцінок та аналізі селекційних фонів, які сприяють прояву мінливості, закріплюють досягнені параметри ознак, усувають різницю між ними, забезпечують екологічний напрямок селекції і сприяють обґрунтуванню добору продуктивних і адаптивних генотипів пшениці озимої [19]. Вченими станції проводиться гібридизація кращих вітчизняних і закордонних сортів та сортів ДДСДС НААН з послідовним цілеспрямованим добором за показниками продуктивності колосу у початкових ланках селекційного процесу (F_2 – F_4), коли рекомбінаційна мінливість забезпечує нові адаптивні, в тому числі трансгресивні за господарсько-цінними ознаками форми рослин.

Прикладом адаптивних сортів для умов недостатнього зволоження є сорти пшениці озимої Донецька 48, Богиня, Диво донецьке, Юзовська, Ігрита, Перемога, Вежа, Новинка.

Особливу увагу заслуговує положення про середовищно створювальне значення сорту, це майже невикористований ресурс в селекції сучасних сортів пшениці м'якої озимої [20]. Ґрунтово-кліматичні і погодні умови території України характеризуються значним різноманіттям. Навіть у межах агрокліматичної зони виділяються певні екологічні ніші із специфічними характеристиками сортів та особливостями динаміки методологічних факторів. Погодні умови часто мають контрастні параметри в період вегетації пшениці озимої залежно від року. У зв'язку з цим важливішим завданням селекції пшениці м'якої озимої є створення сортів з високим генетичним потенціалом продуктивності і якості зерна та оптимальною нормою реакції (адаптивністю) на варіюючи екологічні умови, що забезпечують максимальну реалізацію

можливостей сорту.

Територіально пшениця м'яка озима вирощується в трьох еколого-географічних зонах: Степ, Лісостеп, Полісся, кожна з яких займає великі площі і дуже суттєво відрізняється за ґрунтово-кліматичними умовами. Товаровиробництво України за матеріальним забезпеченням рівня технології суттєво відрізняється. Окремі господарства та агрофірми здатні забезпечити застосування інтенсивних технологій вирощування пшениці озимої, але більшість вимушені застосовувати технології з мінімальними втратами. В зв'язку з цим у ведучих селекційних установах створюються сорти універсального використання, які відрізняються високою пластичністю і потенційною урожайністю, показниками якості зерна і достатньо високі врожаї в варіюючих умовах середовища, на рівні їх генетичного потенціалу [21–28].

Екологічна пластичність спрямована ефективно використовувати сприятливі фактори зовнішнього середовища, здатність сорту протистояти стресовим факторам. Ступінь реакції генотипів на зміну умов зовнішнього середовища характеризується коефіцієнтом екологічної пластичності, який вибирає напрям і рівень змін індивідуальних показників сортозразка відносно адаптивної норми. Пластичність ознаки є незалежною властивістю і знаходиться під специфічним генетичним контролем. Стабільність і пластичність ознак сортів обумовлені здатністю генетичних механізмів рослини зводити до мінімуму наслідки негативного впливу середовища. Стабільність – стійкість реалізації притаманної генотипу реакції на зміну умов середовища.

Роль генетичного різноманіття будь-якого біологічного виду очевидна – саме це дозволяє даному виду виживати і навіть розвиватися в умовах навколишнього середовища, що постійно змінюються.

Для якісного ведення селекційної роботи необхідно використовувати нові сорти, лінії, форми пшениці озимої, які володіють комплексом цінних ознак, що здатні на виході давати стабільно високий урожай в поєднанні з високою якістю насіння. В створенні таких зразків визначну роль відіграють колекції генетичних ресурсів рослин [29-31]. Однією з головних задач зі збереження таких колекцій

є збагачення їх генетичним різноманіттям форм, що мають цінні ознаки, тобто збільшенню гетерозисності таких колекцій, що в свою чергу зменшує загрозу генетичного виродження (ерозії) сучасних виробничих сортів.

Якість роботи зі збагачення колекцій набагато підвищується за рахунок знання генетики вихідного матеріалу. Проте, як зазначає Мережко А. Ф. [32], виявлення генетичних властивостей великої кількості зразків, які мають потрібні фенотипічні показники досить ускладнено, що пов'язано з рядом об'єктивних причин. Тому необхідно чітко розрізняти відомі терміни «джерело» та «донор» ознаки. За визначенням, що подає Мережко А. Ф.: «джерело» – це зразок, що має потрібне селекціонеру середнє значення відповідної ознаки і належить до культурного виду або його дикорослому родичу; «донор» – це генетично вивчене джерело, котре: а) здатне легко схрещуватися з кращими сортами і лініями та продукувати життєздатне високофертильне потомство; б) забезпечує бажаний ефект в широкому спектрі гібридних комбінацій; в) не володіє якими-небудь негативними характеристиками, які тісно пов'язані з іншими важливими ознаками і зменшують врожай або якість продукції до економічно недопустимого рівня.

Важлива роль у вирішенні питання збагачення генетичного різноманіття сортів належить генетичним ресурсам рослин (ГРР) [33]. Відомий ботанік Дж. Г. Хокс значення ГРР вбачав у наступному: 1) огляд різновиду ГРР, що знаходяться в генбанках або доступні в польових умовах; 2) експедиційне обстеження регіонів; 3) збереження ГРР; 4) вивчення ГРР; 5) збагачення зародковою плазмою та ін. Наскільки буде ефективно виконано кожна ланка цього процесу, настільки різноманітний матеріал отримає селекціонер для своєї роботи.

В наш час роботу зі збереження, поповнення і вивчення колекцій сільськогосподарських культур та інших цінних видів рослин в Україні координує Національний центр генетичних ресурсів рослин України при Інституті рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН.

Різні умови вегетації можуть бути причиною генетичної зміни сортів і призвести до зміни характеристики самих сортів. В селекції пшениці

найпоширенішим методом створення гібридів для відбору цінних генотипів є внутрішньовидова гібридизація. Еколого-географічний принцип підбору батьківських форм для схрещування є основним і найбільш ефективним.

Однією із важливих проблем селекції пшениці є створення і вивчення вихідного матеріалу. Основним джерелом сортів для селекційного використання є колекції, які базуються на світових генетичних ресурсах. У Національному центрі генетичних ресурсів рослин України зосереджені зразки пшениць м'якої озимої передані в центр з різних установ та країн світу. Інколи сорти представлені популяціями, такі зразки вивчаються дуже рідко хоча вони можуть слугувати джерелом збільшення обсягу вихідного матеріалу для потреб практичної селекції.

Основним напрямком селекції пшениці є підвищення продуктивності, яка є складною кількісною ознакою і поділяється на компоненти. Для ефективної селекції потрібні прикладні знання про специфічність прояву та про генетичний контроль конкретних господарсько цінних ознак.

Властивості генотипу найповніше виявляються схрещуванням, найбільш ефективним методом оцінки є діалельні схрещування та аналіз гібридного потомства і селекційне опрацювання отриманих комбінацій. Трудомісткість методу діалельних схрещувань компенсується багатством вихідного гібридного матеріалу для практичної селекції.

Інтенсифікація технології виробництва зерна пшениці м'якої озимої призвела до значного зростання потенційної врожайності нових сортів. Проаналізовані ознаки, які визначають продуктивність, пластичність та недостатньо вивчені в конкретних посушливих кліматичних умовах, що постійно змінюються, тому використання методів екологічної селекції залишається основним завданням селекційних програм при створенні сортів з відповідною адаптивністю у конкретних умовах вегетації [34].

Морфотип рослини, який залежить від морфогенезу та генотипу конкретного сорту, є цілісною системою відпрацьованих взаємозв'язків як загального значення, так й особистих, співвідношення яких в процесі

індивідуального розвитку і призводить до формування конкретної рослини відповідного сорту.

Структура продуктивності на кожному етапі індивідуального розвитку рослини обумовлена конкретною реалізацією сорту як об'єднання двох взаємопов'язаних процесів: морфогенеза та формування елементів функціонуючих органів рослини. На рівні рослини стабільність визначається процесом формування початкового стебла, кущення, стеблуння, формування основного та бокових пагонів і колосів, їх довжини, кількості зерен в колоссях, маси зерна з колоса, маси зерна з рослини, маси 1000 зерен. На рівні популяції стабільність і пластичність визначається гнучким механізмом реалізації у окремих рослин декількох екологічно відпрацьованих схем і морфогенетичних процесів спрямованих на формування конкретного типу рослин. Еколого-генетичний механізм реалізації генотипу через фенотип становить в зміні норми реакції і кількості метамерів вегетативної частини рослини.

Сільськогосподарське виробництво вимагає від сортів протилежні умови тим, що створюються еволюційно природним добором. Рослина пшениці повинна мати потужну кореневу систему, інтенсивне кущення, стійкість до біотичних та абіотичних факторів за рахунок зміни регуляторних механізмів в онтогенезі, що можливо вирішити саме селекційними методами.

Сорти пшениці м'якої озимої в морфологічному плані представлені як цілісні корелятивні ростові біоритмічні системи. Це результат сукупної дії природного та штучного добору. Природний добір визначає родові і видові механізми морфотипів – сортів, він визначає стабілізацію взаємозв'язків показників які визначають продуктивність в конкретних умовах вегетаційного періоду. А штучний добір, селекція під контролем, призводить до змін росту та розвитку, що є обов'язковим для нових адаптованих сортів. Селекція змінює взаємозв'язки та фенотип зміною структурних показників тобто кількісних ознак сорту. Створення сорту хоча і тривалий процес, але його частка дуже не значна в порівнянні із природнім добором як частка генотипу в порівнянні з впливом навколишнього середовища. Визначення і аналіз взаємозв'язків ознак у сортів і

гібридів, які формуються на всіх етапах органогенезу, важливі для сьогодення і майбутньої селекції більш пристосованих сортів в умовах коливання погодних умов та потепління клімату. Необхідно теоретично досліджувати процеси саморегуляції морфогенезу пшениці м'якої озимої та відпрацювати для практичної селекції систему методів протистояння абіотичним факторам, які б стримували їх методами добору для збільшення цінних ознак в нових сортах. Завдання подолання змін та взаємозв'язків визначаючих формування морфометричних структур рослин, а в цілому і продуктивність є головним і надскладним, яке постає перед селекціонерами. Існує багато проблем, успішне вирішення яких дозволило б збільшити продуктивність існуючих сортів. Градієнти норми реакції накладають обмеження і виконують роль природного добору, визначають рівень продуктивності в конкретному екологічному пункті, тобто в умовах екології вегетаційного періоду створюваних сортів має значення морфометричний аспект. Необхідне чітке розмежування вегетативної та генеративної фази росту. Важливо щоб період цвітіння не був довгим, тому що коли ця ознака сприяє своєчасної стиглості і стабільності її урожайності. Збільшення генеративної фази та зменшення вегетативної – також резерв підвищення урожайності.

В селекції сучасних сортів пшениці збільшено показники кількісних ознак, а це збільшує період вегетації та їх структури. Для подолання зміни такого зв'язку матимуть значення дослідження на конкретних фазах росту рослин пшениці м'якої озимої. Важливо також для збільшення продуктивності сортів вирішення завдання подолання сортоспецифічності розташування та кут відхилення листків і особисто прапорцевого листа, його розміри та колір.

Оптимальний стеблостій – один із основних компонентів врожайності який також можливо регулювати технологією вирощування, яка потрібна для конкретного сорту. Формування ефективного стеблостою сприяє рівномірному розподілу продуктивної вологи та поживних речовин між рослинами, що, у кінцевому рахунку, створює підґрунтя для закладки рослинами показників структури урожаю.

Для збільшення продуктивності повинно надійно керувати ростом рослини. Добори родин і ліній рослин по морфотипу та інформації їх росту повинні бути теоретично обґрунтовано індивідуальним добором і оцінкою за нащадками. Важливим показником оцінки сортів є адаптивна здатність під якою розуміють здатність генотипу підтримати властиві фенотипові ознаки в певних умовах навколишнього середовища, або періоду вегетації.

Різні погодні умови, які за всяк час змінюються, ускладнюють селекційні завдання. Цілеспрямоване створення універсальних сортів широкого ареалу має небагато позитивних прикладів. Випадки їх появи, як правило, не були результатом цілеспрямованої селекційної роботи. Зазвичай високопродуктивні сорти надто чутливі до біотичних та абіотичних факторів. Найбільш розповсюдженою кореляцією сортозразків при доборах на більшу продуктивність є зниження їх загальної пристосованості. Наведено, що в більшості випадків висока екологічна стійкість рослин зазвичай пов'язана з меншою їх продуктивністю. Інтенсивний добір за однією ознакою знижує загальну пристосованість. Саме це є одним із основних стимулів приділяти більшу увагу поєднанню потенційної продуктивності сучасних сортів з їх стресостійкістю, а саме до біо- та абіотичних факторів навколишнього середовища.

Кожний із компонентів урожайності на окремих етапах органогенезу може змінюватися незалежно від кількості врожаю, а його максимальний показник досягається при більших показниках його компонентів і субкомпонентів. При цьому більша урожайність в мінливих умовах вегетації забезпечується за рахунок поєднання пластичних компонентів. Ефективним методом оцінки адаптивних генотипів є той по якому можливо визначити реакції сорту на умови середовища.

Реакція сорту на умови вирощування характеризують загальну адаптивну здатність (ЗАЗ) – середній показник ознаки в мінливих умовах середовища, специфічна адаптивна здатність (САЗ) – відхилення від загальної в конкретному середовищі. Стабільність – здатність генотипу завдяки регулярним механізмам підтримувати певний фенотип в мінливих умовах вегетації.

Пластичність – b_i – коефіцієнт регресії на середовище) – реакція генотипу на мінливі умови середовища, виявляється в фенотиповій мінливості.

Репрезентативну оцінку екологічних параметрів можна отримати в одному пункті, але в різні строки сівби, або в один строк в різних пунктах або три роки в одному пункті.

Не зупиняючись на підставах стабільності сортів, визначаємо саме проявлення їх фенотипової стабільності.

Метод оцінки ЗАС, САС сорту в екологічному сортовипробуванні заснований на визначенні n сортів в m середовищах (місце, роки) та s повторення.

$X_{iRr} = U + V_i + d_R + (Vd)_{iR} + l_{iRr}$, де

X_{iRr} – фенотипове значення ознаки i -того сорту, вирощеного в R -том повторенні

U – загальна середня всієї сукупності фенотипів,

V_i – ефект i -того сорту,

d_R – ефект R -того середовища,

$(Vd)_{iR}$ – ефект взаємодії i -того сорту з R -тим середовищем.

l_{iRr} – ефект, обумовлений випадковими причинами та віднесений до iRr фенотипу.

На елементи моделі накладено наступні обмеження:

$$\sum_j V_i = \sum_R d_r = \sum (Vd)_{iR} = \sum_R (Vd)_{iR} = \sum l_{iRr}$$

Перший етап оцінки значень ЗАЗ і стабільності сортів, двофакторний дисперсійний аналіз.

Другий етап оцінки – визначення ЗАЗ і САЗ.

Згідно визначенню, ефект загальної адаптивної здатності i -сорту ЗАЗ $_i$ дорівнює V_i . Відхилення від суми $U + V_j$ буде становити ефект специфічної адаптивної здатності i -того сорту в R середовищі - САЗ $_{iR}$. Цей ефект складається із лінійної (ефект R -того середовища) та нелінійної частини (ефект взаємодії $(vd)_{iR}$).

Порівняти сорти по загальній адаптивній здатності можливо співставою $ЗАЗ_i$, яка характеризує середнє значення ознаки сорту по всіх середовищах (місто випробування, роки. Стабільність i -того сорту визначається по варіансі $САЗ$:

$$\sigma_{САЗ_i} = \frac{1}{m-1} \sum_R (dR + (Vd)iR) - \frac{m-1}{m} r^2$$

Чим більше $\sigma_{САЗ_i}$, тим менш стабільним буде показник ознаки сорту в мінливих умовах середовища.

Для порівняння мінливості різних ознак при вивченні різних сортів та середовищ можливо використання відносної стабільності сорту за конкретною ознакою Sgi .

$$Sgi = \frac{\sigma_{САЗ}}{U + ЗАЗ} 100\%$$

Цей показник аналог коефіцієнту варіації при вивченні сортів в низці середовищ. Реакція сорту на покращення умов середовища визначається по значенню коефіцієнта регресії сорту на середовище.

$$bi = \frac{\sum XiR * dR}{\sum_R d^2 R}$$

Коефіцієнт регресії bi дає потрібну інформацію про стабільність сорту в порівнянні з $\sigma_{САЗ_i}$, але на відміну від останньої вказує локацію сорту на змінюючі (кращі, гірші) умови. При $bi > 1$ сорт має більші показники ознаки в порівнянні з іншими сортами в кращих умовах, при $bi < 1$ – в гірших умовах, при $bi = 0$ не реагує на зміну умов середовища. Обидва показники стабільності взаємно доповнюють один одного. Для виділення сортів, які поєднують продуктивність та стабільність, використовують показник селекційної цінності генотипу (СЦГ).

$$СЦГ_i = U + ЗАЗ_i - p \sigma_{САЗ_i}$$

$$p = \frac{100}{2Sg};$$

$$Sg = \frac{Sgi + \dots + Sgn}{n}$$

Кращим сортом для умов сортовипробування буде той, що має максимальну загальну адаптивну здатність, формує найбільшу урожайність в сприятливих умовах вегетації та забезпечує її стабільність.

Генетико-статистичний аналіз експериментальних даних можливо виконати з використанням програми OSGE [35], а наведений приклад формул пояснює їх біологічний сенс.

Список ознак для математичного забезпечення селекційного процесу, та оцінки структури урожаю:

1. Маса зерна з рослини (продуктивність).
2. Маса 1000 зерен (МТЗ).
3. Маса зерна з головного колоса.
4. Кількість колосків головного колоса (ККК).
5. Кількість зерен головного колоса.
6. Продуктивна кущистість (ПК).
7. Довжина головного колосу.
8. Висота рослини.
9. Кількість рослин на 1 м².
10. Кількість рослин на 1 м² перед збиранням.
11. Кількість продуктивних стебел на 1 м².
12. Середня кількість зерен в колосі (КЗК).
13. Маса зерен з одного колосу (МЗК).
14. Маса зерна з 1 м².
15. Довжина соломини.
16. Довжина вегетаційного періоду.
17. Урожай при 14% вологості зерна.

Визначальним в агроценозі пшениці озимої – підвищення урожайності та її стабільності. Під стабільністю розуміють здатність сортів мати стійку продуктивність або інші господарські ознаки чи властивості при зміні умов середовища. Пропонують використовувати термін «норма реакції» як синонім пластичності генотипів та стабільність їх продуктивністю необхідно врахувати і думку, що пластичність, стабільність, норма реакції не є загальною характеристикою сорту, а стосується певної ознаки та їх комплексу.

Дослідження сортів пшениці озимої м'якої у 2020–2024 рр. в мінливих

умовах середовища виявили їх генетичний потенціал урожайності. В екологічному сортовипробуванні по урожайності та індексу екологічної пластичності сорти відповідають умовам недостатнього зволоження, мають оптимальну реакцію на ці умови. Вони мають високий рівень адаптивно значущих ознак: продуктивна кустистість (ПК), кількість зерен в колосі (КЗК), кількість колосків у колосі (ККК), маса зерна з колосу (МЗК), маса 1000 зерен (МТЗ), які формують урожайність та більш повно реалізують ресурси середовища.

Реакцію сортів пшениці м'якої озимої оцінено шляхом розрахунків за показниками урожайності та структурою продуктивності (табл. 1) з визначенням середніх значень та варіанси стабільності.

Таблиця 1

Характеристика сортів за структурою продуктивності

№	Сорт	ПК, шт.	КЗК, шт.	ККК, шт.	МЗК, г	МТЗ, г	Урожайність, т/га	S^2di
1	Донецька 48	1,2	31,4	18,3	1,5	47,2	7,64	0,05
2	Перемога	1,5	35,2	19,2	1,6	46,3	8,10	0,04
3	Диво донецьке	1,8	34,6	19,9	1,4	40,9	5,56	0,04
4	Попелюшка	1,1	33,8	19,5	1,5	44,9	9,47	0,18
5	Вежа	1,5	37,5	19,5	1,7	45,7	10,14	1,12
6	Новинка	1,2	32,3	17,8	1,5	47,2	7,05	0,04
	Середнє	1,4	34,1	19,0	1,53	45,4	7,99	-
	НІР ₀₅	0,21	1,07	0,5	0,07	0,68	0,15	-

Рівень урожайності варіював від 7,05 т/га до 10,14 т/га при 7,64 т/га умовного стандарту.

Варіанса ознаки S^2di вказує наскільки надійно сорт відповідає умовам вегетації та Характеризує його пластичність. Чим ближче до нуля, тим менше відрізняються емпіричні значення ознаки урожайності від теоретичних.

Більш стабільними є сорти Донецька 48, Новинка, Перемога, Диво донецьке.

Сорти Вежа та Попелюшка мають високу чутливість до умов вегетації.

Таким чином, сорти мають найкращу агроекологічну відповідність до умов Степу та Лісостепу. Вони характеризуються гарантованим приростом урожайності зерна 0,5 – 1,2 т/га у порівнянні з стандартами.

Показники економічної ефективності сортів вивчались після попередника еспарцет, що забезпечило отримання умовно чистого доходу 3500 грн за рівня рентабельності 60% в порівнянні з сортом Донецька 48. Посівні площі в господарствах різних форм власності степової зони склали впродовж 2021– 2025 рр. понад 100 тис. га, що забезпечило додатковий збір зерна за рахунок використання потенціалу продуктивності.

SECTION 3. BIOLOGY AND BIOCHEMISTRY

DOI: 10.46299/ISG.2025.MONO.AGRO.1.3.1

3.1 Біохімічні критерії оцінки харчової та кормової цінності зерна ячменю

Ячмінь є четвертою за значимістю зерновою культурою у світі після пшениці, кукурудзи та рису з глобальним виробництвом понад 150 мільйонів тонн, вирощених приблизно з 60 мільйонів га. Різноманітність напрямків використання ячменю (кормовий, харчовий, а також незамінна сировина для пивоварної промисловості) визначає його високу господарсько–виробничу значимість. Зерно ячменю має винятково високу харчову цінність і здатність бути профілактичним засобом проти трьох найтяжчих недугів останнього століття: коронарної хвороби серця, діабету і навіть раку кишечника. В залежності від напрямку використання зерно ячменю має відповідати чітко вираженим показникам якості.

Пивоварні властивості – комплекс ознак, пов’язаних з вмістом та властивостями білка, крохмалю, рівнем екстрактивності зерна та рядом інших показників. Труднощі селекції за цими господарсько–цінними ознаками пов’язані з їх складним генотипним контролем, а також з впливом на їх проявлення умов вирощування. За кордоном за останні десятиріччя генетичні дослідження показників якості зерна базуються на принципово новій методологічній основі, а саме на використанні молекулярних маркерів та методів генної інженерії, за допомогою яких можна не тільки контролювати гени якості зерна, але й дослідити їх функціональні властивості, цілеспрямовано впливати на рекомбінаційні процеси, процеси біосинтезу білків та ферментів, інтеграцію генів в хромосомах і, як наслідок, цілеспрямовано формувати показники якості зерна, які були задані селекціонерами та виробниками. При виробництві пива особлива увага приділяється біохімічним показникам сировини.

Якість пивоварного ячменю визначається комплексом біохімічних характеристик, що залежать від генотипу, умов вирощування та процесів формування зерна. У пивоварній промисловості особливу увагу приділяють вмісту білка, крохмалю, β -глюканів, ферментативній активності й структурі клітинних стінок, оскільки ці показники істотно впливають на солодження та якість готового пива [36]. Біохімічний склад зерна формується у тісному взаємозв'язку зі структурними особливостями ендосперму, співвідношенням запасних речовин та активністю ферментних систем, які забезпечують перетворення субстратів у процесі солодження [37].

Білковий комплекс зерна є одним із ключових критеріїв добору пивоварних сортів. Встановлено, що оптимальний вміст білка становить 9,5–11,5 %, оскільки підвищення цього показника може спричиняти зниження екстрактивності та погіршення колоїдної стабільності пива [38]. За надмірного накопичення білків зростає в'язкість сусла, утворюється більше високомолекулярних фракцій, здатних формувати небажані помутніння у готовому продукті [39]. У той же час, недостатній рівень білка зменшує ферментативний потенціал солоду, що негативно впливає на якість осахарення.

Крохмаль та його доступність є головним джерелом ферментативного перетворення під час солодження. Високий вміст крохмалю та його амілопектинової фракції корелює з високою екстрактивністю солоду [40]. Оптимальний ступінь клейстеризації та розчинності полісахаридів забезпечує ефективне осахарення під дією амілаз, що визначає вихід екстракту та швидкість бродіння [41].

Ключовим компонентом, що визначає технологічні властивості зерна, є **β -глюкани клітинних стінок**, які впливають на фільтраційні властивості сусла. Підвищений вміст β -глюканів призводить до збільшення в'язкості, уповільнення фільтрації та погіршення технологічних параметрів пивоварного виробництва [42]. Тому селекція пивоварних сортів ячменю спрямована на добір сортів із нижчим рівнем вмісту β -глюканів та високою активністю β -глюканази, що сприяє їх розщепленню під час солодження [43].

Значення окремих фракцій білків та крохмалю у пивоварінні визначається різною доступністю їх для конкретних видів гідролітичних ферментів (амілолітичних (α , β -амілази), протеолітичних ферментів. Достатній рівень активності цих ферментів є обов'язковою вимогою для забезпечення оптимального процесу осахарення і формування повноцінної структури суслу [44]. Потрібно також, щоб ячмінь, призначений для пивоваріння, мав достатній рівень активності ферментів дихання, оскільки найперша стадія цього процесу – замочування – пов'язана з дією цих ферментів (каталази, пероксидази), роль яких заключається в знешкоджуванні у зародках отруйних для них перекисних сполук та перекису водню, які накопичуються. Відомо, що ферментативний потенціал значною мірою залежить від сортових особливостей та умов вирощування, що є важливим критерієм селекційного добору.

Крім базових показників, важливими є **структурні властивості ендосперму**, зокрема скловидність, рівномірність розміру зернівок та їхня здатність до рівномірного проростання. М'який, борошнистий ендосперм краще піддається модифікації, утворюючи однорідний солод високої якості, тоді як надмірна скловидність може обмежувати проникність ферментів і знижувати ефективність солодження [45].

Таким чином, добір сортів ярого ячменю пивоварного напряму базується на комплексній оцінці біохімічних показників, що визначають якість солоду та технологічну придатність зерна. Врахування білкового складу, вмісту крохмалю, β -глюканів, ферментативної активності та морфологічних характеристик ендосперму дозволяє ефективно ідентифікувати сорти, найбільш перспективні для пивоварної галузі.

Якість зерна ячменю кормового призначення визначається комплексом біохімічних показників, що визначають його поживну цінність, перетравність та засвоюваність у раціонах сільськогосподарських тварин. Основне значення має вміст протеїну, енергетичні компоненти, структура клітинних стінок, склад вуглеводів та рівень антипоживних речовин [46]. Зерно ячменю широко використовується в годівлі великої рогатої худоби, свиней та птиці завдяки

високому вмісту протеїну та доступних вуглеводів, але якість цих компонентів значно варіює залежно від сорту та умов вирощування.

Вміст сирого протеїну є ключовим показником кормової цінності зерна ячменю та зазвичай становить 9–14 %, причому найціннішими є фракції розчинних білків, які забезпечують підвищену доступність амінокислот для тварин [47]. Дефіцит протеїну у зерні обмежує продуктивність тварин, тоді як надлишок може призводити до дисбалансу поживних речовин та перевантаження азотного обміну.

Особливу увагу приділяють вуглеводному комплексу, що визначає енергетичну цінність зерна. Крохмаль є основним джерелом енергії (до 60 % маси), а його перетравність залежить від співвідношення амілози до амілопектину та ступеня структуральної щільності ендосперму [48]. Вищий вміст амілопектину забезпечує підвищену доступність енергії, тоді як надмірна скловидність знижує перетравність.

Суттєве значення має вміст клітковини. Підвищений рівень клітковини погіршує перетравність корму, особливо у свиней та птиці, спричиняючи збільшення в'язкості кишкового вмісту та зниження швидкості засвоєння поживних речовин [49]. Тому селекція кормового ячменю орієнтована на зменшення вмісту клітковини.

Важливими критеріями якості зерна ячменю є також вміст жиру, макро- і мікроелементів (Ca, P, Mg, Mn, Zn), рівень антипоживних речовин (фітин, інгібітори ферментів), маса 1000 зернин, рівномірність фракційного складу та ступінь зараженості мікотоксинами [50]. Підвищення поживної цінності кормового ячменю досягається шляхом селекції сортів з оптимальним співвідношенням протеїну, енергії та клітковини, а також застосуванням агротехнологій, що сприяють формуванню якісного зерна.

Харчовий (голозерний) ячмінь розглядається як цінна зернова культура з підвищеним вмістом харчових волокон, антиоксидантів, вітамінів та біологічно активних сполук. Завдяки відсутності жорсткого квіткового лусочкового шару

голозерний ячмінь характеризується підвищеною біодоступністю нутрієнтів і активно використовується у функціональних продуктах харчування [51].

Одним із головних показників якості є вміст β -глюканів, який у голозерних форм може досягати 4–8 %, що значно перевищує показники звичайних плівчастих сортів. β -Глюкани відіграють важливу роль у зниженні рівня холестерину, регуляції глікемічного профілю та формуванні пребіотичних властивостей зерна [52].

Важливою характеристикою зерна сортів ячменю харчового напряму є склад білків. Вміст протеїну у зерні голозерного ячменю зазвичай становить 11–16 %, а амінокислотний профіль більш збалансований порівняно зі звичайними сортами. Підвищений рівень лізину та триптофану покращує харчову цінність продукту [53].

Антиоксидантні властивості зерна голозерного ячменю зумовлені наявністю фенольних сполук, зокрема флавоноїдів, проантоціанідинів, та токотрієнолів. Фенольні речовини здатні нейтралізувати активні форми кисню та запобігати окиснювальному стресу в організмі людини [54]. Високий вміст клітковини, у тому числі водорозчинної, сприяє нормалізації мікробіоти кишківника та зменшенню ризику метаболічних порушень.

Зерно голозерного ячменю також характеризується підвищеною концентрацією вітамінів групи В (В1, В2, В6), вітаміну Е, мінералів (Se, Zn, Fe). Відсутність жорсткої оболонки забезпечує кращу засвоюваність цих компонентів [55]. Додатковими критеріями харчової якості є маса 1000 зерен, рівномірність круп'яної фракції, кольорові показники, вміст крохмалю, ступінь його желатинізації та органолептичні властивості продукту.

Таким чином, якість харчового голозерного ячменю визначається комплексом біохімічних та нутрієнтних показників, які забезпечують його перспективність для цільнозернових, дієтичних та функціональних продуктів.

В лабораторії біохімії Селекційно-генетичного інституту-Національного центру насіннеснавства та сортовивчення (СГІ-НЦНС) було проведено вивчення біохімічних критеріїв зерна ячменю для характеристики сортів пивоварного,

харчового та кормового напрямів. Для такої оцінки зерна ячменю важливе значення має вміст білка. Для сортів ячменю пивоварного напрямку велика кількість його небажана: таке зерно, як правило, містить менше крохмалю, що надалі несприятливо позначається на вмісті екстрактивних речовин солоду, і в результаті зменшується рентабельність переробки такої сировини на пиво. Але й занижений вміст білка (7-8%) позначається на пінистості та смакових якостях пива. На світовому ринку цінується зерно з вмістом білка на рівні 9-11%. В умовах вирощування СГП-НЦНС такий рівень білка мали сорти 'Аватар', 'Грааль', 'Святовит', 'Гермес' генотипи '09-26-08', '09-32-03', '09-73-01', '10-15-04' (табл. 1). Для сортів ячменю ярого харчового призначення бажаний вміст білка повинен бути 15-16 %. У досліджених генотипів харчового призначення вміст білка був від 11,54 до 16,6%. Самий високий вміст білка виявлено у сорта 'Ахіллес' та генотипів 'Аватар x nudum', 'Всесвіт x nudum Атаман' (табл.2). Для сортів ячменю кормового призначення вміст білка повинен бути не менш 12-13%. Самий високий вміст білка був встановлений у сортів озимого ячменю 'Селена Стар', 'Валькірія', 'Скарб Пальміри', 'Презент', 'Гордість Пальміри', генотипів '12-26-31', '1903', '09-05-18', '06-18-10-03', '06-18-10-10', '06-18-10-18', '09-06-18', '10-31-42' (табл. 3).

Важливим показником харчової цінності зерна є ефективність перетравлювання білків. Підвищення перетравлювання рослинних білків представляє собою важливе селекційне завдання. Показник перетравлювання білків показує, яка кількість рослинного білка розщеплюється та всмоктується у шлунково-кишковому тракті людини та тварин. Величина показника перетравлювання білків при постійному ферментному наборі травних протеїназ залежить перш за все від структури харчового білка та наявності у указаних організмах сполук, які можуть інактивувати протеїнази або екранувати їх субстрати. Багато рослинних білків мають низьку ферментативне перетравлювання, що знижує їх харчову та кормову цінність. Тому підвищення засвоюваності білків – одна із найбільш актуальних задач селекції. Серед досліджених генотипів ячменю харчового призначення найбільш високими

показниками перетравлювання білків характеризувалися сорт 'Ахіллес', 'Аватар х nudum', 'Вікторіана х nudum', 'Шакіра х nudum Водограй', серед сортів озимого ячменю кормового призначення – сорти 'Селена Стар', 'Валькірія', 'Скарб Пальміри', генотипи '08-10-01', '12-26-22' (табл. 2,3).

Другим важливим показником якості зерна ячменю є вміст крохмалю. Підвищений вміст крохмалю позитивно впливає на пивоварну цінність ячменю, оскільки екстрактивні речовини солоду складаються на дві третини із цукрів, що утворюються із крохмалю під дією амілаз, та одну третину – з інших сахаридів. Підвищеним вмістом крохмалю відрізнялися сорти 'Командор', 'Аватар', 'Грааль', 'Святовит', '10-15-04', '09-32-03' (табл. 1). Вміст крохмалю у генотипів ячменю харчового напрямку був від 55,5 до 60% з практично у всіх генотипів високим вмістом амілози в крохмалі (від 41,6 до 46,8%) (табл. 2).

Таблиця 1. Біохімічна характеристика сортів ярого ячменю пивоварного напрямку

Сорт, генотип	Вміст білка, %	Вміст крохмалю, %	Активність α -амілази, мг/г 30'	Активність β -амілази, мг/г 30'	Вміст β -глюканів, %	Вміст танінів, %
Командор	8,7	58,0	155,3	2258,8	4,48	2,80
Аватар	9,1	58,0	190,6	2004,7	4,52	2,32
Грааль	9,1	58,0	112,9	1468,2	4,44	2,77
Святовит	7,9	58,2	155,3	2110,6	4,52	3,28
Таманго	8,5	57,2	169,4	2110,6	4,78	2,88
Гермес	9,6	57,4	67,2	2305,9	4,94	2,68
07-18-08	8,7	57,9	70,6	1510,6	4,48	3,36
09-26-08	9,1	57,2	197,6	2117,6	4,58	3,20
09-32-03	9,3	59,2	134,1	2160,0	4,58	2,90
09-32-05	8,7	57,4	211,8	2124,7	4,73	3,04
09-14-06	8,6	57,5	169,4	2145,9	4,79	3,04
09-71-16	8,9	57,7	183,5	2167,1	4,92	2,96
09-73-01	10,1	56,7	105,9	2096,5	5,04	2,88
09-74-09	8,3	57,2	141,2	2075,3	4,62	2,90
09-74-14	8,5	56,9	133,6	2220,3	4,73	2,37
10-11-03	8,9	56,8	96,5	2219,8	5,13	2,40
10-11-11	8,7	57,2	96,5	2316,9	4,76	2,72
10-15-04	9,3	58,5	59,4	2257,4	4,76	3,57
09-71-11	8,3	57,6	133,7	2064,4	4,78	2,72
10-68-10	8,7	57,6	141,1	1344,1	4,79	2,56
Max	10,1	59,2	211,8	2316,9	5,13	3,57
Min	7,9	56,7	59,4	1344,1	4,44	2,32
$\bar{x}$	8,9 $\pm$ 0,1	57,6 $\pm$ 0,1	136,3 $\pm$ 9,9	2053,9 $\pm$ 62,1	4,8 $\pm$ 0,04	2,8 $\pm$ 0,07
CV,%	5,6	1,1	32,5	13,5	4,1	11,4

Таблиця 2. Біохімічна характеристика генотипів ячменю харчового напрямку

Сорт, генотип	Вміст крохмалю, %	Вміст амілози, %	Вміст білка, %	Вміст β -глюканів, %	Перетравлювання білка, %
Ахіллес	57,12	46,80	16,60	6,12	74,8
Аватар x nudum	58,59	44,80	12,33	5,12	73,1
Аватар x nudum	55,86	42,40	15,77	5,40	68,6
Восвода x nudum	55,54	20,80	13,91	4,85	66,6
Всесвіт x nudum Атаман	56,39	41,60	15,48	5,76	69,4
Всесвіт x nudum Атаман	57,02	44,80	15,12	5,93	71,5
Всесвіт x nudum Водограй	56,28	45,60	12,84	6,23	72,4
Вікторіана x nudum	56,17	45,60	12,95	6,34	73,5
Вікторіана x nudum Атаман	57,65	46,80	12,41	6,54	71,8
Марте x nudum Атаман	56,49	45,20	13,71	6,11	73,7
Шакіра x nudum Атаман	56,49	44,00	14,86	6,15	72,7
Шакіра x nudum Водограй	56,17	45,60	14,71	6,16	73,9
Посада x nudum	60,06	44,80	11,54	5,98	72,6
max	60,06	46,80	16,60	6,54	74,8
min	55,54	20,80	11,54	4,85	66,6
$\bar{x}$	56,91 $\pm$ 0,34	42,98 $\pm$ 1,89	14,02 $\pm$ 0,43	5,89 $\pm$ 0,14	71,9 $\pm$ 0,65
CV, %	2,18	15,89	10,99	8,37	3,27

Таблиця 3. Біохімічна характеристика сортів озимого ячменю кормового напрямку

Сорт, генотип	Протеїн, %		Жир, %		Клітковина, %		Зольність, %		Перетравлювання білка, %	Вміст фітатів г/г
	на вих. реч.	на абс. сух. реч.	на вих. реч.	на абс. сух. реч.	на вих. реч.	на абс. сух. реч.	на вих. реч.	на абс. сух. реч.		
Селена Стар (дворучка)	12,5	14,0	4,4	4,9	3,6	4,0	2,3	2,6	74,0	0,0074
Достойний	9,7	10,8	3,9	4,4	3,5	3,9	1,7	1,9	67,4	0,0067
Академічний	10,7	12,0	3,8	4,3	4,0	4,5	2,2	2,5	73,2	0,0071
Айвенго	10,7	11,9	3,7	4,1	4,7	5,3	2,2	2,5	73,4	0,0071
Снігова королева	10,6	11,9	3,9	4,4	4,1	4,6	1,7	1,9	73,1	0,0071
Валькірія	11,6	12,9	4,0	4,4	3,8	4,2	2,0	2,2	74,1	0,0078
Дев'ятий вал	9,5	10,6	3,0	3,3	4,7	5,2	2,2	2,5	70,7	0,0060
Скарб Пальміри	12,9	14,4	2,9	3,2	4,5	5,0	2,7	3,0	75,4	0,0074
09-3333-05	10,2	11,4	3,8	4,3	4,2	4,7	1,9	2,1	72,2	0,0071
11-54-07	10,1	11,2	3,5	3,9	4,5	5,0	2,1	2,3	68,8	0,0071
06-111-04	10,1	11,2	3,5	3,9	5,1	5,7	1,9	2,1	73,8	0,0071
08-10-01	10,6	11,8	4,0	4,5	3,8	4,2	2,3	2,6	75,2	0,0057
09-09-12	9,7	10,8	4,0	4,5	4,1	4,6	2,3	2,6	73,9	0,0064
09-29-12	9,7	10,9	3,6	4,0	3,7	4,1	2,0	2,2	69,9	0,0071
09-29-21	10,3	11,5	3,8	4,2	3,6	4,0	2,2	2,5	74,2	0,0071

Продовження таблиці 3

09-29-38	10,7	12,0	3,4	3,7	4,3	4,8	3,1	3,5	73,5	0,0057
10-74-20	10,1	11,3	3,5	3,9	5,4	6,0	2,4	2,7	77,9	0,0064
11-54-06	10,1	11,2	3,4	3,8	3,8	4,2	2,6	2,9	70,9	0,0071
11-54-13	10,3	11,5	3,8	4,3	4,0	4,5	2,7	3,0	72,9	0,0071
12-26-05	9,9	11,1	3,9	4,3	3,7	4,1	2,1	2,3	68,9	0,0071
12-26-08	10,6	11,9	3,8	4,2	5,4	6,0	2,4	2,7	73,7	0,0071
12-26-14	9,6	10,7	3,8	4,2	3,8	4,2	2,2	2,5	72,3	0,0074
12-26-22	10,2	11,4	3,6	4,0	3,9	4,4	2,2	2,5	80,7	0,0071
12-26-31	15,5	17,3	3,5	3,9	3,7	4,1	2,2	2,5	73,6	0,0071
12-26-32	9,9	11,0	3,0	3,4	4,2	4,7	2,8	3,1	71,7	0,0067
12-26-34	9,8	10,9	3,2	3,5	4,7	5,3	2,5	2,8	70,1	0,0067
Презент	11,7	13,0	4,4	4,9	3,9	4,4	2,4	2,7	74,2	0,0064
Гордість Пальміри	11,9	13,3	4,2	4,6	4,1	4,6	2,4	2,7	71,4	0,0071
1903	12,7	14,2	4,2	4,7	3,0	3,4	2,6	2,9	71,8	0,0067
09-05-18	11,9	13,4	3,5	3,9	2,8	3,1	1,5	1,7	71,7	0,0053
06-18-10-03	13,7	15,4	4,1	4,6	2,5	2,8	2,3	2,6	72,2	0,0060
06-18-10-10	13,2	14,7	3,8	4,2	3,1	3,5	2,6	2,9	74,2	0,0064
06-18-10-18	13,4	15,0	3,8	4,3	3,1	3,5	2,4	2,7	72,3	0,0064
09-06-18	12,9	14,5	3,8	4,3	3,0	3,4	2,9	3,2	73,0	0,0050
10-31-42	13,5	15,1	4,2	4,7	3,1	3,5	3,0	3,4	73,6	0,0057
max	15,5	17,3	4,4	4,9	5,4	6,0	3,1	3,5	80,7	0,0078
min	9,5	10,6	2,9	3,2	2,5	2,8	1,5	1,7	67,4	0,0050
$\bar{x}$	11,2 $\pm$ 0,26	12,5 $\pm$ 0,29	3,7 $\pm$ 0,06	4,2 $\pm$ 0,07	3,9 $\pm$ 0,11	4,4 $\pm$ 0,13	2,3 $\pm$ 0,06	2,6 $\pm$ 0,07	72,8 $\pm$ 0,42	0,0067 $\pm$ 0,00011
CV,%	13,6	13,7	9,8	10,1	17,6	17,5	15,6	15,6	3,4	9,7

Значення окремих фракцій білків та крохмалю у пивоварінні визначається різною доступністю їх для конкретних видів гідролітичних ферментів, наприклад амілолітичних (α , β -амілази). У процесі осолоджування і зброджування ячмінного сусла критична важлива роль відводиться β -амілазі. Тому визначення активності гідролітичних ферментів є однією з важливих характеристик пивоварних властивостей ячменю. Високою активністю амілаз відзначалися сорти ‘Командор’, ‘Аватар’, ‘Грааль’. Вважається, що мутність пива – слідство утворення комплексних сполук β -глобуліну з танінами (поліфенолами). Тому для пивоваріння потрібні сорти ячменю зі зниженим вмістом танінів. Низький вміст танінів був відмічений у сортів ‘Командор’, ‘Аватар’, ‘Грааль’, генотипів ‘09-74-14’, ‘10-11-03’.

