



Issue №28

Part 1



International periodic scientific journal

ONLINE

www.sworldjournal.com

D.A.Tsenov Academy of Economics - Svishtov (Bulgaria)

Indexed in
INDEXCOPERNICUS
(ICV: 87)
GOOGLESCHOLAR

SWorld Journal

Issue №28
Part 1
November 2024

Published by:
SWorld & D.A. Tsenov Academy of Economics, Svishtov, Bulgaria

Editor: Shibaev Alexander Grigoryevich, *Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician*
Scientific Secretary: Kuprienko Sergiy, *PhD in Technical Sciences*

Editorial board: More than 350 doctors of science. Full list on page:
<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/about/editorialTeam>

Expert-Peer Review Board of the journal: Full list on page:
<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/expertteam>

The International Scientific Periodical Journal "SWorldJournal" has gained considerable recognition among domestic and foreign researchers and scholars. Today, the journal publishes authors from different countries.

Journal Established in 2018. Periodicity of publication: 6 times a year

The journal activity is driven by the following objectives:

- Broadcasting young researchers and scholars outcomes to wide scientific audience
- Fostering knowledge exchange in scientific community
- Promotion of the unification in scientific approach
- Creation of basis for innovation and new scientific approaches as well as discoveries in unknown domains

The journal purposefully acquaints the reader with the original research of authors in various fields of science, the best examples of scientific journalism.

Publications of the journal are intended for a wide readership - all those who love science. The materials published in the journal reflect current problems and affect the interests of the entire public.

Each article in the journal includes general information in English.

The journal is registered in the INDEXCOPERNICUS, GoogleScholar.

DOI: 10.30888/2663-5712.2024-28-01

Published by:
SWorld &
D.A. Tsenov Academy of Economics
Svishtov, Bulgaria
e-mail: editor@sworldjournal.com

Copyright
© Authors, scientific texts 2024



ANALYSIS OF THE INTERACTION OF COMPONENTS OF CERAMIC COMPOSITES WITH MODIFIED CARBON NANOSTRUCTURES

АНАЛІЗ ВЗАЄМОДІЇ КОМПОНЕНТІВ КЕРАМІЧНИХ КОМПОЗИТІВ З МОДИФІКОВАНИМИ ВУГЛЕЦЕВИМИ НАНОСТРУКТУРАМИ

Shamsutdinov Bakhodir/Шамсутдинов Баходир

Associated professor/к.т.н, доцент

ORCID: 0000-0002-6540-3551

Ферганський політехнічний інститут,

150107, Киргилі, Ферганская область, Узбекистан

Fergana Polytechnic Institute, 150107, Kirgil, Fergana region, Uzbekistan.

Анотація. У статті представлено процес взаємодії компонентів керамічної матриці з модифікованими багатошаровими вуглецевими нанотрубками (МВНТ). Розглянуто процеси функціоналізації та декорування нанотрубок з метою покращення їх інтеграції в керамічну матрицю та запобігання утворенню карбідів, які можуть знижувати механічні властивості матеріалу. Отримані результати свідчать, що процеси карбідизації основних компонентів матриці при цих температурах не відбуваються, що підтверджує ефективність запропонованих евтектичних добавок. Матеріали на основі цього композиту можуть бути використані у військовій та авіаційній промисловості завдяки високим показникам міцності та хімічної стійкості.

Ключові слова: карбідизація, композитні матеріали, хімічне модифікування, наноконструкти, евтектичні добавки.

Вступ.

Конструкційна кераміка в системі $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$ – евтектична добавка – багатошарові вуглецеві нанотрубки (далі – БВНТ) є перспективним матеріалом через свої механічні, хімічні та теплофізичні властивості. Особливість цього композита – застосування методів хімічного модифікування, таких як функціоналізація і декорування. Під процесом функціоналізації розуміється хімічна обробка окислювачами (наприклад, азотною кислотою) поверхні БВНТ з метою прив'язування полярних органічних груп (карбоксильних, гідроксильних тощо), а також більш глибокого очищення від каталізатора, який залишився після попередньої стадії синтезу вихідного матеріалу. Другий етап модифікації – декорування БВНТ. У процесі здійснюється хімічне зв'язування функціоналізованих БВНТ з оксидами та іншими неорганічними матеріалами. Зв'язуючись на поверхні нанотрубок, оксидний компонент утворює захисну оболонку, що сприяє подальшій інтеграції структури в керамічну матрицю.

Основний текст.

Під час проведення дослідження були приготовані зразки в системі $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$ – БВНТ – евтектична добавка. Можливість взаємодії компонентів матриці керамічного композита з вуглецем оцінювалася за допомогою розрахунку енергії Гіббса в інтервалі температур 1500–1800 °С. Цей температурний інтервал обумовлений температурою проведення спікання вихідних зразків, яка, в свою чергу, становить 1500–1600 °С. Розрахунок необхідний для оцінки ймовірності утворення карбідів на межі розділу фаз, що призводить до зниження міцнісних характеристик отриманого матеріалу. Розглянуті хімічні реакції взаємодії оксидів, що входять до складу корундової кераміки, з вуглецем.



Ці процеси можна описати наступними хімічними рівняннями

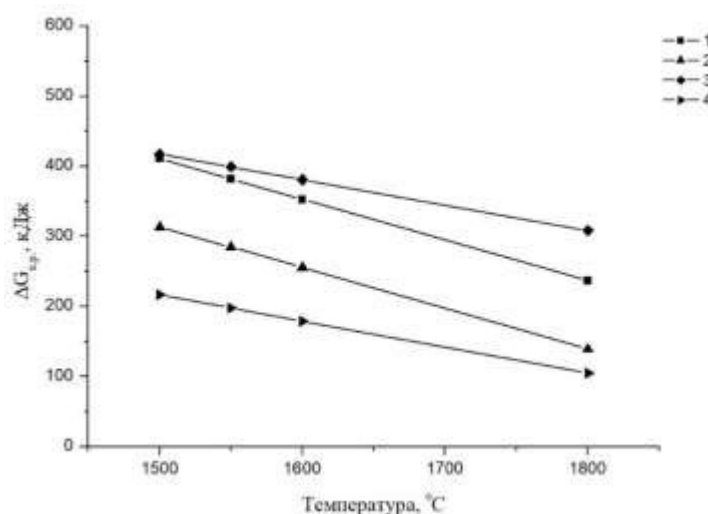
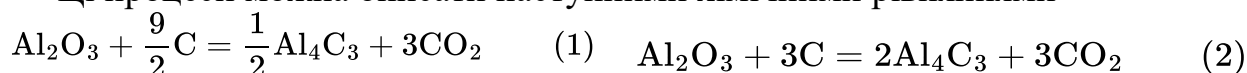


Рисунок 1. Графік зміни вільної енергії від температури для реакцій взаємодії оксиду алюмінію (1, 2), оксиду цирконію (3, 4) з вуглецем.

На графіку відображені значення вільної енергії для кожної реакції в залежності від температури, що дозволяє оцінити термодинамічну сприятливість цих реакцій в заданому температурному діапазоні.

Реакція 1 (окислення алюмінію):

Вільна енергія при різних температурах показує тенденцію до зменшення, що свідчить про можливість протікання реакції.

Реакція 2 (окислення алюмінію):

Аналогічно, вільна енергія для цієї реакції також показує зниження з підвищенням температури.

Реакція 3 (окислення цирконію):

Графік демонструє поведінку вільної енергії для реакції взаємодії оксиду цирконію з вуглецем.

Реакція 4 (окислення цирконію):

Динаміка вільної енергії цієї реакції показує, чи є вона термодинамічно вигідною в різних температурних умовах.

Розрахунок показує, що в температурному інтервалі спікання образів 1500–1600°C енергія Гіббса для оксиду алюмінію та цирконію, які є основними компонентами матриці, дає значення від 200–400 кДж, $\Delta G > 0$ – процес, таким чином, не відбувається (Рисунок 1).

В якості евтектичної добавки був взятий склад у системі $\text{CaO} - \text{ZnO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ (CZAS). Введення евтектичної суміші дозволяє знизити температуру спікання, тим самим можна досягти значного зменшення витрат на електроенергію, здійснюючи процес температурної обробки композитного складу при температурах на 300–400°C нижче, ніж при виробництві традиційної корундової кераміки [1,6].



Хімічні реакції взаємодії оксиду кремнію (IV) та оксиду кальцію можна записати наступними рівняннями:

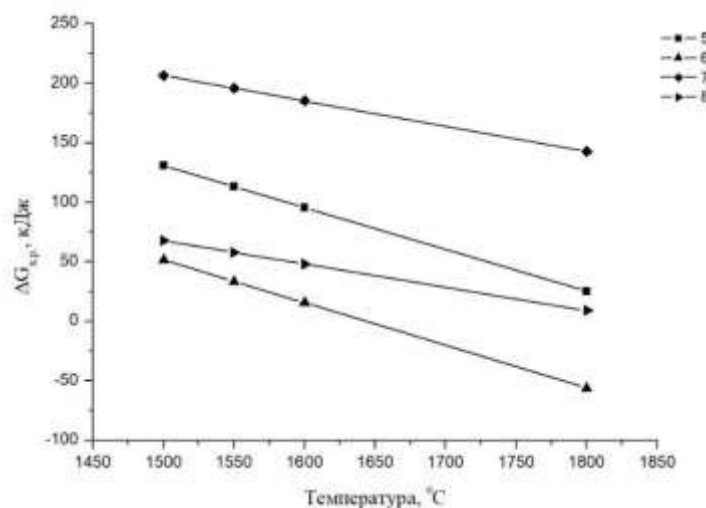
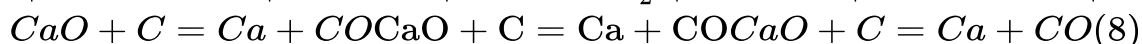
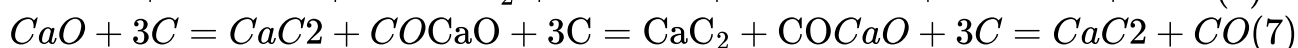
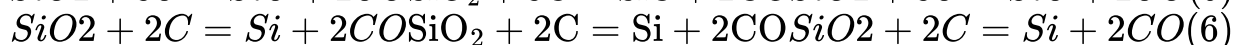
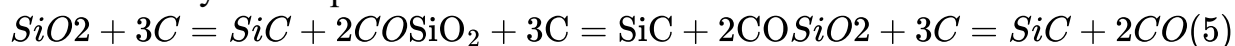


Рисунок 2. Графік зміни вільної енергії від температури для реакцій взаємодії оксиду кремнію (5, 6), оксиду кальцію (7, 8) з вуглецем.