Одним з найважливіших біохімічних компонентів ячмінного зерна є β -глюкани, або розчинна клітковина. Високий вміст β -глюканів у зерні ячменю негативно впливає на пивоварні якості солоду, завдяки високій густині водних

розчинів цих сполук. З іншого боку, β -глюкани мають надзвичайно важливе дієтичне значення у харчуванні людини. Серед сортів ячменю пивоварного напрямку найнижчим вмістом β -глюканів відрізнялися сорти 'Командор', 'Святовит', 'Грааль'. Підвищеним вмістом β -глюканів відрізнялися сорти та генотипи ячменю харчового напрямку 'Ахілес', 'Всесвіт x pudum Водограй', 'Вікторіана x pudum', 'Вікторіана x pudum Атаман', 'Марте x pudum Атаман', 'Шакіра x pudum Атаман', 'Шакіра x pudum Водограй'.

Важливими біохімічними показниками для добору сортів кормового ячменю є вміст клітковини (не більше 7%), зольність (не більше 2-3%), низький вміст фітатів. Досліджені сорти озимого ячменю кормового призначення мали вміст клітковини від 2,8% до 6,0% на сух. реч. та зольність в середньому 2,6 % на абс. сух. реч.. Самим низьким вмістом фітатів характеризувалися сорти озимого ячменю 'Достойний', 'Дев'ятий вал', 'Презент' та генотипи '09-06-18', '09-05-18', '10-31-42', '09-29-38' (табл. 3).

При визначенні якості зерна ячменю важливе значення має визначення не тільки вмісту загального білка, але й кількості окремих фракцій білка, особливо розчинних білків. В зв'язку з цим нами був відпрацьований метод визначення вмісту окремих фракцій водо-сольових білків зерна ячменю з використанням методу високоефективної рідинної хроматографії (рис. 1).

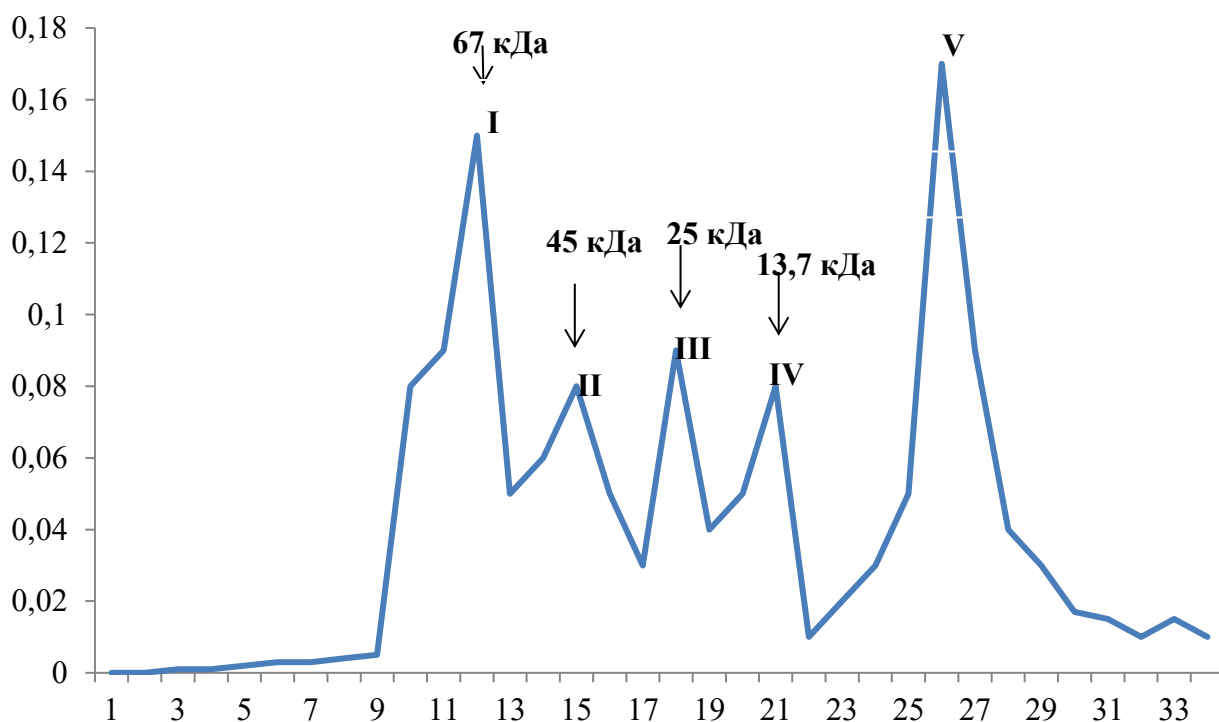


Рис. 1. Профіль елюції білків зерна ячменю ярого сорта Командор [розробка авторів]

Колонка Zorbax GF-250, швидкість 0,5 мл/хв, елюція 0,2 М фосфатний буфер, рН,7,2: В якості маркерів молекулярної маси використовували фосфорілазу Б (97 кДа), бичачий сировотковий альбумін (67 кДа), овальбумін (45 кДа), хімотрипсиноген (25,0 кДа), рібонуклеаза (13,7 кДа).

В результаті проведених досліджень з використанням відпрацьованого методу були виявлені достовірні сортові відмінності за вмістом молекулярних фракцій водо-сольових білків ячменю, пов'язані з пивоварними властивостями ячменю. Всі сорти, незалежно від вихідного вмісту білка, практично не відрізнялися за рівнем високомолекулярних (67 кДа) та середньомолекулярних фракцій білка (25-45 кДа), загальні відмінності були відмічені в зоні низькомолекулярних білків та пептидів (13,7 та менше 13,7 кДа). Показано, що сорти з низьким вмістом вихідного білка характеризувалися найвищим рівнем фракції білків з молекулярною масою, меншою 13,7 кДа та найнижчим вмістом фракцій білків з молекулярною масою 13,7 кДа в порівнянні з високобілковими сортами. У середньобілковій групі спостерігався найвищий вміст фракції білків

з молекулярною масою 67 кД, а за всіма іншими фракціями білків ця група займала проміжне положення (табл. 4). Перевагою відпрацьованого методу є експресність (тривалість аналізу 1 зразка з використанням методу високоефективної рідинної хроматографії 30-40 хв., методом гелі-фільтрації на сефадексі G-100 – 4-5 годин), більш висока точність та можливість аналізу великої кількості зразків.

Таблиця 4. Вміст індивідуальних фракцій білків зерна ячменю

Сорти, генотипи	Вміст білка, %	67 кДа, %	45 кДа, %	25 кДа, %	13,7 кДа, %	< 13,7 кДа, %
Високобілкові	13,0-17,0	28,0 $\pm$ 0,2	14,7 $\pm$ 0,09	15,2 $\pm$ 0,1	13,8 $\pm$ 0,2	28,5 $\pm$ 0,3
Середньобілкові	10,0-12,0	29,4 $\pm$ 0,4	13,5 $\pm$ 0,1	14,9 $\pm$ 0,08	12,5 $\pm$,09	30,5 $\pm$ 0,5
Низькобілкові	8,0-9,8	27,8 $\pm$ 0,5	13,3 $\pm$ 0,2	15,6 $\pm$ 0,2	11,4 $\pm$ 0,08	32,5 $\pm$ 0,6

Відомо, що сорти ячменю відрізняються за складом гордеїнів. Показано, що генотипи з різним поєднанням алельних варіантів блоків гордеїну по локусах Hrd A та Hrd B достовірно відрізнялися за екстрактивністю зерна. Встановлено, що висока концентрація фракції В гордеїнів знижує вихід екстракту та характеризує сорти, які непридатні для використання в пивоварній промисловості, а низький вміст її навіть при високому рівні азоту полегшує переробку такого ячменю на солод. Вивчення компонентного складу гордеїнів дозволило виявити в спектрі цих білків, виділених із зерна пивоварних та кормових сортів ярого ячменю, від 10 до 15 компонентів з різною електрофоретичною швидкістю. Нами встановлені сортові відмінності за кількістю та інтенсивністю компонентів гордеїну у пивоварних та кормових сортів ячменю української та закордонної селекції (рис. 1,2).

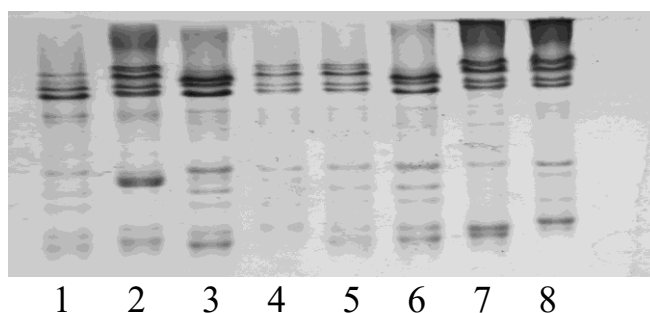


Рисунок 1. Електрофорез горденів [розробка авторів]

Сорти пивоварного напрямку: 1 – Галактик, 2 – Зоряний, 3 – Південний, 4 – Оболонь, 5 – Гетьман, 6 – Чудовий, 7 – Чарівний, 8 – Казковий

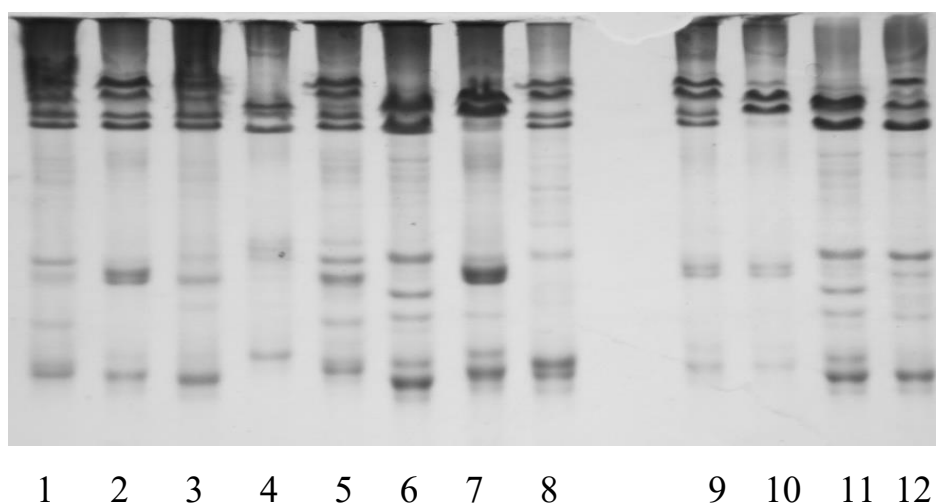


Рисунок 2. Електрофорез гордеїнів [розробка авторів]

Сорти пивоварного напрямку: 1 – Целінка (Франція), 2 – Невада (Франція), 3 – Мішка (Франція), 4 – Жозефін (Франція), 5 – Тюрінгія (Німеччина), 6 – Філадельфія (Німеччина), 7 – Анабель (Німеччина), 8 – Толар (Чехія);
Сорти кормового напрямку: 9 – Сталкер, 10 – Адапт, 11 – Водограй, 12 – Донецький 15.

Комплексні дослідження біохімічних показників зерна сортів ячменю пивоварного, харчового та кормового напрямів дали змогу встановити низку закономірностей, що визначають їх функціональну якість та придатність до відповідних напрямів використання.

1. Вміст білка залишається ключовим диференційним критерієм для всіх напрямів використання ячменю:

– для сортів пивоварного напрямку оптимальним є рівень 9–11%, який забезпечує збалансоване співвідношення білкових і крохмальних компонентів та високий рівень екстрактивних речовин.

– для сортів харчового напрямку оптимальним є вміст білка 15–16%, що зумовлює підвищену харчову цінність та функціональну активність продукту.

– для сортів кормового напрямку важливим є вміст білка не менше 12–13%, що забезпечує високу поживність і метаболічну цінність кормів. У досліджених сортів (генотипів) виявлено широкий діапазон коливань цього показника, що дозволяє проводити ефективний добір для різних технологічних потреб.

2. Ефективність перетравлювання білка є критичним показником для харчового та кормового напрямів. Серед генотипів ячменю харчового напрямку найвище перетравлювання білка встановлено у сорта ‘Ахіллес’, генотипів ‘Аватар × nudum’, ‘Вікторіана × nudum’ та ‘Шакіра × nudum Водограй’. Для кормових сортів найкращі показники засвоюваності білків виявлено у сортів ‘Селена Стар’, ‘Валькірія’, ‘Скарб Пальміри’ та у низки цінних генотипів.

3. Високе перетравлювання білка корелює з вмістом легкоекстрагованих та низькомолекулярних фракцій білків.

4. Вміст крохмалю в зерні ячменю впливає на пивоварні властивості сортів. Підвищений вміст крохмалю (>58%) сприяє кращому осахарюванню сусла. Найвищі показники крохмалю виявлено у сортів ‘Командор’, ‘Аватар’, ‘Грааль’, ‘Святовит’, ‘09-32-03’.

Сорти та генотипи харчового напрямку характеризуються стабільно високим вмістом крохмалю з підвищеним вмістом амілози (до 46,8%), що підвищує харчову цінність.

5. Одним із факторів пивоварної якості зерна ячменю є активність гідролітичних ферментів (α - та β -амілази). Сорти ‘Командор’, ‘Аватар’, ‘Грааль’, ‘Гермес’, ‘09-74-14’ продемонстрували найвищі рівні активності ферментів.

6. Вміст танінів є обмежувальним фактором для пивоварного ячменю. Найнижчий вміст поліфенолів зареєстровано у сортів 'Командор', 'Аватар', 'Грааль', генотипів '09-74-14', '10-11-03'. 7.β-Глюкани виконують різноспрямовану технологічну та харчову роль.

– У зерні сортів ячменю пивоварного напрямку високий вміст β-глюканів є небажаним через погіршення фільтрації сусла. Найнижчі значення цього показника відзначено у сортів 'Командор', 'Святовит', 'Грааль'.

– У зерні сортів харчового напрямку, навпаки, високий вміст β-глюканів (до 6,5%) є корисним функціональним показником завдяки їхній важливій ролі в регуляції ліпідного та вуглеводного обміну людини.

8. Для зерна ячменю сортів кормового напрямку критичними є вміст клітковини, фітатів та зольність.

Оптимальним вважається вміст клітковини <7% та зольність 2–3%. Досліджені сорти здебільшого відповідали цим нормам, а найнижчий вміст фітатів виявлено у сортів 'Достойний', 'Дев'ятий вал', 'Презент' та низки високопродуктивних генотипів.

9. Дослідження фракційного складу водо-сольових білків зерна ячменю з використанням методу високоефективної рідинної хроматографії дозволило встановити достовірні сортові відмінності за вмістом молекулярних фракцій цих білків, пов'язані з пивоварними властивостями сортів ячменю.

Досліджені сорти та генотипи ячменю демонструють значний потенціал для практичного використання у селекції, харчовому виробництві, пивоварній промисловості та тваринництві. Встановлені закономірності можна використовувати для масової оцінки селекційного матеріалу з метою добору генотипів з підвищеною харчовою та кормовою цінністю.

Представлені результати свідчать, що біохімічні показники зерна ячменю формують його технологічну цінність та визначають придатність до харчового чи кормового використання. Описані біохімічні показники та методи досліджень можуть бути використані для розробки ефективних методів добору вихідного матеріалу та ідентифікації цінних генотипів у селекційному процесі.

SECTION 4. EARTH SCIENCES

DOI: 10.46299/ISG.2025.MONO.AGRO.1.4.1

4.1 Ландшафтно планиране и идентифициране на мерките и факторите за намаляване на риска от наводнения в България

Резюме

Мотив за настоящото изследване е поредното наводнение, отнело няколко човешки живота. Бедствието се случва във ваканционно селище „Елените“ на 3.10.2025 г. Екстремните метеорологични събития все повече ще привличат вниманието, въпреки че те не са единственият фактор, свързан с опустошителните природни явления. Установява се, че антропогенният фактор е с не по-малко значение за неблагоприятните последици. Темата се разглежда в контекста на устройственото планиране и по-конкретно в сферата на ландшафтното устройство. Анализирани са условията и институционалната рамка в България за справяне с наводненията. Идентифицирани са основните фактори, свързани с размера на последиците.

Ключови думи: наводнения, ландшафтен потенциал, антропогенен фактор

4.1.1 Увод

Най-големите наводнения в света се случват основно в регионите на Южна и Източна Азия. Тези региони са изложени на голям риск, поради три причини – гъсто населени райони, в комбинация с големи речни системи (като Яндзъ, Хуанхъ, Ганг и Брахмапутра) и интензивни мусонни климатични условия. Освен природните дадености, сериозен фактор е и човешката дейност, изразяваща се в урбанизация, обезлесяване и разораване на площи за земеделие. Едни от най-смъртоносните наводнения в човешката история са се случили именно в Азия. Най-голямото регистрирано наводнение е това на река Яндзъ в Китай през 1931 г. То засяга една четвърт от населението на страната (Ye, 2016), а загиналите са между един и четири милиона души (стойностите варират в различните

източници). Наводнението на река Хуанхъ в Китай през 1887 г. отнема живота на близо един милиона души, а два милиона остават без дом (Augustyn, 2021).

От ежегодните доклади на Службата за климатични промени „Коперник“ (Copernicus Climate Change Service – C3S) може да се проследи състоянието с наводненията на територията на Европа. През 2023 г. се посочват пет големи наводнения (между които Бурята „Минерва“ в Италия, наводнения в Словения и Гърция), които водят до 44 жертви, а годината завършва с рекордни или почти рекордни нива на големи речни басейни като Рейн и Дунав. Според „Коперник“ през 2024 г. Европа преживява най-широко разпространените наводнения от 2013 г. насам. Обширни части на континента са наводнени, включително Валенсия (Испания) и Централна и Източна Европа (Полша, Чехия, Румъния и др.). От началото на 2025 г. до настоящия момент 53 региона в Европа са пострадали от наводнения, като най-висока цена плащат Средиземноморските държави (Италия).

Ако се разглежда рискът спрямо процентното съотношение на населението на дадена държава, което е изложено на наводнения, челно място заема Нидерландия. Тя е силно застрашена, поради ниското си местоположение под морското равнище и нуждата от отбранителни системи срещу морски и речни наводнения. През 2021 г. циклонът „Бернд“ причинява голяма поредица от наводнения, които засягат тежко Германия и Белгия, както и Нидерландия, Люксембург, Италия, Чехия, Австрия и Румъния. Само щетите в Германия и Белгия са оценени на 44 млрд. евро, с над 200 жертви.

През изминалите няколко години в България също се случват сериозни наводнения, които отнемат живота на десетки души: в Карловско през 2022 г.; в Царево през 2023 г. и 2025 г.; във ВС „Елените“ през 2025 г. Причините са от една страна интензивните валежи, а от друга – незаконни сечи, непочистени дерета, презастрояване. Идентична е ситуацията и с наводненията в гр. Мизия и във Варненския квартал „Аспарухово“ през 2014 г. Те са едни от най-тежките бедствия през последните няколко десетилетия.

Загиналите в наводнението в гр. Мизия са двама, а щетите са за милиони левове – над 1200 къщи и обществени сгради са оставени под вода (включително в с. Крушовица), а повече от 100 постройки са напълно срутени или обявени за негодни. Падналите интензивни валежи в района в периода 31.07.2014 г. до 02.08.2014 г. са със стойности 107 до 114 l/m², но това не е единствената причина. Валежите са паднали върху почви, които вече са били наситени до 98 % от пределната си влагоемност от дъждовете през предходните месеци. Според експертизата, бедствието е било неизбежно и се определя като събитие, което се случва изключително рядко. На лице са три типа наводнение. Бедствието е резултат от едновременно възникване на речно, скатово и наводнение от подземни води, които формират висока вълна. Установено е, че максималното водно количество, което е протекло, е било между 387,5 и 1000 m³/s, докато хидроложката инфраструктура на Мизия може да пропуска само 60 до 90 m³/s. Следователно, състоянието на речното легло не е било от съществено значение за намаляване мащаба на бедствието. Заключение на Прокуратурата през май 2015 г. е, че няма установени виновни длъжностни лица за настъпването на потопа и делото е прекратено.

Жертвите от наводнението в квартал „Аспарухово“ са 13, включително деца, а щетите отново са за милиони левове – напълно разрушена инфраструктура, унищожени над 50 автомобили, множество наводнени и повредени жилища. Падналото количество дъжд за половин час в района е 138,8 l/m². Разследването по случая приключва през 2018 г., а Прокуратурата заключава, че основната и непредотвратима причина за трагедията е екстремалният валеж, а не бездействието или допуснатите нарушения от страна на длъжностни лица.

Макар повечето сериозни наводнения да се случват в рамките на последните 10-11 години, историята помни още едно наводнение на територия на гр. Варна. Това е опустошителното наводнение през 1951 г., този път станало в северната част на града (Кънев, 2024). Специалистите посочват, че това е най-сериозното наводнение в България до момента, в следствие на което са се образували по-голяма част от съществуващите оврази и дерета в района

(Стойков, 1979). На 20 август 1951 г. е регистриран най-големият валеж в страната – 292 l/m^2 паднал само за 9 ч. (Мардиросян, 2020). Щетите са оценени на стойност над 195 млн. лева. За щастие при наводнението няма човешки жертви.

4.1.2 Цел, задачи и методика на изследването

От приложената информация е видно, че наводненията и справянето с тях е твърде актуален проблем, не само в световен аспект, но и за територията на България. **Целта** на настоящото изследване е идентифицирането на уязвимите ландшафти, ландшафтните компоненти и институционалната рамка за намаляване на риска от наводнения. В тази връзка са решени следните **задачи**: приведени са доводите на специалистите и институциите относно причините за трагедията във ВС „Елените“; проучени са планове и мерките в България за справяне с наводненията; посочени са териториите, в които рискът от негативни последици е най-голям; идентифицирани са ландшафтните компоненти, имащи най-голямо значение за размера на наводненията. **Методиката** на изследване включва проучване на наличната нормативна и научна литература, включително експертни анализи и становища на специалисти и институции, отразени в пресата относно най-скоро възникналите инциденти, свързани с темата.

4.1.3 Наводнението при р. Дращела (ВС „Елените“)

В Приложение 1.2.4.1 към *Плана за управление на речните басейни ПУРБ* (2022-2027) на Басейнова дирекция „Черноморски район“ е представен списък на повърхностните водни тела. В него е включена р. Дращела и е записано, че тя продължава „от извора до вливане в Черно море при ВС „Елените“. Уточнено е, че тя спада към речния басейн Севернобургаски реки и по тип принадлежи към „малки и средни черноморски реки“. Уникалният номер на повърхностното водно тяло е BG2SE500R012, а водосборът ѝ обхваща $28,34 \text{ km}^2$, фиг. 1. (Радев, 2025).



Фигура 1. Карта на основните речни басейни в Черноморски район, публикувана в ПУРБ „Черноморски район“ 2022-2027. Река Драцела е оградена с червено (по Радев, 2025)

Наводнението във ваканционното селище „Елените“ се случва на 3 октомври 2025 г. (петък). Бедствието е причинено от изключително интензивни и продължителни проливни дъждове, които падат в района, предизвиквайки прииждане на дерета и потоци, върху чиито корита е имало незаконно строителство. То е част от мащабната вълна от наводнения, ударила Южното Черноморие през същия период. От наличната към момента информация от експертни анализи и становища на учени и специалисти, публикувани в медиите и официални доклади и проверки на институциите (МОСВ, Басейнови дирекции, ДНСК), се изяснява следната картина. Тези източници са единодушни, че

причините за бедствието са комбинирани. Основните причини за наводнението (по данни от експертни анализи) са следните:

1. Изключително интензивни валежи (Природен фактор):

- За кратко време са паднали между 200 и 250 l/m² (в района на Царево дори повече), което е екстремно количество, предизвикващо т.нар. поройни (внезапни) наводнения.

- Този валеж надхвърля капацитета дори на добре изградена инфраструктура.

2. Презастрояване и изменение на ландшафта (Антропогенен фактор):

- Застрояване в заливни зони: Експертите (Белев, 2025) посочват, че сгради, включително в комплекса „Елените“, са изградени върху коритата на реки или т.нар. „сухи дерета“ (потоците Дращела и Козлука).

- Закриване на водни обекти: Често тези потоци са заличавани или заменяни с недостатъчно оразмерени тръби и колектори, които не могат да поемат големия обем вода при проливни дъждове.

- Нарушена проводимост: Отбелязва се, че мостовите съоръжения не са достатъчно добре оразмерени, а под тях минават тръби и кабели, което допълнително пречи на оттичането на водата (Тодоров, 2025).

3. Недостатъчно планиране и контрол (Административен фактор):

- Според някои експерти, при издаването на разрешителните за строеж е било пренебрегнато или неточно отразено наличието на тези водни обекти в кадастралните и устройствените планове (проблемът с „реките, които не са реки“).

- Учените подчертават, че липсва адекватно проучване и изследване на малките водосбори и дерета в района, което прави бедствията „неизбежни“.

Научните анализи, налични в публичното пространство, са единодушни, че наводнението във ВС „Елените“ е класически пример за комбинация от екстремно природно явление и трайни управленски и градоустройствени грешки, довели до значително увеличаване на риска и щетите. В интервю пред БНР арх.

Петър Диков – бивш главен архитект на София и председател на Съюза на архитектите в България, потвърждава тази теза и допълва, че в ОУП се дава цялата картина, а частичните изменения (ПУП) не се съобразяват с нея, което е съществен проблем. Арх. Диков изяснява също, че през 1995 г. с финансиране от Световната банка са направени ОУП на всички черноморски общини, които са в сила от 2007 г. и добавя, че: „тези планове се покриха от общините, защото им пречеха за това, което виждаме сега“ (Диков, 2025).

4.1.4 Територии в България с най-голям риск към наводнения

Най-чувствителните територии към наводнения в България са официално идентифицирани като *Райони със значителен потенциален риск от наводнения* (РЗПРН) в *Плановете за управление на риска от наводнения* (ПУРН) на четирите Басейнови дирекции. Тези райони са най-уязвими както към речни, така и към поройни (дъждовни) наводнения, като най-сериозният риск обикновено е концентриран в няколко основни зони:

1. Черноморски район (Южното и Централното Черноморие)

Това е районът, който през последните години (2014 г. – Аспарухово; 2023 г. – Царево, Ахтопол, Лозенец) доказва, че е изключително чувствителен към внезапни (поройни) наводнения. Причините за това са: къси и стръмни речни корита, които бързо пренасят големи количества вода; бърза урбанизация и застрояване в близост до реките и деретата; малки водосбори с голям интензитет на валежа; запущване на дерета и мостове. Ключовите зони (РЗПРН) са следните:

- Южно Черноморие: Районите около реките Велека, Ропотамо, Дяволска река (Приморско) и реките в Бургаска област (като Айтоска река, Средецка река), както и крайбрежните зони в общините Царево, Приморско, Бургас и Шабла (на север).
- Река Камчия: Участъци по долното течение, както и притоците Луда Камчия и Врана (Търговище, Котел).

2. Долни течения на големите реки в Тракия (Източноромански район)

Това е зоната с най-голям териториален обхват на заливане, характерна за постепенни речни наводнения при топене на снегове или продължителни валежи. Причините за това са: широки заливни равнини; интензивно земеделие; липса на достатъчно ретензионни площи; недостатъчно поддържане на дигите и речните корита. Ключовите зони (РЗПРН) са следните:

- Река Марица: Участъците от Пловдив надолу по течението (Първомай, Димитровград) до Свиленград и Капитан Андреево (особено долното течение, което е най-равнинно).
- Река Тунджа: Районите около Ямбол и Елхово.
- Река Арда: Районите около Кърджали (където рискът често е свързан и с управлението на язовирите).

3. Дунавски район

Рискът тук е двоен – река Дунав и внезапни наводнения от притоците:

- При високи води на Дунав се засягат обширни площи по поречието, особено в крайречните низини на Видинско, Ломско и около Русе.
- Реките, спускащи се от Стара планина към Дунавската равнина (напр. Искър, Огоста, Вит, Янтра, Русенски Лом), имат участъци със значителен риск, особено в долните им течения, където се изливат в равнината. Мизия е класически пример за бедствие, причинено от притоци (р. Скът).

4. Западнобеломорски район

Тук рискът е по-локален, но силен, концентриран около големите реки:

- Река Струма: Участъците около Петрич и Сандански.
- Река Места: Участъците около Гоце Делчев и долното течение.

4.1.5 Приложение на ландшафтноустройствени мерки за превенция на риска от наводнения в България

В България съществуват планове, които по дефиниция включват ландшафтноустройствени мерки, базирани на научния подход, но те са част от по-големи, задължителни програми.

Основният документ, въвеждащ ландшафтното планиране в управлението на риска от наводнения, е *Планът за управление на риска от наводнения* (ПУРН), който се разработва за всеки от четирите басейнови района на България (Дунавски, Черноморски, Източноромански и Западноромански). Към плана е разработена и *Национална методика за картиране на заплахата и риска от наводнения* (актуализирана 2021 г.).

Българските ПУРН се изготвят в изпълнение на *Директива 2007/60/ЕО* на ЕС (*Директивата за наводненията*), която изисква оценка на риска и разработване на мерки. Тези планове изрично включват мерки, които съответстват на международния подход за „**природно-базираните решения**“ (Nature-based Solutions – NbS) и ландшафтно устройство. Фокусът се поставя върху преминаване от чисто инженерни мерки (диги и корекции) към интегрирано планиране на земеползването и прилагане на мерки за контрол на развитието на териториите (Шахънов, 2025). От докладите на Басейновите дирекции се виждат основните ключови мерки, директно свързани с ландшафта, табл. 1.

Научната общност в България активно изследва и популяризира NbS:

- Влажни зони: Налице е *Национален план за опазване на най-значимите влажни зони в България*, който подчертава тяхната роля в управлението на водния цикъл и защита от наводнения. Изследванията на WWF България и други екологични организации предоставят научна обосновка за възстановяването на влажни зони като метод за управление на наводненията (например в районите на р. Дунав).
- Агроресовъдство: В научните публикации се обсъжда прилагането на устойчиви практики в земеделските и горските земи, като агроресовъдството (комбиниране на дървета с култури), за подобряване на водозадържането в почвата и намаляване на ерозията (Burgess, 2018, Сариев, 2020).

Таблица 1. Ключови ландшафтноустройствени мерки в ПУРН

Ландшафтна мярка	Детайли (според плановете)	Роля
Управление на заливните зони	Зониране на територията и регулация на строителството в районите с висок риск от наводнения. Препоръчва се ограничаване на застрояването в заливните равнини.	Регулаторно ландшафтно устройство.
Възстановяване на влажни зони	Мерки за възстановяване и опазване на деградирани влажни зони (като естествени водозадържащи площи), включително по поречието на Дунав и Черноморското крайбрежие.	Възстановяване на екосистеми за водозадържане.
Управление на горските земи	Мерки за контрол на сечите в горските масиви, особено във водосборите на реките, и поддържане на залесяването.	Подобряване на инфилтрацията и забавяне на повърхностния отток.
Реконструкция на речни корита	Въпреки преобладаването на инженерни решения, има мерки за възстановяване на естествената морфология на реките (където е възможно) и опазване на крайречната растителност.	Подобряване на хидравличната проводимост и екологията.

Обобщено може да се каже, че в България не се разработват конкретни проекти с цялостно преустройство на ландшафта, какъвто е напр. планът „**Room for the River**“, разработен за няколко реки в Нидерландия (Rijke et al., 2012). У нас по-скоро се прилагат принципите на ландшафтното устройство чрез ПУРН и *Национални планове за опазване на екосистеми*, базирани на научни изследвания и насоки от ЕС.

4.1.6 Научна литература по темата за наводненията в България

Конкретната научна литература на български учени по темата за ландшафтноустройствено планиране (извън горесцитираните документи) е силно свързана с областите География, Ландшафтна екология и Управление на водните ресурси в контекста на природно-базираните решения. Тъй като темата е по-тясно специализирана, по-често се срещат монографии, дисертации, сборници от научни конференции и статии в специализирани географски или екологични списания.

За територията на България могат да се посочат някои ключови насоки и автори. В края на миналия век, през 1989 г. се разработват *Указания за устройство и използване на територии, на водни течения и оврази при проектирането на малките населени места*. Документът е изготвен към Комплексен научно-изследователски и проектантски институт по териториално устройство, градоустройство и архитектура (КНИПИТУГА) от ландшафтен архитект Димо Петров и колектив. В научната разработка се изяснява връзката между специфичните характеристики на ландшафта и градоустройствените решения, посочват са множество детайли по отношение на ландшафтното устройство на речните долини и водни течения. Обръща се внимание на липсата на основни насоки и указания за перспективното устройство на реки, оврази и други сложни форми, което според авторите „води до работа „на парче“ и „в този смисъл в застроителните планове липсва и регулационно-правна основа за бъдещи мероприятия“ (Петров и колектив, 1989).

По въпросите на ландшафтното планиране като инструмент за управление на околната среда (включително и за намаляване на риска от бедствия) се отличава монографията на доц. д-р Биляна Борисова (СУ „Св. Кл. Охридски“, Геолого-географски факултет) със заглавие *Ландшафтна екология и ландшафтно планиране*. Тази книга изяснява теорията и методологията на ландшафтно-екологичния подход, който е в основата на неструктурните мерки (като правилното земеползване) за справяне с екологични проблеми, включително наводненията (Борисова, 2013).

За управлението на заливните зони и влажните зони се правят редица изследвания, често подкрепяни от неправителствени организации като WWF или Българската академия на науките (БАН). Те се фокусират върху възстановяването на естествените буфери. Едни от водещите автори на подобни изследвания са проф. д-р Асен Недков и доц. д-р Стоян Недков (НИГГГ-БАН). Техни публикации са свързани с картирането и оценката на риска от наводнения в България, като често се анализира влиянието на земеползването (обезлесяване, запечатване на почвите) върху генерирането на отток и честотата на

наводненията. Разработени са и редица изследвания, свързани с *Националния план за опазване на най-значимите влажни зони в България*. Основната насока тук е възстановяване на заливните гори и крайречните ливади по поречието на река Дунав или влажните зони по Черноморието, които действат като естествени „водни гъби“ за поемане на високи води. Изключително ценна разработка по отношение на крайречните гори е книгата *Добри практики при възстановяването на крайречни гори в България* с автор доц. Г. Иванов.

В обобщение научната литература в миналото е била насочена по-скоро към детайлно устройство на водните течения, без да се фокусира върху минимизиране на риска от природни бедствия. Съвременните изследвания са насочени по-конкретно към решаване на сложния проблем с климатичните проблеми и възстановяване на естественото по-устойчиво състояние на крайречния ландшафт.

4.1.7 Ландшафтните компоненти и ролята им по отношение на риска от наводнения

Влиянието на ландшафтните компоненти върху риска от наводнения може да бъде степенувано въз основа на тяхната способност да ускоряват или забавят водния отток и да определят пътя на водата. Степенуването е условно, тъй като всички компоненти работят в синергия. Според относителната им важност с най-силно влияние е релефът, следван от почвеното покритие и геологията, а след тях се нарежда растителността (земеползването).

Релефът е първичният фактор, който определя дали водата ще се натрупа или ще се оттече бързо, табл. 2.

Таблица 2. Влияние на релефа върху наводненията

Компонент	Влияние върху риска от наводнения	Тип на наводнението
Наклонен терен	Директно определя скоростта на повърхностния отток. По-големият наклон води до по-бързо събиране на водата в речните корита.	Внезапни (поройни)
Низина/Заливна равнина	Определя площта на заливане. Ниските, равни зони по поречията на реките (речните тераси) са зоните с най-висок риск от продължително наводнение.	Речни (постепенни)
Форма на водосбора	Определя начина на събиране на валежите. Тесни, стръмни водосбори водят до бърза концентрация на водата.	Внезапни и речни

Специфичният характер на релефа по протежение на водното течение обуславя риска от наводнения в няколко направления:

1. Стръмни склонове и планински райони

- Висок риск от внезапни (поройни) наводнения: В планинските и силно разчленени райони рискът е от внезапни наводнения.
- Механизъм: Големият наклон (градиент) на склоновете ускорява повърхностния отток. Водата се събира изключително бързо в деретата и речните корита, причинявайки рязко и бурно покачване на нивото на водата за кратък период от време.
- Допълнителни опасности: Бързият отток увеличава ерозията и риска от свлачища и свлачищни процеси, които могат да блокират речните корита и да влошат наводнението.

2. Низини и равнини (Речни тераси и заливни зони)

- Висок риск от наводнения: Ниските, плоски терени, особено тези в непосредствена близост до реки (заливни равнини/зони), имат най-висок риск.
- Механизъм: При високи води (от обилни дъждове или снеготопене), водата лесно прелива коритото си и се разлива широко, като може да остане в низините за дълго време.

- Ландшафтно планиране: Това са зоните, които е най-разумно да се оставят за земеделие или да се възстановят като естествени влажни зони, за да поемат излишната вода (концепцията „Room for the River“).

3. Форма и гъстота на речната мрежа

- Водосборни басейни: Формата и размерът на водосборния басейн определят колко вода ще се събере на едно място. Колкото по-голям е басейнът, толкова по-голям е потенциалният обем вода, но при стръмни и къси басейни водата достига долното течение по-бързо.

- Тесни долини (проломи): В местата, където реката протича през тесни проломи (ждрела), водният обем е принуден да се покачи високо, тъй като няма къде да се разлее, което повишава нивото на натиска върху околните склонове и инфраструктура.

Поради тази пряка зависимост, топографските данни (височина, наклон и посока на оттока) са основният вход при разработването на цифрови модели и карти за прогнозиране на риска от наводнения.

На второ място след релефа се нарежда **почвата**. Тя контролира колко вода може да бъде абсорбирана (инфилтрирана) в земята, преди да се превърне в повърхностен отток, табл. 3.

Растителността играе роля на естествен буфер, забавяйки водния отток и подпомагайки инфилтрацията, табл. 4. Установено е, че през последните десетилетия в световен план са унищожени над 50 % от заливните зони и съпътстващата ги растителност, а в Европа и Северна Америка са засегнати около 80 % от тях (Иванов, 2023; Xavrdová et al., 2023). Редуцирането на крайречна растителност способства за удълбочаване на речното корито, което води до понижаване на нивото на подпочвените води в прилежащите територии, а с това и до още по-голям риск от наводнения и порои (Иванов, 2023).

Таблица 3. Влияние на почвите върху наводненията

Компонент	Влияние върху риска от наводнения	Механизъм
Водо-пропускливост (Инфилтрация)	Решаващ фактор. Почви с ниска пропускливост (глинести, пренаситени или замръзнали) не могат да абсорбират вода, което рязко увеличава повърхностния отток и риска от наводнение.	Ускоряване на оттока
Наситеност на почвата	Високата предварителна влажност на почвата (след предишни валежи) драстично увеличава риска, тъй като почвата вече не може да поеме нов обем вода.	Намаляване на абсорбцията
Урбанизация (Запечатване на почвата)	Изграждането на асфалт и бетон превръща земната повърхност в непропусклива, което е най-екстремният случай на ниска инфилтрация и причинява дъждовни (градски) наводнения.	Увеличаване на повърхностния отток

Таблица 4. Влияние на растителността върху наводненията

Компонент	Влияние върху риска от наводнения	Роля
Горско покритие	Намалява риска. Короните на дърветата задържат част от валежа, а кореновата система подобрява структурата и пропускливостта на почвата, което увеличава абсорбцията.	Забавяне и абсорбция
Обезлесяване	Увеличава риска. Води до бърз повърхностен отток, ерозия и бързо натрупване на наноси в речните корита, което намалява техния капацитет.	Ускоряване на оттока
Тревна растителност	Намалява риска в сравнение с гола земя, тъй като забавя оттока и подпомага абсорбцията. Обработваемите земеделски земи са по-уязвими.	Забавяне на оттока

В обобщение релефът и почвената пропускливост са компонентите, които имат най-силно и директно влияние върху формирането на риска, като определят пътя и съдбата на валежите. Растителността и земеползването са силни вторични фактори, които могат значително да смекчат или влошат въздействието на първичните фактори. Ето два примера:

- Една стръмна планинска зона (Релеф) с тънка, глинеста почва (Почва) и обезлесени склонове (Растителност) е рецепта за катастрофално внезапно наводнение.
- Една низина (Релеф) с добре залесени водосбори (Растителност) и пясъчлива почва (Почва) ще има много по-нисък риск.

4.1.8 Заключение

Първичният фактор за наводненията са екстремно високите суми на единични валежи за кратко време. Те не могат да бъдат контролирани, а само отчасти прогнозирани. Главните компоненти на ландшафта, от които зависи до голяма степен риска от наводнения – релефът и почвите, също не могат да бъдат изменяни в общи линии. По отношение на второстепенните фактори, растителното покритие е ключов механизъм, чрез който може да се смекчи разрушителното действие на водата.

Към днешна дата в България не се разработват детайлни ландшафтноустройствени планове, но се прилагат интегрирани програми за контролиране на риска от наводнения (*Директивата за наводненията*), изразяващи се в серия от мерки, свързани с природно-базирани решения. Именно този подход се прилага най-често в страни, силно потърпевши от наводнения.

От изложението е видно, че ландшафтните характеристики не могат да бъдат лесно модифицирани, като заключението след опустошителните наводнения най-често е, че основната причина е от природно естество. Въпреки това, човек може да се замисли върху мащабите на урбанизация и обезлесяване, за да се предотвратят или поне да се смекчат щетите от все по-зачестяващите природни бедствия. Именно антропогенният и административният фактор са променливата в уравнението, която подлежи на корекция.

От направените обобщения и изводи могат да се определят и няколко насоки за бъдещи изследвания:

- Проучване на съвременни ландшафтноустройствени разработки, методи и техники, прилагани в страни, в които наводненията са още по-сериозен проблем.
- Търсене на възможности за изготвяне на детайлни разработки и имплементирането им в Плановите за управление на риска от наводнения, особено що се отнася до териториите с най-голям риск от наводнения.
- Създаване на цифрови модели (напр. с помощта на ГИС и бързоразвиващия се Изкуствен интелект) за характеристиките на основните природни и антропогенни фактори, чрез които по-лесно да се преценява комплексният риск от наводнения.

4.2 Основни методи и концепции в ландшафтното планиране за намаляване на риска от бедствия

Резюме

Въпреки че устройственото планиране е широкообхватна област, твърде често усилията на специалистите са фокусирани върху развитието на урбанизираните територии. Разрастването на градските и индустриални зони става чрез отнемане на природни площи, които по същество са устойчиви екосистеми. Възникналите нарушения и бързи промени във функционалната структура водят до нестабилно състояние на градската среда и прилежащия ландшафт. По този начин се увеличава честотата на екстремните метеорологични явления, а последствията от тях стават по-значими, именно поради нарушение на устойчивото състояние на ландшафта. В търсене на по-интегрирани решения е анализиран чуждестранния опит, особено на страни, подложени много повече на негативното влияние на климатичните промени. Ландшафтното планиране там играе ключова роля в минимизирането на бедствия от природни катаклизми, фокусирайки се, напр. върху интегрирани и природно-базирани решения (Nature-based Solutions - NbS) и прилагането на ландшафтен подход (Landscape Approach). В настоящата статия са анализирани основни методи и стратегии и са посочени някои детайлни разработки и добри практики за намаляване на риска от бедствия.

Ключови думи: бедствия, ландшафтно планиране, интегриран подход

4.2.1 Увод

Промените в климата предизвикват много посоки на мислене що се отнася до осъществяване на различните човешки дейности. Темата засяга, както настоящия момент, така и по-дългосрочни периоди. И колкото по-трудно е да се предвидят определени природни явления, толкова повече се затруднява процеса на социално-икономическото и териториално-пространственото планиране.

Концепциите за справяне с това предизвикателство най-често са свързани с екстраполиране на настоящето и ограничаване на определени дейности с цел минимизиране на негативните последици в бъдеще. Намаляване използването на изкопаеми горива, регулиране на промишлени процеси, контролиране на животновъдството, обезвреждане на отпадъците и промените в земеползването са част от начините за справяне с потенциални проблеми (Book: *Informing an Effective Response to Climate Change*, 2010). Съществуват и други концепции, които се прилагат за ландшафти, устойчиви на наводнения. Те се основават на използването на наративи (narratives) и последващо разработване и обработка на сценарии за всеки (Berg et al., 2024).

4.2.2 Цел, задачи и методика на изследването

Целта на настоящото изследване е идентифициране на актуални методи и стратегии в ландшафтното планиране за намаляване на риска от бедствия. В тази връзка са решени следните **задачи**: идентифицирани са вида и честотата на най-често срещаните бедствия; разгледани са основните ландшафтноустройствени техники и похвати за смекчаване на неблагоприятните последици от климатичните промени; приведени са конкретни ландшафтноустройствени разработки; уточнени са основни ландшафтноархитектурни решения за подобряване на градската среда. **Методиката** на изследване включва проучване на наличната научна литература, включително свързаните с темата приложни разработки и становища на професионалната общност в областта на ландшафта.

4.2.3 Вид и честота на най-често срещаните бедствия

Най-често срещаните природни бедствия в световен мащаб, измерени по честота на възникване, са тези, свързани с водата и атмосферните явления (хидроложки и метеорологични събития). Според данните на международните бази данни за бедствия (като EM-DAT) за последните няколко десетилетия, разпределението по честота е следното:

- **Наводнения:**

- Причина: Обилни валежи, покачване на морското ниво, топене на сняг или скъсване на язовирни стени.

- Дял: Най-честото бедствие, което представлява около 40-45 % от всички регистрирани природни катаклизми.

- Връзка с ландшафтното планиране: Това е бедствието, при което ландшафтното планиране (чрез природно-базирани решения като възстановяване на влажни зони и управление на оттока) има най-пряко и ефективно въздействие.

- **Бури:**

- Причина: Тропически циклони (урагани/тайфуни), торнада, силни ветрове, градушки и гръмотевични бури.

- Дял: Второто най-често срещано бедствие, с дял от около 25-30 % от всички събития.

- Връзка с ландшафтното планиране: Фокусът е върху създаването на буферни зони (напр. крайбрежна растителност срещу морски бури) и устойчивост на инфраструктурата.

- **Земетресения и геофизични събития:**

- Причина: Движение на тектоничните плочи, вулканична дейност.

- Дял: Въпреки че са изключително разрушителни, те са значително по-редки от наводненията и бурите, с дял около 7-8 %.

Важно е да се отбележи, че през последните 20 години се наблюдава почти двойно увеличение на общия брой природни бедствия, като това се свързва основно с климатичните изменения (Valavanidis, 2024). Данните са от Доклада „Човешката цена на бедствията 2000-2019“ на Службата на ООН за намаляване на риска от бедствия, публикуван през октомври 2020 г. (базиран на данни от Центъра за изследване на епидемиологията на бедствията (CRED) към Университета в Льовен, Белгия). Най-голям ръст в честотата и интензивността

отбелязват: екстремни температури (топлинни вълни и студени вълни); суши и горски пожари (които са пряко свързани с високите температури). Тези промени изискват и по-задълбочени изследвания върху адаптацията на основни тревисти (Маринова, 2016) и дървесни (Tóth et al., 2023) видове, които могат да се използват в методите, описани по-долу.

Фактът, че наводненията и бурите са най-честите бедствия, потвърждава акцента в научната литература върху методите за управление на водата и природно-базираните решения (NbS), които са сърцевината на модерното ландшафтно планиране за намаляване на риска от бедствия.

Към увеличаващата се честота на наводненията трябва да се добави и нецелесъобразната човешка дейност в крайречните територии, изразяваща се в неправилно планиране и администриране на строителството (Шахънов, 2025). Антропогенният фактор увеличава значително рискът за населението и размерът на щетите. Установено е, че 50 % от заливните зони са унищожени в световен мащаб, а за Европа и Северна Америка цифрата клони към 80 % (Иванов, 2023; Xavrdová et al., 2023).

4.2.4 Обзор на основни направления и методи в ландшафтното планиране

В контекста на увеличаващите се природни бедствия могат да се очертаят няколко направления, намиращи широко приложение в ландшафтното планиране през последните десетилетия. Те са разделени в следните групи: Природно-базирани решения (NbS); Ландшафтен подход (Landscape Approach); Планиране на използването на земята (Land-Use Planning); Технологии и аналитични инструменти.

Природно-базираните решения са сред най-ефективните методи, подчертавани в съвременната литература. Водещият орган, който разработва и дефинира концепцията е Международната организация за опазване на природата (IUCN), която предоставя глобална стандартизирана дефиниция за NbS и изготвя методологически насоки за тяхното прилагане. Подчертава се, че NbS (като

възстановяване на влажни зони, залесяване и зелена инфраструктура) са едновременно ефективни за смекчаване на климатичните промени, намаляване на риска от бедствия и подобряване на биоразнообразието. Те работят със, а не срещу природата, за да намалят въздействието на бедствията и да възстановят екологичните и хидроложките функции.

Природно-базираните решения имат и институционална подкрепа в лицето на Европейска комисия, ООН и Световната банка. Европейският съюз е основен двигател в прилагането на NbS, особено в контекста на градското планиране и управлението на водите. Използването им се подкрепя чрез различни инициативни (напр. *Програма „Хоризонт Европа“*). Техническите доклади и политическите документи на ЕС (включително *Директивата за наводненията*) утвърждават NbS като предпочитани и задължителни мерки за справяне с наводненията и градския топлинен остров. Докладите на ООН (напр. от UNDRR) и Световната банка популяризират NbS като рентабилен и устойчив подход за развитие. Сравнението на разходите и ползите от „сивата“ (инженерна) инфраструктура спрямо „зелената“ (NbS) показват, че зелените решения често осигуряват по-висока възвръщаемост на инвестициите поради допълнителните екологични ползи.

Освен описаните ползи, някои автори посочват и известни ограничения при прилагането на NbS. Между тях са: трудност при прогнозиране на тяхната ефективност; лоши финансови модели, водещи до недостатъчни инвестиции в тях; негъвкави и силно сепарирани форми на управление, пречещи на приложението им (Seddon et al., 2020). В изследването се посочва, че преодоляването на подобни предизвикателства може да стане чрез сериозни системни промени в начина на провеждане и комуникиране на интердисциплинарните изследвания, както и в начина на работа и управление на отделните институции. Други автори също застъпват тезата за мултидисциплинарни анализи и обосновани решения (Михайлов, 2019).

Природно-базираните решения са фокусирани в следните направления:

- Управление на наводнения:

- Възстановяване и създаване на влажни зони: Влажните зони действат като естествени гъби, които абсорбират и задържат излишната вода по време на проливни дъждове, намалявайки риска от наводнения надолу по течението.

- Възстановяване на крайречна растителност и речни корита: Повторното залесяване на бреговете на реките и свързването им с техните заливни тераси забавя водния поток и увеличава капацитета за поемане на вода (Иванов, 2023).

- Прилагане на елементи с ниско въздействие върху развитието в градска среда: Включването на зелени покриви, пропускливи настилки, дъждовни градини и био-отводнителни системи, които имитират естествения дренаж и намаляват повърхностния отток.

- Управление на горски и селскостопански земи:

- Залесяване и опазване на горските екосистеми: Горите са критични за управлението на водния цикъл. Те увеличават задържането на вода в почвата, предотвратяват ерозията и свлачищата.

- Агролесовъдство: Комбинирането на дървета с култури или пасища подобрява структурата на почвата, задържането на вода и предотвратява ерозията (Burgess, 2018, Сариев, 2020).

- Устойчиво управление на почвите: Мерки за опазване и възстановяване на почвеното плодородие и функции, което е ключово за предотвратяване деградацията на земята и свлачищата.

- Крайбрежна защита (срещу цунами и бури):

- Създаване на Буферни Зони с Растителност: Използване на мангрови гори, морски борове и друга устойчива растителност по крайбрежието като естествена бариера за намаляване на силата на вълните и ерозията.

Второто направление се свързва с **Ландшафтния подход**. Това е интердисциплинарен, междусекторен и холистичен подход, използван в различни направления, напр. за стратегическо многофункционално развитие на териториите (AlJammal, 2021). Той набира популярност и за ефективно

намаляване на риска от бедствия. Според него, след като причините и последиците от бедствията възникват в мащаба на басейна или ландшафта, това налага сътрудничество между всички заинтересовани страни (Sayer et al., 2013). По същество представлява интегрирано планиране – свързване на физическите, биологичните и социално-икономическите аспекти на даден ландшафт. В тази връзка оценката на риска в ландшафтен мащаб включва разбиране на хидрологията, почвените свойства и екологичните характеристики (Гео-екологичен слой), както и уязвимостта на общностите и инфраструктурата (Социално-икономически слой).

Пространствените концепции, свързани с Ландшафтния подход се изразяват в създаване на свързани мрежи от природни територии (коридори, площи), които имат ниска интензивност на ползване, като в „междините“ на тази мрежа се допуска развитие на територии с висока интензивност (урбанизация, интензивно земеделие) (Opdam et al., 2006).

Планиране на използването на земята е третият проактивен инструмент, използван в ландшафтното планиране. Той се използва за намаляване на риска от бедствия, като се прилагат следните стратегии:

- Зониране и регулиране: Ограничаване на развитието в зони с висок риск – заливни тераси, зони с опасност от свлачища, крайбрежни буферни зони.
- Включване на принципи на устойчивост и устойчивост на риска в градското планиране: Изискване за укрепване на инфраструктурата и прилагане на строителни стандарти, които правят конструкциите „устойчиви на опасности“ (напр. сеизмични норми).
- Превантивно преместване и повишаване нивото на инфраструктурата: Планиране за преместване на критична инфраструктура или повишаване на нейното ниво в зони, податливи на наводнения.

Четвъртото направление се свързва с **технологиите и аналитичните инструменти**, които са неразделна част от съвременното ландшафтно планиране

за управление на риска от природни бедствия. С най-голяма полза са следните инструменти:

- Географски информационни системи (GIS): GIS е основен инструмент за създаване на карти на опасностите (наводнения и др.), комбинирайки данни за природните и антропогенни компоненти. Това подпомага пространствения анализ и вземането на решения (Malinova, 2017).
- Дистанционно засичане и предиктивно моделиране: Използването на тези методи за подобряване на системите за ранно предупреждение, оценка на риска и симулация на различни сценарии за управление на бедствия.
- Изкуствен интелект (AI) и по-специално машинно обучение (Machine Learning – ML): Това е най-съвременният и бързо развиващ се аналитичен инструмент в областта на ландшафтното планиране, особено що се отнася до управлението на риска от природни бедствия (Valavanidis, 2024).

В съвременното планиране, AI не просто допълва, а революционизира начина, по който се използват традиционните данни от ГИС и дистанционното засичане. AI и ML се използват за справяне с най-големите предизвикателства на традиционното ландшафтно планиране – скоростта, обемът на данните и сложността на моделирането. Ето в какво се изразява тяхната функционалност, съгласно генерираната от Gemini (езиков модел на Google) информация:

- Прецизно картографиране и класификация на ландшафта
 - Идентификация на рискови зони: ML алгоритмите (напр. Random Forest или Support Vector Machines) могат да анализират едновременно огромни набори от пространствени данни (сателитни снимки, LiDAR данни, топография, данни за почвено покритие) много по-бързо от традиционните методи.
 - Приложение: AI се използва за автоматично картографиране на промените в земното покритие (обезлесяване, урбанизация), което е ключово за актуализиране на моделите за наводнения и свлачища.
- Подобро предиктивно моделиране

- Моделиране на наводнения: Невронните мрежи и дълбокото обучение (Deep Learning) могат да се обучат на исторически данни за валежи, нива на реки и карти на заливания.

- Приложение: AI може да прогнозира с висока точност къде и кога ще се случи наводнение при различни климатични сценарии, като надхвърля линейните ограничения на традиционните хидроложки модели. Това подпомага планирането на превантивни мерки и системите за ранно предупреждение.

- Оптимизация на ландшафтното устройство

- Оценка на ефективността на NbS: AI може да симулира и да оптимизира разположението на природно-базираните решения.

- Приложение: Чрез симулации, AI помага на планиращите да определят идеалното местоположение за възстановяване на влажни зони, засаждане на буферни горски пояси или изграждане на зелена инфраструктура в градовете, за да се постигне максимално намаляване на оттока при минимални разходи.

- Автоматизирано вземане на решения

- „Умни“ ПУРН: В бъдеще AI ще може да анализира предложения за нови строителни обекти и автоматично да оценява тяхното въздействие върху локалния воден отток и риска от наводнения, сравнявайки ги с нормите за устойчивост.

- По този начин AI се превръща в критичен компонент, който свързва сложните климатични и географски данни с практическото и адаптивно ландшафтно планиране.

В обобщение, литературата подчертава многоизмерния характер на смекчаването на природните бедствия, изисквайки интегрирани подходи, които съчетават техническа експертиза, NbS, съвременни технологии и алгоритми, пространствено планиране и активно ангажиране на общността.

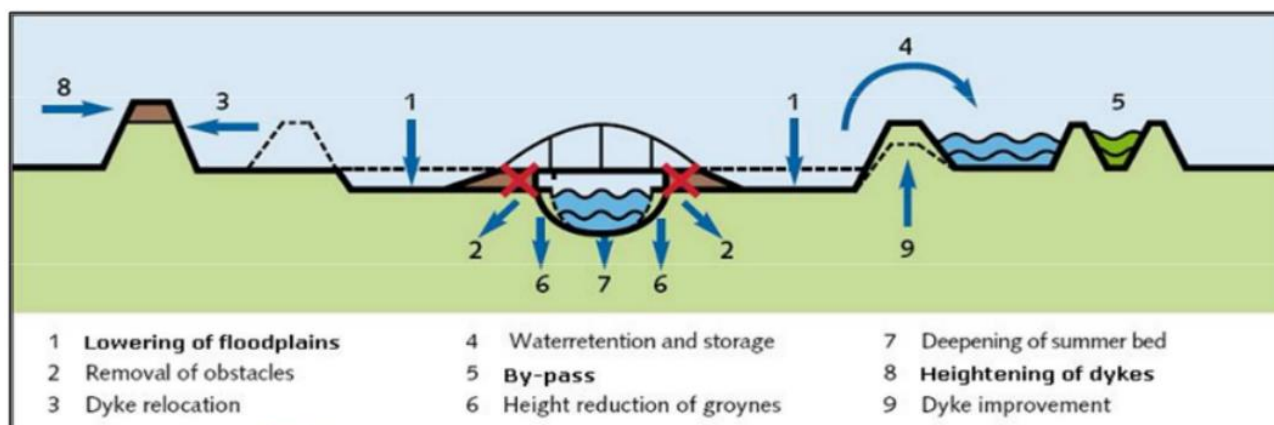
4.2.5 Популярни ландшафтноустройствени концепции и детайлни разработки

Най-влиятелните ландшафтноустройствени планове за справяне с наводненията са тези, които преминават от традиционния подход на „защита срещу“ наводнения към „съжителство с“ водата, давайки повече пространство на реката (Serra-Llobet et al., 2021). Някои от най-известните концепции в световен мащаб, конкретизиращи гореспоменатите направления и методи, които могат да се използват за примерен модел са:

- „Room for the River“ (Място за реката)
- „Working with Nature“ (Работа с природата)
- Интегрирано планиране на водосборните басейни
- Специфични разработки за крайбрежни зони
- Детайлни ландшафтноустройствени планове

„Room for the River“ е може би най-известният и мащабен пример за интегрирано ландшафтно планиране на стойност 2,2 млрд. евро. Планът играе важна роля в прехода към интегрирано управление на речните басейни в Нидерландия чрез практическо прилагане на стратегическата политическа визия за интегрирано управление на водите (Rijke et al., 2012). Илюстрация на предвижданията на плана е дадена на фиг. 1. Основни характеристики и мерки на плана са синтезирани в табл. 1.

Планът се появява в отговор на повишения риск от наводнения (особено след наводненията през 1993 г. и 1995 г.). Той стартира през 2007 г. и е с продължителност до 2022 г. по данни от главната страница на програмата (<https://www.dutchwatersector.com>, 2019). В планът са включени над 30 проекта и са обхванати четири реки. Мерките са свързани с осигуряване на безопасно пространство за разливане на реките и успоредно с това е предвидено подобряване качеството на прилежащите територии.



Фигура 1. Мерки, които се прилагат в „Room for the River“ (по Rijke et al., 2012)

Таблица 1. Планът „Room for the River“

Характеристика	Описание	Ландшафтна мярка
Основна идея	Вместо само да се повдигат и укрепват дигите, се дава повече пространство на реката, за да може безопасно да поема по-големи водни обеми.	Пространствено планиране
Ключови мерки	* Изместване на диги: Дигите се преместват по-навътре в сушата, като се разширява заливната равнина. * Понижаване на заливната равнина: Изкопава се материал в речните тераси, за да се увеличи капацитетът за поемане на вода. * Създаване на обходни канали (байпаси): Изграждат се нови канали, отклоняващи част от водите при критични нива (напр. "Зелен канал" при Везен-Вапенвелд). * Премахване на препятствия: Понижаване на прагове и премахване на излишни конструкции в коритото.	Управление на заливните зони
Резултат	Постигане на по-висока степен на защита от наводнения, съчетано с подобряване на качеството на ландшафта, екологията и зоните за отдих.	Интегрирано развитие

В отговор на изменението на климата и бъдещите нужди за управление на водите, през настоящата 2025 г. правителството на Нидерландия планира продължение на инициативата „Room for the River“ като се стреми да запази и подобри ключови функции на реките като оттичане на водата, корабоплаване, наличност на прясна вода и снабдяване с питейна вода, екологична среда, качествено икономическо и пространствено планиране.

„**Working with Nature**“ (WwN) е обща стратегия и друг подход, възприет от много страни, който се фокусира върху природно-базираните решения, като пряка алтернатива или допълнение към "сивата" (инженерната) инфраструктура (диги, язовири), табл. 2. Този подход е застъпен както в Европа, така и в Обединеното Кралство и САЩ. Великобритания прилага активно WwN чрез концепцията за Управление на Наводненията и Оттока, базирано на Ландшафта (Catchment-based Flood Management). В САЩ той е възприет, макар и често под различни термини, като „Зелена инфраструктура“ (Green Infrastructure) и „Естествени и Природни мерки“ (Natural and Nature-Based Features - NNBf).

Таблица 2. Подходът „Working with Nature“

Характеристика	Описание	Ландшафтна мярка
Основна идея	Използване и възстановяване на естествените процеси и елементи на ландшафта за намаляване на риска.	Екологично инженерство
Ключови мерки	* Възстановяване на влажни зони и блатата: Те действат като естествени гъби, които абсорбират и задържат огромни количества вода. * Залесяване на горните течения: Горите забавят оттока, подобряват инфилтрацията и намаляват ерозията. * Създаване на "Зелена инфраструктура" в градовете: Паркове, зелени покриви, пропускливи настилки, които управляват дъждовната вода директно на мястото, където е паднала.	Възстановяване на екосистеми

Моделът **Интегрирано планиране на водосборните басейни** се прилага в голяма част от Европа. В България той също се използва чрез разработване на *Планове за управление на риска от наводнения* (ПУРН). Този подход разглежда реката като част от целия басейн – от извора до устието, табл. 3.

Таблица 3.

Модел Интегрирано планиране на водосборните басейни

Характеристика	Описание	Ландшафтна мярка
Основна идея	Управлението на риска от наводнения трябва да обхваща не само застрашените зони, но и цялата територия, която допринася за формирането на оттока.	Басейново управление
Ключови мерки	* Зониране на риска (Flood Zoning): Регулиране на строителството и земеползването в зоните с висок риск, като се забранява или ограничава застрояването в заливните равнини. * Компенсаторно водозадържане: Идентифициране на селскостопански площи, които могат временно да бъдат наводнени контролирано, за да се защитят населените места надолу по течението.	Регулация и контрол

Освен общоприложими концепции, за определени територии се налага използването и на индивидуални решения. Такива са например **Специфичните разработки за крайбрежни зони**. В райони, където има риск от морски наводнения (бури и покачване на морското равнище), се прилагат по-специфични ландшафтни мерки. В САЩ се реализират едни от най-мащабните проекти за крайбрежна защита. Там се разработват Програмите за „Живи брегови линии“ (Living Shorelines), които заместват бетонни и стоманени конструкции. Те включват възстановяване на солени блата и изграждане на рифове от стриди и миди за смекчаване на вълните и контрол на ерозията.

Страни от Югоизточна Азия (Виетнам, Индонезия, Филипините) са силно уязвими към тайфуни, цунамита и покачване на морското равнище. Там се разработват мащабни програми за възстановяване на мангровите гори. Те са изключително ефективни срещу буреносни вълни и ерозия.

В Австралия и Нова Зеландия се осъществяват разработки, фокусирани върху екосистемното инженерство в градските крайбрежни райони. Предвиждат се проекти за „зелени“ пристанища и кейове, които използват специални материали (напр. био-блокове) за насърчаване на растежа на местни видове морски организми (като миди и стриди) върху изкуствени структури,

подобрявайки качеството на водата и биоразнообразието в градските водни пространства.

В Обединеното Кралство, по източното крайбрежие, се реализира разработката Управлявано Отстъпление (Managed Realignment). Планирано е целенасочено преместване на диги навътре, за да се позволи на морската вода да залее ниско разположени зони и да възстанови естествените приливни блата. Това създава буферна зона срещу високите приливи и бури, като същевременно възстановява ценни екосистеми.

Най-известният пример в Нидерландия е проектът Sand Motor – изкуствено създаден голям полумесец от пясък, който позволява на естествените течения и вълни да разпределят пясъка по брега с течение на времето. Това е дългосрочно, самоподдържащо се решение за подхранване на плажовете и укрепване на дюните.

За територията в България е проведено експериментално изследване за Черноморския бряг, което доказва повишаване устойчивостта на брега и дюните срещу ерозия и наводнения в следствие използването на местни, устойчиви на сол растителни видове (Вергиев, 2024).

Описаните концепции и модели демонстрират съвременния подход, при който ландшафтното устройство се превръща в основен инструмент за превенция, а не само за реакция, като се работи с природата, а не срещу нея. Плановете, насочени към управление на наводненията, стават детайлни, когато преминават от общата стратегия към специфични инженерни, екологични и регулаторни мерки за даден речен участък или град. По-долу са посочени няколко примерни детайлни планове, които показват прехода от мащабни инженерни проекти към фино, локално управление на ландшафта и водата.

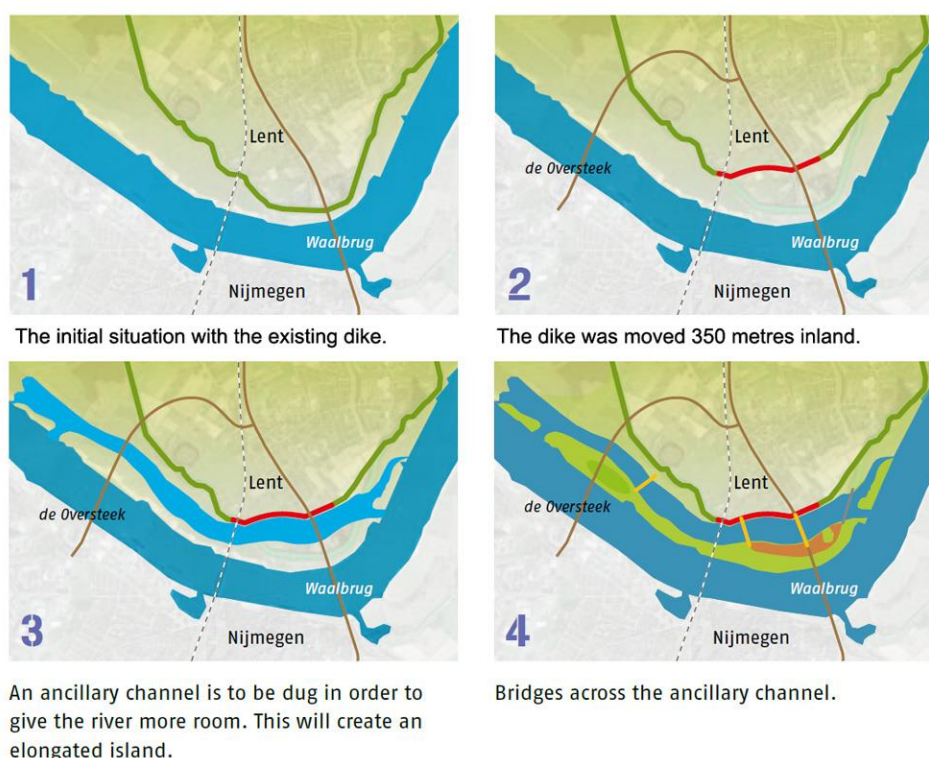
1. Детайлен план: Река Ваал при Наймеген (Nijmegen), Нидерландия.

Той е част от програмата „Room for the River“. Планът е един от най-сложните и награждавани проекти в рамките на цялата програма, тъй като съчетава речна защита с градско развитие. Чрез изместване на дигата се създава

допълнителен канал, а между него и реката се оформя остров с парк, фиг. 2. и фиг. 3. Речният парк е акцентът в иновативния метод за защита от наводнения. Проектирането е съобразено с динамиката на речните води, процесът на ерозия и седиментация, както и с приливите и отливите. Новият парк е свободно достъпен и интегрира археологически и исторически елементи в дизайна. Иновативният дизайн на парка позволява пространството да се използва по различни начини, включително за провеждане на събития и изложби, подчертават авторите му (<https://hnsland.nl>).



Фигура 2. Изглед „преди“ и „след“ изграждането на канала и парка
(Източник: <https://hnsland.nl/en/projects/room-river-nijmegen/>)



Фигура 3. Стъпки и последователност на ландшафтноустройствените решения (Източник: <https://bicycledutch.wordpress.com>)

В табл. 4. са описани основните ландшафтноустройствени решения и ползи от реализацията на проекта при р. Ваал. Този сложен и скъп инженерен проект, чрез който се изменя облика на засегнатата територия, всъщност способства за намаляване на очакваните високи води с едва 35 cm, но това е достатъчно, за да се минимизира рискът от наводнения (River Waal analysis, 2017).

Таблица 4. Предвиждания на плана при река Ваал

Ландшафтен Компонент	Детайлно ландшафтно устройство	Хидравличен Ефект
Изместване на диги	Преместване на дигата на село Лент (Lent) с 350 метра навътре в сушата.	Осигурява място за ново корито на реката и увеличава капацитета на реката с около 1/3.
Изграждане на обходен канал	Изкопаване на спомагателен канал с дължина 1700 метра, успоредно на основното корито на Ваал.	Позволява на една трета от водния обем да тече през новия канал при високи води, намалявайки водното ниво с около 30 cm в критичната точка.
Създаване на остров	Изкопаването на спомагателния канал води до създаването на нов градски остров (Валдайленд – Veur-Lent).	Интегриране на паркове, зони за отдих, жилищни сгради (построени на високи нива) и нова инфраструктура (мостове) в новата заливна зона.
Понижаване на заливната равнина	Изкопни работи по старата заливна равнина.	Увеличаване на общия хидравличен капацитет и намаляване на риска от ерозия.

2. Детайлен план: Управление на крайречни залесителни пояси

Това е план, който се прилага в басейновите дирекции за управление на крайречната растителност по света – ключов елемент в ландшафта, който влияе върху наводненията, табл. 5. За изграждането, поддържането и възстановяването на крайречна горска растителност са налице множество законови разпоредби и стратегически документи. Крайречните гори са защитени и по силата на различни стандарти и директиви (Иванов, 2023). В научния труд *Добри практики при възстановяването на крайречни гори в България* доц. Иванов посочва редица проекти и реализации по възстановяване на крайречните гори, финансирани от държавата, по ОП „Околна среда“ или от WWF България. Дейностите обхващат реките Дунав, Искър, Вит, Осъм, Янтра, Камчия, Струма, Места, Марица,

Тунджа. Осъществени са много теренни изследвания с пробни площи, както и няколко визуални оценки. Авторът обобщава, че в периода от 1950 г. до момента в България са създадени над 877 ha крайречни залесявания.

Таблица 5. Планове за управление на крайречните залесителни пояси

Ландшафтен Компонент	Детайлно ландшафтно устройство	Екологичен / Хидравличен Ефект
Залесяване и състав	Засаждане на хигрофитна (влаголюбива) растителност (върби, тополи, ясени) по бреговете на реките и в заливните тераси.	Кореновата система стабилизира бреговете, намалява ерозията и филтрира водата.
Управление на сечищата	Строга забрана за изсичане на естествената дървесна растителност в крайречните защитни пояси (обикновено 5-10 метра от ръба на коритото).	Предотвратява бързото оттичане на водата и навлизането на наноси в реката.
Почистване на коритата	Редовно отстраняване на излишните наноси и храстовидна растителност от самото корито, извън екологично ценните зони.	Подобряване на хидравличната проводимост (пропускливостта) на речното корито, за да може то да поеме максимално водно количество.

3. Детайлен план: Зелена инфраструктура в градовете (напр. Чикаго, САЩ или Копенхаген, Дания)

В градска среда, където почвата е „запечатана“ с бетон, ландшафтното устройство се фокусира върху управлението на дъждовната вода, за да се предотвратят дъждовни (градски) наводнения, табл. 6. Все повече се подчертава нуждата от внедряването на климатичната информация във вземането на решения за градското планиране (Isa, Salleh, Wan Mohd, Chan, 2018). Причината е в доказването на връзката между бързата урбанизация, отделяща малко внимание към условията на градския климат и негативни последици като градски топлинни острови, замърсяване на въздуха и внезапни наводнения (McCarthy, Best, Betts, 2010).

Таблица 6. Методи на Зелената инфраструктура за подобряване на урбанизираните територии

Ландшафтен Компонент	Детайлно ландшафтно устройство	Хидравличен Ефект
"Дъждовни градини"	Изграждане на вдлъбнати зони (градини) в паркове и покрай улици, засадени с местна растителност.	Задържат и филтрират повърхностния отток от улиците, позволявайки му да се инфилтрира бавно в почвата, вместо да претоварва канализационната система.
Зелени покриви	Покриване на сгради с растителност и специален почвен субстрат.	Задържат до 50-90 % от валежа, преди той да достигне земята и да се превърне в отток.
Пропускливи настилки	Използване на специални порести материали (плочки, асфалт) за паркинги и тротоари.	Позволяват на водата да преминава директно през настилката и да се абсорбира от подпочвата.

През 2007 г. темата "Ландшафтът като отговор на глобалното затопляне" е в центъра на Световния конгрес на Международната федерация на ландшафтните архитекти (IFLA) в Куала Лумпур, Малайзия. Събитието събра ландшафтни архитекти и специалисти от свързани области, за да обсъдят как ландшафтният дизайн може да се бори и да смекчи последиците от изменението на климата. Това е особено належащ проблем в тропическите, бързо урбанизиращи се градове като Куала Лумпур.

Сред основните обсъждани въпроси и стратегии са:

- Смекчаване на ефекта на градския топлинен остров: Ландшафтните архитекти се фокусираха върху стратегии за охлаждане на градската среда. В Куала Лумпур бързата урбанизация е засилила ефекта на градския топлинен остров, при който градовете изпитват по-високи температури от околните селски райони. Обсъжданите техники за противодействие на този ефект включват увеличаване на зелените площи, създаване на сянка с помощта на дървета и насърчаване на охлаждането чрез изпаряване.
- Управление на засиления интензитет на наводненията: С глобалното затопляне, което води до по-екстремни метеорологични явления, включително интензивни валежи, Куала Лумпур е изправен пред чести наводнения.

Ландшафтният дизайн предлага решения за по-добро управление на дъждовните води, като например използването на пропускливи настилки, изграждане на дъждовни градини и проектиране на паркове, които да абсорбират и забавят оттичането на дъждовната вода.

- Управление на водните ресурси: Урбанизацията и изменението на климата оказват натиск върху водоснабдяването. Дискусиите наблегнаха на това как ландшафтната архитектура може да намали зависимостта от питейна вода за напояване, като се използват по-устойчиви и ефективни методи за ползване на водата.

- Защита на биологичното разнообразие: С разрастването на урбанизацията, естествените местообитания са застрашени. Ландшафтните архитекти разгледаха как работата им може да допринесе за разнообразието на местообитанията и опазването им, дори и в условията на урбанизирана среда.

- Обществена осведоменост и участие: Участниците установиха необходимостта от включване на обществеността в адаптирането и смекчаването на последиците от изменението на климата. Инициативите за насърчаване на образованието и осведомеността по въпросите на климата бяха определени като важни за постигане на по-широко обществено участие.

- Сътрудничество със сродни професии: IFLA подчерта необходимостта от сътрудничество с архитекти, инженери и политици. В Куала Лумпур например интелигентните стратегии за сградите, като тези, които използват техники за пасивно охлаждане, допълват ландшафтния дизайн.

Конференцията през 2007 г. е важно събитие за повишаване на авторитета на ландшафтната архитектура в борбата с изменението на климата. Тя набляга на ролята на дизайна не само в създаването на визуално привлекателни пространства, но и в предоставянето на функционални, устойчиви решения на належащи екологични проблеми.

4.2.6 Заключение

От направеното изложение става ясно, че зелените решения не са просто модерни и естетически приемливи концепции, не са и инструмент в ръцете на местни и държавни власти, използвани за политически цели. В условията на климатични промени и нестабилни социално-икономически и обществени взаимоотношения, по-широкият ландшафтен поглед е незаменим подход към удовлетворяване „капризите на природата“ и коригиране „слабостите на обществото“. За приложението им обаче се изискват промени в начина на мислене и преодоляването на границите между различните институции, защото положителен ефект може да има единствено при системен, интегриран подход.

Ландшафтноустройствените планове не се фокусират върху решаване на единични устройствени казуси с ограничен пространствено-териториален обхват или обвързани с конкретна функционална система, напр. земеделска, горскостопанска или селищна. Те се развиват като интегрирани програми за:

- управление на водите и риска от наводнения;
- съхранение на биоразнообразието в условията на променящи се растежни условия и заплахата от инвазивни видове;
- усъвършенстване на земеделските практики при прогнозирано намаляване на водните ресурси;
- създаване на качествена жизнена среда и пълноценни условия за труд и за отдих и контакт на хората с естествената природна среда;
- съхранение на културното и природното богатство.

Успешно реализирани са множество концепции и детайлни ландшафтноустройствени разработки (някои от които представени в изложението), които, отчитайки голямата картина и многоизмерност на ситуацията, създават стабилна и устойчива среда. В основата на новите ландшафти като респектиращ и движещ фактор стоят естествените процеси, а като съпътстващи инструменти се внедряват новите технологии и инженерни решения, гарантиращи единство и хармонично развитие на системата.