Розрахунок показує, що в температурному інтервалі спікання зразків 1500–1600°C енергія Гіббса для оксиду кремнію (IV) та оксиду кальцію, які є компонентами евтектичної добавки, знаходиться в інтервалі значень від 50 до 200 кДж, $\Delta G > 0$ – процес відновлення не відбувається (Рисунок 2).

Варто зазначити, що оксид цинку здатен реагувати з вуглецем. Розрахункові значення енергії Гіббса складають (-80) – (-100) кДж, $\Delta G < 0$ – процес можливий. Тим не менш, враховуючи невеликий вміст евтектичної добавки (в ході роботи запропонований склад, що містить 6 мас. %), вміст оксиду цинку в якій складає 27,9 мас. %, реакції оксидів цинку та алюмінію з утворенням шпінелі, а також проведення процесу модифікації багатошарових вуглецевих нанотрубок дозволяють досягти хороших результатів у показниках міцності на вигин.

Функціоналізація, як попередній етап модифікації [2], МВНТ проводилася шляхом їх обробки в розчині азотної кислоти. Можливість функціоналізації можна оцінити за допомогою ІЧ-спектроскопії, згідно з літературними даними: для –ОН групи (1160 – 1200 см⁻¹; 2500 – 3620 см⁻¹), –COOH групи (1120 – 1200 см⁻¹; 1665 – 1760 см⁻¹; 2500 – 3300 см⁻¹), С – О (1000 – 1300 см⁻¹), С – Н (2600 – 3000 см⁻¹), спирти (1049 – 1276 см⁻¹; 3200 – 3640 см⁻¹), карбонати/карбоксил-карбонати (1100 – 1500 см⁻¹; 1590 – 1600 см⁻¹). Приклад спектра з характеристичними піками наведений на рисунку 3.

Фінальний етап модифікування – декорування. Як було зазначено, основною ідеєю цього етапу є покриття МВНТ неорганічними частинками з метою запобігання небажаний карбідизації, а також для більш ефективної інтеграції наноструктур з керамічною матрицею [3].

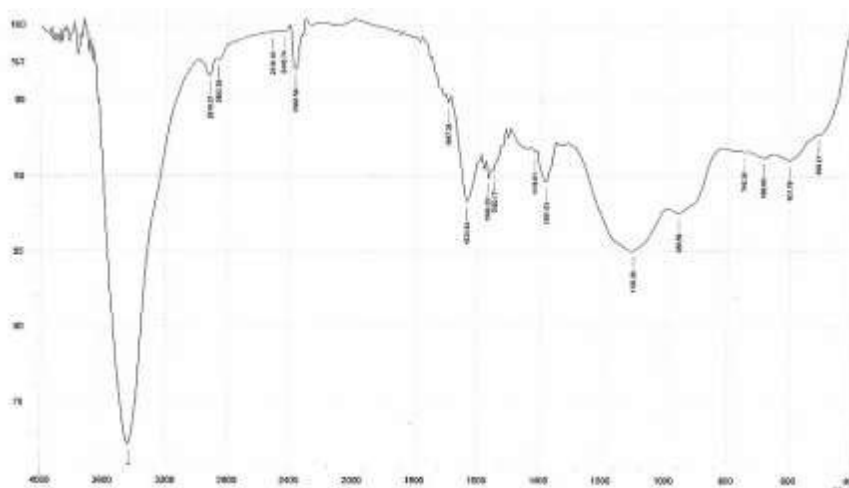


Рисунок 3. Спектри пропускання функціоналізованих МВНТ після кип'ятіння в розчині азотної кислоти (з масовою часткою 38%), час витримки 30 хв.

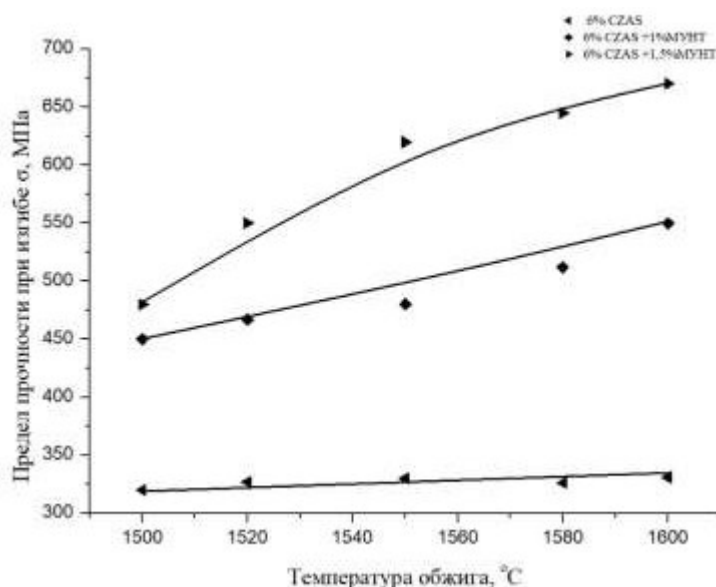


Рисунок 4. Вплив температури випалу на межу міцності при згині для 6 мас.% CZAS без МВНТ, з додаванням 1 мас. % та 1,5 мас. % МВНТ за витримки 3 години.

Під час роботи були підготовлені зразки в системі $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2 - \text{CZAS}$ без МВНТ, а також з введенням 1 і 1,5 мас. % модифікованих наночастинок. На рисунку 4 представлені залежності, з яких випливає, що за вмісту декорованих МВНТ 1,5 мас. %, їх межа міцності на вигин склала $650 \pm 40 \text{ МПа}$. при температурі витримки 1600°C .

Висновки.

Таким чином, можна зробити висновок, що термодинамічний розрахунок допомагає оцінити ймовірність протікання реакцій між модифікованими вуглецевими нанотрубками та компонентами, що входять до складу корундової кераміки з евтектичними добавками, а також дозволяє здійснити підбір евтектичних добавок для подальшої розробки складів. Такий тип композиційних матеріалів буде викликати значний інтерес у військовій сфері, авіапромисловості



та інших галузях, де потрібні матеріали з високими показниками міцності та хімічної стійкості.

Список використаних джерел:

1. Alemdag Y, Beder M. Effects of mn content on microstructure, mechanical and dry sliding wear properties of eutectic Al–Si–Cu alloy[J]. Metals and Materials International, 2020, 26(12): 1811-1819.
2. Boyko V. Characterization of the structure and precipitation process in Al–MgSi and Al–Mg–Ge casting alloys[M]. Technische Universitaet Berlin (Germany), 2015.
3. Walsh F. C. A review of the electrodeposition of metal matrix composite coatings by inclusion of particles in a metal layer: an established and diversifying technology / F. C. Walsh, C. Ponce de Leon // The International Journal of Surface Engineering and Coatings. – 2014. – V. 92. – P. 83–98.
4. Hou F. Effect of the dispersibility of ZrO₂ nanoparticles in Ni–ZrO₂ electroplated nanocomposite coatings on the mechanical properties of nanocomposite coatings / F. Hou, W. Wang, H. Guo // Applied Surface Science. – 2006. – Vol. 252. – P. 3812–3817.
5. Rammelt U. On the applicability of a constant phase element (CPE) to the estimation of roughness of solid metal electrodes / U. Rammelt, G. Reinhard // Electrochimica Acta. – 1990. – Vol. 35. – P. 1045–1049.
6. Kareem M. A. Phosphonium–Based Ionic Liquids Analogues and Their Physical Properties / M. A. Kareem, F. S. Mjalli, M. A. Hashim, I. M. Al Nashef // Journal of Chemical and Engineering Data. – 2010. – Vol. 11. – P. 4632–4637.
7. Budai I. A New Class of Engineering Materials: Particle Stabilized Metallic Emulsions and Monotectic Alloys / I. Budai, G. Kaptay // Metallurgical and Materials Transactions A. – 2009. – Vol. 40, – №. 7. – P. 1524-1528. <https://doi.org/10.1007/s11661-009-9857-6>.
8. Zhai W. Liquid phase separation and monotectic structure evolution of ternary Al_{62.6}Sn_{28.5}Cu_{8.9} immiscible alloy within ultrasonic field / W. Zhai, H. M. Liu, B. Wei // Materials Letters. – 2015. Vol. 144, – № 15. – P. 221-224. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2014.11.087>
9. Лисиця, А. В., Мороз, М. В., Нечипорук, Б. Д., Рудик, Б. П., & Шамсутдинов, Б. Ф. (2021). Фізичні властивості нанокристалів сполук цинку, отриманих електролітичним методом. *Фізика і хімія твердого тіла*, 22(1), 160-167.

Annotation. The article presents the process of interaction of ceramic matrix components with modified multi-layered carbon nanotubes (CNTs). The processes of functionalization and decoration of nanotubes were considered in order to improve their integration into the ceramic matrix and prevent the formation of carbides, which can reduce the mechanical properties of the material. The obtained results indicate that the processes of carbidization of the main components of the matrix do not occur at these temperatures, which confirms the effectiveness of the proposed eutectic additives. Materials based on this composite can be used in the military and aviation industry due to high strength and chemical resistance.

Key words: carbidization, composite materials, chemical modification, nanostructures, eutectic additives.



EXPANSION OF THE RANGE OF EMULSION-TYPE SAUCES BASED ON PRODUCTS OF SECONDARY PROCESSING OF MILK

РОЗШИРЕННЯ АСОРТИМЕНТУ СОУСІВ ЕМУЛЬСІЙНОГО ТИПУ НА ОСНОВІ ПРОДУКТІВ ВТОРИННОЇ ПЕРЕРОБКИ МОЛОКА

Stukalska N.M./Стукальська Н.М.

Ph.D., Associate Professor

ORCID ID: 0000-0001-6590-7170

Vynnyk V.V./Винник В.В.

Master's student / магістрант

ORCID ID: 0009-0000-9484-8333

National University of Food Technologies, Kyiv, Volodymyrivska St. 68, 01601

Національний університет харчових технологій, м. Київ, вул. Володимирська 68, 01601

Емульсійні соуси типу майонез є популярним продуктом харчування, який широко використовується в кулінарії. Вони представляють собою дисперсію олії у воді, стабілізовану білками яєчних жовтків.

В останні роки для виробництва майонезу все частіше стали використовувати молочно-білковий концентрат зі сколотин. Цей продукт є побічною сировиною, яка залишається після виробництва масла. Він містить близько 20% білка, а також жири, вуглеводи, вітаміни та мінерали.

Використання молочно-білкового концентрату зі сколотин у виробництві майонезу має ряд переваг. По-перше, це дозволяє підвищити вміст білка в продукті, що позитивно впливає на його харчову цінність. По-друге, молочно-білковий концентрат є стабілізатором емульсії, що підвищує стійкість майонезу до розшарування.