Във връзка с направените изводи се открояват и насоки за последващи разработки, а именно към използване на чуждестранния опит, не само по отношение на общите концепции, които са залегнали в държавните политики, но и за прилагане на детайлни ландшафтноустройствени планове за условията на България, като се идентифицират проблемни зони и територии, сходни с тези в чужбина. Използваните в текста и цитирани по-долу научни публикации и източници, от своя страна, могат да послужат като основа за допълнителни изследвания по темата, за изясняване на въпроси, тангиращи с нея и не на последно място могат да се използват за създаване на актуални учебни пособия в помощ на обучаващите се студенти в направления, свързани с планирането, ландшафта, екологията и геоинженерството.

SECTION 5. ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGIES

DOI: 10.46299/ISG.2025.MONO.AGRO.1.5.1

5.1 Комплексний аналіз та прогнозування обсягів накопичених відходів в Україні: вплив інвестиційних і технологічних чинників

Постановка проблеми. В Україні щороку утворюється значний обсяг твердих побутових відходів – близько 48 млн м³, причому 94% із них і досі захоронюються на понад 6000 сміттєзвалищах, більшість з яких працюють без належної обробки та перевантажені понад свої можливі проєктні потужності. За офіційними та аналітичними оцінками, обсяги відходів в Україні залишаються значними, щорічне накопичення мільйонів тон побутових і промислових відходів створює довгострокові ризики для ґрунтів, підземних вод та здоров'я населення, а частка рециклінгу та безпечних технологій поводження є досить низькою.

У відповідь на критичний стан сфери управління відходами уряд за підтримки міжнародних партнерів, зокрема GIZ та ЄБРР, розробив Національну стратегію управління відходами до 2030 року. Цей документ визначає пріоритети щодо запобігання утворенню відходів, їх переробки, зменшення обсягів захоронення та розподілу повноважень між державними і місцевими органами влади відповідно до вимог ЄС. У контексті необхідності скорочення відходів, що підлягають захороненню, особливо гостро постає потреба модернізації інфраструктури, адже в країні фактично функціонує лише один сміттєспалювальний завод «Енергія». Україна розраховує на зовнішню підтримку для розвитку сучасних рішень, зокрема будівництва заводів з виробництва енергії з відходів [111].

Особливу складність становить просторово-неоднорідний характер генерації відходів: індустріально розвинені регіони (зокрема Дніпропетровська область, де концентрується важка промисловість) формують великі потоки промислових і змішаних відходів, які мають іншу морфологію та екологічну небезпеку порівняно з типовими міськими ТПВ. Це викликає значну

диспропорцію в навантаженні на полігони, інфраструктуру збору та системи переробки [112].

Починаючи з 2022 року додатковим і критичним чинником стала повномасштабна війна на території України: руйнування житлової та промислової інфраструктури, поява великих обсягів будівельних та небезпечних уламкових відходів, масове внутрішнє переміщення населення та ускладнення логістики поводження з відходами кардинально змінили їхні потоки і створили нові екологічні ризики. Через це традиційні моделі прогнозування та управління відходами вимагають перегляду з урахуванням воєнних, демографічних та економічних викликів [113].

Стан управління відходами в Україні характеризується низькими показниками переробки та значними масштабами накопичення. Лише близько 6% від загального обсягу утворених щороку майже 400 млн тон відходів проходять процеси переробки, що в кілька разів менше за середні показники країн ЄС. Додаткове зростання обсягів відходів у 2022 році, спричинене руйнуванням інфраструктури внаслідок війни, посилило дефіцит технологічних можливостей [114].

Глобальні тенденції свідчать про важливість економічного сектору управління відходами, особливо сегмента переробки, який демонструє найдинамічніший розвиток. У цьому контексті Дніпропетровська область залишається одним із найбільш проблемних регіонів. Велика кількість сміттєзвалищ і високі обсяги промислових та побутових відходів формують критичний екологічний та інфраструктурний тиск [114].

Ініціативи з будівництва сучасних сміттєпереробних комплексів (Кривий Ріг, Павлоградський регіон) становлять важливий елемент переходу від моделі захоронення до моделі відновлення ресурсів. Очікується, що запуск таких об'єктів забезпечить зменшення полігонного навантаження, розвиток сектору відновлюваних енергоресурсів і створення нових економічних можливостей [114].

Регіональні органи влади та фахівці з поводження із відходами потребують кількісних, просторово-часових оцінок потоків відходів для оптимізації розміщення полігонів, планування інфраструктурних інвестицій та розробки політик з переробки. Дніпропетровська область – є регіоном з високою індустріалізацією та значними накопиченнями відходів, що потребує окремого детального аналізу для розробки управлінських рішень [114].

У сучасних дослідженнях проаналізовано основні прояви негативного впливу сміттєзвалища на довкілля та здоров'я населення, що виникають у процесі його експлуатації. Встановлено, що внаслідок розкладання відходів формується фільтрат, який проникає в ґрунт і насичує його важкими металами, органічними сполуками та іншими токсикантами. Це зумовлює забруднення підземних вод, які забезпечують питне водопостачання прилеглих територій. Показано, що органічна частини відходів супроводжується інтенсивним виділенням біогазу (метану, CO_2 , H_2S), що належать до парникових газів і посилюють кліматичні зміни. Додаткову небезпеку створюють часті випадки самозаймання відходів, унаслідок чого у повітря надходять продукти горіння, зокрема діоксини, які є високотоксичними [115].

Установлено, що накопичення значних обсягів відходів, деградація земель та забруднення навколишніх ділянок негативно позначаються на стані природних екосистем, спричиняючи зменшення чисельності флори й фауни та трансформацію їх видового складу. Підкреслено, що мешканці поблизу сміттєзвалища зазнають підвищеного ризику розвитку респіраторних і алергічних захворювань, онкологічних патологій та інших порушень здоров'я через забруднене повітря та воду. На основі отриманих результатів виокремлено ключові джерела та чинники екологічної небезпеки, серед яких виокремлюють формування фільтрату, викиди біогазу та акумуляцію важких металів у ґрунті [115].

Реформи сектору поводження з відходами і міжнародні інвестиційні ініціативи (включно з проєктами технічної допомоги) активно спрямовані на модернізацію інфраструктури переробки й управління відходами в Україні.

Наукові результати підвищують ефективність інвестиційних рішень та сприяють більшій прозорості та цільовій направленості [111].

Україна має слабо реалізовані практики циркулярної економіки та значно нижчий відсоток переробки порівняно з ЄС; тому дослідження, що зіставляє внутрішні фактори утворення відходів із міжнародними практиками й економічними показниками, сприятиме створенню адаптованих стратегій переходу до більш циркулярних моделей. Так, в роботі [116] проводиться аналіз впровадження принципів циркулярної економіки у переробну промисловість та оцінка її впливу на навколишнє середовище. Автори досліджують динаміку забруднення, темпи його зростання, регіональні особливості використання відходів та екологічність продукції, а також застосовують методи оцінки структурних змін для визначення характеру цих процесів. На основі отриманих даних запропоновано концепцію замкнутого еколого-економічного циклу розвитку, яка поєднує практичний досвід впровадження циркулярної економіки та економіко-математичні моделі.

Сучасна система управління відходами в Україні стикається з низкою взаємопов'язаних проблем, які роблять неможливим ефективне планування інфраструктури з утилізації та безпечного розміщення небезпечних і небезпечних за потенційною шкодою відходів. По-перше, існує значна варіативність у динаміці утворення відходів за класами небезпеки та їх видами, що ускладнює формування адекватних прогнозів майбутніх потоків. По-друге, поточні підходи до обліку й звітності за відходами змінюються, так у 2023–2024 рр. були переглянуті форми державного статистичного спостереження та підходи до класифікації, що ставить завдання адаптації методик прогнозування до нових вимог обліку [117].

Особлива складність виникає при прогнозуванні накопичення відходів у спеціально відведених місцях (полігони, сховища, тимчасові майданчики), оскільки кінцевий обсяг накопичення залежить не тільки від темпів утворення відходів, але й від динаміки утилізації, спалення та фактичного видалення або експорту. Без узгодженого масового балансу для кожної категорії відходів

(включно з 1–3 класами небезпеки) планування площ полігонів, строки рекультивації та оцінка ризиків залишається емпіричною і нефункціональною. [118].

На регіональному рівні (як приклад Дніпропетровської області) проблема ускладнюється концентрацією промислових джерел утворення небезпечних відходів, існуванням обмеженої кількості спеціалізованих майданчиків та необхідністю узгодження регіонального планування з національними правилами класифікації та звітності. Недостатня увага до прогнозування накопичення тягне за собою ризики екологічних інцидентів, неспроможність своєчасно планувати інвестиції у переробку та рекультивацію й збільшення економічних витрат у довгостроковій перспективі [119].

Ключова проблема, що потребує вирішення, полягає у розробці методично обґрунтованого підходу до прогнозування загальних обсягів накопичення відходів у спеціально відведених місцях для України загалом та для Дніпропетровської області з урахуванням чотирьох компонентів масового балансу: утворення, утилізації, спалення та видалення або експорту. Рішення цієї проблеми має забезпечити можливість сценарного прогнозування, оцінки невизначеності та просторового розподілу накопичень.

Актуальність дослідження. У 2023–2024 рр. в Україні було оновлено підходи до обліку відходів (затвердження форми звітності №1-відходи і супутні роз'яснення), а також переглянуто порядок класифікації відходів. Це створює необхідність розробки прогнозних моделей, які сумісні з новими формами даних і можуть інтерпретувати тренди як до, так і після змін у звітності. Така адаптація важлива для достовірних оцінок накопичення відходів на полігонах [117].

На сьогодні існує висока значимість регулювання небезпечних відходів 1–3 класів. Небезпечні відходи таких класів становлять найбільший ризик для ґрунтів, підземних і поверхневих вод та здоров'я населення. Кількісні прогнози накопичення усіх класів відходів необхідні для обґрунтування пріоритетів щодо інвестицій (спеціалізовані сховища, термічні установки, системи нейтралізації)

та для планування заходів із мінімізації ризиків на національному й регіональному рівнях [118].

Також виокремлюється регіональна специфіка та практична потреба Дніпропетровської області. Дніпропетровська область – індустріально інтенсивний регіон з відносно великою питомою вагою утворення небезпечних відходів, що робить локальні прогнози особливо затребуваними для регіонального планування та виконання Регіонального плану управління відходами до 2030-2034 рр. [119].

Неконтрольоване накопичення небезпечних відходів має наслідки для довкілля, здоров'я і економіки. Здатне викликати довготривалі екологічні та соціально-економічні збитки: забруднення підземних вод, деградація ґрунтів, виникнення вогнищ захворювань, збільшення витрат на екстрені заходи з ліквідації наслідків. Кількісне прогнозування накопичення таких відходів дозволяє оцінити часові інтервали наповнення полігонів і потреби у рекультивації, що дає можливість планувати витрати заздалегідь і мінімізувати загальні витрати суспільства.

Зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Дане дослідження безпосередньо пов'язане з вирішенням актуальних наукових та прикладних проблем у сфері управління виробничими та іншими відходами на національному рівні. Наукове значення роботи полягає в удосконаленні методичного підходу до прогнозування обсягів утворення, утилізації, спалювання, видалення у спеціально відведені місця та загального накопичення відходів, що є одним із ключових завдань сучасної екологічної науки та державної політики у сфері поводження з відходами.

Дослідження спрямоване на встановлення закономірностей зміни основних потоків відходів у часі, формування аналітичної бази для оцінки ризиків подальшого накопичення, а також виявлення диспропорцій між обсягами утворення та фактичним рівнем утилізації, спалювання чи видалення. Отримані результати створюють підґрунтя для підвищення ефективності

управлінських рішень у сфері поводження з відходами та оптимізації екологічної політики.

З практичної точки зору, дослідження орієнтоване на підтримку виконання державних і регіональних стратегічних документів, зокрема, Національного плану управління відходами до 2030 року, регіональних планів поводження з відходами та вимог Директив ЄС у частині управління небезпечними потоками. Запропоновані підходи дають можливість:

- оцінювати реальні й перспективні обсяги накопичених небезпечних відходів;
- виявляти зони потенційного екологічного ризику;
- планувати необхідні потужності інфраструктури з утилізації та видалення;
- визначати тенденції, що потребують управлінського втручання;
- формувати обґрунтовані сценарії розвитку системи поводження з відходами як на державному, так і на регіональному рівні.

Таким чином, дослідження поєднує наукову новизну у сфері прогностико-аналітичних методів із вагомою практичною значущістю для державних органів, органів місцевого самоврядування, підприємств та фахівців, відповідальних за прийняття рішень у сфері екологічної безпеки. Результати дослідження сприяють підвищенню ефективності екологічної політики та зменшенню ризиків, пов'язаних із накопиченням небезпечних відходів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання утворення, оброблення та накопичення відходів, зокрема небезпечних, широко розглядається у вітчизняних і міжнародних дослідженнях. На рівні національної статистики базовим джерелом є методологічні документи та аналітичні звіти Державної служби статистики України, що визначають підходи до збору, класифікації та узагальнення даних про обсяги утворення, утилізації, видалення та накопичення відходів. Ці матеріали забезпечують стандартизовану основу для аналізу тенденцій, однак не містять методик моделювання та прогнозування довгострокових обсягів накопичених відходів за класами небезпеки.

На регіональному рівні важливим джерелом є Регіональний план управління відходами Дніпропетровської області до 2030 року, який містить просторовий та інфраструктурний аналіз системи поводження з відходами, зокрема характеристику місць видалення та проблем їх екологічного стану. Незважаючи на значний обсяг інформації щодо інфраструктурної спроможності, документ не пропонує кількісних прогнозів накопичення відходів і не розділяє їх за класами небезпеки, що створює прогалину у формуванні сценарних оцінок на середньо- і довгострокову перспективу [119].

Низка громадських і експертних досліджень, зокрема аналітичні записки Екологічної платформи EPL [120], акцентують увагу на деяких бар'єрах: недосконалості реєстру небезпечних відходів, проблемах ліцензування, низькій прозорості потоків і ризиках накопичення у нелегальних або застарілих об'єктах. Попри детальний проблемний аналіз, такі роботи переважно не містять кількісних моделей і не дають прогнозів щодо майбутніх обсягів відходів.

У наукових статтях українських дослідників [121] розглядаються питання накопичення відходів на місцях видалення та можливі шляхи оптимізації управління. Однак більшість робіт має описовий характер і зосереджена на загальному аналізі ситуації без застосування математичних моделей прогнозування чи масово-балансових оцінок, що необхідно для визначення майбутніх обсягів накопичених відходів.

Водночас у міжнародній науковій літературі запропоновані різноманітні підходи до прогнозування та моделювання потоків відходів. Зокрема у звіті [122] представлено глобальні моделі оцінки утворення відходів до 2050 року, однак ці моделі орієнтовані переважно на комунальні потоки.

У роботі [123] виконано систематичний огляд наявних підходів до моделювання утворення відходів, включаючи статистичні та машинні методи. Попри значну методичну цінність, автори зосереджуються на прогнозуванні утворення відходів, а не на моделюванні накопичення у спеціально відведених місцях.

Сучасні data-driven підходи демонструються у публікації [124], де для прогнозу небезпечних відходів використано великі дані промислових процесів і стічних вод. Такий підхід є інноваційним і потенційно можливим для застосування в Україні, проте потребує адаптації через обмежену доступність первинних даних.

Дослідження поводження з відходами на полігонах, зокрема оцінка впливів накопичення, представлена у роботі [125], де аналізуються характеристики фільтратів і пов'язані екологічні ризики. Однак у цих працях увага зосереджена на екологічних наслідках, а не на прогнозних моделях накопичення відходів.

У сучасних дослідженнях взаємозв'язок між економічним зростанням і утворенням відходів досліджується на різних рівнях. Так, в статті [126] виявлено двонаправлену коротко- та довгострокову причинність між економічним зростанням та генерацією відходів, а також взаємозв'язок між обсягами відходів та споживанням теплової енергії. Попри цінність підходу, дослідження обмежене муніципальними відходами і не охоплює усі відходи, які є ключовими для оцінки ризиків у промислових регіонах України та для прогнозування обсягів накопичення у спеціально відведених місцях.

У роботі [127] застосовано математичну модель для оптимального планування інвестицій у відновлювану енергетику з використанням сміттєвих потоків, враховано невизначеність у ресурсах та інвестиційних обмеженнях. Запропоновані способи для оцінки потенціалу відходів як ресурсу, але вони не стосуються прогнозування обсягів накопичення відходів; також модель не інтегрує повний масовий баланс відходів (утворення, утилізація, спалювання, видалення), що є ключовим для регіональної оцінки в Україні.

У статті [128] розглянуто використання прогнозного моделювання як інструменту для ефективної політики управління муніципальними відходами на різних територіальних рівнях. Автори застосували кількісні моделі для оцінки утворення, збору та переробки відходів у Чехії, що дозволяє прогнозувати майбутні потоки та оцінювати ефективність політик управління. Хоча підхід є

цінним для планування та прогнозування, він не враховує специфіку накопичення відходів та не обґрунтовує оцінку ризиків від їх накопичення у спеціально відведених місцях.

У дослідженні [129] здійснено огляд літератури, присвячений прогнозуванню утворення муніципальних твердих відходів (MSW) та впливу на це соціоекономічних факторів. Автори проаналізували понад 300 чинників, зокрема валовий внутрішній продукт, населення, доходи, розмір домогосподарств, споживання енергії та води. Це дало можливість визначити, які фактори суттєво впливають на утворення відходів, щоб покращити прогнозування та планування систем управління відходами. У межах дослідження здійснено узагальнення та всебічний аналіз наукових публікацій, проте власні практичні напрацювання, зокрема моделі прогнозування чи оцінка масового балансу відходів, у роботі не проводилися.

В роботі [130] досліджено глобальні тенденції утворення муніципальних твердих відходів та їхній вплив на довкілля. Результати показують, що навіть за умови підвищення ефективності поводження з відходами, загальносвітовий обсяг відходів продовжуватиме зростати, створюючи додаткове навантаження на системи їх обробки та видалення.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Таким чином, аналіз наукових джерел засвідчує наявність значної кількості робіт, присвячених методології обліку відходів, проблемам управління ними та оцінці екологічних впливів полігонів. Водночас прогнозні дослідження, що враховують повний масовий баланс потоків відходів (утворення, утилізація, спалювання, видалення) та дозволяють оцінити майбутні обсяги їх накопичення в Україні та окремих регіонах, практично відсутні. Саме ця прогалина зумовлює актуальність представленого дослідження.

Методологічне або загальнонаукове значення. Методологічне значення роботи полягає у формуванні системного підходу до прогнозування накопичення небезпечних відходів на основі інтеграції статистичних даних про утворення,

утилізацію, спалювання та видалення. Запропонована методика побудови масового балансу може бути використана як універсальний спосіб для аналізу динаміки небезпечних відходів у регіональному та національному масштабах.

Викладання основного матеріалу. В даному дослідженні розглядалася задача статистичної оцінки динаміки зміни масових обсягів відходів: утворених, утилізованих, спалених, видалених та накопичених у спеціально відведених місцях за 2010–2025 роки.

За статистичною інформацією державної служби статистики України щодо загальних обсягів відходів проаналізовано закономірності зміни відповідних обсягів відходів за 2010–2020 роки. Оскільки відповідна статистична інформація державної служби статистики України на 2021 та 2025 роки відсутня, то в середовищі Excel було отримано результати прогнозу трьома способами: на основі тренду за поліноміальною кривою третього порядку; за допомогою функції тенденції, що повертає значення величини відповідно до лінійної апроксимації за методом найменших квадратів; за допомогою функції росту, на основі експоненціального тренду. Найменша відносна похибка фактичних даних та числових, розрахованих за допомогою статистичних функцій, була отримана за функцією тенденції і склала 2.4 %.

У межах даного дослідження на першому етапі було розглянуто завдання статистичної оцінки динаміки масових обсягів відходів: утворених, утилізованих, спалених, видалених та накопичених у спеціально відведених місцях за період 2010–2025 років. Оскільки офіційні статистичні дані за 2021–2025 роки відсутні, для отримання прогнозних значень у середовищі Excel було застосовано чотири підходи прогнозування. Перший передбачав побудову трендової лінії на основі поліноміальної апроксимації третього порядку. Другий підхід ґрунтувався на використанні функції TENDENCY, яка формує прогноз відповідно до лінійної моделі, розрахованої методом найменших квадратів. Третій підхід передбачав застосування функції GROWTH, що дозволяє побудувати експоненціальний тренд зміни показника. Четвертий – використання функції FORECAST.LINEAR, яка надає можливість обчислювати прогнозні

значення показника на основі статистичної залежності між відомими аргументами та результатами.

Отримані показники описової статистики дають можливість глибше охарактеризувати динаміку утворення відходів у 2010–2020 рр. та виявити структурні особливості зміни даного екологічного параметра (рис. 1) [131]. Загальні обсяги утворених відходів за досліджуваний період становить 4 343 740,4 тис. т. Максимальне значення 462 373,5 тис. т показник досяг у 2020 році. Пік утворення відходів у 2020 році може бути зумовлений низкою чинників: активізацією промислового виробництва перед пандемічними обмеженнями, збільшенням обсягів добування корисних копалин у промислових регіонах, а також зміною підходів до статистичного обліку.



Рисунок 1. Зміна обсягів утворених відходів у 2010–2020 рр. та прогноз за моделлю FORECAST.LINEAR на 2021–2026 рр. [розробка автора]

Максимум свідчить про можливу перевантаженість інфраструктури поводження з відходами та збільшення екологічних ризиків у цей період. Мінімальне значення 295 870,1 тис. т. спостерігалось у 2016 році. Найнижчі показники утворення відходів припадають на 2016 рік, що може пов'язуватися з економічним спадом, частковим простоєм підприємств, зменшенням обсягів

видобувної промисловості та оптимізацією виробничих процесів. Мінімум вказує на період відносного зниження техногенного навантаження на регіони.

Середнє значення дорівнює 394 885,5 тис. т. Середній рівень утворення відходів відображає усереднений стан техногенного навантаження на територію за 11 років. Значення, що помітно нижче за максимум і ближче до медіани, свідчить про наявність окремих пікових років, які «підтягують» загальну динаміку вгору. Медіана – 422 549,9 тис. т. Той факт, що медіана перевищує середнє, свідчить про правобічну асиметрію розподілу даних: у ряді є кілька низьких значень (2015–2016 рр.), які знижують середнє арифметичне, але не впливають на центральне положення медіани. Медіанний показник підтверджує тенденцію до переважання вищих значень у більшості років.

Розмах становить 166 03,4 тис. т. Великий розмах свідчить про значну міжрічну варіабельність утворення відходів. Для екологічного прогнозування та планування інфраструктури це означає необхідність урахування нестабільності техногенних потоків, які можуть різко змінюватися залежно від економічної та політичної ситуації. Середнє квадратичне відхилення дорівнює 59 977,8 тис. т. Високе значення стандартного відхилення вказує на суттєву дисперсію між річними показниками. Така мінливість створює складності для розрахунку потужностей полігонів, визначення потреб у переробних потужностях та оцінки ризиків накопичення відходів. Чим більше відхилення, тим менш стабільною є система утворення відходів.

Більш детальний аналіз річних показників утворених відходів виконано на основі розрахунку відносних відхилень фактичних обсягів від середнього значення, що представлено на рисунку 2.

Дослідження міжрічних відхилень показує, що динаміка утворення відходів у 2010–2020 рр. була нерівномірною та характеризувалася значними коливаннями. Найбільше негативне відхилення від середнього значення маси утворених відходів спостерігалось у 2016 році, коли фактичний обсяг був на 25 % нижчим за середньорічний рівень.

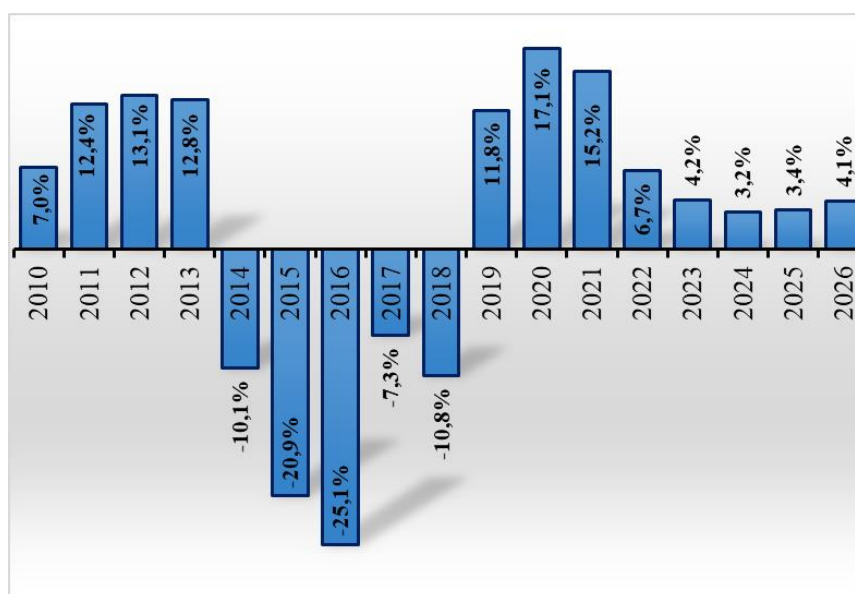


Рисунок 2. Динаміка відносних відхилень річних обсягів утворених відходів від середнього значення за 2010-2026 роки, % [розробка автора]

Це свідчить про період мінімального техногенного навантаження, що може бути пов'язано з економічним спадом та зменшенням активності промисловості.

Натомість максимальне позитивне відхилення зафіксовано у 2020 році, коли обсяг утворених відходів перевищив середнє значення на 17 %. Це відображає різке зростання техногенного навантаження та досягнення пікового рівня утворення відходів у досліджуваному періоді.

У середньому, абсолютна величина річних відхилень становила 13,5 %, тобто щороку маса утворених відходів змінювалася (збільшувалася або зменшувалася) приблизно на таку величину відносно середнього. Такий рівень варіабельності вказує на нестабільність процесів утворення відходів, що необхідно враховувати при прогнозуванні, проєктуванні потужностей інфраструктури та оцінюванні екологічних ризиків.

Порівняння фактичних значень та результатів прогнозування показало, що найменше середнє значення відносної похибки (7,4%) було отримано для моделі, побудованої за допомогою функції FORECAST.LINEAR, що свідчить про її найвищу адекватність у межах досліджуваного масиву даних.

Аналіз динаміки обсягів утворених відходів за 2010–2020 рр. свідчить про наявність можливої циклічності з орієнтовною періодичністю 8–9 років між локальними максимумами. Це дає підстави припустити, що у наступні 2026–

2027 рр. може спостерігатися тенденція до незначного зростання рівня утворення відходів, що узгоджується з фактичним економічним станом, спричиненим військовими наслідками в Україні, що закономірно зменшує обсяги промислового виробництва і, відповідно, формування відходів. У середньостроковій перспективі, за умови стабілізації ситуації та відновлення економіки, ймовірним є чергове підвищення обсягів утворених відходів у межах 2030–2031 рр. Очікуване зростання може бути пов'язане з активізацією промислового сектору, реалізацією програм відбудови та посиленням інвестиційної діяльності. Таким чином, прогноз має сценарний характер і враховує як статистичні тенденції, так і макроекономічні чинники.

Порівняння фактичних значень утилізованих відходів за 2010–2020 рр. із результатами прогнозування показало, що серед усіх розглянутих моделей найменше середнє відносне відхилення (8,2%) отримане для експоненціального тренду, побудованого за допомогою функції GROWTH. Це свідчить, що саме експоненціальна модель найкраще відтворює внутрішню закономірність зміни обсягів утилізованих відходів та може бути використана як основний інструмент для середньострокового прогнозування.

Динаміка зміни утилізованих відходів за 2010–2020 (рис. 3) характеризується високою мінливістю, що проявляється у значному діапазоні річних коливань. Загальні обсяги утилізованих відходів за 2010–2020 рр. становить 1 286 715,4 тис. т. Максимальне значення – 153 368,2 тис. т. спостерігалось у 2011 р., що може бути пов'язано з високою промисловою активністю та реалізацією масштабних інвестиційних програм у відповідних регіонах. Мінімальне значення – 84 630,3 тис. т. було зафіксовано у 2016 р., що відображає період економічного спаду, скорочення виробництв та зниження інвестицій у переробні й утилізаційні потужності. Середнє значення – 116 974,1 тис. т., що вказує на загальний рівень сталого функціонування системи утилізації відходів у країні.

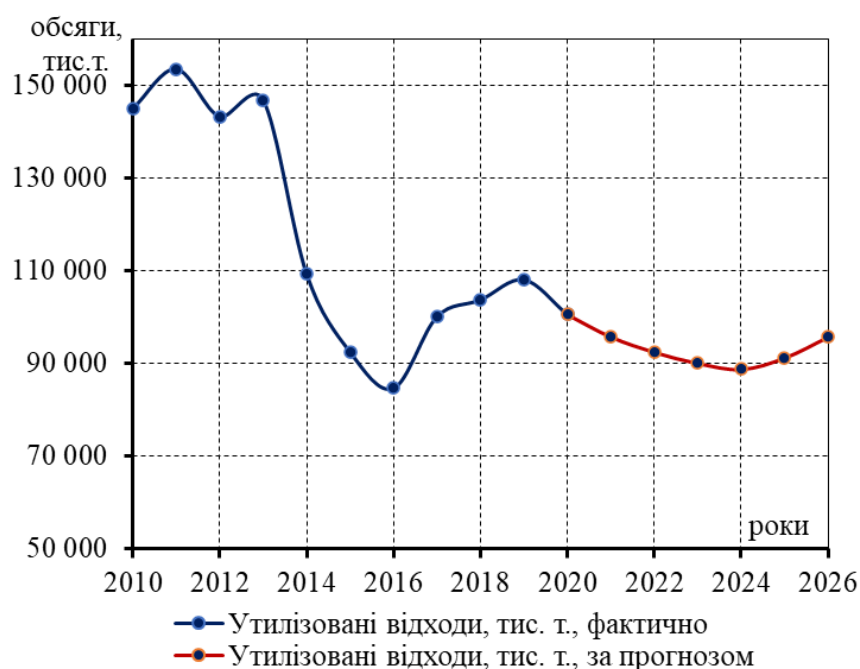


Рисунок 3. Зміна обсягів утилізованих відходів у 2010–2020 рр. та прогноз за моделлю GROWTH на 2021–2026 рр. [розробка автора]

Медіана – 108 024,1 тис. т., нижча за середнє значення, що свідчить про певний зсув розподілу вправо та наявність окремих аномально високих значень у перші роки. Розмах даних – 68 737,9 тис. т. підтверджує значну амплітуду коливань від року до року. Середнє квадратичне відхилення – 24 882,8 тис. т, що відображає високий рівень дисперсності даних та нестабільність роботи сектору утилізації.

Оцінка тенденцій у поведінці зміни утилізованих відходів добре відображається за допомогою проведених розрахунків відносних відхилень фактичних обсягів від середнього значення, що представлено на рисунку 4. Загалом динаміка утилізації відходів не має монотонного зростання чи спаду. Спостерігається виражене падіння у 2013–2016 рр., що корелює з економічними кризами та зниженням промислової активності в країні. Часткове відновлення спостерігається у 2017–2020 рр., але не до рівня попередніх максимумів. Тобто система утилізації відходів в Україні протягом цього періоду залишається чутливою до економічних факторів, інвестицій та регуляторних змін.

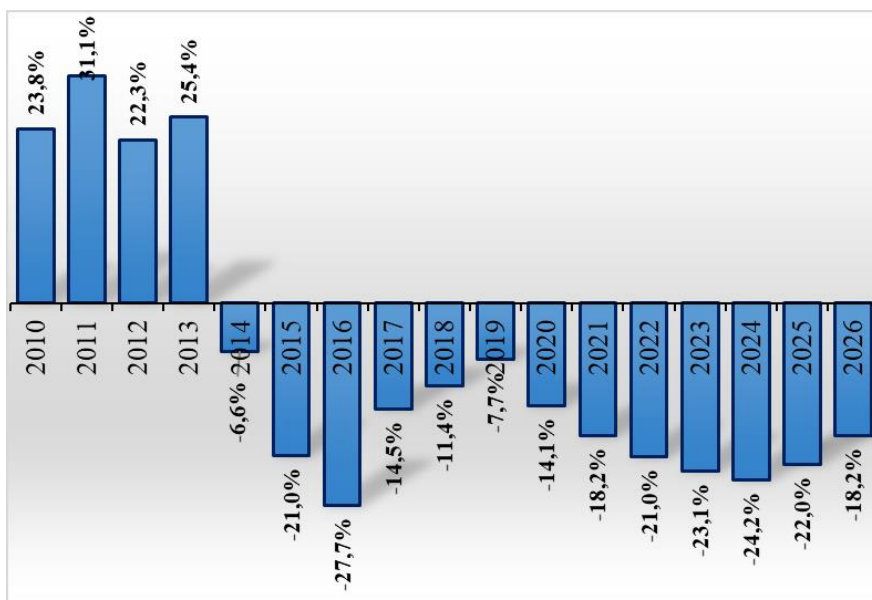


Рисунок 4. Динаміка відносних відхилень річних обсягів утилізованих відходів від середнього значення за 2010-2026 роки, % [розробка автора]

Найбільше позитивне відхилення спостерігалось у 2011 р. – приблизно +31% від середнього рівня, що вказує на сприятливі умови для утилізації у той період. Найбільше негативне відхилення у 2016 р. близько (–28%) підтверджує кризовий характер цього року. Середнє абсолютне відхилення становить близько 21%, що свідчить про нестабільність темпів утилізації та нерівномірність навантаження на інфраструктуру.

З огляду на найкращу точність експоненціальної функції GROWTH, прогноз побудовано саме за цією моделлю. Прогноз свідчить, що у 2021–2024 рр. можливе збереження тренду до зниження темпів утилізації через воєнний стан в Україні, падіння обсягів промислового виробництва, скорочення інвестицій у інфраструктуру поводження з відходами, зниження загального рівня утворення відходів. Але починаючи з 2025-2026 років ймовірно збільшення обсягів утилізації відходів за рахунок закордонних інвестицій у відновлення та розвиток економіки України.

Результати аналізу свідчать, що рівень утилізації відходів в Україні суттєво залежить від макроекономічної ситуації. Інфраструктура утилізації не демонструє сталого нарощування потужностей. Високі коливання утилізації

відображають нестабільність управління відходами та обмеженість переробних потужностей. У найближчій перспективі (до 2026 р.) на систему утилізації буде впливати військова та економічна ситуація, що приведе до зниження обсягів утилізації або їх стабілізації на мінімальному рівні.

Отримані результати прогнозування обсягів спалених відходів на основі експоненціального тренду, побудованого за допомогою функції GROWTH, демонструють найвищу узгодженість із фактичними даними, середня відносна похибка становить 8,8%. Це підтверджує доцільність застосування цієї моделі для короткострокового прогнозу динаміки спалювання відходів.

Тенденція зміни обсягів спалених відходів представлена на рисунку 5, її можна охарактеризувати статистичними показниками. Загальні обсяги спалених відходів за період 2010–2020 роки становить 11 560,4 тис. т. Максимальне значення було досягнуто у 2012 році і дорівнювало 1 201,1 тис. т. Мінімальне значення зафіксовано у 2013 році і становило 917,9 тис. т.

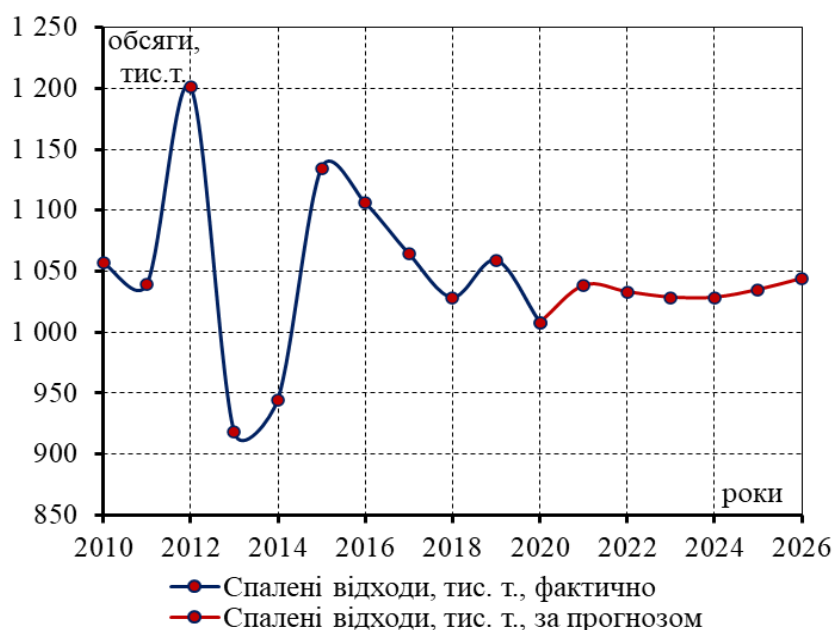


Рисунок 5. Зміна обсягів спалених відходів у 2010–2020 рр. та прогноз за моделлю GROWTH на 2021–2026 рр. [розробка автора]

Середнє значення за вказаний період – 1 050,9 тис. т., медіана – 1 056,8 тис. т., розмах (max–min) – 283,2 тис. т., середнє квадратичне відхилення – 80,2 тис. т.

Характеристика динаміки у 2010–2020 роках полягає в тому, що фактичні дані демонструють наступні закономірності:

- 2010–2012 рр. – зростання, максимальний пік у 2012 році (1 201,1 тис. т).
- 2013 р. – найглибший спад (–24% відносно максимуму).
- 2014–2017 рр. – часткове відновлення, показники стабілізуються на рівні ~1 050–1 130 тис. т.
- 2018–2020 рр. – поступове зниження, що може бути пов'язано зі скороченням виробництва та переходом на інші методи поводження з відходами.

Структура ряду коливається навколо середнього значення без вираженого довгострокового тренду, що робить експоненціальну модель об'єктивною, тобто вона добре відтворює незначні коливання, але не передбачає різких стрибків.

Також було доцільно та методологічно обґрунтовано побудувати графіки відхилень річних показників спалених відходів відносно середнього значення за 2010–2026 роки та, оскільки це дозволяє не лише підсилити якість статистичної інтерпретації, але й забезпечує підґрунтя для більш точного прогнозування та розуміння структурних змін у системі поводження з відходами. Так на рисунку 6 наведено динаміку зміни показників відхилень річних показників спалених відходів відносно середнього значення за 2010-2026 роки.

Аналіз прогнозних даних дозволяє зробити наступні висновки:

1. Загальна тенденція – слабо спадна, що узгоджується з трендом 2017–2020 років.
2. Показники залишаються в діапазоні $\pm 2\%$ від середнього значення, що свідчить про відсутність різких змін у структурі утворення та спалювання відходів.
3. Мінімум прогнозу припадає на 2023–2024 роки (~1028,6 тис. т).
4. Поступове зростання після 2024 року може свідчити про:
 - відновлення економічної активності,
 - збільшення обсягів утворення відходів,
 - стабілізацію інфраструктури поводження з відходами.

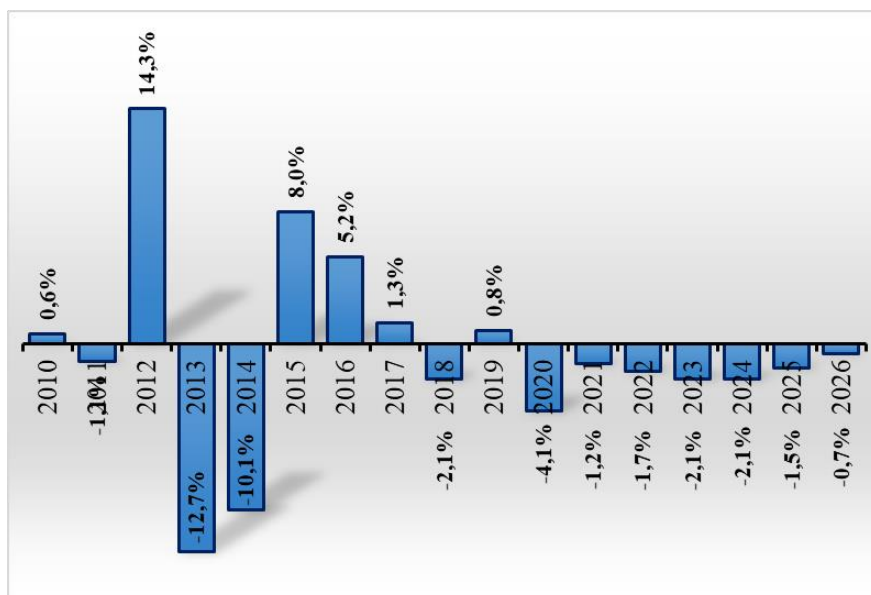


Рисунок 6. Динаміка відносних відхилень річних обсягів спалених відходів від середнього значення за 2010-2026 роки, % [розробка автора]

Порівняння фактичних та прогнозних значень підтверджує точність моделі GROWTH. Середнє відносне відхилення 8,8% свідчить, що експоненціальний тренд найбільш повно відтворює характер змін маси спалених відходів. Це зумовлено тим, що фактичні дані демонструють не лінійний, а згладжено-хвилеподібний характер, що добре описується експоненційними залежностями.

Також спостерігається достатньо високий рівень узгодженості прогнозів із реальними трендами:

- Прогноз не виходить за межі середньоквадратичного відхилення та розмаху ряду.
- Прогнозовані значення логічно вписуються в динаміку та не суперечать довгостроковим коливанням.

Підсумовуючи виконаний аналіз виявлених закономірностей розподілу фактичних та прогнозних даних відносно спалених відходів, можна зробити загальні висновки:

1. Фактичні дані (2010–2020) характеризуються помірними коливаннями без вираженої тенденції до зростання чи зниження.

2. Експоненціальний тренд GROWTH найкраще відтворює структуру ряду та забезпечує мінімальну похибку прогнозу.

3. Прогноз на 2021–2026 рр. показує стабільний рівень спалювання відходів з незначним зниженням до 2023–2024 рр. та подальшим зростанням.

4. Отримані результати можуть бути використані для:

- оцінки навантаження на інфраструктуру поводження з відходами,
- планування потужностей сміттєспалювальних установок,
- економічного прогнозування в екологічній сфері.

Для характеристики динаміки видалення відходів у спеціально відведені місця за 2010–2020 рр. було проведено статистичну оцінку основних параметрів ряду даних (рис. 7). Динаміка видалення відходів у спеціально відведені місця у 2010–2020 роках характеризується яскраво вираженою хвилеподібною тенденцією зі значними спадами та періодами часткового відновлення.

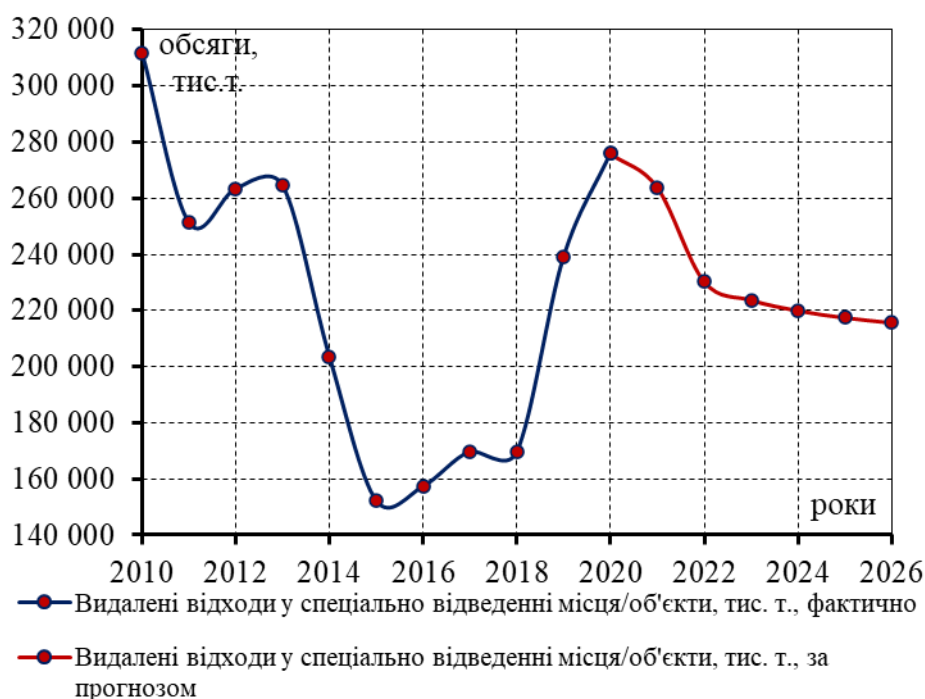


Рисунок 7. Зміна обсягів видалених відходів у спеціально відведені місця/об'єкти за 2010–2020 рр. та прогноз за моделлю FORECAST.LINEAR на 2021–2026 рр. [розробка автора]

Описова статистика включала загальні статистичні характеристики. Загальні обсяги видалених відходів за 2010–2020 рр. становили 2 458 909.4 тис. т., що свідчить про значне сумарне навантаження на полігони та інші об'єкти захоронення. Максимальне значення було у 2010 році 311 649 тис. т., коли обсяги видалених відходів були найвищими. Це може бути пов'язано з високою промисловою активністю та недостатньою розвиненістю технологій рециклінгу.

Мінімальне значення зафіксовано у 2015 році – 152 295 тис. т., тобто зниження у 2 рази порівняно з 2010 роком. Це падіння часто інтерпретується як наслідок економічної кризи та зменшення виробництва в ключових галузях. Загальне скорочення за цей період становило 49,5 %. Причини такого тренду можуть включати: скорочення промислового виробництва, поступовий розвиток утилізаційних технологій, часткову зміну структури поводження з відходами (перенаправлення на переробку або спалювання).

Далі у 2016–2018 роки спостерігалася стабілізація обсягів видалених відходів, вони коливаються в діапазоні 157–170 млн. т, що свідчить про період відносної стабільності без різких стрибків. Наприкінці періоду 2019–2020 років спостерігається нове суттєве збільшення: 2019 р. – 238 997 тис. т., 2020 р. – 275 985 тис. т. Зростання на 36 % за два роки може бути пов'язане з: збільшенням обсягів промислових відходів, економічними коливаннями, обмеженою потужністю альтернативних технологій утилізації.

Таким чином, фактична динаміка має чіткий спадний тренд до 2016 р., стабілізацію в 2016–2018 рр. і відновлення зростання у 2019–2020 рр.

Середнє значення становить 223 637.2 тис. т, що демонструє типовий середньорічний рівень видалених відходів за період. Медіана – 238 997.2 тис. т, що лише трохи вище за середнє значення. Це свідчить про відсутність сильних асиметрій у розподілі даних, хоча крайні значення 2010 і 2015 років створюють певну варіабельність. Розмах ряду даних – 159 354 тис. т., тобто різниця між найвищим і найнижчим значеннями. Така величина показує високу міжрічну мінливість, зумовлену економічними та структурними змінами в системі

поводження з відходами. Середнє квадратичне відхилення – 55 201.1 тис. т., що свідчить про значний рівень статистичної дисперсії. Це означає, що річні значення в середньому відхилялися від середнього приблизно на 25 %.

Різниця між піком 2010 року та мінімумом 2015 року відображає: глибоку економічну трансформацію (післякризове падіння), скорочення промислового виробництва, часткову зміну підходів до утилізації та видалення відходів, зростання ролі альтернативних технологій.

Близькість середнього й медіани свідчить про помірну симетричність розподілу, тобто немає значних статистичних перекосів. Однак два екстремальні значення (2010 і 2015 рр.) впливають на загальну картину, підсилюючи варіації.

Високе стандартне відхилення (55 млн т.) та розмах понад 159 млн т. демонструють: суттєву міжрічну нестабільність, залежність обсягів видалених відходів від зовнішніх макроекономічних умов, наявність чітких спадів та зростань, а не плавного тренду.

Ряд має високий рівень варіабельності, що підтверджується великим розмахом та стандартним відхиленням. Двовершинна структура розподілу, максимум 2010 і локальний максимум 2020 проти мінімуму 2015, вказує на циклічні зміни. Медіанне значення вище середнього, що може свідчити про незначну правосторонню асиметрію, тобто про більшу кількість років з відносно меншими значеннями.

Статистична картина відповідає реальним економічним подіям, включаючи падіння 2014–2015 рр. і відновлення 2019–2020 рр.

Одночасно було проведено прогноз за моделлю FORECAST.LINEAR на 2021–2026 рр. Спостерігається загальна тенденція зменшення у прогностичному періоді 2021–2026 роки і становить: від 264 000 до 215 700 тис. т., тобто мінус 18,3 % за 6 років. Лінійний тренд відображає припущення про продовження раніше сформованої тенденції, згладжуючи різкі коливання 2019–2020 років. При цьому прогноз передбачає: затухаюче зниження обсягів видалених відходів; сповільнення темпів скорочення після 2023 року.

Це може свідчити про: стабілізацію технологій поводження з відходами, перехід до більш ефективних моделей управління відходами, зменшення промислової активності у зв'язку з економічною кризою та воєнним станом, тимчасове падіння виробництва в ключових секторах.

Проведене порівняння фактичних та прогнозних даних вказує на перехід від зростання до зниження обсягів відходів видалених у спеціальні місця. Характерної рисою є контраст між фактичним зростанням у 2019–2020 рр. та прогнозованим зменшенням після 2021 р. Це може бути пояснено тим, що лінійна модель «згладжує» значення й реагує на всю тенденцію в цілому, а не лише на аномальні піки.

Для підвищення інформативності та виявлення прихованих закономірностей у динаміці видалених відходів проведено аналіз відхилень фактичних та прогнозних значень відносно середнього рівня за весь період 2010–2026 роки. Такий підхід дозволяє оцінити не лише абсолютні коливання, але й ступінь аномальності окремих років відносно типового (усередненого) рівня, що підвищує достовірність подальших прогнозних оцінок.

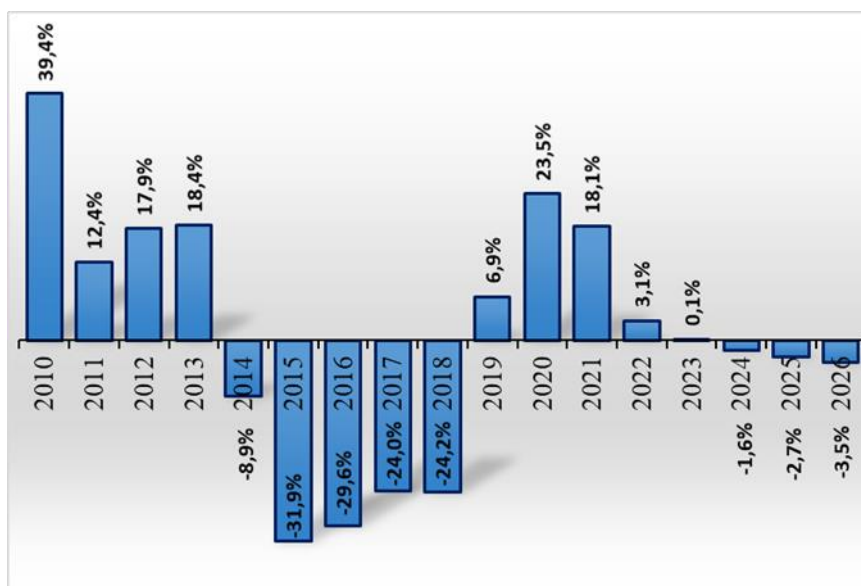


Рисунок 8. Динаміка відносних відхилень річних обсягів видалених відходів у спеціально відведені місця/об'єкти від середнього значення за 2010–2026 роки, % [розробка автора]

Середнє відносне відхилення 5,8 % є дуже малим для екологічних часових рядів, що підтверджує: стабільність прогнозних даних, відповідність тренду характеру зміни даних у більшості років, можливість використання цього прогнозу для подальших оцінок накопичення відходів.

2010 рік демонструє найбільше позитивне відхилення ($\approx +88$ тис. т.), що вказує на пікову інтенсивність видалення відходів на початку періоду. 2019–2021 рр. вказує на повторне зростання обсягів вище середнього, що може бути пов'язано з: активізацією економічної діяльності; зменшенням рівня перероблення відходів, зміною структури промисловості або воєнними чинниками (після 2014 р. та перед 2022 р.). Ці роки формують локальні максимуми у динаміці.

Найбільші негативні відхилення зафіксовано у 2015 році, близько 71 тис. т – 31,9%, що є історичним мінімумом. У 2024–2026 рр. спостерігалися стабільні негативні відхилення в межах ($-6 \dots -8$ тис. т.) – ($-3,5\% \dots -1,6\%$), що вказує на загасання тенденції та можливе досягнення нового рівноважного стану.

Низхідні відхилення 2014–2018 рр. можуть бути пов'язані з: падінням промислового виробництва після 2014 р.; структурною кризою; посиленням екологічних вимог або зменшенням звітності підприємств.

Загальні висновки за відхиленнями полягають в наступному: тренд відхилень відображає циклічність зміни обсягів видалених відходів: спад $\rightarrow$ мінімум $\rightarrow$ зростання $\rightarrow$ спад $\rightarrow$ стабілізація.

Найбурхливіші зміни спостерігалися у 2010–2015 рр., що підтверджується високими позитивними та негативними відхиленнями. Після 2016 р. відбувається вирівнювання та стабілізація. Прогноз 2021–2026 рр. свідчить про поступовий перехід до нового середнього рівня ≈ 215 –223 тис. т.

Аналіз відхилень є важливим для: виявлення аномальних років; перевірки достовірності прогнозу; з'ясування структурних змін у сфері поводження з відходами; оцінки екологічних ризиків у періоди різких коливань.

Основні висновки аналізу проведеного по фактичним та прогнозним даним обсягів видалених відходів у спеціально відведені місця/об'єкти:

1. За 2010–2016 рр. обсяги видалених відходів різко зменшувались, майже вдвічі.
2. У 2016–2018 рр. спостерігалася стабільність рівнів.
3. У 2019–2020 рр. відбулося різке зростання – це відновлення промислової активності перед кризовими подіями.
4. Прогноз на 2021–2026 рр. свідчить про загальну тенденцію до зменшення видалених відходів із можливим уповільненням темпів.
5. Модель FORECAST.LINEAR є найточнішою із застосованих методів, що підтверджується мінімальною помилкою (5,8 %).
6. Прогноз може бути використаний для оцінки навантаження на полігони та планування інфраструктури поводження з відходами.

Значна варіабельність даних обґрунтовує необхідність побудови прогнозних моделей, оскільки візуальний огляд може бути недостатнім для надійних висновків.

Динаміка зміни загальних обсягів відходів, накопичених у спеціально відведених місцях та об'єктах упродовж 2010–2020 рр., а також із урахуванням прогнозних значень, розрахованих за допомогою функції TENDENCY, яка серед чотирьох застосованих методів забезпечила найменшу відносну похибку – 9,2%, наведена на рисунку 9.

Аналіз закономірності зміни загальних обсягів відходів, накопичених протягом експлуатації у спеціально відведених місцях та об'єктах, за 2010–2020 роки характеризується суттєвими коливаннями (рис. 9). За цей період було фактично накопичено від 12,21 млн. т. у 2014 році до 15,64 млн. т. у 2020 році, що відповідає мінімальному та максимальному значенням відповідно. Загальний обсяг накопичених відходів за весь період становив 141,0 млн. т, а середнє річне значення – 14,10 млн. т. Медіанне значення ряду дорівнює 14,73 млн. т, що свідчить про незначну асиметрію розподілу даних відносно центру.

Розмах вибірки становив 3,43 млн. т., що вказує на істотну варіабельність у річних обсягах накопичених відходів, зумовлену як економічними циклами,

так і змінами у структурі промислового виробництва та обмеженнями на видобувну діяльність у певні роки.

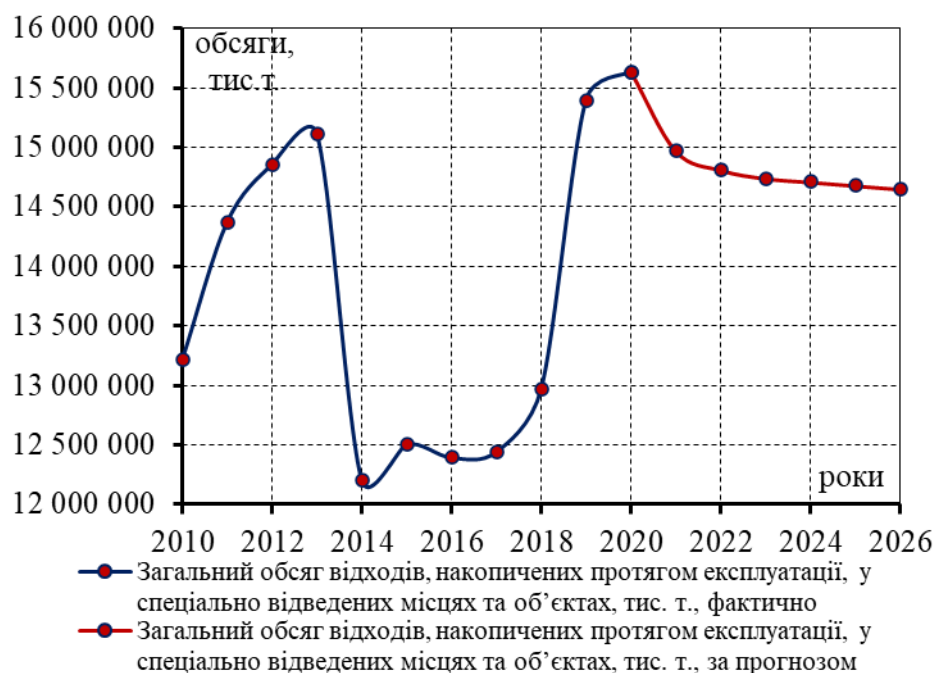


Рисунок 9. Зміна загальних обсягів відходів, накопичених протягом експлуатації, у спеціально відведених місцях та об'єктах за 2010–2020 рр. фактично та прогноз за моделлю TENDENCY [розробка автора]

Середньоквадратичне відхилення дорівнює 1,35 млн. т, що також підтверджує високий рівень нестабільності динаміки. Показник асиметрії, рівний 0,3, свідчить про слабко виражену правосторонню асиметрію, тобто наявність дещо більших за величиною значень у правій частині розподілу.

Оцінюючи фактичні тенденції за 2010–2020 рр. можна виокремити наступні закономірності. У 2010–2013 рр. спостерігалось стабільне зростання накопичення відходів: від 13,22 млн. т. до 15,11 млн.т. Це зростання корелює з відносною стабільністю промислового виробництва у цей період. Найрізкіше зменшення відбулося у 2014 році, коли обсяг накопичених відходів знизився до 12,21 млн. т, що пов'язано з економічним спадом, зміною промислових потоків та кризовими подіями в країні.

У 2015–2018 рр. показники залишалися відносно стабільними, коливаючись у межах 12,39–13,97 млн. т, що свідчить про період консолідації та

уповільнення темпів нагромадження. Починаючи з 2019 року, знову спостерігалось зростання – до 15,70 млн т у 2019 році та 15,64 млн. т. у 2020 році, що може бути пов'язано з відновленням роботи окремих виробничих підприємств та збільшенням обсягів видобутку та переробки сировини.

Для підвищення точності оцінки прогнозних значень було також застосовано функцію TENDENCY, яка реалізує лінійну регресію методом найменших квадратів. За результатами порівняння моделей встановлено, що середнє відносне відхилення між фактичними та розрахованими за допомогою TENDENCY значеннями становило 9,2%, що є одним з найнижчих показників серед використаних методів прогнозування. Використання цієї функції дало можливість додатково уточнити тенденцію зміни накопичених відходів та підвищити узгодженість прогнозу у межах досліджуваного часово-статистичного ряду.

Отриманий прогноз демонструє плавну тенденцію до зниження обсягів накопичених відходів у спеціально відведених місцях. Зокрема, очікується, що у 2021 році вони становитимуть 14,97 млн. т., у 2022–2024 роках – поступово зменшуються до 14,71 млн. т., тоді як у 2026 році прогнозне значення досягне 14,65 млн. т. Така тенденція може бути пояснена зміною структури промисловості, скороченням виробництва у період воєнного стану та зростанням технологічних можливостей щодо утилізації та переробки відходів.

Загальна картина демонструє поступове вирівнювання ряду з орієнтацією на стабілізацію та можливий перехід до більш сталих підходів управління відходами.

Аналіз відносних відхилень (рис. 10) дозволяє оцінити, наскільки річні обсяги накопичених відходів відхилялися від середнього рівня протягом фактичного та прогнозного періодів.

Найбільше негативне відхилення спостерігалось у 2014 році (близько – 11,2%), що відображає різке падіння виробництва внаслідок кризових подій. Найбільше позитивне відхилення фіксується у 2020 році (+13,8%), що відповідає піковому рівню накопичених відходів за весь період. В середньому абсолютні

відхилення за 2010–2020 рр. становили близько 8–9%, що свідчить про наявність виражених флуктуацій у накопиченні відходів.

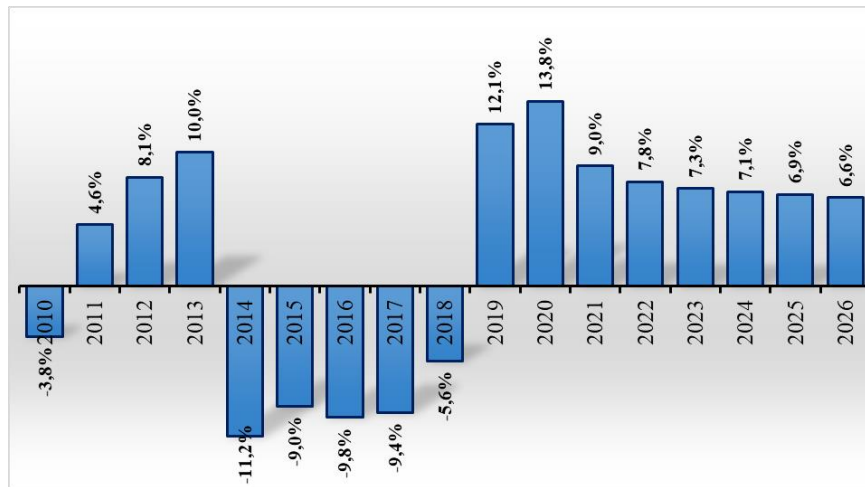


Рисунок 10. Динаміка відносних відхилень річних загальних обсягів відходів, накопичених протягом експлуатації, у спеціально відведених місцях та об’єктах від середнього значення за 2010–2026 роки, % [розробка автора]

Прогнозні значення відхилень на 2021–2026 рр. демонструють тенденцію до поступового зменшення амплітуди коливань: річні показники наближаються до середнього значення ряду та формують тенденцію без різких піків і спадів. Така поведінка характерна для систем, що переходять у режим стабілізації після періодів структурних змін.

Упродовж 2010–2026 рр. в Україні спостерігається суттєва динаміка змін у структурі фінансових витрат, пов’язаних із поводженням з відходами (за винятком високорадіоактивних). Аналіз охоплює два ключові показники: поточні витрати (рис. 11) та капітальні інвестиції (рис. 12), які є індикаторами як операційного, так і стратегічного забезпечення системи управління відходами.

Поточні витрати демонструють стійку, практично лінійну тенденцію до зростання протягом усього періоду. Мінімальне значення зафіксовано у 2010 р. (2 599 623,3 тис. грн), тоді як максимальний рівень припадає на 2026 р. (13 379 047,9 тис. грн), тобто зростання становить понад п’ятикратний рівень.

Середнє значення показника за весь період оцінюється на рівні близько 8,1 млрд грн.

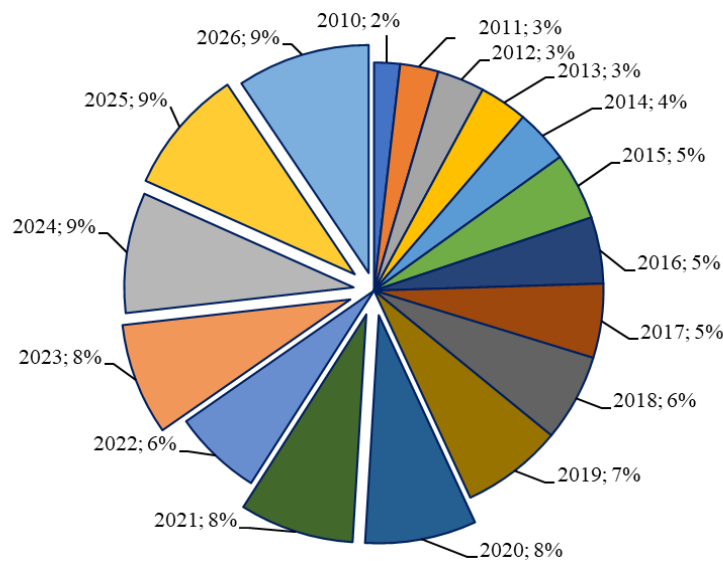


Рисунок 11. Динаміка зміни поточних витрат на поводження з відходами за 2010–2026 роки [розробка автора]

Таке монотонне зростання поточних витрат свідчить про:

- розширення масштабів операційної діяльності у сфері поводження з відходами;
- підвищення вартості експлуатаційних послуг, модернізацію об'єктів та інфраструктури;
- підвищення вимог до екологічної безпеки, що формують необхідність збільшеного фінансування моніторингових, логістичних та переробних операцій;
- інфляційний вплив, який також суттєво позначається на поточних бюджетах місцевих та приватних операторів.

Загалом, тренд поточних витрат може характеризуватися як стійкий, інерційний та системно зростаючий, що відповідає світовим тенденціям переходу від полігонного захоронення до більш складних та технологічно містких систем управління відходами.

На відміну від поточних витрат, капітальні інвестиції мають виражену хвилеподібну, циклічну динаміку, що свідчить про залежність від державних програм, інвестиційних циклів та економічної кон'юнктури.

Мінімальні інвестиції зафіксовані у 2010 р. (475 584,3 тис. грн.), тоді як максимальний рівень припадає на 2019 р. (5 754 260,9 тис. грн.). У середньому інвестиції становили близько 2,35 млрд. грн.

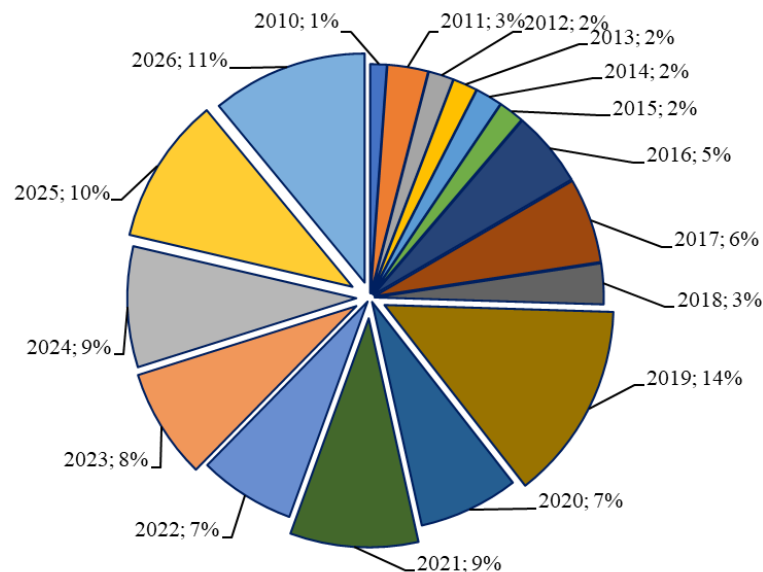


Рисунок 12. Динаміка зміни інвестицій на поводження з відходами за 2010–2026 роки [розробка автора]

У динаміці (рис. 12) можна виділити три характерні періоди:

Період I. Помірне зростання (2010–2014 рр.). У ці роки відбувалося поступове збільшення інвестицій з акцентом на модернізацію окремих полігонів, розширення технічного забезпечення та часткове оновлення обладнання. Середні річні інвестиції залишалися відносно низькими (0,5–0,8 млрд. грн.).

Період II. Вибухове зростання та пік інвестицій (2015–2019 рр.) У 2016–2019 рр. відзначається різке зростання: 2016 р. – 2,21 млрд. грн; 2017 р. – 2,47 млрд. грн.; 2019 р. – 5,75 млрд. грн. (історичний максимум).

Цей період, очевидно, пов'язаний із: реалізацією декількох великих державних та регіональних програм; посиленням вимог екологічної безпеки та

необхідністю технічної модернізації полігонів; впровадженням інфраструктурних проєктів, які вимагали значних одночасних інвестицій.

Період III. Стабілізація після піку (2020–2026 рр.) Після рекордного 2019 року інвестиції зменшуються, але зберігаються на підвищеному рівні 2,8–4,5 млрд. грн. Такі значення свідчать про перехід до планомірної, стабілізованої моделі інвестування, характерної для етапу підтримки та поступового розширення інфраструктури.

Порівняння двох показників дозволяє оцінити структуру фінансування галузі: поточні витрати мають стійку зростаючу тенденцію та відображають сталу операційну діяльність.

Капітальні інвестиції є індикатором технологічних змін, оскільки їх різкі піки пов'язані з модернізаційними хвилями.

Пік інвестицій у 2019 році мав значний вплив на подальші роки. Модернізована інфраструктура потребує більшого обсягу експлуатаційного фінансування, що зумовлює збільшення поточних витрат у 2020–2026 рр.

Рівень інвестицій після 2020 року хоча й нижчий за рекордний, однак залишається вищим за довгостроковий середній, що є позитивним сигналом про стабілізацію інвестиційної активності.

Узагальнення співвідношення між капітальними інвестиціями та поточними витратами дає змогу оцінити структуру фінансування галузі, інтенсивність оновлення інфраструктури та рівень інвестиційної активності у системі поводження з відходами. Частка інвестицій, обчислена як відсоток від поточних витрат, демонструє виражені хвилеподібні коливання, що відображають періоди активного та згасаючого інвестування (рис. 13).

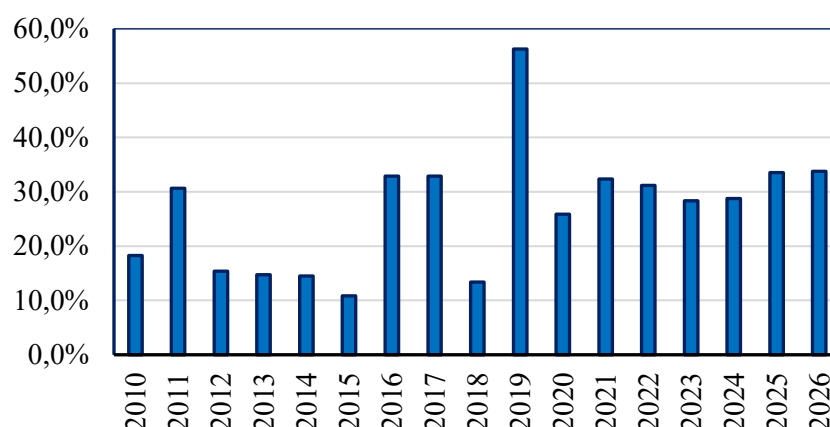


Рисунок 13. Відсоткова частка інвестицій до витрат на поводження з відходами за 2010–2026 роки [розробка автора]

У 2010–2026 рр. частка капітальних інвестицій у витратах перебувала в діапазоні 10,8–56,3%, що свідчить про істотну мінливість інвестиційного навантаження на галузь. Така мінливість є типовою для систем, де технічна модернізація відбувається нерівномірними хвилями, залежно від етапів реалізації інфраструктурних проєктів, державних програм, економічних умов та обсягів зовнішнього фінансування.

Помірна інвестиційна активність (2010–2015 рр.). У ці роки частка інвестицій становила лише 10–30%, з тенденцією до зниження після 2011 року: максимум періоду – 30,6% у 2011 р.; мінімум – 10,8% у 2015 р. Це свідчить про зосередження ресурсів переважно на поточних витратах (логістика, експлуатація, утримання полігонів), тоді як капітальні вкладення обмежувалися окремими модернізаційними заходами.

Інвестиційний стрибок та модернізаційна хвиля (2016–2019 рр.). У 2016–2017 рр. частка інвестицій різко зростає до 32,9%, що відображає першу хвилю значних інфраструктурних вкладень. В 2019 році частка інвестицій досягла 56,3%, тобто капітальні вкладення перевищили половину загальні операційні витрати. Це вказує на реалізацію масштабних проєктів: будівництво або реконструкцію полігонів, впровадження нових систем сортування, закупівлю техніки, модернізацію об'єктів переробки.

Стабілізація та підтримка інвестиційного рівня (2020–2026 рр.). Після піку 2019 року у 2020–2026 рр. частка інвестицій стабілізується в межах 25–34%, що характеризує: завершення великих проєктів і перехід до планового інвестування; підтримку модернізованої інфраструктури; збереження необхідного рівня інвестицій для відповідності екологічним стандартам ЄС; вплив воєнного стану після 2022 р., але без критичного зменшення інвестиційної активності (інвестиції не падають нижче 28%).

Особливої уваги заслуговує тенденція 2024–2026 рр., де частка зростає до 33,8%, що може бути індикатором відновлення проєктної діяльності в умовах реконструкції країни.

Отримані результати дозволяють зробити такі висновки:

1. Структура фінансування є циклічною та чутливою до економічної та інституційної політики.
2. Періоди високих інвестицій (2016–2019) відповідають системним модернізаційним заходам у сфері поводження з відходами.
3. Періоди низьких інвестицій (2013–2015) збіглися з економічними кризами та запуском меншої кількості інфраструктурних проєктів.
4. Після піку 2019 року сформувався режим стабільної інвестиційної підтримки, що є позитивним сигналом для галузі, оскільки дозволяє підтримувати оновлену інфраструктуру у працездатному стані.
5. Високі значення частки інвестицій у витратах означають, що система переходить від моделі «утримання полігонів» до моделі технологічного оновлення, що відповідає євроінтеграційному курсу України.

Динаміка показників демонструє посилення ролі державної політики у сфері поводження з відходами та структурний перехід системи до більш технологічно оснащених і витратних моделей управління, що відповідає європейським підходам до циркулярної економіки.

Для виявлення можливих взаємозв'язків між факторними змінними та загальними обсягами накопичених відходів було проведено кореляційний аналіз, результати якого узагальнено в таблиці 1. За значеннями коефіцієнтів кореляції

встановлено, що зв'язок між результативною змінною $y(x)$ та факторною змінною x_3 є дуже слабким, оскільки коефіцієнт кореляції становить $k_{\text{кор}} = -0,161$, що за загальноприйнятою статистичною шкалою відповідає слабкій зворотній кореляції. Аналогічно, слабкі кореляційні зв'язки спостерігаються і між самими факторними змінними, зокрема між: x_1 і x_3 ($k_{\text{кор}} = -0,173$), x_2 і x_3 ($k_{\text{кор}} = -0,134$), x_4 і x_3 ($k_{\text{кор}} = -0,194$), p_1 і x_3 ($k_{\text{кор}} = -0,176$), p_2 і x_3 ($k_{\text{кор}} = -0,117$). Такі значення свідчать про відсутність вираженого впливу змінної x_3 на інші фактори та результативну ознаку, а також про відсутність істотних статистичних взаємозалежностей між цією змінною та іншими параметрами моделі. Слабкі зворотні кореляційні зв'язки означають, що змінна x_3 не є значущим предиктором для пояснення варіацій загального обсягу накопичених відходів. Це також вказує на те, що включення x_3 у регресійну модель не покращуватиме її прогностичну здатність.

Отримані результати обґрунтовують доцільність або виключення x_3 з багатофакторної моделі, або поглибленого аналізу її змісту та природи, оскільки слабкий кореляційний зв'язок може свідчити про необхідність уточнення даних або нелінійного характеру залежності.

Таблиця 1

Коефіцієнти кореляції між утвореними x_1 , утилізованими x_2 , спаленими x_3 , видаленими x_4 відходами, поточними витратами p_1 та капітальними інвестиціями p_2 та накопиченими у відходами за 2010-2026 роки

	x_1	x_2	x_3	x_4	p_1	p_2	y
x_1	1	0,7013	-0,1960	0,8744	0,4582	0,7853	0,8863
x_2		1	-0,1309	0,7576	0,6581	0,5368	0,4488
x_3			1	-0,1901	0,5783	-0,2351	-0,1001
x_4				1	0,6541	0,7154	0,6954
p_1					1	0,4954	0,7761
p_2						1	0,4834
y							1

У зв'язку з цим, факторну змінну x_3 було виключено із розрахунків і отримано нові коефіцієнти кореляції (табл. 2).

Таблиця 2

Коефіцієнти кореляції між утвореними x_1 , утилізованими x_2 , видаленими x_4 відходами, поточними витратами p_1 та капітальними інвестиціями p_2 та накопиченими y відходами за 2010-2026 роки

	x_1	x_2	x_4	p_1	p_2	y
x_1	1	0,7013	0,8744	0,4582	0,7853	0,8863
x_2		1	0,7576	0,6581	0,5368	0,4488
x_4			1	0,6541	0,7154	0,6954
p_1				1	0,4954	0,7761
p_2					1	0,4834
y						1

Аналіз кореляційної матриці (табл. 2) показує наявність сильної лінійної залежності між результативною змінною y та факторною змінною x_1 , що підтверджується високим значенням коефіцієнта кореляції $k_{\text{кор.}}=0,8863$. Це свідчить про суттєвий вплив показника x_1 на формування загального обсягу накопичених відходів.

Водночас встановлено сильний кореляційний зв'язок між факторними змінними x_1 та x_4 $k_{\text{кор.}}=0,8844$, що вказує на наявність мультиколінеарності. Незважаючи на це, змінну x_1 не було вилучено з моделі, оскільки її коефіцієнт кореляції лише на 21% перевищує рекомендоване в статистичному аналізі порогове значення $k_{\text{кор.}}=0,7$. Таким чином, ступінь мультиколінеарності не є критичним і не спотворює оцінку параметрів регресійної моделі.

Отримане значення нормованого коефіцієнта детермінації $R=0,8162$ свідчить, що результативна змінна y на 81,6% пояснюються варіацією факторів x_1 , x_2 , x_4 , p_1 , p_2 , що підтверджує адекватність і пояснювальну здатність побудованої моделі.

Значення коефіцієнта детермінації $R^2=0,8736$ перевищує пороговий рівень 0,85, який у літературі вважається достатнім для визнання моделі такою, що добре описує реальні дані. Це вказує на задовільну апроксимацію та відповідність моделі закономірностям процесу накопичення відходів.

З огляду на наведені результати, рівняння множинної лінійної регресії шляхом вилучення факторної змінної, яка не чинить статистично значущого впливу на результативний показник набуло вигляду:

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_4 \cdot x_4 + a_5 \cdot p_1 + a_6 \cdot p_2, \text{ тис. т.} \quad (1)$$

де x_1 – маса утворених відходів, x_2 – маса утилізованих, x_4 – маса видалених відходів у спеціально відведені місця, p_1 – поточні витрати, p_2 – капітальні інвестиції.

Проведення регресійного аналізу дозволило знайти коефіцієнти регресії: $a_0 = 5074199$, $a_1 = 22,326$, $a_2 = 0,041$, $a_4 = -3,659$, $a_5 = 0,091$, $a_6 = 0,029$.

Додаткову оцінку якості регресійної моделі здійснено шляхом аналізу ймовірностей значущості коефіцієнтів регресії (P -value). Отримані значення для кожного з коефіцієнтів становлять відповідно: 0,0089; 0,0034; 0,0151; 0,0517; 0,0021; 0,0134. Більшість отриманих P -значень є меншими за критичний рівень значущості 0,05, що свідчить про статистично значущий вплив відповідних факторних змінних на результативну змінну y .

Щодо коефіцієнта з P -value=0,0517, його значення лише незначно перевищує порогове, залишаючись у межах, прийнятних для практичного аналізу екологічних даних, що часто характеризуються варіабельністю та похибками вимірювань. Такий результат дає підстави вважати цей коефіцієнт умовно значущим, а його внесок таким, що може бути врахований у загальній моделі.

Таким чином, аналіз P -значень підтверджує, що побудована регресійна модель є статистично обґрунтованою, а включені факторні ознаки мають реальний вплив на формування обсягів накопичених відходів.

На основі побудованої регресійної моделі (1) були визначені розрахункові значення результативної змінної $y_{\text{розрах.}}$, після чого здійснено оцінку точності моделі шляхом обчислення відносної похибки між розрахунковими та фактичними даними. Результати показали, що середнє значення відносної похибки становить 6,32%, а максимальне відхилення не перевищує 11,23 %.

Такі значення похибок свідчать про високу точність моделі, оскільки в екологічних та техногенних системах відхилення до 10% вважаються прийнятними для аналітичних і прогностичних розрахунків. Отже, можна стверджувати, що запропонована математична регресійна модель (1) з точністю близько 94% відтворює вихідні емпіричні дані. Це підтверджує її добру адекватність, а також можливість застосування моделі для прогнозування загальних обсягів накопичених відходів та оцінки впливу факторних змінних.

Основні висновки. Запропонована регресійна математична модель дає змогу прогнозувати динаміку накопичення відходів в Україні, враховуючи комплекс факторів, що визначають формування їх обсягів. До моделі включені ключові змінні: обсяги утворених, утилізованих, видалених у спеціально відведених місцях відходів, а також величини капітальних інвестицій і поточних витрат на поводження з відходами.

У результаті проведених статистичних досліджень встановлено таке:

1. Виконано оцінку тенденцій зміни обсягів утворених, утилізованих, спалених, видалених та накопичених відходів, а також динаміки капітальних інвестицій і поточних витрат на охорону довкілля, пов'язаних із поводженням з відходами, за період 2010–2026 рр. На основі описової статистики визначено ключові закономірності та характерні коливання цих показників.