Додавання сублімованого порошку обліпихи до соусів емульсійного типу зможе забезпечити підвищення біологічної цінності готового продукту та покращити його споживчі властивості.

Розроблено технологію та проект нормативної документації на соуси емульсійного типу майонез з використанням МБК зі сколотин та сублімованого порошку обліпихи.

Ключові слова: емульсійні соуси, молочно-білковий концентрат, сколотин, сублімований порошок обліпихи.

Вступ.

Забруднення довкілля та урбанізація значно впливають на формування харчових звичок сучасної людини. Щороку харчові продукти стають різноманітнішими за смаком, але менш збалансованими за складом. Тому особливо актуальним стає вдосконалення технології виробництва традиційних харчових продуктів і створення нових продуктів із збалансованим складом, зниженою енергетичною цінністю та підвищеною біологічною цінністю.

Для поліпшення впливу харчових продуктів на здоров'я часто застосовують інноваційні інгредієнти, які надають їм нові функціональні властивості та підвищують їх біологічну цінність.

В асортименті продукції власного виробництва закладів ресторанного господарства значну частку займають страви, для приготування або реалізації яких використовуються емульсійні соуси.

Емульсійні соуси є популярним продуктом харчування, який широко використовується в кулінарії. Вони являють собою дисперсію олії у воді, стабілізовану білками, фосфоліпідами або іншими речовинами.



Останні дослідження і публікації в галузі емульсійних соусів:

- У статті, опублікованій в журналі "Food Chemistry" в 2023 році, було показано, що додавання рослинних білків до майонезу може підвищити його в'язкість і стійкість до розшарування.
- У статті, опублікованій в журналі "Journal of Food Science" в 2022 році, було показано, що додавання екстракту зеленого чаю до майонезу може підвищити його антиоксидантну активність.
- У статті, опублікованій в журналі "Nutrition Research" в 2021 році, було показано, що споживання майонезу може бути пов'язане зі зниженням ризику розвитку серцево-судинних захворювань [4].

Ці дослідження показують, що емульсійні соуси є перспективною областю досліджень. Вдосконалення складу і технології виробництва емульсійних соусів може призвести до створення більш смачних, корисних і безпечних продуктів харчування.

Метою дослідження є вдосконалення одного з висококалорійних харчових продуктів, що є частиною раціону багатьох людей, зокрема, емульсійного соусу типу майонез. Удосконалення пропонується шляхом додавання в рецептуру МБК зі сколотин, які завдяки своєму хімічному складу можуть допомогти знизити калорійність готового продукту та підвищити рівень макронутрієнтів, що є в дефіциті. Також планується додати сублімований порошок обліпіхи для підвищення біологічної цінності продукту та надання йому оригінальних органолептичних властивостей. Відповідно до визначеної мети були сформульовані наступні завдання:

- здійснити аналіз доцільності проведення удосконалення;
- охарактеризувати сучасні напрямки технологій низькокалорійних емульсійних соусів типу майонез;
- надати характеристику інноваційної сировини;
- провести характеристику об'єктів, предметів та методів досліджень;
- здійснити обґрунтований вибір базової рецептури для удосконалення технології інноваційної продукції;
- розробити модельні композиції виробу з використанням інноваційної сировини;
- провести органолептичну оцінку якості удосконалених зразків виробів та здійснити їх фізико-хімічний аналіз;
- зробити висновок про доцільність проведених удосконалень та рівень їх успішності.

Виклад основного матеріалу. З огляду на поставлену проблему та наукові дослідження у сфері вдосконалення емульсійних соусів, пропонуємо поліпшити технологію виробництва емульсійного соусу майонез шляхом використання інноваційної сировини, а саме молочно-білкового концентрату зі сколотин та сублімованого порошку обліпіхи. Ці вдосконалення спрямовані на підвищення якості соусу, поліпшення його органолептичних показників та збільшення біологічної цінності.

В якості базової рецептури і технології було обрано рецептуру №819 «Соус майонез», що представлена в табл. 1.1.

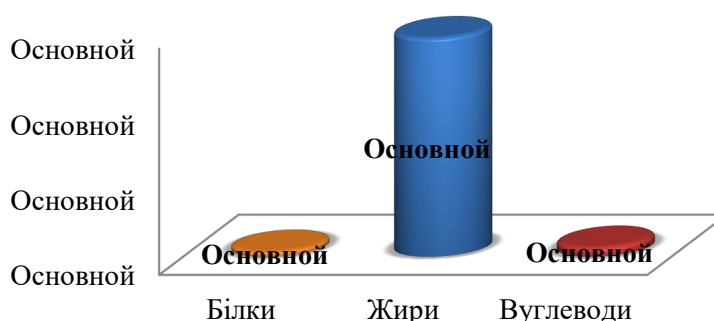
**Таблиця 1.1 – Рецептúra базової продукції – Майонез (контролю)**

Найменування сировини	Вміст компонентів, г
Соняшникова олія	56,3
Яєчні жовтки	7,2
Гірчиця столова	2,5
Цукор-пісок	2,0
Оцет	5,0
Вода питна	27
Всього	100

В таблиці 1.2 наведено органолептичні властивості контрольного зразка емульсійного соусу «Майонез», а на рис. 1.1 діаграма поживної цінності контрольного зразка.

Таблиця 1.2 – Органолептичні властивості контрольного зразка емульсійного соусу «Майонез»

Показник	Характеристика базової продукції (контролю) – Майонез
Зовнішній вигляд та консистенція	Однорідний сметаноподібний рідкий продукт з одиночними бульбашками повітря
Колір	Світло-жовтий, однорідний по всій масі
Запах	Прияманий даному виробу, без стороннього запаху
Смак	Смак кислуватий, без вираженої гіркоти. Відчувається присмак характерний яйцепродуктам

**Рисунок 1.1 – Діаграма поживної цінності контрольного зразка**

Провівши аналіз хімічного складу компонентів, які входять до складу контрольного зразку, було визначено вміст основних макронутрієнтів та розраховано енергетичну цінність 100 г виробу. За результатами розрахунків вміст білків в 100 г склав 1,24 г, жирів – 58,01 г та 2,42 г вуглеводів (рис. 1.2). Калорійність 100 г продукту складає 536,73 ккал (2245,68 кДж).

Серед основних недоліків контрольного зразка можна відзначити його низьку біологічну цінність, що зумовлено недостатнім вмістом мінералів і вітамінів, а також незбалансованим співвідношенням основних макронутрієнтів. Це пов'язано з надмірно високим вмістом жирів і порівняно низьким рівнем білків та вуглеводів, що призводить до підвищеної калорійності кінцевого продукту.



Наступним етапом дослідження стало вивчення впливу інноваційних інгредієнтів на якісні характеристики готової продукції. Для цього було вирішено використати три зразки з різним вмістом сублімованого порошку обліпихи та молочно-білкового концентрату зі сколотин, які заміняли ячні жовтки. На основі аналізу літературних джерел і з урахуванням отриманої інформації було створено модельні композиції емульсійного соусу з різними пропорціями яйцепродуктів та молочно-білкового концентрату зі сколотин із додаванням сублімованого порошку обліпихи.

Рецептури модельних зразків готової продукції показано в табл. 1.3.

Після розрахунку необхідної кількості інгредієнтів проводилось виготовлення модельних зразків.

Таблиця 1.3 – Рецептури модельних зразків готової продукції

Сировина	Контроль – без добавок	Вміст інноваційних інгредієнтів у рецептурі, МБК зі сколотин/порошок обліпихи, %		
		МК1 3,1/0,5	МК2 6,7/0,5	МК3 6,2/1
Соняшникова олія	56,3	56,3	56,3	56,3
Ячні жовтки	7,2	3,6	-	-
Гірчиця столова	2,5	2,5	2,5	2,5
Цукор-пісок	2,0	2,0	2,0	2,0
Оцет	5,0	5,0	5,0	5,0
МБК зі сколотин	-	3,1	6,7	6,2
Порошок обліпихи	-	0,5	0,5	1,0
Вода питна	27	27	27	27
Всього	100	100	100	100

Після виготовлення продукту було здійснено органолептичну оцінку якості модельних зразків та порівняння її з контрольним зразком та складання профілограм якості, рис. 1.2.

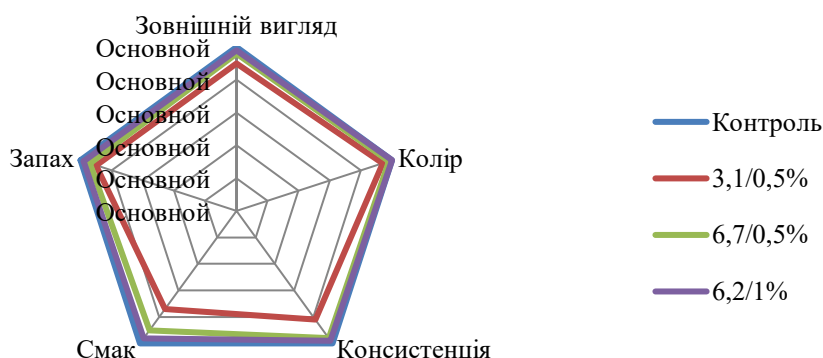


Рисунок 1.2 – Профілограма якості модельних зразків

На основі результатів органолептичної оцінки можна зробити висновок, що помірне додавання 0,5% порошку обліпихи надає продукту помітний смаковий відтінок і колір. Повна заміна традиційних інгредієнтів на інноваційні не



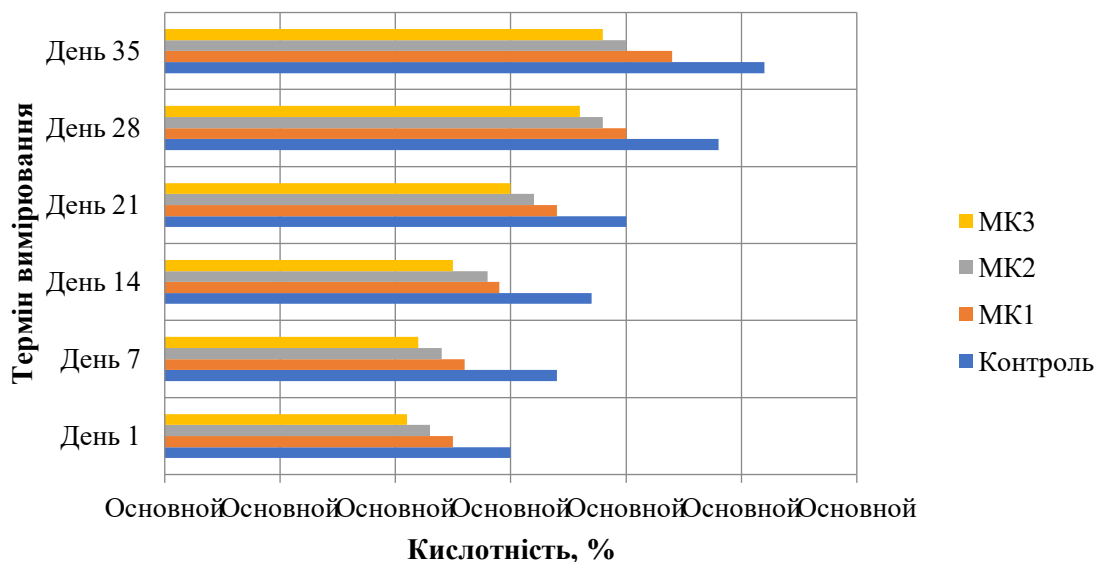
погіршує органолептичні властивості при додаванні 1% порошку обліпіхи, що забезпечує насичений колір і характерний аромат. Однак, подальше збільшення вмісту цього інгредієнта негативно впливає на споживчі властивості продукту, тому це вважається недоцільним. Отже, оптимальним варіантом є зразок МК2, що містить 6,7% молочно-білкового концентрату зі сколотин і 0,5% сублімованого порошку обліпіхи.