2. Проведено кореляційний аналіз, який дав змогу визначити ступінь взаємозв'язку між факторними показниками та результативною змінною – загальними обсягами накопичених відходів. Оцінка колінеарності факторів дозволила ідентифікувати найбільш впливові змінні та встановити щільність статистичних залежностей.

3. Побудовано регресійну математичну модель на основі регресійно-дисперсійного аналізу та перевірено її адекватність. Середнє відносне відхилення між розрахунковими та фактичними значеннями становить 6,32%, а максимальна похибка не перевищує 11,23%, що свідчить про високу точність моделі.

Розроблена регресійна модель може бути використана для оцінювання потреби в інвестиційних ресурсах, а також для прогнозування необхідних обсягів поточних витрат з метою регулювання динаміки накопичених відходів. Це створює підґрунтя для ухвалення обґрунтованих управлінських рішень, спрямованих на підвищення ефективності системи поводження з відходами та мінімізацію негативного впливу на довкілля.

SECTION 6. LIVESTOCK

DOI: 10.46299/ISG.2025.MONO.AGRO.1.6.1

6.1 Теоретичне обґрунтування використання молока корів для виробництва кумису

Основним джерелом молока і молочних продуктів є велика рогата худоба, від якої отримується 82% загального світового молока, а решту в основному отримують від буйволів, кіз та овець і менше ніж 1% молока походить від інших тварин, таких як верблюди, коні, осли, яких можна визначити як «другорядними молочними видами» [132].

Єдиним значущим ферментованим продуктом з кобилячого молока, доступним на ринку, є кумис, який широко вживають в першу чергу через його лікувальну та поживну цінність [133].

З давніх часів людство використовує молоко кобил для виготовлення спиртово-молочнокислого напою - кумису, який добре засвоюється організмом людини, має дієтичні і лікувальні властивості. У молоці кобил в 1,5 рази більше молочного цукру, ніж у коров'ячому молоці. Це надає йому солодкувато-терпкого присмаку і сприяє кисломолочному та спиртовому бродінню при приготуванні кумису. Жиру в молоці менше, ніж у коров'ячому, проте в ньому є ліноленова, ліолева та арахідонова жирні кислоти, які гальмують розвиток туберкульозних бактерій. Завдяки дрібному розміру жирових кульок і низькій температурі плавлення (20-26 °C), жир кобилячого молока легко всмоктується кишковою. Кумис готують методом зброджування молока кобил спеціальними заквасками молочно-кислих бактерій і молочних дріжджів. У процесі бродіння хімічний склад молока змінюється: скорочується вміст цукру, накопичується молочна кислота, вуглекислий газ, спирт, ароматичні та інші речовини [134].

В останні роки в Україні збільшується попит на нетрадиційні для нашого регіону кисломолочні напої, отримані за рахунок сумісного використання спиртової та молочнокислої мікрофлори, – тан, айран, кумис тощо. Тому на кафедрі біотехнології Національного фармацевтичного університету

проводяться роботи з розробки складу та технології кумису з коров'ячого молока для приготування в домашніх та промислових умовах [135].

За визначенням Державного департаменту ветеринарної медицини кумис - кисломолочний продукт змішаного бродіння, який виробляють сквашуванням кобилячого чи коров'ячого молока симбіотичною закваскою, яка містить дріжджі, термофільні молочнокислі палички видів *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus* [136].

В Україні молочне конярство представлено одиничними кумисними фермами у Полтавській, Луганській та Київській областях, які поєднують отримання молока кобил і виробництво кумису з м'ясною або племінною спеціалізацією галузі. Середня добова молочна продуктивність кобил складає 7,5 кг молока за добу і лише 2,02 кг (за триразового доїння) використовується для виробництва кумису, тобто 27%, а 5,48 витрачається на вигодовування лоша [137].

Обсяги виробництва молока і кумису в Україні не задовольняють потреби населення і підсилюють його дефіцитність, тому альтернативним джерелом виробництва кумису може бути молоко корів, про що свідчать дослідження ряду авторів [138].

За даними ряду авторів ключовими модифікованими факторами складу є вміст сухої речовини, мінеральних речовин, протеїну та лактози, а також співвідношення казеїну та сироваткового білка у первинній сировині. Кумис, виготовлений із модифікованого коров'ячого молока та заквасок, дуже схожий на кумис із кобилячого молока щодо рН, титрованої кислотності, алкоголю, протеолітичної активності, уявної в'язкості та мікробіологічного складу [139].

Оскільки за хімічним складом молоко кобил значно відрізняється від молока корів, тому наведемо розрахунки з корекції коров'ячого молока за вмістом жиру, білка та цукру до молока кобил, об'ємом 2 л, необхідних для випоювання лоша та введемо формули для будь-якого об'єму суміші з метою виробництва кумису, використавши квадрат Пірсона.

6.1.1 Нормування коров'ячого молока до молока кобил за жирністю для 2 літрів суміші

Приклад 1: маємо коров'яче молоко, жирністю 3,8%, вмістом цукру 4,7%, вмістом білка 3,3%. Необхідно приготувати 2 л суміші, яка б за хімічним складом була подібною до молока кобил з жирністю 1,3%, вмістом цукру 6,7%, вмістом білка 2,1%, використавши коров'яче молоко і воду.

Розрахунки виконаємо за методом квадрата Пірсона, названого ім'ям його розробника, англійського математика, статистика, біолога та філософа, одного із засновників математичної статистики.

В середину квадрата (рис. 1) поставимо заплановану жирність суміші – 1,3%, а біля верхніх його кутів – жирність молока і води. Від чисел у верхніх кутах квадрату по діагоналі віднімаємо значення, що знаходиться в центрі квадрату, а результати записуємо в його нижніх кутах. Модулі значень дорівнюватимуть кількості частин молока і води в їх суміші.

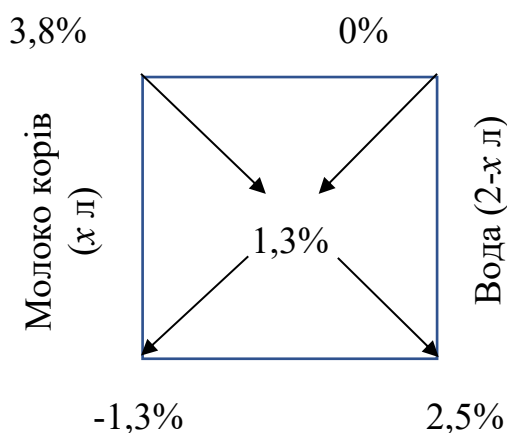


Рисунок 1. Розрахунок співвідношення молока корів і води в 2 л суміші наближеній до молока кобил [розробка авторів]

Обчислення: $3,8\% - 1,3\% = 2,5\%$; $0\% - 1,3\% = -1,3\%$. В подальшому використовуємо модуль від'ємного числа: $|-1,3| = 1,3$. Відношення кількості молока до кількості води складає $1,3 : 2,5$. Позначимо кількість молока в суміші x л, тоді кількість води в суміші буде $(2-x)$ л. Відношення кількості молока до кількості води можна знайти через їх кількість у суміші в літрах: $x : (2-x)$.

Оскільки ці два відношення характеризують одну і ту ж величину (відношення кількості молока до кількості води), між ними можна поставити знак « $\Rightarrow$ » і розв'язати одержану пропорцію:

$$x : (2-x) = 1,3 : 2,5.$$

Скориставшись основною властивістю пропорції (добуток крайніх членів дорівнює добутку середніх), маємо $2,5 \times x = (2-x) \times 1,3$; $2,5x = 2,6 - 1,3x$;

$2,5x + 1,3x = 2,6$; $3,8x = 2,6$; $x = 2,6 : 3,8 = 0,684$ літри – стільки молока слід взяти для суміші.

$$2 - x = 2 - 0,684 = 1,316 \text{ літри} - \text{стільки води слід додати до молока.}$$

Розрахуємо кількість цукру, яку слід додати в суміш, вміст цукру в якій складав би 6,7%.

Розрахунки також виконаємо за методом квадрата Пірсона, в центрі якого поставимо запланований відсоток вмісту цукру 6,7%, аналогічний до молока кобил, а в верхніх його кутах відсотковий вміст цукру у молоці корів і розрахунковий ($x\%$), який повинен бути розчинений у воді (рис. 2).

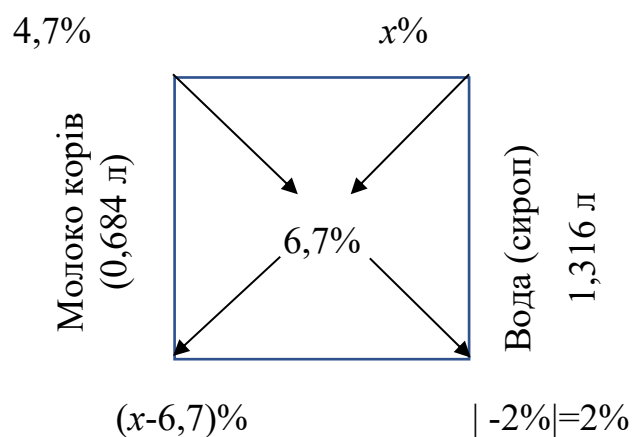


Рисунок 2. Розрахунок кількості цукру, яку слід додати до 2 л суміші молока і води, наближеній до молока кобил [розробка авторів]

Від чисел у верхніх кутах квадрату по діагоналі віднімаємо значення, що знаходиться в центрі квадрату, а результати записуємо в його нижніх кутах. В подальших розрахунках використаємо модулі цих значень.

Маємо пропорцію: $(x-6,7):2 = 0,684:1,316$. Звідси: $(x-6,7) \times 1,316 = 0,684 \times 2$;
 $1,316x - 8,817 = 1,368$; $1,316x = 1,368 + 8,817$; $1,316x = 10,185$; $x = 10,185:1,316$;

$x = 7,74\%$ - такий відсотковий вміст цукру в сиропі. Розрахуємо кількість цукру (г), яка міститься в сиропі: $1,316 \text{ л} = 1316 \text{ г}$. $x = \frac{1316 \text{ г} \times 7,74\%}{100\%} = 101,86 \text{ г}$ - стільки цукру слід додати до суміші.

Розрахуємо кількість цукру (г), яка міститься в $0,684 \text{ л}$ молока: $0,684 \text{ л} = 684 \text{ г}$.

$$x = \frac{684 \text{ г} \times 4,7\%}{100\%} = 32,15 \text{ г} - \text{стільки цукру в } 0,684 \text{ л молока.}$$

Розрахуємо кількість цукру (г), яка міститься в 2 л суміші: $101,86 + 32,15 = 134,01 \text{ г}$.

$$\text{Перевіримо процентний вміст цукру в } 2 \text{ л суміші: } x = \frac{134,01 \text{ г} \times 100\%}{2000 \text{ г}} = 6,7\%.$$

Перевіримо вміст жиру в суміші із $0,684 \text{ л}$ молока, жирністю $3,8\%$, та з $1,316 \text{ л}$ води: $x = \frac{684 \text{ г} \times 3,8\%}{100\%} = 26 \text{ г}$. Ці 26 г жиру містяться і в 2 л суміші молока з водою, що становить: $x = \frac{26 \text{ г} \times 100\%}{2000 \text{ г}} = 1,3\%$.

Отже, для отримання 2 л суміші коров'ячого молока з водою, жирністю $1,3\%$, вмістом цукру $6,7\%$, необхідно взяти 684 г молока, жирністю $3,8\%$, додати $101,86 \text{ г}$ цукру та 1361 г води.

Виведемо формулу розрахунку кількості молока, розглянувши завдання у загальному вигляді.

Нехай маємо $M \text{ л}$ молока, жирністю $Жм$. Необхідно отримати 2 л суміші молока і води, жирністю $1,3\%$, з відсотковим вмістом цукру $6,7\%$. Розрахувати кількість молока, води і цукру.

Знову скористаємося методом квадрату Пірсона (рис. 3), в центрі якого поставимо заплановану жирність суміші $1,3\%$, як і в молоці кобил. Позначимо кількість молока в 2 л суміші $M \text{ л}$, тоді води буде: $W = (2 - M \text{ л})$, де W - кількість води в суміші.

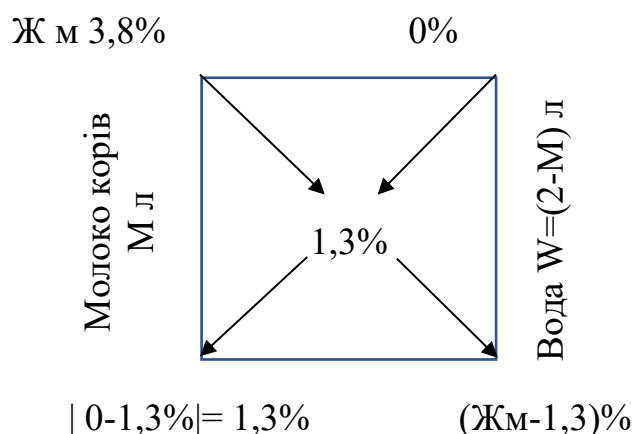


Рисунок 3. Виведення формул (1, 2) розрахунку кількості молока корів і води для отримання суміші, наближеній до молока кобил за жирністю [розробка авторів]

З даних квадрата співвідношення молока і води дорівнює: $1,3:(Жм-1,3)$. Це ж саме співвідношення в літрах буде дорівнювати: $М:(2-М)$. Маємо пропорцію: $М:(2-М) = 1,3:(Жм-1,3)$. Звідси: $(2-М) \times 1,3 = М \times (Жм-1,3)$;

$2,6-1,3М = М \times Жм-1,3М$; $М \times Жм = 2,6$. Звідси формула розрахунку кількості коров'ячого молока для отримання 2 літрів суміші молока і води, жирністю 1,3%.

$$М = \frac{2,6}{Жм}, \quad (1)$$

де: $М$ – кількість коров'ячого молока, л; 2,6 - константа; $Жм$ – жирність молока, %.

Перевіримо працездатність виведеної формули: $М = \frac{2,6}{3,8} = 0,684$ л молока.

$$\text{Тоді води: } W = 2 - М = 2 - \frac{2,6}{Жм} = \frac{2Жм-2,6}{Жм}$$

Отже звідси формула розрахунку кількості води, для отримання 2 літрів суміші молока і води, жирністю 1,3%.

$$W = \frac{2Жм-2,6}{Жм}, \quad (2)$$

де: W – кількість води, л; 2; 2,6 - константи; $Жм$ – жирність молока, %.

Перевіримо працездатність виведеної формули: $W = \frac{2 \times 3,8 - 2,6}{3,8} = \frac{2 \times 3,8 - 2,6}{3,8} =$

$$\frac{5,0}{3,8} = 1,316 \text{ л води.}$$

6.1.2 Нормування молока корів до молока кобил за вмістом цукру для 2 літрів суміші

Розрахуємо в загальному вигляді кількість цукру, яку слід додати до 2 л суміші молока і води з відсотковим вмістом цукру 6,7%, як і в молоці кобил.

Додамо умовно цукор у воду і отримаємо сироп. Позначимо A_c – кількість цукру в сиропі, A_m - кількість цукру в молоці, h_c – відсотковий вміст цукру в сиропі, %, h_m - відсотковий вміст цукру в молоці, %. Розрахунки також виконаємо за методом квадрата Пірсона, в центрі якого поставимо запланований вміст цукру в суміші 6,7% (рис. 4), як і в молоці кобил.

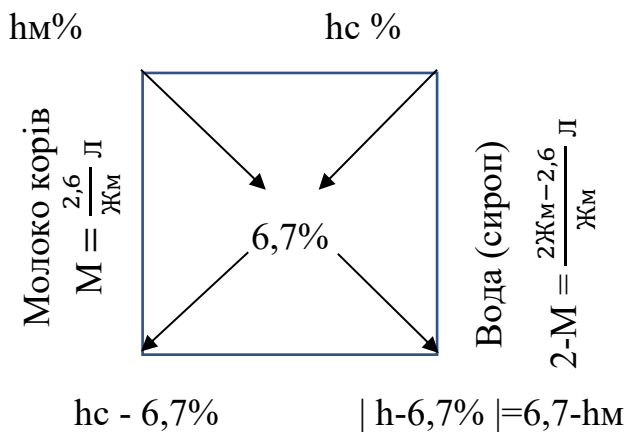


Рисунок 4. Виведення формули (5) розрахунку кількості цукру, яку слід додати до суміші молока корів і води, наближеній до молока кобил [розробка авторів]

Маємо пропорцію: $(h_c - 6,7) : (6,7 - h_m) = M : (2 - M)$; $(h_c - 6,7) \times (2 - M) = M \times (6,7 - h_m)$; $h_c \times (2 - M) - 6,7 \times (2 - M) = M \times (6,7 - h_m)$; $h_c \times (2 - M) = M \times (6,7 - h_m) + 6,7 \times (2 - M)$;

$h_c \times (2 - M) = 6,7 \times M - M \times h_m + 13,4 - 6,7 \times M$; $h_c \times (2 - M) = 13,4 - M \times h_m$. Звідси формула розрахунку відсоткового вмісту цукру в сиропі:

$$h_c = \frac{13,4 - M \times h_m}{2 - M}, \quad (3)$$

де: h_c – відсотковий вміст цукру в сиропі, %; h_m - відсотковий вміст цукру в молоці, %; 13,4; 2 - константи; M – кількість молока, л.

Розрахуємо кількість цукру в сиропі, або кількість цукру, яку слід додати

$$\text{до води: } A_c = \frac{(2 - M) \times h_c}{100\%} = \frac{(2 - M) \times \frac{13,4 - M \times h_m}{2 - M}}{100\%} = \frac{13,4 - M \times h_m}{100\%}.$$

$$\text{Звідси формула: } A_c = \frac{13,4 - M \times h_m}{100\%}, \quad (4)$$

де: A_c – кількість цукру в сиропі, або кількість цукру, яку додали до води, %; h_m - відсотковий вміст цукру в молоці, %; 13,4 - константа; M – кількість молока, л.

В цій формулі замінимо $M = \frac{2,6}{J_m}$, одержимо

$$A_c = \frac{13,4 - \frac{2,6 h_m}{J_m}}{100\%} = \frac{13,4 \times J_m - 2,6 \times h_m}{100 \times J_m} = \frac{2 \times (6,7 J_m - 1,3 h_m)}{100 \times J_m}, \text{ звідси формула:}$$

$$A_c = \frac{2 \times (6,7 J_m - 1,3 h_m)}{100 \times J_m}, \quad (5)$$

де: A_c – кількість цукру в сиропі, %; J_m - відсотковий вміст жиру в молоці, %;

2; 6,7; 1,3 - константи; h_m - відсотковий вміст цукру в молоці.

Перевіримо працездатність отриманих формул. Маємо коров'яче молоко, жирністю 3,8%, з вмістом цукру 4,7%. Слід визначити кількість коров'ячого молока, води і цукру для отримання 2 л суміші, за своїм складом була наближеною до молока кобил, жирністю 1,3%, а вмістом цукру 6,7%.

Розрахуємо кількість молока для отримання 2 л суміші молока і води, жирністю 1,3%, використавши формулу 1:

$$M = \frac{2,6}{J_m} = \frac{2,6}{3,8} = 0,684 \text{ л} - \text{слід взяти молока, жирністю 3,8\%}.$$

Розрахуємо кількість води, для отримання 2 літрів суміші молока і води, жирністю 1,3%, використавши формулу 2:

$$W = \frac{2 J_m - 2,6}{3,8} = \frac{2 \times 3,8 - 2,6}{3,8} = \frac{7,6 - 2,6}{3,8} = 1,316 \text{ л} - \text{слід взяти води,}$$

або $2 \text{ л} - 0,684 = 1,316$ літрів.

Розрахуємо кількість цукру в сиропі, або кількість цукру, яку слід додати до води, використавши формулу 5:

$$A_c = \frac{2 \times (6,7 J_m - 1,3 h_m)}{100 \times J_m} = \frac{13,4 \times 3,8 - 2,6 \times 4,7}{100 \times 3,8} = \frac{50,92 - 12,22}{380} = 0,1018 \text{ кг} = 101,8 \text{ г}$$

6.1.3 Нормування молока корів до молока кобил за вмістом білка для 2 літрів суміші

Перевіримо вміст білка в 2 л суміші коров'ячого молока, в якому відсотковий вміст білка складає 3,3% та води. Розрахунки також виконаємо за методом квадрата Пірсона (рис. 5).

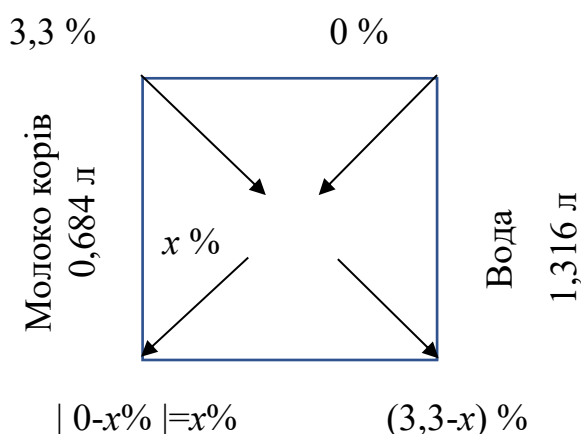


Рисунок 5. Розрахунок кількості білка в 2 л суміші молока корів і води
[розробка авторів]

Звідси маємо пропорцію: $x:(3,3-x) = 0,684:1,316$; $x \times 1,316 = 0,684 \times (3,3-x)$;

$1,316x = 2,257 - 0,684x$; $1,316x + 0,684x = 2,257$; $2,0x = 2,257$; $x = 2,257:2$;

$x = 1,1\%$ - такий вміст білка в суміші недостатній, оскільки в молоці кобил його вміст складає 2,1 %.

Добавимо, умовно, білка до води, позначивши його за В г, так, щоб відсоткова концентрація білка в суміші складала 2,1 %, позначивши її за b %.

Звідси пропорція: 2000г – 100%

$$x - 2,1\%; \quad x = \frac{2000 \times 2,1}{100} = 42 \text{ г} - \text{стільки повинно}$$

бути білка в суміші.

Розрахуємо концентрацію білка в 2 л суміші коров'ячого молока, в якому вміст білка складає 3,3% та води, за методом квадрата Пірсона (рис. 6).

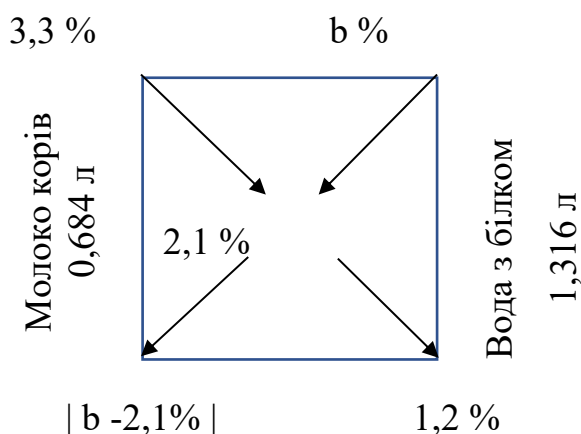


Рисунок 6. Розрахунок концентрації і кількості білка, яка буде міститися в 2 л суміші, наближеній до молока кобил [розробка авторів]

Маємо пропорцію: $|b - 2,1| : 1,2 = 0,684 : 1,316$; $|b - 2,1| : 1,2 = 0,52$;

$|b - 2,1| = 0,52 \times 1,2$; $|b - 2,1| = 0,624$, звідси: $b - 2,1 = 0,624$, або

$b - 2,1 = -0,624$. Розв'яжемо паралельно обидва рівняння:

$$b - 2,1 = 0,624; \quad b - 2,1 = -0,624;$$

$$b = 2,1 + 0,624; \quad b = 2,1 - 0,624;$$

$$b = 2,724 \approx 2,7\% \quad b = 1,476 \approx 1,5\%$$

При розв'язуванні рівняння одержали дві відповіді для відсоткового вмісту білка, який умовно додали у воду. Розглянемо обидва випадки.

Перший випадок. Якщо відсотковий вміст білка $b_1 = 2,7\%$, тоді до 1316 г води слід додати білка B_1 (г). Маємо пропорцію:

$$1316 \text{ г} - 100\%$$

$$B_1 \text{ г} - 2,7\%; \quad B_1 = \frac{1316 \times 2,7}{100} = 35,8 \text{ г білка.}$$

Другий випадок. Якщо відсотковий вміст білка $b_2 = 1,5\%$, тоді до 1316 г води слід додати білка B_2 (г). Маємо пропорцію:

$$1316 \text{ г} - 100\%$$

$$B_2 \text{ г} - 1,5\%; \quad B_2 = \frac{1316 \times 1,5}{100} = 19,4 \text{ г білка.}$$

Визначимо кількість білка (г), який міститься в 684 г молока корів, відсотковий вміст якого складає 3,3%. Маємо пропорцію:

$$684 \text{ г} - 100\%$$

$$x - 3,3\%; \quad x = \frac{684 \times 3,3}{100} = 22,6 \text{ г білка.}$$

Підрахуємо кількість білка, яка буде міститися в 2 л суміші в обох випадках. Перший: $35,8 + 22,6 = 58,4$ г, що більше, ніж 42 г. Другий: $19,4 + 22,6 = 42,0$ г, що і співпадає з нашими попередніми розрахунками.

Розглянемо це завдання у загальному вигляді. Нехай b – відсотковий вміст білка в суміші білка з водою, %, b_m – відсотковий вміст білка в коров'ячому молоці, %, B – кількість білка, яку добавили до води, г, M – кількість молока, л. Також скористаємося методом квадрату Пірсона (рис. 7).

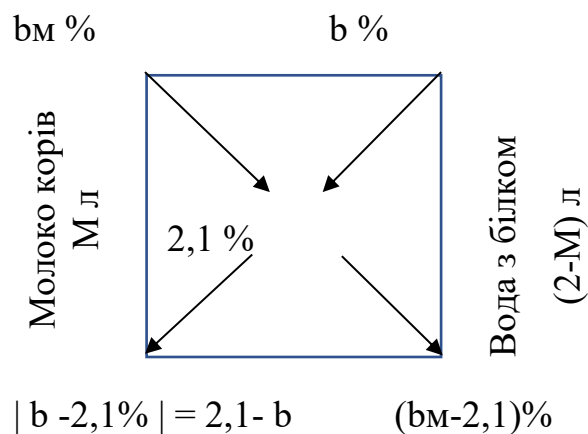


Рисунок 7. Виведення формули (8) розрахунку кількості білка, яку слід додати до 2 л суміші молока корів і води, наближеній до молока кобил [розробка авторів]

Маємо пропорцію: $(2,1 - b) : (b_m - 2,1) = M : (2 - M)$; $(2,1 - b) \times (2 - M) = M \times (b_m - 2,1)$; $2,1 \times (2 - M) - b \times (2 - M) = M \times (b_m - 2,1)$; $4,2 - 2,1M - Mb_m + 2,1M = b \times (2 - M)$; $b \times (2 - M) = 4,2 - Mb_m$, звідси формула:

$$b = \frac{4,2 - Mb_m}{2 - M}, \quad (6)$$

де: b – відсотковий вміст білка в суміші білка з водою, %; b_m – відсотковий вміст білка в коров'ячому молоці, %; B – кількість білка, яку добавили до води, г; M – кількість молока, л.

Замінімо $M = \frac{2,6}{\text{жм}}$, одержимо:

$$b = \left(4,2 - \frac{2,6}{Ж_{\text{м}}} \times b_{\text{м}}\right) : \left(2 - \frac{2,6}{Ж_{\text{м}}}\right) = \frac{4,2 \times Ж_{\text{м}} - 2,6 \times b_{\text{м}}}{Ж_{\text{м}}} : \frac{2Ж_{\text{м}} - 2,6}{Ж_{\text{м}}} = \frac{(4,2Ж_{\text{м}} - 2,6b_{\text{м}}) \times Ж_{\text{м}}}{Ж_{\text{м}} \times (2Ж_{\text{м}} - 2,6)}. \text{ Звідси: } b = \frac{4,2Ж_{\text{м}} - 2,6b_{\text{м}}}{2Ж_{\text{м}} - 2,6} \quad (7)$$

Обчислимо кількість білка В (г), яку добавили до води:

$$B = (2 - M) \times \frac{4,2Ж_{\text{м}} - 2,6b_{\text{м}}}{2Ж_{\text{м}} - 2,6} : 100 = \left(2 - \frac{2,6}{Ж_{\text{м}}}\right) \times \frac{4,2Ж_{\text{м}} - 2,6b_{\text{м}}}{2Ж_{\text{м}} - 2,6} : 100 \\ = \frac{2Ж_{\text{м}} - 2,6}{Ж_{\text{м}}} \times \frac{4,2Ж_{\text{м}} - 2,6b_{\text{м}}}{2Ж_{\text{м}} - 2,6} : 100 = \frac{4,2Ж_{\text{м}} - 2,6b_{\text{м}}}{100Ж_{\text{м}}},$$

Отримали: $B = \frac{4,2Ж_{\text{м}} - 2,6b_{\text{м}}}{100Ж_{\text{м}}}$, звідси формула кількості білка, яку слід додати до води, а відповідно і в суміші молока з водою, для отримання концентрації білка в суміші 2,1 %:

$$B = \frac{2(2,1Ж_{\text{м}} - 1,3b_{\text{м}})}{100Ж_{\text{м}}}, \quad (8)$$

де: В - кількість білка, яку слід додати до води, г; Ж_м - жирність коров'ячого молока, %; b_м - відсотковий вміст білка в коров'ячому молоці, %.

Перевіримо працездатність отриманої формули: якщо Ж_м = 3,8%, b_м = 3,3%, то білка слід додати до суміші: $B = \frac{2(2,1Ж_{\text{м}} - 1,3b_{\text{м}})}{100Ж_{\text{м}}} = \frac{4,2 \times 3,8 - 2,6 \times 3,3}{100 \times 3,8} = \frac{15,96 - 8,58}{380} = \frac{7,38}{380} = 0,0194 \text{ кг} = 19,4 \text{ г}.$

В даному випадку формули спрощують обчислення.

Таким чином, якщо відомі жирність коров'ячого молока Ж_м, %, процентний вміст в ньому цукру h_м та білка b_м, маємо три формули для розрахунку для 2 л суміші:

$$M = \frac{2,6}{Ж_{\text{м}}} - \text{кількість молока корів у 2 л суміші, л.}$$

$A_{\text{с}} = \frac{2 \times (6,7Ж_{\text{м}} - 1,3h_{\text{м}})}{100 \times Ж_{\text{м}}} - \text{кількість цукру, яку необхідно додати до 2 л суміші.}$

$B = \frac{2(2,1Ж_{\text{м}} - 1,3b_{\text{м}})}{100Ж_{\text{м}}} - \text{кількість білка, який необхідно додати до 2 л суміші, подібної до молока кобил, тобто жирністю 1,3 %, вмістом цукру 6,7 % та вмістом білка 2,1 \%}.$

6.1.4 Нормування коров'ячого молока до молока кобил за вмістом жиру для отримання більшої кількості суміші

Для отримання більшої кількості суміші на основі молока корів, за основними поживними речовинами наближеної до молока кобил, також скористаємося методом квадрату Пірсона (рис. 8), в центрі якого поставимо заплановану жирність молока кобил, яка в середньому складає 1,3 %.

Позначимо кількість необхідної суміші V л, в ній молока корів M л, тоді води буде $(V-M)$ л, жирність коров'ячого молока $Ж_{\text{М}}$, л, яка вища за жирність молока кобил.

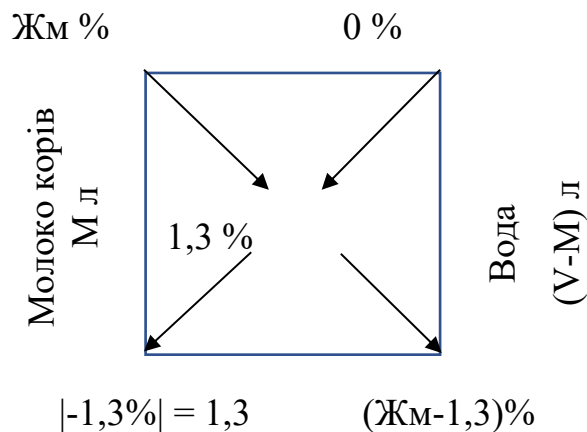


Рисунок 8. Виведення формули (9) розрахунку необхідної кількості молока корів, яку слід взяти для отримання суміші запланованого об'єму, наближеній до молока кобил за жирністю [розробка авторів]

Маємо пропорцію: $1,3:(Ж_{\text{М}}-1,3) = M:(V-M)$; $1,3 \times (V-M) = M \times (Ж_{\text{М}}-1,3)$;

$1,3V - 1,3M = M \times Ж_{\text{М}} - 1,3M$; $M \times Ж_{\text{М}} = 1,3 V$. Звідси формула:

$$M = \frac{1,3V}{Ж_{\text{М}}}, \quad (9)$$

де: M - кількість молока, яку слід взяти для суміші, г; $1,3$ – константа;

V - кількість необхідної суміші, л; $Ж_{\text{М}}$ – жирність коров'ячого молока.

Тоді кількість води W складатиме: $W = (V-M)$ л, або:

$$W = V - M = V - \frac{1,3V}{Ж_{\text{М}}} = \frac{V \times Ж_{\text{М}} - 1,3V}{Ж_{\text{М}}} = \frac{V(Ж_{\text{М}} - 1,3)}{Ж_{\text{М}}}.$$

Звідси формула кількості води в суміші: $W = \frac{V(Ж_{\text{М}}-1,3)}{Ж_{\text{М}}}.$

6.1.5 Нормування коров'ячого молока до молока кобил за вмістом цукру для отримання більшої кількості суміші

Розрахуємо в загальному вигляді кількість цукру, яку необхідно додати до об'єму суміші V , щоб процентний вміст цукру був 6,7 %, як і в молоці кобил.

Позначимо h_m – відсотковий вміст цукру в молоці корів, %, h_c – відсотковий вміст цукру в суміші цукру і води, %, A_c – кількість цукру, яку необхідно додати до суміші, г.

Також скористаємося методом квадрату Пірсона (рис. 9), в центрі якого поставимо запланований процент цукру, такий як і в молоці кобил, який в середньому складає 6,7 %.

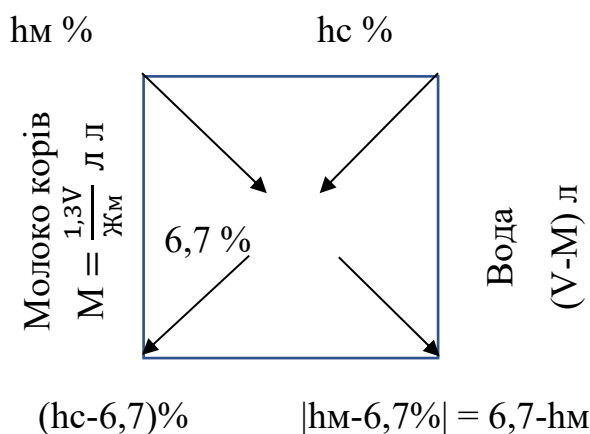


Рисунок 9. Виведення формули (11) розрахунку кількості цукру, яку необхідно додати для отримання суміші запланованого об'єму, наближеній до молока кобил [розробка авторів]

Маємо пропорцію: $(h_c - 6,7) : (6,7 - h_m) = M : (V - M)$; $(h_c - 6,7) \times (V - M) = M \times (6,7 - h_m)$; $h_c \times (V - M) - 6,7 \times (V - M) = 6,7M - M \times h_m$; $h_c \times (V - M) = 6,7V - 6,7M + 6,7M - M \times h_m$. Звідси формула:

$$h_c = \frac{6,7V - Mh_m}{V - M}, \quad (10)$$

де: h_c – відсотковий вміст цукру в суміші цукру і води, %; 6,7 – константа;

V – кількість необхідної суміші, л; M – кількість молока, яку слід взяти для суміші, г; h_m – процентний вміст цукру в молоці корів, %.

Визначимо кількість цукру, яку добавимо до води:

$$A_c = \frac{(V-M)h_c\%}{100\%} = \frac{(V-M) \times \frac{6,7V-Mh_m}{V-M}}{100\%} = \frac{6,7V-Mh_m}{100\%} = \frac{6,7V - \frac{1,3V}{Ж_m} \times h_m}{100\%} =$$

$$\frac{V(6,7 \times Ж_m - 1,3 \times h_m)}{100 \times Ж_m}. \text{ Звідси формула:}$$

$$A_c = \frac{V(6,7 \times Ж_m - 1,3 \times h_m)}{100 \times Ж_m}, \quad (11)$$

де: A_c – кількість цукру, яку слід додати до води, г; V – кількість необхідної суміші, л; h_m – процентний вміст цукру в молоці корів, %; $Ж_m$ – процентний вміст жиру в молоці корів, %; 6,7 – константа.

6.1.6 Нормування коров'ячого молока до молока кобил за вмістом білка для отримання більшої кількості суміші

Розрахуємо кількість білка, яку необхідно додати до об'єму суміші для отримання в ній процентного вмісту білка 2,1 %, як і в молоці кобил.

Позначимо b – відсотковий вміст білка в суміші білка з водою, %, b_m – відсотковий вміст білка в коров'ячому молоці, %, V_c – кількість білка, яку слід додати до води, а відповідно і до суміші, г, M – кількість молока, л.

Також скористаємося методом квадрату Пірсона (рис. 10), в центрі якого поставимо запланований процент білка, такий як і в молоці кобил, який в середньому складає 2,1 %.

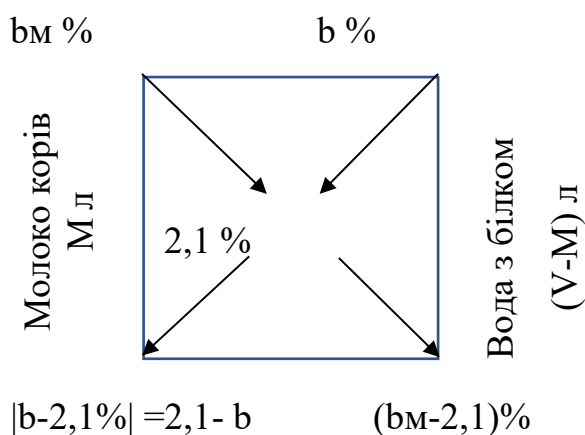


Рисунок 10. Виведення формули (13) розрахунку кількості білка, яку необхідно додати для отримання суміші запланованого об'єму, наближеній до молока кобил [розробка авторів]

Маємо пропорцію: $(2,1 - b):(b_M - 2,1) = M:(V - M)$; $(2,1 - b) \times (V - M) = M \times (b_M - 2,1)$; $2,1V - 2,1M - b \times (V - M) = Mb_M - 2,1M$; $b \times (V - M) = 2,1V - 2,1M - Mb_M + 2,1M$; $b \times (V - M) = 2,1V - b_M \times M$;

$$b = \frac{2,1V - b_M M}{V - M} = \frac{2,1V - b_M \times \frac{1,3V}{J_M}}{V - \frac{1,3V}{J_M}} = \frac{2,1V \times J_M - b_M \times 1,3V}{J_M} : \frac{V \times J_M - 1,3V}{J_M}. \text{ Звідси формула}$$

відсоткового вмісту білка в суміші з водою, %:

$$b = \frac{2,1V \times J_M - b_M \times 1,3V}{V \times J_M - 1,3V} = \frac{V(2,1J_M - 1,3b_M)}{V \times (J_M - 1,3)};$$

$$b = \frac{2,1J_M - 1,3b_M}{J_M - 1,3}$$

(12)

Визначимо B_c – кількість білка, яку слід додати до води, а відповідно і до суміші, г:

$$B_c = \frac{(V - M) \times \frac{2,1J_M - 1,3b_M}{J_M - 1,3}}{100\%} = \frac{(V - \frac{1,3V}{J_M}) \times (2,1J_M - 1,3b_M)}{100 \times (J_M - 1,3)} = \frac{V(J_M - 1,3) \times (2,1J_M - 1,3b_M)}{J_M \times 100(J_M - 1,3)}.$$

Звідси формула кількості білка, яку слід додати до води, а відповідно і до суміші, г:

$$B_c = \frac{V \times (2,1J_M - 1,3b_M)}{100J_M}, \quad (13)$$

де: B_c – кількість білка, яку слід додати до води, а відповідно і до суміші, г; V - кількість необхідної суміші, л; J_M – жирність коров'ячого молока, %; b_M - відсотковий вміст білка в коров'ячому молоці, %.

6.1.7 Перевірка отриманих результатів

Наприклад маємо коров'яче молоко, жирністю 3,4%, з вмістом цукру 4,6% та вмістом білка 3,2%. Визначити кількість молока і води, кількість цукру і білка для отримання 75 л суміші, подібної до молока кобил, тобто жирністю 1,3%, вмістом цукру 6,7% та білка 2,1%.

Для розрахунків скористаємося виведеними формулами. Спочатку розрахуємо кількість молока і води, використавши формулу 9, для отримання 75 л суміші, жирністю 1,3%.

$M = \frac{1,3V}{Жм}$ – формула кількості молока, яку слід взяти для суміші.

$$M = \frac{1,3 \times 75}{3,4} = 28,7 \text{ л} - \text{стільки необхідно взяти молока, жирністю } 3,4\%.$$

Решту об'єму буде займати вода: $75 - 28,7 = 46,3 \text{ л}$ - стільки необхідно взяти води.

Перевіримо, що жирність суміші в цьому випадку буде 1,3%.

Розрахуємо кількість жиру у 28,7 л молока, жирність якого 3,4%:

$$1 \text{ л} - 34 \text{ г}$$

$$28,7 - x \text{ г}; x = \frac{34 \times 28,7}{1} = 976 \text{ г. Ця ж кількість жиру міститься і в 75 л суміші}$$

молока і води. Розрахуємо жирність суміші:

$$976 \text{ г} - 75 \text{ л}$$

$$x \text{ л} - 1 \text{ л}; x = \frac{976 \times 1}{75} = 13 \text{ г, що становить } 1,3\%.$$

Розрахуємо кількість цукру, використавши формулу 11, яку слід додати до 75 л суміші, не враховуючи його вміст в молоці.

$$Ac = \frac{V(6,7 \times Жм - 1,3 \times hm)}{100 \times Жм}, \quad \text{де:}$$

Ac – кількість цукру, яку слід додати до води, г; V - кількість необхідної суміші, л; hm – процентний вміст цукру в молоці корів, %; $Жм$ – процентний вміст жиру в молоці корів, %; 6,7 – константа.

$$Ac = \frac{75(6,7 \times 3,4 - 1,3 \times 4,6)}{100 \times 3,4} = \frac{75(22,78 - 5,98)}{340} = \frac{75 \times 16,8}{340} = 3,71 \text{ кг.}$$

Перевіримо, що вміст цукру в 75 л суміші становитиме 6,7%. Спочатку розрахуємо кількість цукру в 28,7 л молока, відсотковий вміст якого складає 4,6%.

$$1 \text{ л} - 46 \text{ г}$$

$$28,7 \text{ л} - x \text{ л}; x = \frac{28,7 \times 46}{1} = 1320 \text{ г} = 1,32 \text{ кг.}$$

$$\text{Разом в суміші буде: } 1,32 + 3,71 = 5,03 \text{ кг.}$$

Обчислимо відсотковий вміст цукру в 75 л суміші.

$$75 \text{ л} - 5,03 \text{ кг}$$

$$1 \text{ л} - x \text{ кг}; x = \frac{5,03 \times 1}{75} = 0,067 \text{ кг, що становить } 6,7\%.$$

Використовуючи формулу 13, обчислимо кількість білка, яку необхідно додати до 75 л суміші, не враховуючи його вміст в молоці.

$$B_c = \frac{V \times (2,1J_m - 1,3b_m)}{100J_m}, \quad (13)$$

де: B_c – кількість білка, яку слід додати до води, а відповідно і до суміші, г; V - кількість необхідної суміші, л; J_m – жирність коров'ячого молока, %; b_m - відсотковий вміст білка в коров'ячому молоці, %.

$$B_c = \frac{75 \times (2,1 \times 3,4 - 1,3 \times 3,2)}{100 \times 3,4} = \frac{75 \times (7,14 - 4,16)}{340} = \frac{75 \times 2,98}{340} = 0,66 \text{ кг.}$$

Перевіримо, що вміст білка в 75 л суміші становитиме 2,1%. Спочатку розрахуємо кількість білка в 28,7 л молока, відсотковий вміст якого складає 3,2%.

$$1 \text{ л} - 32 \text{ г}$$

$$28,7 \text{ л} - x \text{ г}; x = \frac{28,7 \times 32}{1} = 918,4 \text{ г} = 0,92 \text{ кг.}$$

Загальна кількість білка в 75 л суміші складатиме: $0,66 \text{ г} + 0,92 \text{ г} = 1,58 \text{ кг}$.

Розрахуємо відсотковий вміст білка в 75 л суміші.

$$1,58 \text{ кг} - 75 \text{ л}$$

$$x \text{ кг} - 1 \text{ л}; x = \frac{1,58 \times 1}{75} = 0,021 \text{ кг, що становить } 2,1\%.$$

Отже для отримання 75 л суміші, подібної до молока кобил, слід взяти 28,7 л коров'ячого молока, жирністю 3,4%, 46,3 л води та додати 3,71 кг цукру та 0,66 кг білка.

Розрахунки для приготування певного об'єму суміші (V л) молока і води можна робити двома способами. За першим способом необхідно визначити у скільки разів потрібна кількість суміші (V л) більша від двох літрів і всі розраховані складові кількості молока за вмістом жиру (M), кількості цукру (A_c) та кількості білка (B_c) для двох літрів збільшити в певну кількість разів.

За другим способом скористуватися виведеними загальними формулами.

Для розрахунку кількості молока за вмістом жиру:

$$M = \frac{1,3V}{J_m}, \quad \text{де:}$$

M - кількість молока, яку слід взяти для суміші, г; 1,3 – константа; V - кількість необхідної суміші, л; J_m – жирність коров'ячого молока.

Для розрахунку кількості цукру:

$$A_c = \frac{V(6,7 \times Ж_m - 1,3 \times h_m)}{100 \times Ж_m}, \quad \text{де:}$$

A_c – кількість цукру, яку слід додати до води, г; V – кількість необхідної суміші, л; h_m – процентний вміст цукру в молоці корів, %; $Ж_m$ – процентний вміст жиру в молоці корів, %; 6,7 – константа.

Для розрахунку кількості білка:

$$B_c = \frac{V \times (2,1 Ж_m - 1,3 b_m)}{100 Ж_m}, \quad \text{де:}$$

B_c – кількість білка, яку слід додати до води, а відповідно і до суміші, г; V – кількість необхідної суміші, л; $Ж_m$ – жирність коров'ячого молока, %; b_m – відсотковий вміст білка в коров'ячому молоці, %.

Метод квадрату Пірсона дозволяє правильно розрахувати об'єм запланованої суміші на основі молока корів, а також співвідношення за основними складовими, наближеними до молока кобил для виробництва кумису.

Виведені для розрахунків формули в загальному вигляді показують їх працездатність і можуть бути запропоновані та рекомендовані для використання у господарствах не тільки з виробництва кумису, а й на підприємствах молочної промисловості.

SECTION 7. MINING AND OIL AND GAS TECHNOLOGIES

DOI: 10.46299/ISG.2025.MONO.AGRO.1.7.1

7.1 Системний підхід до модернізації теплових електростанцій із використанням цифрових двійників у контексті підвищення ефективності та надійності енергогенерації

Сучасні енергетичні системи базуються на використанні різних джерел генерації, серед яких провідну роль відіграють теплові електростанції (ТЕС). Для цього типу генерації характерні значні втрати первинної енергії, обмежена гнучкість режимів роботи та залежність від гарантованих поставок палива. У міжнародній практиці сформувалися підходи до підвищення ефективності та надійності енергопостачання: розвиток когенераційних технологій, застосування газопоршневих установок (ГПУ) і газотурбінних установок (ГТУ) для децентралізованої генерації, а також впровадження цифрових двійників для моніторингу й оптимізації енергетичних процесів. В Україні реалізація подібних рішень ускладнена обмеженістю ресурсів, зношеністю частини генеруючого обладнання та підвищеною вразливістю централізованих систем. В умовах воєнного стану це призводить до особливої потреби у забезпеченні надійності генерації, децентралізації енергопостачання та стійкості критичної інфраструктури. Проблематика дослідження полягає у пошуку технологічних рішень, які здатні інтегрувати міжнародний досвід у національні енергетичні умови та забезпечити ефективність і стабільність роботи ТЕС у кризових обставинах.

Наприклад, автори О. Frolov *et al.* [140] показали, що впровадження інноваційних технологій у системи теплопостачання українських військових містечок дозволяє суттєво підвищити їх ефективність і надійність, зменшити енергетичні витрати та забезпечити стійкість інфраструктури в умовах війни. З іншого боку, результати дослідження С. Semeraro *et al.* [141] узагальнили світовий досвід застосування цифрових двійників у великих енергетичних установках, демонструючи їхню ефективність у моніторингу, прогнозованому

обслуговуванні та діагностиці відмов, але також вказали на наявні прогалини у практичній реалізації цих технологій. Крім того, дослідники W. Zhu *et al.* [142] наголосили, що використання цифрових двійників для керування процесами горіння у ТЕС дозволяє підвищити точність моніторингу, оптимізувати режими роботи та забезпечити прогнозне керування на основі інтеграції з методами штучного інтелекту. Тобто українські рішення орієнтовані на забезпечення надійності та енергоефективності в умовах воєнного стану, тоді як іноземні дослідження зосереджені на довгостроковій цифровій трансформації великих енергетичних систем.

Результати дослідження J. Yu *et al.* [143] засвідчили, що застосування гібридного підходу до моделювання ТЕС із поєднанням фізичних механізмів та експлуатаційних даних дозволяє створити високоточні цифрові двійники для ТЕС, досягаючи середньої похибки моделювання лише 0,79 % у широкому діапазоні режимів роботи. Автори Z. N. Milovanovic *et al.* [144] показали, що підвищення енергоефективності та надійності конденсаційних ТЕС на вугіллі можливе завдяки впровадженню алгоритму заходів, спрямованих на оптимізацію експлуатації та технічного обслуговування, що дозволяє також підвищити їхню гнучкість в умовах переходу до відновлюваної енергетики. Результати I. Al-Mutaz *et al.* [145] показали, що в когенераційних ТЕС можна оптимально розподіляти паливо між виробництвом електроенергії та опрісненням води, що дозволяє підвищити ефективність використання енергоресурсів і точніше планувати витрати палива. В свою чергу, Y.-D. Yamasali *et al.* [146] вказали, що в роботі вугільних ТЕС спостерігається значне перевищення концентрацій забруднюючих речовин над національними стандартами, що вказує на необхідність контролю та оптимізації викидів для зниження негативного впливу на довкілля.

Зі свого боку, S. Guan *et al.* [147] підкреслили, що впровадження уніфікованого онлайн-фреймворку цифрового двійника дозволяє забезпечити синхронізацію параметрів, оптимізацію керування та візуалізацію процесів у теплових енергоблоках. Це підтверджує доцільність застосування цифрових

двійників для підвищення ефективності та надійності експлуатації конденсаційних ТЕС. Результати роботи W. Choi *et al.* [148] продемонстрували, що цифрові двійники в енергетиці дозволяють підвищувати ефективність, надійність і екологічність роботи різних енергетичних систем (газових турбін, вітрових, сонячних та ядерних установок), хоча їхнє практичне застосування все ще супроводжується низкою викликів. Додатково, N. Bhatia *et al.* [149] показали, що використання платформи Nvidia Omniverse для створення цифрових двійників термоядерних електростанцій забезпечує інтеграцію моделювання, візуалізації та реальних даних, що підвищує ефективність проєктування, експлуатації й оптимізації складних енергетичних систем.

У розглянутих роботах відсутній акцент на специфічних умовах воєнного стану та необхідності адаптації енергетичної інфраструктури до кризових викликів. При цьому, у поточному дослідженні основна увага приділена пошуку рішень, що поєднують цифрові двійники з модернізацією генеруючого обладнання, з метою підвищення енергоефективності, надійності та стійкості ТЕС в умовах складних зовнішніх факторів. Завдання дослідження полягали у проведенні аналізу нормативної документації в сфері складання енергетичних характеристик ТЕС (в режимі конденсаційної та когенераційної ТЕС), а також в огляді варіантів добудови (до встановлення) ГПУ, ГТУ та малих модульних ядерних реакторів (ММЯР), включаючи вплив їх сумісної роботи на показники енергетичної ефективності такого комплексу обладнання.

Аналіз нормативної документації щодо енергетичних характеристик ТЕС

В умовах забезпечення енергетичної безпеки України особливе значення набуває підвищення ефективності та надійності роботи ТЕС. Модернізація існуючих ТЕС із застосуванням цифрових двійників дозволяє інтегрувати комплексні підходи до оптимізації роботи обладнання, прогнозування режимів та підвищення ККД генеруючих установок. Одним із ключових аспектів оцінки роботи ТЕС є розгляд режимів її функціонування: конденсаційного та когенераційного.

Для аналізу нормативної документації щодо енергетичних характеристик ТЕС в даній монографії було розглянуто конденсаційний та когенераційний режими. Наведено порівняння їх характеристик за основною метою роботи, використанням тепла, контролем енергетичних потоків, нормами якості пари та конденсату, нормами регулювання та експлуатації, джерелами та видами палива, а також інтеграцією цифрових двійників [150-151]. Крім того, проаналізовано Галузевий керівний документ (ГКД) 34.25.503-96 [150] та нові правила кваліфікації когенераційних установок, що розроблені на основі європейських директив [151].

Конденсаційна ТЕС призначена переважно для генерації електроенергії з максимальною віддачею при охолодженні пари у конденсаторі, що забезпечує високий ККД електричної частини, але не використовує тепло для інших потреб. Натомість когенераційна ТЕС забезпечує одночасну генерацію електроенергії та тепла для технологічних або побутових потреб, що підвищує загальну ефективність використання палива, але вимагає більш складного управління енергетичними потоками та врахування режимів навантаження. Тобто, різниця між конденсаційним і когенераційним режимами ТЕС полягає не лише у цільовому використанні виробленої енергії, а й у комплексі технічних та нормативних вимог до контролю енергетичних потоків, параметрів пари та конденсату, регулювання обладнання та інтеграції цифрових систем моделювання (Табл. 1).

Отже, вибір режиму експлуатації значною мірою визначає технічні, енергетичні та нормативні вимоги до станції, а також впливає на можливості підвищення ефективності та інтеграції цифрових систем моделювання. Складання енергетичних характеристик конденсаційних ТЕС базується на комплексі нормативних вимог, які визначають технічні параметри, оптимальні режими роботи обладнання та контроль за енергетичними потоками.

Таблиця 1. Порівняння характеристик конденсаційних та когенераційних ТЕС

Характеристика	Конденсаційна ТЕС	Когенераційна ТЕС
Основна мета роботи	Максимальна генерація електроенергії	Одночасне виробництво електроенергії та тепла
Використання тепла	Не використовується для зовнішніх потреб	Використовується для технологічних і побутових потреб
Контроль енергетичних потоків	Фокус на ефективність турбоустановок і тепловий баланс конденсатора	Баланс між електричною потужністю та тепловою віддачею
Норми якості пари та конденсату	Вміст натрію та кремнієвої кислоти, водневий показник, електропровідність, контроль втрат пари та конденсату	Враховуються аналогічні параметри, плюс ефективність когенерації за методикою економії первинної енергії
Норми регулювання та експлуатації	Первинне регулювання частоти, температури і вологості, герметичність вакуумних систем	Аналогічні норми, з додатковим контролем теплової потужності для споживачів
Джерела та види палива	Стандартні паливні цикли ТЕС	Всі види палива і технології когенерації, відповідно до правил високоефективної когенерації
Інтеграція цифрових двійників	Використовується для моделювання режимів конденсаційних турбін	Використовується для моделювання балансу електро-теплопродуктивності, оптимізації ККД когенераційної

Відповідно до ГКД 34.25.503-96, конденсаційні турбіни та пов'язані з ними установки повинні забезпечувати максимальну ефективність перетворення енергії палива в електричну енергію при дотриманні режимів конденсації та нормативних температурних напорів у конденсаторі [150]. Важливим аспектом є забезпечення герметичності вакуумних систем, контроль за чистотою поверхонь конденсатора та витратами охолоджувальної води для оптимізації теплового балансу енергоблоку. Такі параметри використовуються при розрахунку питомих витрат палива, ККД турбоустановок і загальної ефективності станції.

Нормативні вимоги передбачають також контроль хімічного складу та фізичних властивостей пари і конденсату. Наприклад, допустимий вміст натрію та кремнієвої кислоти у парі котлів регламентується залежно від тиску та типу електростанції, а значення водневого показника і електропровідності забезпечують довговічність та надійність роботи обладнання. Втрати пари та конденсату в межах станції повинні контролюватися і не перевищувати нормативних значень (для конденсаційних електростанцій – до 1 % від загальної

витрати живильної води), що впливає на точність складання енергетичних характеристик та визначення ефективності паливно-енергетичного циклу.

Крім того, нормативи охоплюють вимоги до первинного регулювання частоти, температури та вологості в приміщеннях, експлуатації електроустаткування, вентиляції та запобігання конденсації на важливих вузлах. Всі ці параметри використовуються для формування режимних карт енергоблоків та служать базою для цифрових двійників, що моделюють роботу конденсаційних ТЕС [152]. Зокрема, дотримання встановлених правил експлуатації конденсаційних установок дозволяє забезпечити економічну та надійну роботу турбін у всіх режимах, що є критично важливим при інтеграції системного підходу до модернізації та підвищення енергоефективності станцій. Для наочності наведено залежність робочих параметрів конденсатора від температури вхідної охолоджувальної води та кількості теплопередавальних трубок за трьома сценаріями (Рис. 1).

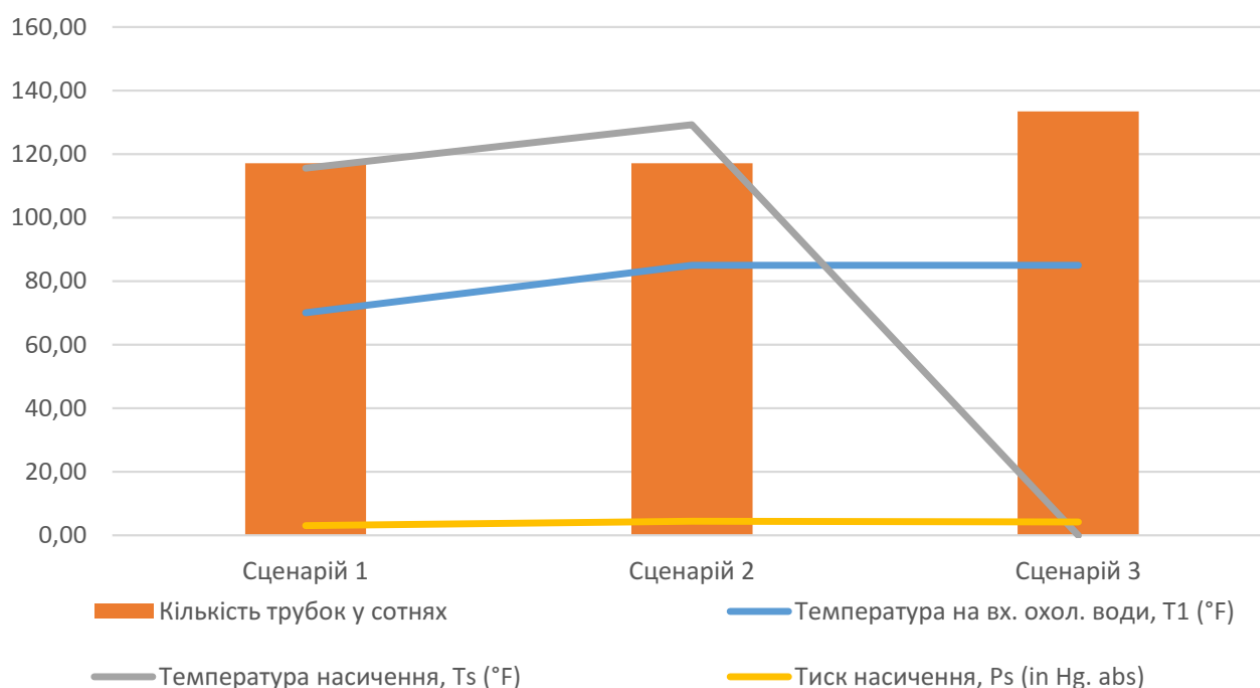


Рисунок 1. Графік теплових характеристик конденсатора за різних сценаріїв

Джерело: створено авторами на основі [152].

Графік підтверджує, що робочі параметри конденсатора суттєво залежать від температури вхідної охолоджувальної води та кількості теплопередавальних трубок. За температури 70 °F і кількості 117,15 сотень трубок (Сценарій 1) тиск насичення становив 3,05 in Hg abs, що відповідає проектним умовам та дозволяє забезпечити оптимальний тепловий баланс енергоблоку. Підвищення температури води до 85 °F при тій же кількості трубок (Сценарій 2) призвело до зростання тиску насичення до 4,44 in Hg abs, хоча зниження електричної потужності блоку не було необхідним. Додавання 10 % трубок (133,39 сотні) за тієї ж температури (Сценарій 3) дозволило зменшити тиск насичення до 4,22 in Hg abs, що покращує роботу конденсатора у спекотні літні дні. Така модифікація може бути технічно ефективною, проте вимагає значних інженерних змін, що знижує її економічну доцільність. Ці результати демонструють важливість контролю температури охолоджувальної води та правильного підбору кількості трубок при складанні енергетичних характеристик конденсаційних ТЕС для забезпечення надійної та ефективної роботи турбоустановок.

Наведений аналіз демонструє, що ефективність роботи конденсатора та загальна енергетична характеристика ТЕС значною мірою залежать від параметрів охолоджувальної води та конфігурації теплопередавальних трубок. У межах системного підходу до модернізації ТЕС перспективним є використання цифрових двійників, які дозволяють моделювати різні експлуатаційні сценарії, прогнозувати зміни тиску і температури та оптимізувати режим роботи турбоустановок. Це створює можливість підвищення ККД і надійності енергоблоків, а також коригувати режимні карти без фізичних втручань у роботу станції. Отже, інтеграція цифрових двійників у процес складання енергетичних характеристик конденсаційних ТЕС може стати ключовим елементом підвищення ефективності та економічності роботи електростанцій.

З іншого боку, в режимі когенераційної ТЕС складання енергетичних характеристик передбачає комплексну оцінку одночасного виробництва електричної та теплової енергії. На відміну від конденсаційного режиму, де основною метою є максимальна генерація електроенергії, когенераційний режим

враховує баланс між віддачею електроенергії та тепла для технологічних або побутових потреб. Для точного визначення енергетичної ефективності та питомих витрат палива необхідно враховувати як електричну продуктивність турбоустановок, так і теплову потужність теплообмінного обладнання, що забезпечує постачання тепла споживачам.

В Україні з 2024 року працюють нові правила кваліфікації когенераційних установок (КГУ) на основі європейських директив [151], які визначають критерії високоефективної когенерації, коли економія електроенергії та тепла порівняно з роздільним виробництвом має перевищувати 10 % для установок потужністю понад 1 МВт (мегават) та бути позитивною для малих установок (від 50 кВт (кіловат) включно до 1 МВт) та мікрокогенераційних установок (потужністю до 50 кВт). Кваліфікація здійснюється на основі проєктних даних та результатів експлуатаційних випробувань, що дозволяє підтвердити відповідність установки стандартам високоефективної когенерації та отримати відповідне свідоцтво.

Складання енергетичних характеристик когенераційних ТЕС також включає облік різних видів палива та технологій когенерації, а нові правила передбачають цифровий формат подання документів, що спрощує адміністрування та контроль. Крім того, високоефективні когенераційні установки отримують державну підтримку у вигляді податкових пільг, що стимулює модернізацію ТЕС та впровадження системного підходу з використанням цифрових двійників для підвищення енергоефективності та надійності енергогенерації [153]. Для наочного представлення процесу складання енергетичних характеристик когенераційної ТЕС наведено схему основних етапів моделювання та розподілу енергії (Рис. 2).

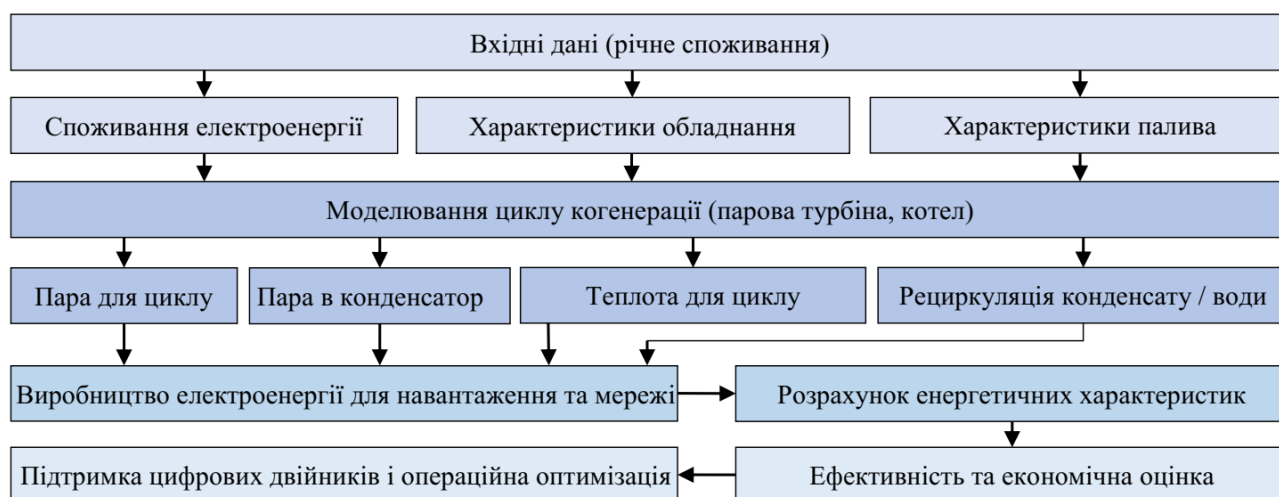


Рисунок 2. Схема енергетичних характеристик біомасової когенераційної електростанції для одночасного виробництва електроенергії та тепlopостачання

Джерело: створено авторами на основі [153].

Ця схема демонструє послідовність збору даних, моделювання когенераційного циклу, розподілу енергії та оцінки ефективності для одночасного виробництва електроенергії та тепла. Отже, складання енергетичних характеристик ТЕС у когенераційному режимі передбачає комплексну оцінку одночасного виробництва електроенергії та тепла з урахуванням ефективності турбоустановок, теплообмінного обладнання та питомих витрат палива. Використання цифрових двійників може дозволити інтегрувати дані з різних джерел, моделювати режим роботи в реальному часі та оптимізувати баланс між виробництвом електроенергії та тепла, підвищуючи ефективність і надійність енергогенерації та сприяючи модернізації ТЕС і КГУ.

Таким чином, ефективне функціонування станцій залежить від режиму роботи (конденсаційного чи когенераційного) та від точного контролю енергетичних потоків, параметрів пари і конденсату. Вибір режиму визначає технічні та експлуатаційні вимоги, впливає на ККД і оптимізацію використання палива. Для когенераційних ТЕС ключовим є баланс між виробництвом електроенергії та тепла для технологічних потреб, а інтеграція цифрових двійників може забезпечити прогнозування режимів, оптимізацію роботи обладнання та підвищення надійності й ефективності енергогенерації. Загалом,

нормативна база створює основу для системного підходу до модернізації ТЕС та впровадження високоефективних технологій.

Аналіз ефективності добудови додаткового генеруючого обладнання на ТЕС

Сучасна енергетика стикається з необхідністю підвищення ефективності та екологічності виробництва електроенергії, особливо на ТЕС, де традиційно споживаються великі обсяги викопного палива. Різні варіанти добудови додаткового генеруючого обладнання на ТЕС дозволяють оптимізувати використання первинних енергоресурсів, зменшити викиди парникових газів та підвищити загальну ефективність виробництва електроенергії та тепла. Серед підходів до модернізації ТЕС слід виділити інтеграцію газопоршневих та газотурбінних установок, а також застосування ММЯР, що дозволяє комбінувати виробництво електроенергії з різними формами корисного тепла та забезпечувати більш гнучке управління енергетичними потоками.

Наприклад, ГПУ, зокрема в когенераційних конфігураціях, дозволяють одночасно виробляти електроенергію та теплову енергію, використовуючи природний газ або біогаз як паливо. Їхні ключові переваги включають високий ККД (до 85 %), можливість економії первинної енергії близько 22 % порівняно з роздільним виробництвом електроенергії та тепла, а також зниження викидів вуглекислого газу, приблизно на 20-40 % залежно від виду палива [154]. Результати демонструють ефективне використання відведеного тепла з охолоджувальних контурів двигуна та вихлопних газів для обігріву води та кондиціонування, що дозволяє досягати додаткової економії енергії та скорочення викидів шкідливих речовин. Рисунок 3 показує інтегровану систему тригенерації ГПУ з цифровим двійником для моніторингу та оптимізації роботи ключових компонентів.

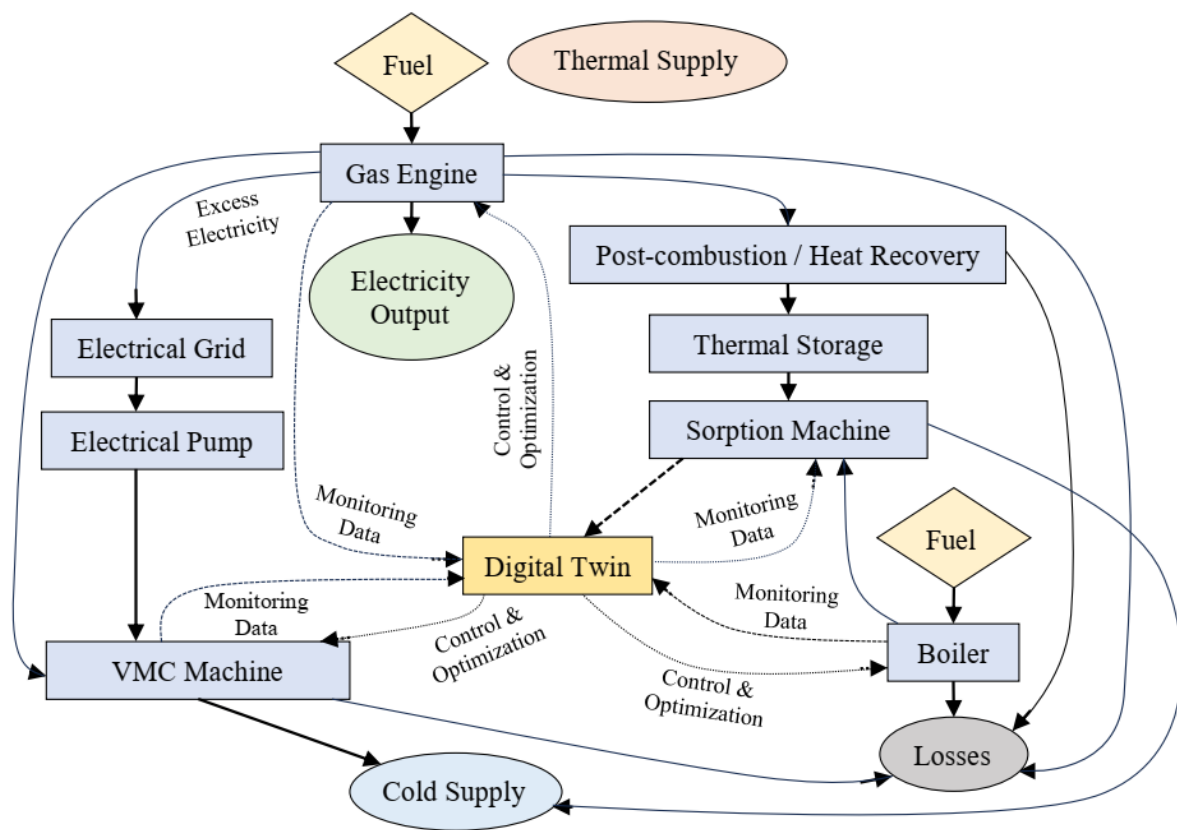


Рисунок 3. Схема інтегрованої системи тригенерації ГПУ з цифровим двійником для моніторингу та оптимізації

Джерело: створено авторами на основі [154].

Надана схема показує основні енергетичні потоки від джерел палива до виробництва електроенергії, тепла та холоду, включаючи використання відведеного тепла через блоки посткомбустації та сорбційної машини. Цифровий двійник збирає дані з газового двигуна, VMC-машини (Vapor Mechanical Compression), сорбційної машини та котла для оптимізації управління та підвищення загальної ефективності системи. В свою чергу, ГТУ на ТЕС, особливо в когенераційних та комбінованих циклах, забезпечують ефективне виробництво електроенергії та тепла шляхом стиснення повітря в турбокомпресорі та спалювання природного газу або рідкого палива в камері згоряння. Частина механічної енергії турбіни використовується для приводу компресора, а відпрацьовані гази можуть передавати тепло водяній парі для промислового використання або подаватися у сорбційні машини для холодоутворення [154]. Підвищення електричної ефективності досягається за

рахунок використання високотемпературних турбінних матеріалів, оптимізації термодинамічних циклів та інтеграції з паровими турбінами у комбінованих циклах. Рисунок 4 демонструє схему інтегрованої ГТУ з цифровим двійником для моніторингу та оптимізації енергопотоків та управління режимами роботи.

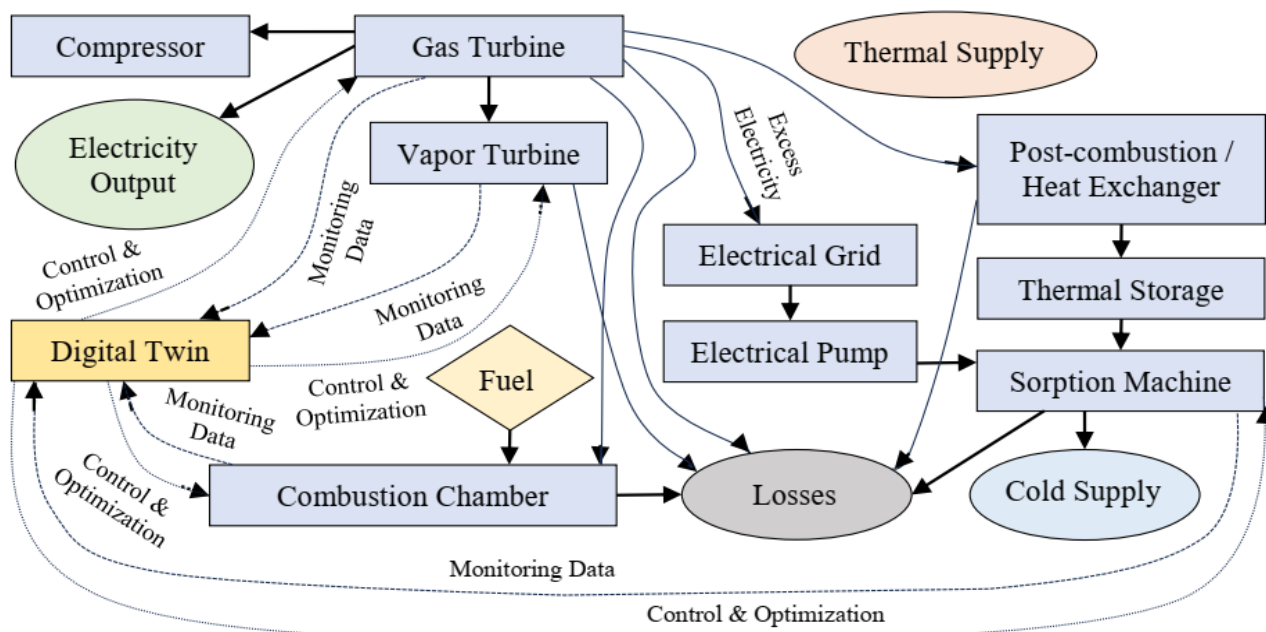


Рисунок 4. Схема інтегрованої ГТУ з цифровим двійником для моніторингу та оптимізації

Джерело: створено авторами на основі [154].

Ця схема ілюструє основні енергетичні потоки від палива до виробництва електроенергії, тепла та холоду, включаючи відведене тепло ГТУ, парової турбіни та посткомбустайного блока. Цифровий двійник збирає дані з ключових компонентів і забезпечує їхнє оптимальне управління для підвищення ефективності та надійності роботи системи. Зі свого боку, ММЯР – це клас передових реакторів ядерного поділу, що характеризуються компактним активним ядром (зазвичай <300 МВт електричних) та пасивними системами безпеки [155]. Модульна конструкція дозволяє збирати їх безпосередньо на місці експлуатації, що робить можливим розгортання у важкодоступних для традиційних великих реакторів локаціях. Рисунок 5 демонструє схему

інтегрованого ММЯР з цифровим двійником для моніторингу, управління та оптимізації виробництва електроенергії та тепла.

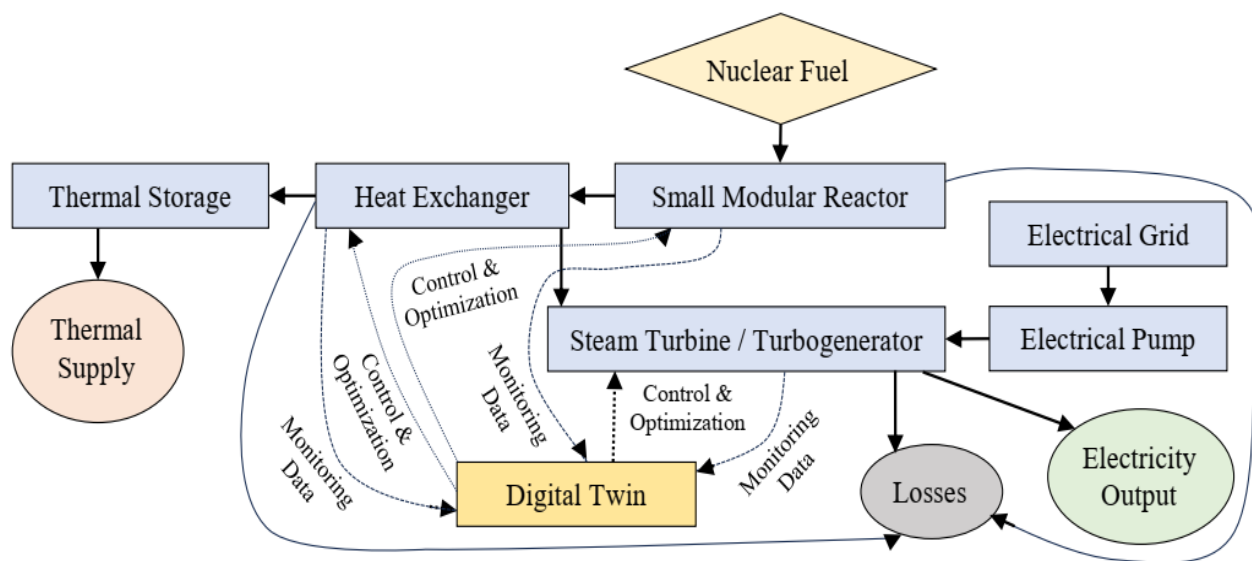


Рисунок 5. Схема інтегрованого ММЯР з цифровим двійником для моніторингу та оптимізації

Джерело: створено авторами на основі [155].

Схема ілюструє ключові потоки енергії від ядерного палива до виробництва електроенергії та тепла, включаючи відведене тепло реактора для теплових контурів та систем когенерації. Цифровий двійник збирає дані з реактора, теплообмінників та турбогенераторів для оптимізації роботи системи, підвищення безпеки та ефективності енергогенерації. Інтеграція ММЯР з іншими генераційними установками, такими як ГПУ та ГТУ, дозволить створювати комплексні енергетичні системи, які поєднують переваги кожного компонента і забезпечують більш ефективне використання енергоресурсів.

Кожен з цих компонентів виконує специфічну роль: ГПУ забезпечують високий ККД у малопотужних когенераційних схемах та ефективне використання відведеного тепла; ГТУ оптимізують виробництво електроенергії та тепла у середньо- та великопотужних установках завдяки когенераційним і комбінованим циклам; ММЯР [156] забезпечують стабільне виробництво електроенергії та тепла з низьким рівнем викидів, підвищуючи безпеку та

надійність енергопостачання. Сумісна робота цих трьох типів установок у складі одного комплексу дозволяє максимально ефективно використовувати первинні енергоресурси: відновлювані або викопні види палива, ядерне паливо та відведене тепло, зменшувати втрати енергії, знижувати викиди парникових газів і шкідливих речовин, а також підвищувати загальну електричну та теплову ефективність системи [157]. При цьому, використання цифрових двійників для моніторингу та оптимізації роботи всіх компонентів дозволяє оперативно регулювати енергетичні потоки та балансувати виробництво електроенергії, тепла і холоду відповідно до поточних потреб. Для наочної оцінки характеристик і переваг кожного типу установок наведено порівняльний аналіз (Табл. 2).