Кислотність розроблених майонезних зразків визначали згідно з вимогами ДСТУ 4487:2015 при зберіганні протягом 35 діб. Результати визначення наведені в таблиці 1.4 та на рис. 1.3.

Таблиця 1.4 – Кислотність дослідних зразків майонезів

Термін зберігання	Кислотність майонезу, %			
	Контроль	МК1	МК2	МК3
1 день	0,3	0,25	0,23	0,21
7 день	0,34	0,26	0,24	0,22
14 день	0,37	0,29	0,28	0,25
21 день	0,4	0,34	0,32	0,3
28 день	0,48	0,4	0,38	0,36
35 день	0,52	0,44	0,4	0,38

Аналізуючи дані зміни кислотності, можна зробити висновок, що при зберіганні спостерігається підвищення кислотності, проте значення не перевищують допустимі відповідно до вимог ДСТУ 4487:2015.



**Рисунок 1.3 - Кислотність дослідних зразків майонезів
Визначення стійкості**

Стійкість розроблених майонезних зразків визначалася згідно з вимогами ДСТУ 4487:2015 під час зберігання протягом 35 діб. Результати досліджень наведено у табл. 1.5.

**Таблиця 1.5 – Стійкість дослідних зразків майонезів**

Термін зберігання	Стійкість майонезу, %			
	Контроль	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
1 день	99	99	100	100
7 день	97	99	100	100
14 день	96	99	100	99
21 день	94	99	100	99
28 день	94	99	99	98
35 день	94	98	99	98

Аналіз отриманих значень зміни стійкості розроблених удосконалених майонезів свідчить, що при зберіганні значення зменшується, проте не досягає встановлених критичних показників.

Зважаючи на хімічний склад інноваційних інгредієнтів та рецептурний склад виробу, було розраховано поживну цінність виробу з використання різних модельних співвідношень. Результати розрахунків представлено в табл. 1.6 та 1.7.

Таблиця 1.6 – Поживна цінність виробу з використання інноваційного компонента

Показник	Контроль	МК1	МК2	МК3
Білки, г	1,24	1,92	2,69	2,49
Жири, г	58,01	57,12	56,22	56,24
Вуглеводи, г	2,42	2,44	2,46	2,47
Калорійність, ккал	536,73	531,52	526,58	526,0
Вітаміни, мг				
Вітамін А	0,01	1,26	1,25	2,50
Вітамін В ₁	0,01	0,01	0,01	0,01
Вітамін РР	0,02	0,02	0,02	0,03
Вітамін В ₆	0,01	0,01	0,01	0,01
Вітамін К	0,00	0,03	0,03	0,05
Вітамін С	0,03	1,50	2,04	2,96
Вітамін Е	23,22	23,25	23,28	23,3

Таблиця 1.7 – Мінеральний склад емульсійних соусів

Макроеlementи	Вміст, мг/ у 100 г продукту		Мікроelementи	Вміст, мг/ у 100 г продукту	
	МК2	Контроль		МК2	Контроль
Кальцій	43,4	55,56	Купрум	0,38	0,16
Фосфор	67,4	62,8	Кобальт	0,024	0,017
Калій	94,3	52,44	Марганець	0,14	0,12
Натрій	666,2	545,48	Цинк	0,81	0,74
Магній	17,93	14,12	Ферум	833	404

На основі результатів розрахунків поживної цінності, можна зробити висновок, що додавання 0,5% сублімованого порошку обліпихи та 6,1% молочно-білкового концентрату зі сколотин є обґрунтованим. Це сприяє підвищенню вмісту білків і вуглеводів при одночасному зменшенні рівня жирів,



що, в свою чергу, призводить до зниження загальної калорійності продукту. Крім того, включення сублімованого порошку обліпихи значно збільшує вміст вітамінів А і С, а також ряду важливих мінералів.

Висновки.

Визначено основні принципи вдосконалення технології, зокрема оптимізацію використання сировини. Дослідження показали, що включення до рецептури майонезу 6,7% молочно-білкового концентрату зі сколотин підвищує вміст білків і вуглеводів, знижує кількість жирів та загальну калорійність продукту. Додавання 0,5% сублімованого порошку обліпихи збільшує біологічну цінність завдяки вмісту вітамінів і мінералів, покращує органолептичні властивості та надає продукту унікальний обліпиховий смак.

Крім того, використання інноваційних інгредієнтів сприяє зниженню кислотності, водночас підвищуючи стійкість емульсії порівняно з контрольним зразком. Таким чином, додавання 6,7% молочно-білкового концентрату зі сколотин та 0,5% сублімованого порошку обліпихи до класичної рецептури майонезу є обґрунтованим, сприяючи підвищенню якості продукту та досягненню цілей дослідження.

Література:

1. Бахмач В.О., Пешук Л.В. Удосконалення технології майонезів з використанням рослинної сировини. Харчова промисловість. 2015 № 18. С. 27–31.
2. Дмитриков, В. П., Горбенко, О. В., & Антонов, А. В. (2019). Особливості переробки вторинної молочної сировини: екологічні інновації. Екологія плюс, №1(70). С. 7–11.
3. Павлюк Р. Ю. Основи харчових технологій: навч. посіб. / Р.Ю. Павлюк, В.В. Погарська, Т.С. Маціпура та ін.; під заг. ред. проф. Р.Ю. Павлюк. - Харків: Факт, 2016. – 152 с.: іл.
4. Технологія харчових продуктів із заданими властивостями на основі вторинної молочної та рослинної сировини: монографія / Гніщевич В. А. [та ін.]; Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. – Донецьк. 2014. 336 с.
5. Українець А. І. Перспективні технологічні процеси виробництва нових продуктів та дієтичних добавок: підруч. / А. І. Українець, Г. О. Сімахіна, Н. В. Науменко. – К.: НУХТ, 2018. – 335 с.
6. Anand, S., & Singh, S. (2022). Emulsified sauces: Formulation, processing, and applications. Springer Nature.
7. Ravi, M., & Singh, V. (2021). Emulsified sauces: A review of recent advances and future trends. Trends in Food Science & Technology, 120, 102369.

References:

1. Bahmach, V.O., & Peshuk, L.V. (2015). Improvement of mayonnaise technology using plant raw materials. Food Industry, No. 18, pp. 27–31.
2. Dmytryk, V.P., Horbenko, O.V., & Antonov, A.V. (2019). Features of processing secondary dairy raw materials: ecological innovations. Ecology Plus, No. 1(70), pp. 7–11.
3. Pavliuk, R.Yu. Fundamentals of Food Technology: A Training Manual / R.Yu. Pavliuk,



V.V. Poharska, T.S. Matsipura, et al.; under the general editorship of Prof. R.Yu. Pavliuk. - Kharkiv: Fakt, 2016. – 152 pp.: ill.

4. Technology of food products with specified properties based on secondary dairy and plant raw materials: monograph / Hnityevych, V.A., et al.; Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky. – Donetsk, 2014. – 336 pp.

5. Ukrayinyets, A.I. Promising technological processes for the production of new products and dietary supplements: textbook / A.I. Ukrayinyets, H.O. Simakhina, N.V. Naumenko. – Kyiv: NUHT, 2018. – 335 pp.

6. Anand, S., & Singh, S. (2022). Emulsified sauces: Formulation, processing, and applications. Springer Nature.

7. Ravi, M., & Singh, V. (2021). Emulsified sauces: A review of recent advances and future trends. Trends in Food Science & Technology, 120, 102369.

Abstract. Emulsion sauces such as mayonnaise are a popular food product that is widely used in cooking. They are a dispersion of oil in water stabilized by egg yolk proteins.

In recent years, milk-protein concentrate from shavings has increasingly been used for the production of mayonnaise. This product is a by-product that remains after oil production. It contains about 20% protein, as well as fats, carbohydrates, vitamins and minerals.

The use of milk-protein concentrate from shavings in the production of mayonnaise has a number of advantages. First, it allows you to increase the protein content of the product, which has a positive effect on its nutritional value. Secondly, milk protein concentrate is a stabilizer of emulsions, which increases the resistance of mayonnaise to delamination.

Adding sublimated sea buckthorn powder to emulsion-type sauces can increase the biological value of the finished product and improve its consumer properties.

The technology and project of normative documentation for sauces of the emulsion type of mayonnaise using MBK from shavings and sublimated sea buckthorn powder have been developed.

Key words: emulsified sauces, milk-protein concentrate, buttermilk, sublimated sea buckthorn powder.



УДК 664

INNOVATIONS IN THE CREATION OF ECOLOGICAL FOOD PACKAGING

ІННОВАЦІЇ В СТВОРЕННІ ЕКОЛОГІЧНОЇ УПАКОВКИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Piddubniy V. A. / Піддубний В.А.*Corresponding member of the National Academy of Agrarian Sciences /**член-кореспондент Національної академії аграрних наук,**d.t.s., prof./д.т.н., проф.,**ORCID: 0000-0002-1497-7133**Director / директор,**State Scientific Institution Ukrainian Research Institute for Alcohol and Biotechnology
of Food Products: 3, Senkivskyi lane, Kyiv, 03190, Ukraine / Державна наукова установа**«Український науково-дослідний інститут спирту і біотехнологій продовольчих продуктів»***Tarasiuk H. M. / Тарасюк Г.М.***d.e.s., prof./д.е.н., проф.,**ORCID: 0000-0001-5112-102X***Chahaida A. O. / Чагайда А.О.***s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.**ORCID: 0000-0003-1826-9545**Zhytomyr Polytechnic State University, 103, Chudnivska str., Zhytomyr, 10005, Ukraine /**Державний університет «Житомирська політехніка».***Radchenko Iu.I. / Радченко Ю.І.***independent researcher / незалежний дослідник**ORCID: 0009-0001-7435-0738**Azienda Darmi Fabarm, Travagliato Via averolda 31. Italy 25039 / Компанія «Дармі Фабарм»*

Анотація. Основною метою харчової упаковки, з точки зору сталого розвитку, є зменшення втрат продуктів починаючи від виробництва і вздовж ланцюга поставок. Створення екологічної упаковки стає дедалі все більш актуальним через загострення проблеми забруднення навколишнього середовища пластиковими матеріалами, що не піддаються біологічному розкладанню. Біологічно розкладні плівки та їстівні покриття з антимікробними властивостями дедалі більш активно використовуються харчовою промисловістю для підвищення якості продукції та збереження здоров'я споживачів. Використання нових пакувальних матеріалів може вплинути на вартість кінцевого продукту, що споживачі готові сприйняти заради збереження довкілля.

Ключові слова: збереження якості продуктів, термін придатності, екологічна упаковка, токсичність, біологічне розкладання, їстівна плівка.

Вступ.

Упаковка була визнана як важливий елемент для вирішення ключової проблеми сталого споживання харчових продуктів, адже вона є центральним елементом збереження їх якості, головним чином контролюючи газо- та парообмін із зовнішньою атмосферою, сприяючи збереженню якості продуктів під час зберігання, запобігаючи хімічному забрудненню та хворобам, що передаються харчовими продуктами. Таким чином, упаковка має розглядатись не як додаткові економічні та екологічні витрати, а як додаткова вартість для зменшення відходів. З цієї точки зору, справжню екологічну, економічну та промислову додаткову цінність, за рахунок перетворення сільськогосподарських та агрохарчових залишків, створюють мікробні (біополіефірні) полімери, адже



рішення з використанням природної біологічно розкладної упаковки вважаються одними з найбільш перспективних замінників синтетичних полімерів на масляній основі [1].

Щоб звести до мінімуму вплив пакувальної системи на навколишнє середовище, важливо враховувати її здатність утримувати, захищати та зберігати продукт, що дозволить продовжити термін його придатності та гарантувати безпеку, але при цьому упаковка також повинна бути відповідного розміру, легкою для зберігання, відкривання та вилучення продукту, а також містити чітку доступну інформацією для запобігання викиданню їжі. Крім того, пакувальні матеріали повинні відповідати бажаним механічним і бар'єрним властивостям, залишаючись максимально легкими, безпечними для харчових продуктів, в ідеалі придатними для повторного використання або вторинної переробки та утилізуватись з наближенням до нульового забруднення [2].

Основний текст.

Звичайне пакування харчових продуктів є одноразовим, що значно погіршує стан навколишнього середовища. Окрім того, стурбованість споживачів все більше викликає прямий вплив пакувальних матеріалів на здоров'я. Це значною мірою пов'язано із тим, що до першої бази хімікатів, які використовуються при виробництві пластику, дослідники внесли 16000 сполук, принаймні 4200 із яких вважаються дуже небезпечними для здоров'я людини та навколишнього середовища, при цьому використання лише 980 дуже небезпечних хімічних речовин регулюються агентствами в усьому світі, а решта залишається поза увагою [3]. Це спонукає споживачів до пошуку більш натуральних, якісних, зручних та безпечних харчових продуктів. У цьому контексті активні, біологічно розкладні та їстівні пакувальні матеріали вважаються одним із головних пріоритетів у харчовій промисловості через збільшення потреби в альтернативних пакувальних матеріалах, які відновлюються, переробляються, легко розкладаються та потребують мінімальної утилізації [4].

Біорозкладані пакувальні матеріали, виготовлені з харчових полісахаридів, білків і ліпідів, здаються більш стійкими та екологічно чистими, що є перевагою перед звичайним пластиком на основі нафти. Однак ці природні речовини значно відрізняються за своїми фізико-хімічними та функціональними властивостями, що означає, що для створення їстівних пакувальних матеріалів з необхідними характеристиками потрібна значна кількість досліджень і розробок [5]. Біополімери, як хітозан, карбоксиметилцелюлоза, крохмаль, альгінат, казеїн, карагенан, існують як придатні кандидати для вирішення екологічної проблеми пластикових упаковок через чудову здатність до біологічного розкладання та не токсичність, однак мають погані властивості бар'єру для вологи. Введення в якості добавок різних біологічно активних/функціональних інгредієнтів з антимікробними властивостями покращує термічні та механічні властивості біополімеру. Природні антимікробні агенти, такі як ефірні олії зі спецій, біологічно активні сполуки, отримані з овочів і фруктів, можуть потенційно використовуватися в їстівних плівках як чудова заміна синтетичних сполук, таким чином слугуючи меті якості та здоров'я. Пряме включення ефірної олії в харчові продукти обмежено через їх високу летючість, гідрофобність,



сприйнятливості до окислення, фототермічну деградацію та втратою продуктом натурального смаку. Тому їстівні плівки допомагають підтримувати вивільнення та стримувати летючість поміщених в них ефірні олії. Разом із тим, використання ефірних олій, класифікованих та зареєстрованих загальноновизнано безпечними (GRAS) Європейською комісією та Сполученими Штатами, в їстівних покриттях в якості антибактеріальних агентів, вимагає збалансованості ефективної дози та ризиків, пов'язаних із виникненням алергічної реакції та оральної токсичності у споживачів [6].

Зростаючий попит на здорову їжу з довшим терміном зберігання спонукає до розробки нових систем пакування і найбільш перспективними визнано їстівні пакувальні плівки з антимікробною дією, що здатні підвищувати якість і безпеку харчових продуктів. Хоча терміни плівка та покриття зазвичай використовуються як взаємозамінні, плівка визначається як окремий обгортковий матеріал, а покриття – це тонкий шар товщиною менше 0,3 мм, який утворюється безпосередньо на поверхні їжі. Ідеальна їстівна плівка повинна не тільки створювати захист від забруднюючих речовин і харчових патогенів їжі, але й зберігати її структурну стабільність. Ці плівки можуть служити носієм для антиоксидантів, харчових добавок, вітамінів і антимікробних сполук [7]. Варіантом покращення якості та терміну придатності харчових продуктів є заміна в плівці хімічних консервантів лактопероксидазою, що є складовою природної антимікробної ферментної системи молока, сліз і слини [8].

Різні компанії та стартапи, здебільшого в США, розробляють їстівні пакувальні матеріали на комерційному рівні і у 2021 році світовий ринок їстівної упаковки оцінювався в 0,84 мільярда доларів США, з прогнозом зростання приблизно до 2,8 мільярда доларів США у 2030 році. Наразі більшість непластикових матеріалів, які контактують з харчовими продуктами, не регулюються європейським законодавством, і чинні правила поширюються лише на обмежену кількість їстівних пакувальних матеріалів. При цьому їстівна упаковка потребує особливої обережності під час транспортування, оскільки вона чутлива до температурних коливань, а більшість їстівних плівок і покриттів руйнуються або майже руйнуються при температурі плавлення, що потребує ще зовнішнього покриття для захисту від хімічних і біологічних забруднень [9]. Ультразвук високої інтенсивності (вище 1 Вт/см^2 і частоти від 20 до 500 кГц) відноситься до техніки нетермічної обробки харчових продуктів, яка модифікує структуру білка і таким чином покращує кілька його функціональних властивостей, таких як розчинність, гелеутворення, піноутворення та емульгуючі властивості. Зміни властивостей плівки сироватки, глютену, арахісу та гороху під впливом ультразвукової обробки високої інтенсивності відбувається за рахунок генерування білків меншого розміру частинок, зміну третинної та вторинної структури білка, усування тріщин та зменшення білкових агрегатів на поверхні плівки. Обробка ультразвуком не впливає на товщину плівки, загальний вміст розчинної речовини або подовження при розриві, але такі оброблені ультразвуком їстівні плівки, мали кращу прозорість, міцність на розрив і водонепроникні властивості [10].

Їстівна упаковка з антимікробними компонентами призвела до розробки



гіпотези про активну упаковку, яка захищає якість харчових продуктів, а також здоров'я споживачів. Активна упаковка включає в себе компоненти, і вона може вивільняти або поглинати речовини в упаковану їжу або в навколишнє середовище, що оточує їжу, з метою продовження терміну придатності або підтримки або покращення стану упакованої їжі. Активними сполуками можуть бути агенти проти потемніння, барвники, ароматизатори, поживні речовини, спеції, антимікробні або антиоксидантні сполуки, і вони можуть мати природне або синтетичне походження. Відповідно до Регламенту Європейської Комісії № 1333/2008, антимікробні засоби або консерванти – це «речовини, які подовжують термін придатності харчових продуктів, захищаючи їх від псування, викликаного мікроорганізмами, та/або які захищають від росту патогенних мікроорганізмів». Ефірні олії є вторинними метаболітами рослинних матеріалів, таких як насіння, квіти, листя, трави, бруньки, стебла, кора та плоди. Вони відомі своєю антимікробною активністю, крім інших властивостей (антиоксидантних, болезаспокійливих, протидіабетичних, протипухлинних, протизапальних та інсектицидних) [11].

Сприйняття споживачами альтернатив звичайній пластиковій упаковці залежить від проєкологічних переконань, адже абсолютна більшість людей вважають забруднення навколишнього середовища відходами упаковки більшою проблемою, ніж харчові відходи. Це підтверджують дані опитування 459 респондентів (49,3% – чоловіки, 50,7% – жінки), де більше 50% споживачів старше 40 років готові взагалі відмовитись від використання пластикової упаковки, не зважаючи на зростання фінансових витрат (рис.1).