Таблиця 2. Порівняльний аналіз різних типів генераційних установок для модернізації ТЕС

Тип установки	Країна	Проект	Основні характеристики
ГПУ	Україна	Децентралізовані газові когенераційні установки	Ефективність використання палива підвищена, економія первинної енергії складає 30-40 %, забезпечується підтримка критичної інфраструктури під час кризових ситуацій
ГТУ	Румунія	Когенераційна газотурбінна система	Ефективність досягає 100 % на повному навантаженні, зменшуючись до 89,3 % при 75 % та до 69,4 % при 50 %, що підкреслює важливість когенерації та комбінованого циклу
ММЯР	Китай	HTR-PM (High-Temperature Gas-cooled Reactor)	Потужність складає 200 МВт теплової енергії, використовується гелій як охолоджувач, температура пари досягає 523 °C

Тобто, кожен тип установки вирізняється власними перевагами: ГПУ забезпечують високу ефективність у малопотужних когенераційних схемах, ГТУ демонструють оптимальну ефективність у комбінованих циклах середньої потужності, а ММЯР гарантують безпечне та стабільне виробництво тепла й електроенергії на комерційній основі [158]. Загалом, системний підхід до

модернізації ТЕС передбачає комплексне планування і взаємодію всіх компонентів енергетичного комплексу на рівні процесів та даних. Основою такого підходу є моделювання всіх енергетичних потоків за допомогою цифрових двійників, що дозволяє оцінювати ефективність і надійність роботи обладнання в режимі реального часу. Це включає прогнозування навантажень, аналіз режимів роботи різних генераторів, оптимізацію використання відведеного тепла та планування технічного обслуговування без зупинки виробництва. При цьому, важливою складовою є координація роботи різнорідних генераційних установок у складі одного комплексу, адже газопоршневі та газотурбінні установки забезпечують гнучку регульовану генерацію, а ММЯР додають стабільність базового навантаження. Цифровий двійник дозволяє інтегрувати дані з усіх типів генераторів, синхронізувати їх роботу та швидко коригувати енергетичні потоки у відповідь на зміни попиту або наявності палива. Це забезпечує не тільки підвищення ККД комплексу, а й значне зниження питомих витрат палива та екологічного навантаження.

Додатковим аспектом є можливість адаптивного планування розвитку та модернізації ТЕС. На основі даних цифрових двійників можна моделювати сценарії добудови нового обладнання, оцінювати економічну доцільність установки додаткових ГПУ, ГТУ чи ММЯР, визначати співвідношення потужностей і прогнозувати очікувану економію енергії та зниження викидів.

Щодо впровадження цифрових двійників у реальну експлуатацію ТЕС, то попри численні переваги, воно пов'язане з потенційними ризиками, які можуть вплинути на ефективність і надійність енергетичних комплексів. Одним із ключових ризиків є технологічні несправності, такі як збої в роботі програмного забезпечення цифрових двійників, помилки в інтеграції даних із датчиків або некоректна обробка великих обсягів інформації в реальному часі, що може призвести до неточних прогнозів режимів роботи або неправильного керування обладнанням. Наприклад, невідповідність даних із фізичних систем (ГПУ, ГТУ, ММЯР) і цифрових моделей через несправність сенсорів чи затримки в передачі

даних може спричинити помилки в оптимізації енергетичних потоків, знижуючи ККД або навіть викликаючи аварійні ситуації.

Іншим важливим аспектом є вплив нестабільних зовнішніх умов, які не завжди враховуються в моделюванні, таких як перебої в постачанні палива, зміна кліматичних умов (наприклад, екстремальні температури, що впливають на охолоджувальну воду), або кібератаки на цифрові системи, що є особливо актуальним в умовах воєнного стану. Ці фактори можуть порушити синхронізацію цифрового двійника з реальними процесами, ускладнюючи прогнозування та адаптивне керування, а також підвищуючи ризик економічних втрат через зупинку обладнання чи неоптимальну експлуатацію [159]. Для мінімізації ризиків необхідні регулярне тестування цифрових систем, резервне копіювання даних і розробка сценаріїв реагування на кризові ситуації. Таким чином, розглянутий підхід дозволяє створювати інтелектуальні та ефективні енергетичні комплекси, які інтегрують модернізоване обладнання і цифрові технології управління, забезпечуючи високий рівень енергоефективності, надійності та екологічності виробництва електроенергії та тепла.

Підсумовуючи, отримані результати показали, що інтеграція цифрових двійників у модернізовані ТЕС дозволяє ефективно прогнозувати режимні параметри, оптимізувати енергетичні потоки та підвищувати ККД генераційного обладнання в складних ресурсних умовах. Застосування когенераційних і конденсаційних схем, а також комплексне використання ГПУ, ГТУ та ММЯР, забезпечує одночасне виробництво електроенергії, тепла та холоду при зменшенні втрат і зниженні викидів парникових газів. Таким чином, цифрові двійники виступають ключовим інструментом підвищення надійності, безпеки та екологічної ефективності сучасних ТЕС, забезпечуючи гнучке та інтегроване управління енергетичними потоками.

REFERENCES

1. Демиденко, Л. М., Стельмах, В. С. СТАН ВИТРАТ ВИРОБНИЦТВА У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ. Проблеми обліково-аналітичного забезпечення управління підприємницькою діяльністю : зб. матер. ІV Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Полтава, 24 жовтня 2019 р.). Полтава : ПДАА, 2019. 544 с.
2. Клецова Н. В. ОПТИМІЗАЦІЯ ВИТРАТ НА ПЕРСОНАЛ У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВАХ УКРАЇНИ. International Scientific-Practical Conference Modern Transformation of Economics and Management in the Era of Globalization: Conference Proceedings, (January 29, 2016). – Klaipeda : Baltija Publishing. – P. 179-182.
3. Мацак, З. І. ОПТИМІЗАЦІЯ ВИТРАТ ЯК ЧИННИК ПІДВИЩЕННЯ ПРИБУТКОВОСТІ АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції (заочна форма) «Формування та перспективи розвитку підприємницьких структур в рамках інтеграції до європейського простору» – Полтава, 2019. – 715 с.
4. Mikulina M. Economic security of the development of agrarian formations [Electronic resource] / M. Mikulina, A. Polyvanyi // Sustainable Development in Wartime Ukraine and the World : multidisciplinary conference for young researchers, (November 25, 2022). – Prague, 2022. – P. 22-24. DOI: <https://doi.org/10.25140/978-80-213-3242-3-2022>
5. Мікуліна, М. О., Поливаний, А. Д. Методичні підходи стосовно вивчення впливу типу ходової системи тракторів на техніко-економічні показники. In The 5 th International scientific and practical conference “Science and innovation of modern world” (January 25-27, 2023) Cognum Publishing House, London, United Kingdom. 2023. 672 p. (p. 185).
6. Mikulina, M. A., Polyvanyi, A. D., Kliesch, O. V., Tymchenko, V. O., & Klymenko, D. V. Current trends in cooperation between ukrainian and american transport systems. In The 7th International scientific and practical conference “PROGRESSIVE RESEARCH IN THE MODERN WORLD” (March 29-31, 2023) CPN Publishing Group, Boston, USA (pp. 186-190).
7. Mikulina, M. O., B. O. Sarzhanov, and A. D. Polyvanyi. "ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОЕФІЦІЄНТА НАДІЙНОСТІ АГРОМАШИНИ НА ПРЯМІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ЗАТРАТИ АГРАРНОГО ПІДПРИЄМСТВА." Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Mechanization and Automation of Production Processes 1 (55) (2024): 55-61.
8. Мікуліна М., Поливаний А., Бондаренко В. Техніко-економічна оцінка використання систем і технологій в рослинництві. / М. Mikulina // Science and technology: problems, prospects and innovations. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference. CPN Publishing Group. Osaka, Japan. 2023. Pp. 18-22.

9. West, G. H., Kovacs, K. Addressing Groundwater Declines with Precision Agriculture: An Economic Comparison of Monitoring Methods for Variable-Rate Irrigation, *Water*, Vol. 9, No. 1. ISSN 2073-4441. DOI: <https://doi.org/10.3390/w9010028>
10. Колючий В. Т., Власенко В. А., Борсук Г. Ю. Селекція, насінництво і технології вирощування зернових колосових культур у Лісостепу України. К.: Аграрна наука, 2007. 794 с.
11. Jamali K. D., Arain M. A., Javed M. A. Breeding of bread wheat for semi-dwarf character and high yield. *Wheat Inf. Serv.* 2003. № 96. P. 11 – 14.
12. Літун П. П., Кириченко В. В., Петренкова В. П., Коломацька В. П. Системний аналіз в селекції польових культур: навчальний посібник. Харків, 2009. 354 с.
13. Ващенко В. В., Ковалевська Н. І., Шевченко О. О., Лобко Т. К., Бережна Л. А. Адаптивна селекція в умовах північної підзони Степу України. Розвиток Придніпровського регіону: агроекологічний аспект : монографія / за ред. А. С. Кобця. Дніпро: Ліра, 2021. С. 334–338.
14. Старіченко В. М., Голік Л. М., Ткачова Н. А., Літус М. В. Оцінка адаптивної здатності та стабільності сортів і ліній в селекції пшениці озимої. Селекція і насінництво. 2014. Вип.105. С 77– 84.
15. Вискуб Р.С., Ващенко В.В., Бондарева О.Б. Адаптивна селекція зернових культур в умовах південно-східного Степу України. *Climate-smart agriculture: science and practice: Scientific monograph.* Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2023. 576 p. P. 326–344. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-389-7-16>
16. Наукові основи селекції озимої пшениці на агроекологічну адаптивність : монографія / В. В. Базалій, Є. О. Домарацький, Г. Г. Базалій, М. М. Корхова, О. В. Ларченко, Н. В. Кириченко, А. В. Панфілова. Миколаїв : МНАУ, 2024. 244 с.
17. Ковалевська Н. І. Метод добору вихідного матеріалу при селекції озимої пшениці для умов Степу України. Бюлетень інституту зернового господарства. 2007. №30. С.109–112.
18. Ковалевська Н. І., Лобко Т. К., Пастух В. П. Добір високопродуктивних сортів пшениці м'якої озимої для селекції на скоростиглість. Вісник ДДАУ. 2010. №1. С.23– 26.
19. Ващенко В. В., Шевченко О. О., Вінюков О. О., Вискуб Р. С., Бондарева О. Б. Екологічне сортовипробування сортів пшениці озимої різних селекційних установ в умовах південно-східного Степу України. *Applied, technical and agricultural sciences: introduction of the latest technologies into use: collective monograph.* Boston: Primedia eLaunch, 2024. 122 с. С.5–20. DOI – 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.3

20. Лозінський М. В., Устинова Г. Л. Вплив генотипу та умов року на успадкування продуктивної кущистості за гібридизації різних за скоростиглістю сортів пшениці м'якої озимої. *Агробіологія*. 2022. 1 (171). С.95–106. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2022-171-1-95-106>
21. Хоменко Л. О., Сандецька Н. В. Джерела комплексної стійкості пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.) у селекції на адаптивність. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018. 14 (3). 270–276. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.3.2018.145289>
22. Самойлик М. О., Устинова Г. Л., Лозінський М. В., Корхова М. М., Уліч О. Л. Оцінка врожайних та адаптивних властивостей нових сортів пшениці м'якої озимої. *Вісник аграрної науки*. 2023. №2(839). С.34–42. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202302-05>
23. Alghabari F., Shah Z. H. Evaluation of bread wheat and synthetic hexaploid genotypes under drought condition based on physiological, biochemical and genetic indices. *J. Anim. Plant Sci.* 2024. 34 (3). <https://doi.org/10.36899/JAPS.2024.3.0750>
24. Din A., Ahmad M., Watto F. M., Ahmed S., Ali I. and Shah M. K.N. Drought tolerance screening in thirty common wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Sarhad J. Agric.* 2020. 36. 168–177. doi: 10.17582/journal.sja/2020/36.1.168.177
25. Bennani S., Nsarellah N., Birouk A., Ouabbou H., Tadesse W. Effective Selection Criteria for Screening Drought Tolerant and High Yielding Bread Wheat Genotypes. *Universal Journal of Agricultural Research*. 2016. 4(4). 134–142. <https://doi.org/10.13189/ujar.2016.040404>
26. Madić M., Đurović D., Stevović V., Tomić D., Biberdžić M., Pavlović N., Marjanović M. Grain yield and yield components of prospective homozygous winter wheat genotypes. “2nd International symposium on biotechnology”: Proceedings. 2024. Pp. 35–40. DOI: 10.46793/SBT29.03MM
27. Sallam M., Ghazy A., Al-Doss A., Al-Ashkar I. Combining Genetic and Phenotypic Analyses for Detecting Bread Wheat Genotypes of Drought Tolerance through Multivariate Analysis Techniques. *Life*. 2024. 14. 183. <https://doi.org/10.3390/life14020183>
28. Чугрій Г., Вінюков О., Бондарева О. Визначення найбільш адаптивних сортів пшениці озимої різних селекційних центрів в умовах Північного Степу України. *Вісник Львівського національного аграрного університету*. 2020. № 24. С.147–153. <https://doi.org/10.31734/agronomy2020.01.147>

29. Леонов О. Ю. Каталог зразків пшениці за господарсько-цінними ознаками з колекції Національного центру генетичних ресурсів рослин України. Харків, 2005. 59 с.
30. Ярош А. В., Рябчун В. К., Рябчун Н. І., Леонов О. Ю., Падалка О. І., Петухова І. А., Сахно Т. В., Шелякіна Т. А. Ознакова колекція пшениці м'якої озимої за твердістю зерна та кондитерськими властивостями. Генетичні ресурси рослин. 2016. № 19. С.32–47.
31. Леонов О.Ю., Усова З.В., Суворова К.Ю., Попов Ю.В., Анциферова О.В. Робоча колекція озимої м'якої пшениці за загальною антиоксидантною здатністю як джерело вихідного матеріалу для селекції сортів з підвищеною біологічною цінністю. Генетичні ресурси рослин. 2023. № 32. С.43–51.
DOI: 10.36814/pgr.2023.32.05
32. Merezhko A. F. Impact of genetic resources on wheat breeding // *Euphytica*. 1998. № 100. P. 295–303.
33. Hawkes J. G. The importance of genetic resources in plant breeding. *Biological Journal of the Linnean Society*, Volume 43, Issue 1, May 1991, Pages 3–10, <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1991.tb00578.x>
34. Шевченко О. О., Ващенко В. В., Лобко Т. К. Ступінь пластичності сортів пшениці м'якої озимої різних екотипів. Зернові культури. Том 7. № 1. 2023. С. 37–42. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0256>
35. Літун П. П. Пакет прикладних програм «ОСГЕ». Харків, 1992. 192 с.
36. Dornez W., Goubet F., Gebruers K. та ін. (2011) Barley grain β -glucans — biochemistry and implications for malting. *International Journal of Food Science and Technology*.
37. Krstanović V., Dodig A., Sandor Z. та ін. (2016) A survey of total β -glucan content in Croatian barley varieties. *Cereal Research Communications*, 44: 650–657.
38. Han F., Wang M., Wu H. та ін. (2022) Identification of the genes associated with β -glucan synthesis and accumulation during grain development in barley. *Plant Molecular Biology / Frontiers* (2022).
39. Oscarson J., McKenzie D., et al. (2023) Chemical Composition of Barley Grains: starch, protein, fat, β -glucan, fibre and ash (порівняльні дані по покритому та голозерному ячменю). MDPI / *Barley in the Production of Cereal-Based Products* .
40. Sheliakina T. A. (2018) Вміст та біологічна цінність білка у зерні зразків ячменю ярого. Селекція і насінництво.
41. Жемела Г. П., Барат Ю. М. (2007) Урожайність та якість зерна пивоварного ячменю ярого залежно від способу збирання. Вісник Полтавської ДАА.
42. Кузіна В. Ю. (2021) Технологія ефективного виробництва ячменю пивоварного призначення. Інноваційна економіка.

43. *Frontiers in Plant Science* (2025) A systems review of grain proteins in rice and barley: biosynthesis, regulation, and impact on end-use quality.
44. Kumar R., Vis & Lorenz (2022) β -Glucan in barley and its impact on malting and brewing quality. *International Journal of Food Science and Technology*.
45. *Frontiers in Sustainable Food Systems* (2023) Barley and wheat β -glucan content influenced by weather, fertilization, and genotype.
46. Izydorczyk M.S., Dexter J.E. Barley β -glucans and arabinoxylans: Molecular structure, physicochemical properties, and role in grain functionality. *Cereal Chemistry*. 2008. Vol. 85. P. 637–646.
47. Newman C.W., Newman R.K. Nutritional aspects of barley seed structure and composition. *Journal of Cereal Science*. 2008. Vol. 48. P. 363–371.
48. Oscarsson M., Andersson R., Aman P. Composition of Swedish barley varieties: Comparative analysis of starch and dietary fiber. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1996. Vol. 44. P. 2007–2011.
49. Bach Knudsen K.E. The nutritional significance of "dietary fibre" analysis. *Animal Feed Science and Technology*. 2001. Vol. 90. P. 3–20.
50. McKevith B. Nutritional aspects of cereals. *British Nutrition Foundation Nutrition Bulletin*. 2004. Vol. 29. P. 111–142.
51. Baik B.-K., Ullrich S.E. Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. *Journal of Cereal Science*. 2008. Vol. 48. P. 233–242.
52. Havrlentová M., Kraic J. Content of β -glucans in cereal grains. *Journal of Food and Nutrition Research*. 2006. Vol. 45. P. 97–103.
53. Myers K., Gulating R., Henry R. Composition and nutritional value of hull-less barley. *Cereal Foods World*. 2004. Vol. 49. P. 223–229.
54. Holtekjølén A.K., Uhlen A.K., Bråthen E. Contents of phenolics and dietary fiber in hull-less barley varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2006. Vol. 54. P. 2253–2260.
55. Abdel-Aal E.-S.M., Choo T.M. Composition and nutritional quality of barley grain. *Cereal Foods World*. 2014. Vol. 59. P. 170–178.
56. Briggs D.E. *Malts and Malting*. London: Blackie Academic and Professional, 1998. 796 p.
57. Fox G.P., Panozzo J.F. Assessing quality in malting barley: Combining grain, malt and beer properties. *Journal of the Institute of Brewing*. 2002. Vol. 108. P. 53–59.
58. Edney M.J., O'Donovan J.T. Quality of barley. In: *Barley: Production, Improvement, and Uses*. Wiley-Blackwell, 2010. P. 480–501.
59. Ullrich S.E. *Barley: Production, Improvement, and Uses*. Wiley-Blackwell, 2010.

60. Shock M., Briggs D.E. The influence of grain protein on malting quality. *Journal of the Institute of Brewing*. 2000. Vol. 106. P. 119–127.
61. Oscarsson M., Andersson R., Aman P. Chemical composition of barley samples. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1997. Vol. 73. P. 143–148.
62. Bamforth C.W. *Barley and Malt Quality: A Practical Guide*. Minnesota: ASBC, 2003. 309 p.
63. Izydorczyk M.S., Dexter J.E. Barley β -glucans and their role in brewing. *Cereal Chemistry*. 2008. Vol. 85. P. 637–646.
64. Molina-Cano J.L., Moralejo M., Swanston J. Determination of malting quality and its genetic basis. *Euphytica*. 2001. Vol. 120. P. 95–107.
65. Shewry P.R., Halford N.G. Cereal seed storage proteins: Structures, properties and role in grain utilization. *Journal of Experimental Botany*. 2002. Vol. 53. P. 947–958.
66. Komisarenko V.P., Shubina O.F. Influence of environmental conditions on malting barley quality parameters. *Agronomy Research*. 2003. Vol. 1. P. 123–131.
67. Yin X., He X., Yang Y. Activity of hydrolytic enzymes in barley grain during steeping. *Journal of Cereal Science*. 2005. Vol. 41. P. 21–27.
68. Evans D.E., Collins H. Measurement of diastatic power and amylolytic activity in barley and malt. *Journal of the Institute of Brewing*. 2003. Vol. 109. P. 40–45.
69. Белев, Т. (2025). Интервю за Национална информационна агенция „Параграф“. [онлайн ресурс]. Достъпен на: <https://paragraf.bg/toma-belev-v-elenite-nyama-reka-a-hoteli-varhu-koritoto-koruptsiyata-ubiva/>. [Посетен 28.10.2025]
70. Борисова, Б. (2013). *Ландшафтна екология и ландшафтно планиране*. ISBN 978-954-322-671-9. 283 с.
71. Диков, П. (2025). Трагедията в Елените е комбинация на некомпетентност и алчност [онлайн ресурс]. Достъпен на: https://dnesplus.bg/bulgaria/arh-petar-dikov-tragediyata-v-elenite-e-kombinatsia-na-nekompetentnost-i-alchnost_1204348. [Посетен 31.10.2025]
72. Иванов, Г. (2023). Добри практики при възстановяването на крайречни гори в България. *Институт за гората при БАН*: 6 с.
73. Мардироян, Г. (2020). Природни бедствия и екологични катастрофи: изучаване, превенция и защита. Изд. на БАН „Проф. Марин Дринов“, с. 115
74. Кънев, С. (2024). Опустошителни наводнения в историята на Варна (1951 и 2014 година). Сборник доклади от ежегодната 27-ма научна конференция „Кюстендилски четения“ на тема „Бедствия и катастрофи в историята“, 2 – 4 юни 2023: 237-254

75. Петров, Д. (1989). Указания за устройство и използване на територии, на водни течения и оврази при проектирането на малките населени места. КНИПИТУГА
76. Радев, И. (2025). PolitiCheck: Не е вярно, че в района на курортното селище Елените няма река. [онлайн ресурс]. Достъпен на: <https://factcheck.bg/politicheck-ne-e-vyarno-che-v-rajona-na-kurortnoto-selishte-elenite-nyama-reka/>. [Посетен 28.10.2025]
77. Сариев, М. (2020). Влияние на ландшафта върху развитието на селищните структури в планински условия и ролята му на ресурс за селскостопански и туристически дейности. Сборник доклади от XI Международна научни конференция „Проектиране и строителство на сгради и съоръжения“, 10-12 септември 2020 г, Варна
78. Стойков, Д. (1979). Свлачища в района на курортните комплекси край град Варна. Дисертация, с. 14
79. Тодоров, Л. (2025). Интервю за OFFNews. [онлайн ресурс]. Достъпен на: <https://offnews.bg/obshtestvo/mnozhestvo-greshni-reshenia-ucheni-izsledvat-prichinite-za-bedstviето-852857.html>. [Посетен 28.10.2025]
80. Шахънов, В. (2025). Основни методи и концепции в ландшафтното планиране за намаляване на риска от бедствия. Agriculture, forestry, fisheries, veterinary medicine and natural sciences: latest ideas, problems and current status
81. Augustyn, A. (2021). [онлайн ресурс]. Достъпен на: <https://www.britannica.com/event/Huang-He-floods>. [Посетен 30.10.2025]
82. Burgess, P., Rosati, A. (2018). Advances in European agroforestry: results from the AGFORWARD project. Agroforest Systems 92: 801–810
83. Rijke, J., Herk, S., Zevenbergen, Ch., Ashley, R. (2012). Room for the River: Delivering integrated river basin management in the Netherlands. International Journal of River Basin Management, 10(4): 369-382
84. Xavrdová, A., Douda, J., Doudová, J. (2023). Threats, biodiversity drivers and restoration in temperate floodplain forests related to spatial scales. Science of the Total Environment 854 (2023) 158743: 1–19
85. Ye, Z. (2016). Cities under Siege: Flood in 1931 and Environmental Challenges of Chinese Urban Modernization. International Planning History Society Proceedings, 17(2). [онлайн ресурс]. Достъпен на: <https://doi.org/10.7480/iphs.2016.2.1225>. [Посетен 30.10.2025]
86. Вергиев, С., Тонева, Д., Пенчева, Ц., Крачунов, П. (2024). Природно базирани решения за контрол на ерозията и наводненията на крайбрежните зони: Сравнително изследване на местни растителни видове по Българското Черноморско крайбрежие. Списание на българското геологическо дружество, год. 85, кн. 3: 182–185

87. Иванов, Г. (2023). Добри практики при възстановяването на крайречни гори в България. Институт за гората при БАН: 6 с.
88. Маринова, М. (2016). Композиции от многогодишни цветя устойчиви в условията на съвременна градска среда. Управление и устойчиво развитие, 4/2016 (59): 83-88
89. Михайлов, Т. (2019). Изчезващата вода в парковете на София. Сборник доклади от IX Международна научна конференция по архитектура и строителство ArCivE 2019, 31 Май – 02 Юни 2019 г., Варна, България
90. Сариев, М. (2020). Влияние на ландшафта върху развитието на селищните структури в планински условия и ролята му на ресурс за селскостопански и туристически дейности. Сборник доклади от XI Международна научна конференция „Проектиране и строителство на сгради и съоръжения“, 10-12 септември 2020 г, Варна
91. Шахънов, В. (2025). Ландшафтно планиране и идентифициране на мерките и факторите за намаляване на риска от наводнения в България. Agriculture, forestry, fisheries, veterinary medicine and natural sciences: latest ideas, problems and current status
92. AlJammal, E. (2021). The use of landscape approach for strategic multifunctional development of north metn in lebanon. Dissertation. p. 35
93. Berg, F., Moghtaderi, N., Van, M. (2024). Flood Resilient Landscapes. Symposium “Dams for People, Water and Environment and Development” - 92nd ICOLD Annual Meeting – New Delhi, India
94. Burgess, P., Rosati, A. (2018). Advances in European agroforestry: results from the AGFORWARD project. Agroforest Systems 92: 801–810
95. (2010). Informing an Effective Response to Climate Change. National Research Council, Division on Earth and Life Studies, Board on Atmospheric Sciences and Climate, America's Climate Choices: Panel on Informing Effective Decisions and Actions Related to Climate Change. ISBN-10:0309145945. 346 p.
96. Isa N., Salleh S., Wan Mohd N., Chan A. (2018). Kuala Lumpur City of Tomorrow: Integration of Geospatial Urban Climatic Information in City Planning [pdf]. Достъпен на: <https://um.ase.ro/v13i4/1.pdf>. [Посетен 23.10.2025]
97. Malinova, D. (2017). Scale of anthropogenic impact assessment on the landscape. Proceedings of III International Scientific and Practical Conference "Scientific and Practical Results in 2016. Prospects for Their Development", 1(17), Vol.2
98. McCarthy, M., Best, M., Betts, R. (2010). Climate change in cities due to global warming and urban effects. Geophysical Research Letters, 37 (L09705), p. 1-5.
99. (2014) New bridge in Nijmegen: ‘The Crossing’. [Онлайн ресурс]. Достъпен на: <https://bicycledutch.wordpress.com/2014/05/29/new-bridge-in-nijmegen-the-crossing/>. [Посетен 02.11.2025]

100. Opdam, P., Steingröver, E., Rooij, S. (2006). Ecological networks: A spatial concept for multi-actor planning of sustainable landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 75(3-4): 322-332
101. Rijke, J., Herk, S., Zevenbergen, Ch., Ashley, R. (2012). Room for the River: Delivering integrated river basin management in the Netherlands. *International Journal of River Basin Management*, 10(4): 369-382
102. (2017). River Waal: Preliminary hydraulic and morphological impact analysis of the Room for the Waal intervention. [pdf]. Достъпен на: <https://essay.utwente.nl/files/share/file/74569/Tuitert-Gidde.pdf> [Посетен 02.11.2025]
103. (2019). Room for the River Programme. [Онлайн ресурс]. Достъпен на: <https://www.dutchwatersector.com/news/room-for-the-river-programme>. [Посетен 01.11.2025]
104. Room for the River Nijmegen. [Онлайн ресурс]. Достъпен на: <https://hnsland.nl/en/projects/room-river-nijmegen/>. [Посетен 02.11.2025]
105. Sayer, J., Sunderland, T., et al. (2013). Ten principles for a landscape approach to reconciling agriculture, conservation, and other competing land uses. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110 (21): 8345-8348
106. Seddon, N., Chausson, A., Berry, P., Girardin, C., Smith, A., Turner, B. (2020). Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. Vol. 375, Issue 1794: 20190120
107. Serra-Llobet, A., Jähnig S., Geist J. et al. (2021). Restoring Rivers and Floodplains for Habitat and Flood Risk Reduction: Experiences in Multi-Benefit Floodplain Management From California and Germany. *Frontiers in Environmental Science*, Vol. 9
108. Tóth, Gr., Cseke, K., Benke, A., Lados, B., Tomov, V., Zhelev, P., Kámpel, J., Borovics, A., Köbölkuti, Z. (2023). Key triggers of adaptive genetic variability of sessile oak [*Q.petraea* (Matt.) Liebl.] from the Balkan refugia: outlier detection and association of SNP loci from ddRAD-seq data. *Heredity*, Vol. 131: 130–144
109. Valavanidis, A. (2024). Can Artificial Intelligence (AI) Forecast with Accuracy Flood Events at Global Scale?. *Scientific Reviews*, 18.4.2024, Global Environmental Problems
110. Xavrdová, A., Douda, J., Doudová. J. (2023). Threats, biodiversity drivers and restoration in temperate floodplain forests related to spatial scales. *Science of the Total Environment* 854 (2023) 158743: 1–19
111. Japan International Cooperation Agency. (2018). Information collection and verification survey for municipal solid waste management in Ukraine. Final report. https://www.jica.go.jp/english/overseas/ukraine/information/topics/2021/___icsFiles/afieldfile/2024/09/03/12319893.pdf

112. Antoniuk, K., & Antoniuk, D. (2022). Sustainable waste management: International experience for Ukraine regions. *Management and Entrepreneurship: Trends of Development*, 2(20), 59–67. <https://doi.org/10.26661/2522-1566/2022-2/20-05>
113. Марцинюк, Є., & Хандогіна, О. (2025). Основні характеристики військового сміття та їх наслідок для місцевого управління відходами. *Муніципальне господарство міст*, 2(190), 56–62. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2025-2-190-56-62>
114. Dnipropetrovsk Regional Investment Agency. (n.d.). Waste management: A priority for investment in Dnipropetrovsk region. Retrieved from <https://dia.dp.gov.ua/en/waste-management-a-priority-for-investment-in-dnipropetrovsk-region/>
115. Demchuk, L. I., Korbut, M. B., Davydova, I. V., Alpatova, O. M., Kalenska, V. P., & Rusetska, N. M. (2025). Environmental risk of household waste accumulation at the Zhytomyr city landfill in the period from 2018–2024 years. *Науковий журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки*, (4), 24–33. <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-4-3>
116. Roleders, V., Oriekhova, T., Zaharieva, G., Sysoieva, I., Dobizha, V., Pidhaiets, S., & Kucher, L. (2024). Economic justification of recycling in the processing industry. *Cleaner and Responsible Consumption*, 13, 100195. <https://doi.org/10.1016/j.clrc.2024.100195>
117. State Statistics Service of Ukraine. (2024). Нормативні документи: 125_2024. Retrieved from https://www.ukrstat.gov.ua/norm_doc/2024/125/125_2024.htm
118. State Statistics Service of Ukraine. (2024). Відходи. Retrieved from <https://stat.gov.ua/uk/releases/vidkhody-0>
119. Дніпропетровська обласна рада. Регіональний план управління відходами у Дніпропетровській області до 2030 року. (2022). <https://oblrada.dp.gov.ua/wp-content/uploads/регіональний-план-управління-відход/>
120. Екологія. Право. Людина (EPL). (2021). Небезпечні відходи: Аналітична записка. https://epl.org.ua/wp-content/uploads/2021/09/nebezpechni_vidhody.pdf
121. Стратічук, Н. В. (2020). Проблема накопичення відходів та оптимізація шляхів поводження з ними. *Таврійський науковий вісник. Серія Агрономія*, 111, 193–198. https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/111_2020/40.pdf
122. Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>
123. Šomplák, R., Smejkalová, V., Rosecký, M., Szásziová, L., Nevrlý, V., Hrabec, D., & Pavlas, M. (2023). Comprehensive Review on Waste Generation Modeling. *Sustainability*, 15(4), 3278. <https://doi.org/10.3390/su15043278>

124. Xie, W., Yu, Q., Fang, W. et al. Data-driven approaches linking wastewater and source estimation hazardous waste for environmental management. *Nat Commun* 15, 5432 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41467-024-49817-6>
125. Lindamulla, L., Nanayakkara, N., Othman, M. et al. Municipal Solid Waste Landfill Leachate Characteristics and Their Treatment Options in Tropical Countries. *Curr Pollution Rep* 8, 273–287 (2022). <https://doi.org/10.1007/s40726-022-00222-x>
126. Gardiner, R., & Hajek, P. (2020). Municipal waste generation, R&D intensity, and economic growth nexus – A case of EU regions. *Waste Management*, 114, 124–135. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.06.038>
127. Ilbahar, E., Kahraman, C., & Cebi, S. (2021). Location selection for waste-to-energy plants by using fuzzy linear programming. *Energy*, 234, 121189. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121189>
128. Rosecký, M., Šomplák, R., Slavík, J., Kalina, J., Bulková, G., & Bednář, J. (2021). Predictive modelling as a tool for effective municipal waste management policy at different territorial levels. *Journal of Environmental Management*, 291, 112584. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112584>
129. Alzamora, B. R., Barros, R. T. de V., Oliveira, L. K. de, & Gonçalves, S. S. (2022). Forecasting and the influence of socioeconomic factors on municipal solid waste generation: A literature review. *Environmental Development*, 44, 100734. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2022.100734>
130. 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>
131. Русакова Т.І. (2023). Математична модель накопичення відходів в Україні. *Збірник наукових праць національного гірничого університету*. 72. 138-147. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/72.270>
132. Barreto, I.M.L.G., Rangel, A.H.N., Urbano, S.A., Bezerra, J.S., & Oliveira, C.A.A. (2019). Equine milk and its potential use in the human diet. *Food Sci. Technol*, 39(1), 1-7. doi: 10.1590/fst.11218.
133. Fantuz, F., Salimei, E., & Papademas, P. (2016). Non-Bovine Milk and Milk Products. Elsevier (209-261).
134. Пешук Л.В. Характеристика молока кобил та кумису. URL: <http://surl.li/kpogo>
135. Івахненко О.Л., Калюжная О.С., Стрельников Л.С. Вибір дріжджів для виробництва кумису з коров'ячого молока. URL: <http://surl.li/mlrvsu>
136. Державний департамент ветеринарної медицини. Наказ 20.04.2004 N 49. Про затвердження Правил ветеринарно-санітарної експертизи молока і молочних продуктів та вимог щодо їх реалізації. URL: <http://surl.li/mlrvsu>

137. O. Florya, S. Nahorny, S. Kosenko, O. Chalyi, O. Chalaya Time spent on milking mares and their ethological indicators/ Вісник аграрної науки Причорномор'я: наук. журн. – Миколаїв: Миколаївський національний аграрний університет, 2023. – Т. 27, № 1. С. 30-40.
138. Aizhan Rakhmanova, Tao Wang, Guo Xing, Linling Ma, Yan Hong, Ying'ying Lu, Li Xing, Wang Xing, Qiao Zhu, Xing Liu. Isolation and identification of microorganisms from Kazakh koumiss and their application for the preparation of koumiss from cow's milk. DOI: 10.3168/jds.2020-18527. URL: <http://surl.li/yylpvk>
139. Küçükçetin A., Yaygin H., Hinriks J., U. Kulozik, Adaptation of cattle milk to the composition of mare's milk using membrane technology for koumiss production. International Dairy Journal. V. 13, Issue 12, 2003, P. 945-951 URL: <http://surl.li/ejdbkt>
140. Frolov, O., Bulhakov, R., Kushnareva, G., Rabochaya, T. (2024). Introduction of Innovative Technologies into Military Garrison Heating Systems to Enhance their Efficiency and Reliability. Social Development and Security, 14(2), 44-51. URL: <https://doi.org/10.33445/sds.2024.14.2.5>.
141. Semeraro, C., Aljaghoub, H., Mdallal, A. H. I., Abdelkareem, M. A., Olabi, A. G. (2025). Efficiency and Enhanced Performance: Exploring Digital Twin Implementation in Power Plants. Renewable and Sustainable Energy Technology, 1(1), 5. URL: <https://doi.org/10.53941/rset.2025.100005>.
142. Zhu, W., Lu, X. (2024). 3D Digital Modeling Technology for Thermal Power Plant Boilers Based on Digital Twins. Journal of Circuits, Systems and Computers, 34(2). URL: <https://doi.org/10.1142/S0218126625500586>.
143. Yu, J., Petersen, N., Liu, P., Li, Z., Wirsum, M. (2022). Hybrid Modelling and Simulation of Thermal Systems of In-Service Power Plants for Digital Twin Development. Energy, 260(22). URL: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125088>.
144. Milovanovic, Z. N., Brankovic, D., Janičić Milovanović, V. (2023). Efficiency of Condensing Thermal Power Plant as a Complex System – An Algorithm for Assessing and Improving Energy Efficiency and Reliability during Operation and Maintenance. Reliability Modeling in Industry 4.0, 233-326. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99204-6.00005-4>.
145. Al-Mutaz, I., Aldalbahi, M. S. (2024). Fuel Allocation in Water and Power Cogeneration Desalination Plant. Conference: WSTA 15th Gulf Water Conference, Water in the GCC, Doha, Qatar. URL: https://www.researchgate.net/publication/389913360_Fuel_allocation_in_water_and_power_cogeneration_desalination_plant.
146. Jamasali, Y.-D., Turhan, Ş., Hançerlioğullari, A., Kurnaz, A. (2024). Simulation of PM10 and NOx Pollutants at a Coal-Fired Thermal Power Plant Site Using The Gaussian Plume Model in Freemat. Journal of Polytechnic, 28(4). URL: <https://doi.org/10.2339/politeknik.1430492>.

147. Guan, S., Hu, W., Zhou, H. (2024). Implementation of Online Digital Twin Framework for Thermal Power Plant. Proceedings of the 10th International Conference on Energy Engineering and Environmental Engineering, 187-198. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-48204-5_16.
148. Choi, W., Hudachek, K., Koskey, S., Perullo, C., Noble, D. (2024). Digital Twin in the Power Generation Industry. JMST Advances, 6(4), 103-119. URL: <https://doi.org/10.1007/s42791-024-00065-1>.
149. Bhatia, N., Costa, R., Pamela, S. J. P., Davis, A., Gonzalez Beltran, A. N., Gopakumar, V., Zanisi, L., de Witt, S., Akers, R. (2025). Visualizing Digital Twins of Fusion Power Plants Using Nvidia Omniverse. AIP Advances, 15(4). URL: <https://doi.org/10.1063/5.0261883>.
150. Technical Operation of Power Stations and Networks. Rules. (2019). Ministry of Environmental Protection and Natural Resources. URL: <https://dostup.org.ua/request/128823/response/408811/attach/2/01%2034969%2034.20.507%202003.pdf>.
151. New European Rules for the Verification of Efficiency of Thermal Power Plants, Combined Heat and Power Plants, and Cogeneration Units Will Come into Effect in Ukraine. (2023). State Agency On Energy Efficiency And Energy Of Ukraine. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/v-ukraini-zapratsiuiut-novi-ievropeiski-pravyla-pidtvverdzhennia-efektyvnosti-tes-tets-koheneratsiinykh-ustanovok>.
152. Oberoi, T., Sharma, V., Patel, A. (2024). Condenser Condition Assessment in a Thermal Power Plant: A Comprehensive Case Study for Performance Optimization. World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences, 13(2), 390-399. URL: https://www.researchgate.net/publication/386473251_Condenser_condition_assessment_in_a_thermal_power_plant_A_comprehensive_case_study_for_performance_optimization.
153. Siqueira Neto, A. T., Lo Giudice, P., Burin, E., Bazzo, E. (2019). Cogeneration Power Plant as an Alternative to Supply the Thermal and Electricity Demands of a Poultry Slaughterhouse. Conference: 1st Franco-AMSUD Energy and Environment Meeting, Marseille, France. URL: https://www.researchgate.net/publication/331983174_Cogeneration_Power_Plant_as_an_Alternative_to_Supply_the_Thermal_and_Electricity_Demands_of_a_Poultry_Slaughterhouse.
154. Costea, M., Feidt, M. (2022). A Review Regarding Combined Heat and Power Production and Extensions: Thermodynamic Modelling and Environmental Impact. Energies, 15(23). URL: <https://doi.org/10.3390/en15238782>.
155. [16] Sun, Y., Kurosaki, K. (2025). Technical Overview of Recent Developments in Small Modular Reactors in the United States. arXiv. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2504.02599>.

156. Khodakivskyi, V., Karpenko, D., Bilous, I., Savickas, R. (2025). Ensuring Energy Security in Ukraine: The Role of Cogeneration and Sustainable Funding for District Heating Systems. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 27, 196-210. URL: <https://doi.org/10.54740/ros.2025.016>.
157. Grigore, R., Hazi, A., Banu, I. V., Popa, S. E., Vernica, S. G. (2024). Enhancing the Energy Performance of a Gas Turbine: Component of a High-Efficiency Cogeneration Plant. *Energies*, 17(19). URL: <https://doi.org/10.3390/en17194860>.
158. Zhang, Z., Dong, Y., Li, F., Huang, X., Zheng, Y., Dong, Z., Zhang, H., Chen, Z., Li, X. (2024). Loss-of-Cooling Tests to Verify Inherent Safety Feature in the World's First HTR-PM Nuclear Power Plant. *Joule*, 8(7), 2146-2159. URL: <https://doi.org/10.1016/j.joule.2024.06.014>.
159. Shah, B. S. M. I., Ishak, A. J., Hassan, M. K., Norsahperi, N. M. H. (2024). Energy 4.0: Challenges and Enablers of Digital Twin Application in Power Plant. *Elektrika – Journal of Electrical Engineering*, 23(1), 103-124. URL: <https://doi.org/10.11113/elektrika.v23n1.487>.