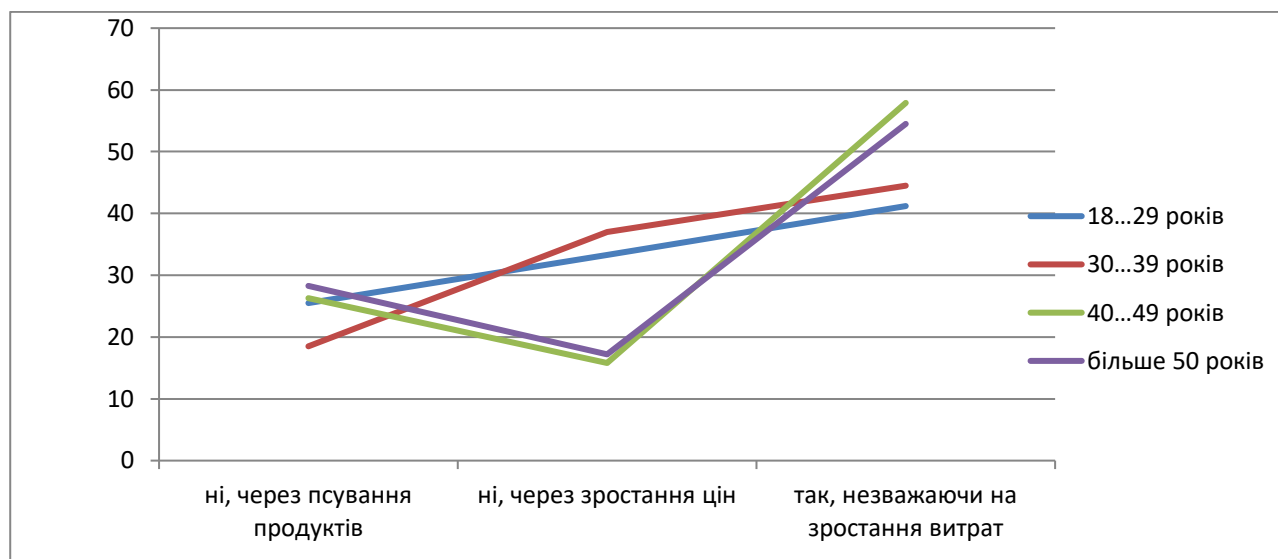


Рис.1 Ставлення споживачів до відмови використання пластикової харчової упаковки, % від загальної кількості респондентів

Питання зростання оплати за більш екологічні способи пакування харчових продуктів (рис.2) свідчить, що більшість споживачів, підтримуючи утилізацію або переробку упаковки, не готові фінансувати такі технології.

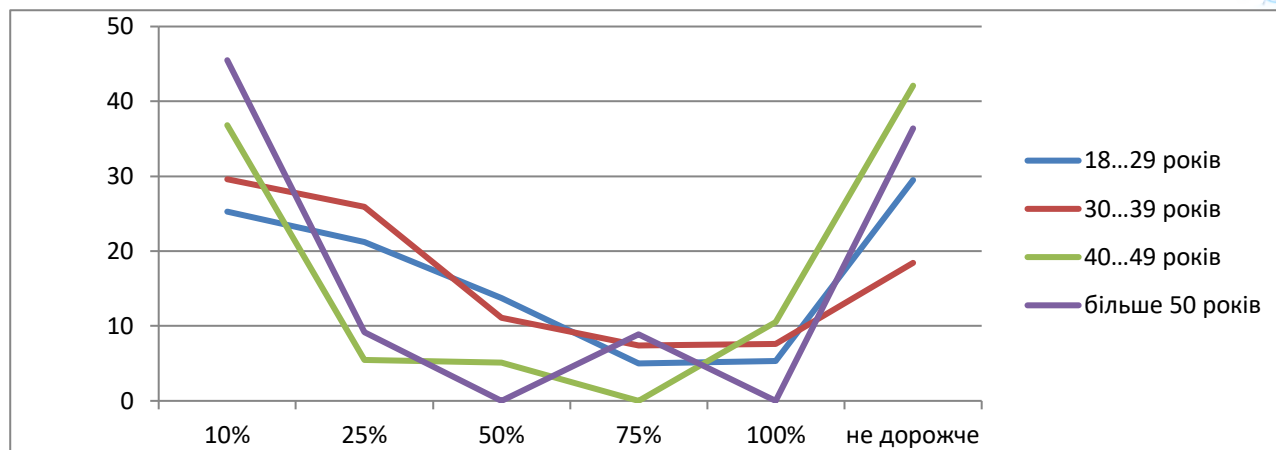


Рис.2 Ставлення споживачів до можливого зростання вартості їстівної і біологічно розкладної упаковки по відношенню до пластикової харчової упаковки, % від загальної кількості респондентів

Однією з найбільших поточних перешкод для більш широкого використання біополімерів, як заміни звичайних матеріалів, є їхня непривабливість з точки зору ціни, особливо в тому випадку, коли дорожчі матеріали-замінники через свою молекулярну структуру не відповідають необхідним бар'єрним вимогам. Також достатньо мало відомо про екотоксикологічний вплив біорозкладаних мікро- та нанопластиків, адже підвищені темпи деградації збільшують кількість мікробіопластику, що надходить із біорозкладаних полімерів і створює певні ризики зміни мікробних спільнот (що може дестабілізувати тонкий екологічний баланс). Дослідженнями було виявлено, що мікропластики з розкладаних полієфірів, таких як PLA і PHB (полі-3-гідроксибутират), негативно впливають на морські бентосні спільноти, а біорозкладаний мікропластик може проявляти більш серйозні наслідки для екологічних систем порівняно зі звичайним мікропластиком [12].

Висновки.

Проекологічні переконання споживачів і свідоме відмова від пластику є шляхом, що може суттєво знизити вплив на навколишнє середовище. Але відмова від упаковки харчових продуктів призведе до зростання харчових відходів і зменшення терміну придатності їжі. Одним із рішень проблеми пластикових відходів є використання їстівної упаковки і їстівного покриття, що останнім часом запроваджуються для збільшення терміну придатності продукції і позиціонуються на ринку як екологічно чисті та біологічно розкладні. Масове запровадження такої упаковки стримує не лише фінансова складова, а і необхідність подальшого вдосконалення їстівної упаковки для підвищення її міцності, стабільності та бар'єрних властивостей.

Література.

1. Guillard, V., Gaucel, S., Fornaciari, C., Angellier-Coussy, H., Buche, P., Gontard, N. (2018) The Next Generation of Sustainable Food Packaging to Preserve Our Environment in a Circular Economy Context. *Frontiers in Nutrition*. 5:121. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00121>



2. Versino, F., Ortega, F., Monroy, Y., Rivero, S., López, O.V., García, M.A. (2023). Sustainable and Bio-Based Food Packaging: A Review on Past and Current Design Innovations. *Foods*. 12(5):1057. <https://doi.org/10.3390/foods12051057>
3. Тарасюк, Г.М., Чагайда, А.О., & Прилипко, О.І. (2024). Дослідження міграції синтетичних речовин із пакувальних матеріалів у харчові продукти і воду: соціальний та управлінський аспекти. *Економіка, управління та адміністрування*, 2(108), 57–64. [https://doi.org/10.26642/ema-2024-2\(108\)-57-64](https://doi.org/10.26642/ema-2024-2(108)-57-64)
4. Trajkovska Petkoska, A., Daniloski, D., D'Cunha, N. M., Naumovski, N., & Broach, A. T. (2021, February 1). Edible packaging: Sustainable solutions and novel trends in food packaging. *Food Research International*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109981>
5. Yin, W., Qiu, C., Ji, H., Li, X., Sang, S., McClements, DJ, ... & Jin, Z. (2023). Recent advances в biomolecule-based films and coatings for active and smart food packaging applications. *Food Bioscience*, 52, 102378. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102378>
6. Punia Bangar, S., Chaudhary, V., Thakur, N., Kajla, P., Kumar, M., & Trif, M. (2021). Natural Antimicrobials as Additives for Edible Food Packaging Applications: A Review. *Foods (Basel, Switzerland)*, 10(10), 2282. <https://doi.org/10.3390/foods10102282>
7. Abdollahzadeh E., Nematollahi A., Hosseini H. (2021) Composition of antimicrobial edible films and methods for assessing their antimicrobial activity: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 110, pp. 291-303. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.084>
8. Yousefi, M., Nematollahi, A., Shadnoush, M., Mortazavian, A. M., & Khorshidian, N. (2022). Antimicrobial Activity of Films and Coatings Containing Lactoperoxidase System: A Review. *Frontiers in nutrition*, 9, 828065. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.828065>
9. Nair, S.S., Trafialek, J., Kolanowski, W. (2023). Edible Packaging: A Technological Update for the Sustainable Future of the Food Industry. *Applied Sciences*. 13(14):8234. <https://doi.org/10.3390/app13148234>
10. Cheng, J., & Cui, L. (2021). Effects of high-intensity ultrasound on the structural, optical, mechanical and physicochemical properties of pea protein isolate-based edible film. *Ultrasonics sonochemistry*, 80, 105809. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105809>
11. Barbosa, C.H., Andrade, M.A., Vilarinho, F., Fernando, A.L., Silva, A.S. (2021). Active Edible Packaging. *Encyclopedia*, 1, 360-370. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia1020030>
12. Cruz, R.M.S., Krauter, V., Krauter, S., Agriopoulou, S. et al. Bioplastics for Food Packaging: Environmental Impact, Trends and Regulatory Aspects. *Foods*. 2022; 11(19):3087. <https://doi.org/10.3390/foods11193087>

Abstract. The main goal of food packaging, from the point of view of sustainable development, is to reduce product losses starting from production and along the supply chain. The creation of ecological packaging is becoming more and more urgent due to the worsening of the problem of environmental pollution with non-biodegradable plastic materials. Biodegradable films and edible coatings with antimicrobial properties are increasingly being used by the food industry to improve



the quality of products and preserve the health of consumers. The use of new packaging materials can affect the cost of the final product, which consumers are willing to accept for the sake of protecting the environment.

Key words: *preservation of product quality, expiration date, ecological packaging, toxicity, biological decomposition, edible film*



УДК 541.64:678.6

**JUSTIFICATION OF THE RECYCLING OF NATURAL RUBBER
PRODUCTION WASTE FOR THE PRODUCTION OF LATEX ENR
ОБґРУНТУВАННЯ РЕЦИКЛІНГУ ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА НАТУРАЛЬНОГО
КАУЧУКУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛАТЕКСУ ЕНК**

Karnaushenko D.O./ Карнаушенко Д.О.*post graduate student / аспірант*

ORCID: 0009-0000-9350-0888

Zybailo S.M./ Зибайло С.М.*c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-5122-7692

Ved V.V./ Ведь В.В.*senior teacher / старший викладач*

ORCID: 0000-0002-2391-6463

Stovpnyk O.V./ Стовпник О.В.*c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-4391-6644

*Ukrainian State University of Sciences and Technologies, Dnipro, Lazaryana, 2, 49000
Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Лазаряна, 2, 49000*

Анотація. В роботі встановлено, що рециклінг відходів виробництва НК є перспективним напрямком досліджень. Було розглянуто сучасні технології отримання латексу епоксидованого натурального каучуку, як спосіб переробки відходів НК. Запропоновано методика розрахунку процесу випарювання розчинника з водного розчину епоксидованого скрапу НК з метою отримання нового перспективного матеріалу - латексу скрапу натурального каучуку (LSENr).

Ключові слова: відходи натурального каучуку, синтетичний латекс, епоксидування, схема рециклінгу

Вступ.

Епоксидований латекс натурального каучуку (НК) - це хімічно модифікований латекс НК, виготовлений у процесі епоксидування, що передбачає використання органічних перекислот [1]. Хімічна модифікація НК була запроваджена для покращення його властивостей та розширення його використання як матеріалу в латексі та сухих продуктах [2,3].

Латекс епоксидованого натурального каучуку (ENRL) має високий потенціал у застосуванні для латексних виробів, таких як хірургічні та побутові рукавички, завдяки своїм відмінним властивостям, які можна порівняти з нітриловими та поліхлоропреновими рукавичками [4].

У статті [5] наведено результати досліджень технології епоксидування з концентрованого латексу натурального каучуку (CNRL) та *in situ* пероксиформової кислоти, яка синтезується з мурашиної кислоти і пероксиду водню. Досліджено вплив таких технологічних параметрів процесу епоксидування, як вміст стабілізатора (нонілфенол етоксилат, NP9), вміст сухого каучуку, кількості ізопрену, швидкості перемішування, часу реакції, температури реакції та молярного співвідношення пероксиду водню та ізопрену на вміст епоксидної групи в продукті, який варіювався від 23,4 до 43,6 % мас. Це дослідження є основою для створення серії продуктів та побудови процесу



виготовлення епоксидованого натурального каучуку (ENR) на основі виробництва НК, які є відновлюваними, екологічно чистими, дешевими, що має промислове застосування [5].

Результати досліджень [1] показали, що різні джерела сировини та системи нейтралізації впливають на типові специфікації ENRL, поведінку стабільності та розподіл частинок за розміром. Морфологічні спостереження, проведені на цих системах ENRL, узгоджуються з отриманими характеристиками ENRL. Оскільки експериментування з цими двома основними факторами призвело до обнадійливих висновків, має бути детально досліджено пошук оптимальних умов виробництва товарного ENRL спеціально для продуктів на основі латексу.

В роботі [6] запропонована схема процесу та здійснено епоксидування натурального каучуку перекислотами в середовищі вода-ксилол нафтовий в термоізолюваному реакторі. Досліджено склад та дане оцінювання можливого застосування одержаних продуктів [7,8]. Як сировину запропоновано використовувати відходи виробництва НК, які регенерують у ЕНК [6]. Однак дана технологія ресурсозатратна через необхідність виділення ЕНК із розчину ксилол-вода, отриманий ЕНК не має стабільності фізико-хімічних показників.

Відомий процес переробки відходів НК [9], який включає розчинення скоагульованого каучуку в ароматичному розчиннику або карбоциклічного типу, наприклад, бензолі, толуолі або ксилолі, поряд з агентом, що омиляється, наприклад рідкої жирною кислотою або гліцеридами жирних кислот, у кількості близько 5 % мас. або менше від ваги каучуку. До розчину поступово додають воду, що містить омилюючий агент, наприклад аміак або відповідний амін, в результаті чого в розчині утворюється мило. Розчин спочатку загусає, причому вода є дисперсною фазою. Додавання води продовжують доти, доки не настане звернення фаз і вода зрештою буде представляти безперервну фазу, а каучук з його розчинником - дисперсну фазу емульсії. Усі це проводиться без застосування нагрівання, але при безперервному перемішуванні, спочатку для забезпечення освітлення дисперсії речовини в розчині, а після того як відбулось виділення фаз - дисперсії розчину каучуку в неперервному середовищі. Дотримуючись цього методу, можна перетворити в емульсію зкоагульовану гуттаперчу, балату або інші відходи НК, що видобуваються спочатку у вигляді латексу [9]. Але за даною технологією можливо отримати лише некомерційні низькоконцентровані види латексу.

В роботі [4] розробили ENR латекс для занурених продуктів, який був сконцентрований за допомогою процесу керамічної ультрафільтраційної мембрани. При цьому вміст сухого каучуку у розчині збільшено до 50-60 мас. %.

На цей час не існують дослідження по переробці відходів НК у латексну форму для подальшого використання у промисловості, тому ці дослідження є актуальними.

Основний текст.

Ціллю дослідження є вирішення проблеми накопичення відходів виробництва НК та розробка шляхів їх переробки в промислово-затребуваний продукт – латекс ЕНК.

Методом вирішення проблеми є обґрунтування рециклінгу відходів



виробництва НК та визначення умов виділення розчинника із водно-ксилольного розчину епоксидованого скрапу ЕНК з концентруванням латексу.

В роботі запропоновано замість отримання водно-ксилольного розчину ЕНК, як це наведено в роботах [6-9], переведення отриманого ЕНК в латексну форму без стадії виділення сухого продукту.

У цьому разі нова блок-схема отримання латексу ЕНК із відходів виробництва НК наведена на рисунку 1.



Рисунок 1 - Блок-схема рециклінгу відходів виробництва НК

Переробка відходів НК являє собою процес епоксидування каучуку в середовищі нафтовий ксилол-вода, випарювання розчинника і води з розчину шляхом барботування води, конденсацію ксилолу з подальшим його поверненням до стадії розчинення вихідної сировини.

Розчинені відходи НК та додаткові компоненти (поверхнево активні речовини - ПАР, антикоагулянти, протистарювачі, мурашина кислота, пероксид водню, вода і т.д.) надходять до реактора, що являє собою ємкісний апарат з сорочкою для обігріву [10]. Водяна пара надходить до сорочки обігріву для нагрівання реактору. Реактор працює періодично. При досяганні рівноважної температури кипіння вода і ксилол нафтовий барботують через розчин, перемішуючи його і прискорюючи протікання реакцій. Надалі пари потрапляють до теплообмінника-конденсатора типу «труба в трубі», де вони конденсуються та повертаються до реактору. Реакція протікає на протязі 5 годин. Після стадії епоксидування запропоновано випарити нафтовий ксилол та отримати водний розчин латексу ЕНК без охолодження реакційної суміші.

Сутність процесу епоксидування в такому разі полягала у доставці епоксидуючого агенту до каучуку і перемішуванні розчину барботуванням [6]. Для протікання реакції необхідний перемішування в результаті барботажу парами води. Надалі водяна пара конденсується і повертається до апарату. Для створення бульбашкового режиму барботажу необхідно за 5 годин протікання процесу епоксидування 2-чі випарувати присутню у суміші воду. Разом з парами води відганяються і пари розчинника (випаровування мурашиної кислоти та перексиду водню нехтують через малу концентрацію, високу температуру кипіння і участь компонентів у реакції епоксидування).



Тому важливою стадією є введення води у НК та отримання латексної форми. У багатьох випадках це можна здійснити, принаймні, частково, простим додаванням до каучуку води невеличкими порціями в змішувач при замісі. Більшість видів НК поглинає воду за достатнього часу змішування в кількості приблизно до 26% мас. від ваги каучуку; зазвичай перші 10% води поглинаються швидко. З метою прискорення цієї операції рекомендовано застосовувати гідрофільні агенти: ПАР або диспергатори. Слід зауважити, що у деяких випадках ці добавки не завжди є необхідними, тому що вода в кількості, достатній для диспергування, може поглинатися некаучуковими компонентами, які вже є у каучуку. У будь-якому випадку поглинання води каучуковою масою та її ретельне розподілення по поверхнях поділу між глобулами має першорядне значення при отриманні дисперсій [9].

Видалення розчинника - нафтового ксилолу із реакційної суміші є останньою стадією отримання латексу ЕНК: можливо здійснити при сумісній перегонці з водяною парою, яка проводиться при безперевному додаванні води.

Розрахунок цього процесу проводили з використанням найбільш широко розповсюдженого для опису залежності $P(T)$ рівняння Антуана. Пружність парів ксилолу нафтового (P_p) та води (P_v) над сумішшю знаходили з умови [10]:

$$P = P_p + P_v \quad (1)$$

Рівноважну температуру T та тиск пару P над сумішшю визначали вирішивши систему рівнянь Антуана (2) для розчинника та водяної пари. З побудованих кривих (рисунок 2) отримали рівноважну температуру спільного кипіння суміші вода-ксилол нафтовий $T=92,4^\circ\text{C}$ при $P = 101300 \text{ Па}$.

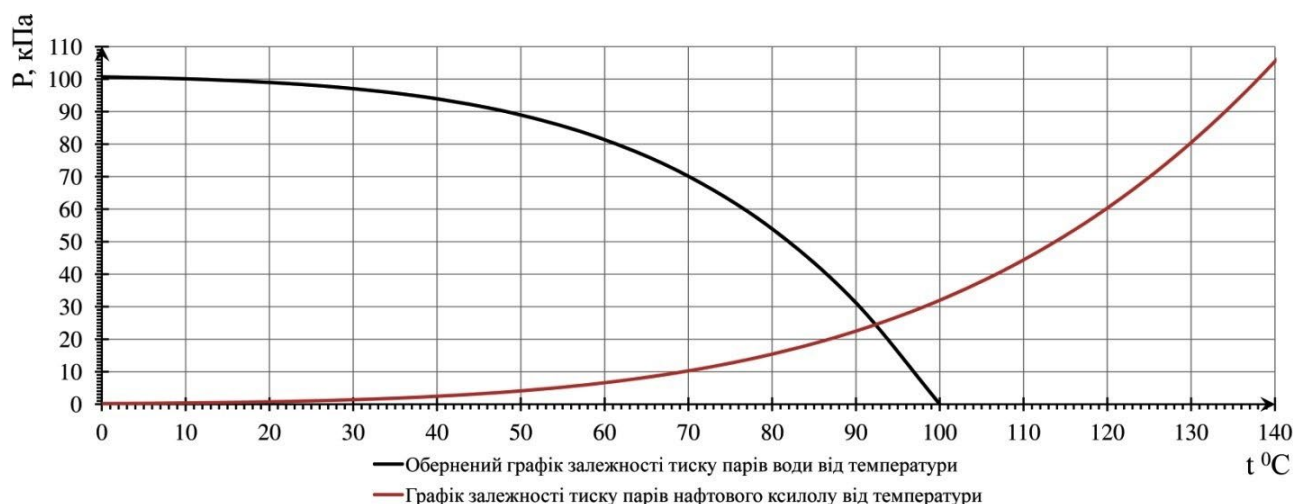


Рисунок 2 - Діаграма пружності парів ксилолу нафтового, який нагрівається з водяною парою

Відповідно до довідних джерел [11,12], система рівняння Антуана для води і ксилолу нафтового має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \ln(P_v) &= 18,3036 - \frac{3816,44}{-46,13 + (T + 273,15)} \\ \lg(P_p) &= 8,7729 - \frac{1235,56}{189,49 + T} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$



Вирішуючи рівняння (2) отримали:

$$P_p = 24543,6 \text{ Па} - \text{тиск парів розчинника.}$$

Так як процес відбувається при атмосферному тиску, то парціальний тиск парів розчинника можна виразити як різницю атмосферного тиску і парціального тиску парів води. Тоді з рівняння (1) маємо тиск водяної пари:

$$P_B = P - P_p = 101300 - 24543,6 = 76756,4 \text{ Па}$$

Так як на практиці пари води, що покидають апарат не повністю насичуються парами розчинника, то теоретична витрата водяної пари буде менша за практичну. Тому необхідно враховувати коефіцієнт насичення ϕ .

Числове значення коефіцієнта насичення ϕ залежить від гідродинамічного режиму процесу перегонки. При перегонці з водяною парою, пар вводиться в шар рідини, при цьому він може проходити через шар рідини або у вигляді окремих бульбашок, або утворювати з рідиною піну, або проходити через шар рідини у вигляді суцільного струменя. Ці відмінності в барботажі при перегонці водяною парою обумовлюються насамперед швидкістю пари і обсягом пара, що утворюється з рідини, що випаровується.

При перегонці з водяною парою можуть бути три різних гідродинамічних режима: 1) бульбашковий, 2) пінний, 3) струменний. За даними Сийрде Є.К. можна приймати коефіцієнт насичення пари для бульбашкового режиму перегонки $\phi=1$ [11]. При цьому маса перегнаного розчинника може бути розрахована за формулою:

$$G_P = \frac{P_P \cdot M_P \cdot \phi \cdot G_B}{P_B \cdot M_B} \quad (3)$$

де M_P – молекулярна маса розчинника, M_B – молекулярна маса води, G_B – маса води.

Підставивши знайдені значення в рівняння (3) отримали вираз для визначення маси відіганого розчиннику:

$$G_P = 1,89 \cdot G_B \quad (4)$$

Рівняння (4) дозволяє корегувати технологічний режим відгонки нафтового ксилолу та концентрування латексу ЕНК відповідно до наведеної схеми рециклінгу.

Таким чином, питання оптимізації складу, технологічних процесів отримання та дослідження латексів епоксидованого натурального каучуку є актуальним, з огляду на постійні зміни вимог до матеріалів у сучасній техніці. Розробка цих матеріалів має потенціал для заміни дорогих синтетичних латексів, що дозволить знизити виробничі витрати та підвищити екологічну безпеку виробничих процесів, враховуючи застосування відходів виробництва НК у якості сировини.

Висновки. Були розглянуті сучасні технології отримання латексу епоксидованого натурального каучуку.

В наведених дослідженнях встановлено, що рециклінг відходів виробництва НК є перспективним напрямком досліджень. Запропоновано методика розрахунку процесу випарювання розчинника з водного розчину епоксидованого скрапу НК з метою отримання нового перспективного матеріалу - латексу скрапу натурального каучуку (LSENR).



Було отримано рівняння залежності маси ксилолу від маси водяної пари при спільній перегонці, що дозволяє отримувати водний розчин та концентрувати латекс ЕНК в одному реакційному просторі.

Література:

1. Exploiting epoxidized natural rubber latex (ENRL) as a starting raw material for latex-based products / M. Siti Nor Qamarina, M. R. Fatimah Rubaizah, A. Nurul Suhaira, M. Y. Norhanifah. //AIP Conf. Proc. – 2017 – Vol. 1901 (1). – P. 130006. DOI: 10.1063/1.5010566.
2. Gelling I.R. Epoxidised natural rubber // J. Nat. Rubb. Res. – 1991. – Vol. 6(3). – PP. 184–205.
3. Baker CS.L., Gelling I.R., Azemi S. Epoxidised natural rubber //J. Nat. Rubb. Res. – 1986. – Vol. 1(2). – PP. 135–144.
4. Darji D., Mohd Rasdi F.R., Abdul Rahim M.A. et al. Epoxidised natural rubber (ENR) latex: an alternative raw material for latex dipped products.// J. Rubber Res. – 2020. – Vol. 23. – PP. 375-385. DOI: 10.1007/s42464-020-00065-5.
5. Research on the production technology of rubber epoxy from concentrated natural rubber latex / V. D. Trinh et al. // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 2024. Vol. 1340 - P. 012003. DOI: 10.1088/1755-1315/1340/1/012003.
6. Shapovalov D. O., Ved V. V., Zibailo S. M., & Iushko V. L. Epoksiduvannia naturalnogo kauchuku v seredovischi voda-ksilol. Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii. - 2014. Vol. 3. - PP. 102-106. DOI: 10.6084/m9.figshare.12084069.
7. Zybailo S. Optimization of the process of obtaining epoxidized natural rubber for the development of new composite materials on its basis / S. Zybailo, V. Ved, O. Okhtina, V. Kiselev, D. Shapovalov // Technology audit and production reserves. – 2019. – Т. 6. – № 3. – P. 10-13. DOI: 10.15587/2312-8372.2019.184364.
8. Features of process of epoxidation of natural rubber scrap in water-xylene / S. Zybailo, V. Ved, D. Shapovalov // Геотехнічна механіка. – 2020. – Вип. 155. – С.197-201. DOI: 10.1051/e3sconf/202016800039.
9. Р. Дж. Нобль. Латекс в технике. Л.: Ленинградское отделение Госхимиздат, 1962. - 896 с.
10. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. 7-е изд. - М.: Госхимиздат, 1961. - 830 с.
11. Стекольников М. Н. Углеводородные растворители: Свойства, производство, применение: Справочное изд. - М.: Химия, 1986. - 120 с.
12. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и живостей: Справочное пособие/Пер. с англ. По ред. Б.И. Соколова. - Нью-Йорк, 1977.- 592 с.

Abstract. The article establishes that the recycling of NR production waste is a promising area of research. Modern technologies for obtaining epoxidized natural rubber latex were considered as a method of processing NR waste. A method for calculating the process of solvent evaporation from an aqueous solution of epoxidized scrap NR in order to obtain a new promising material - latex scrap natural rubber (LSENR) was proposed.

Key words: natural rubber waste, synthetic latex, epoxidation, scheme of recycling



Науковий керівник: к.т.н., с.н.с. Зибайло С.М.

Стаття відправлена: 25.11.2024 р.

© Карнаушекно Д.О., Зибайло С.М., Ведь В.В., Стовпник О.В.



УДК 664.6

**SEARCH FOR NEW APPROACHES IN THE PRODUCTION OF FRUIT
FILLERS****ПОШУК НОВИХ ПІДХОДІВ У ВИРОБНИЦТВІ ФРУКТОВИХ НАПОВНЮВАЧІВ****Iryna Sylka / Силка І.М.***PhD in Associate Professor. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-2867-7414

Ivan Radchenko / Радченко І.*master's student in food technology / магістрант з харчових технологій***Nataliia Yushchenko/ Ющенко Н.М.***PhD in Associate Professor. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-4277-5782

*National University of Food Technologies,**68 Volodymyrska str., 01601, Kyiv, Ukraine**Національний університет харчових технологій,**68 вул. Володимирська, 01601, м. Київ, Україна*

Анотація. У статті розглянуто можливості розширення асортименту фруктових наповнювачів для змішаних напоїв. Об'єктом дослідження є технологія приготування гетерогенного фруктового наповнювача для змішаних напоїв. Предметом дослідження обрано яблука сорту "Siren" та груші сорту «Ред Вільямс» з червоною м'якоттю, як основа наповнювача.

Основною технологічною стадією приготування фруктових наповнювачів є теплова обробка яблук та груш. У ході досліджень встановлені технологічні параметри теплової обробки з застосуванням техніки су-від для приготування гетерогенних фруктових наповнювачів, а саме температура нагрівання – 63 °С, тривалість 45 хвилин.

Масові співвідношення інгредієнтів встановлені експериментальним шляхом, базуючись на основні дескриптори органолептичного аналізу харчової продукції. В якості загущувача додано крохмаль кукурудзяний, який має здатність до набухання при не високих температурах нагрівання, що дозволяє застосовувати щадний режим теплової обробки фруктової основи та збереження термолабільних вітамінів у її складі

Ключові слова: фруктовий наповнювач, змішані напої, су-від, загущувач.

Вступ. Сучасні технологічні досягнення розширюють арсенал можливостей барменів і кухарів при роботі з текстурами та смаками і спонукають їх до нових розробок у ресторанному бізнесі. У кулінарній концепції важливим елементом є використання фруктових наповнювачів, що створює унікальні смакові нюанси та багатогранність аромату. Такий підхід не лише розширює асортимент готових страв чи напоїв, але й задовольняє вимоги сучасних споживачів, які шукають нові, цікаві та здорові варіанти для власного раціону харчування.

Важливе значення фруктові наповнювачі мають у міксології, яка в сучасному розумінні включає ґрунтовний науковий підхід та чітке розуміння фізико-хімічних процесів, що відбуваються при створенні коктейлів. Позитивною тенденцією серед споживачів є прихильність до оздоровчого харчування. Тобто суміші неякісного алкоголю та сиропів, з яскраво вираженою смако-ароматичною складовою штучного походження все менше користуються попитом. Навпаки, підвищується інтерес до натуральності смаку, кольору та аромату у змішаних напоях.



Змішаним називається напій, що складається з бази, пом'якшувального та смако-ароматичного компонентів та з додаванням наповнювача, який надає повноту смаку на виході [1]. Крім цього, наповнювачі можуть змінювати колір напою, збагачують його біологічно активними речовинами. Однак, використовуючи наповнювач, завжди потрібно пам'ятати, що він не повинен змінювати характер напою, перебивати базу, а повинен добре поєднуватися з нею і підкреслювати її переваги. Фруктові наповнювачі на основі органічних продуктів можуть бути не лише елементом кулінарної інновації, але й символом сучасної гастрономії.

Основний текст.

Фрукти це джерело вуглеводів, вітамінів, харчових волокон і мінералів, також містять фенольні сполуки, пігменти та інші фітохімічні речовини з антиоксидантними властивостями, які разом відіграють важливу роль у харчуванні людини [2]. Використання нових видів сировини, в тому числі й нових сортів яблук, горіхів, прянощів додає нові смако-ароматичні характеристики фруктовому наповнювачу, робить його більш привабливим для сучасних гурманів. Не можна нехтувати і попитом на натуральність готових харчових продуктів, який зростає останнім часом. При цьому вміст штучних наповнювачів (стабілізаторів, ароматизаторів, барвників тощо) має бути зведений до мінімуму.

В основу розроблення рецептури фруктових наповнювачів були покладені тенденції щодо розширення асортименту та підвищення біологічної цінності змішаних напоїв, що реалізуються у закладах ресторанного господарства. Вибір сировини для фруктового наповнювача вимагає уважного розгляду різних факторів, таких як смакові якості, текстура, вміст цукрів та поживних речовин.

Об'єктом дослідження є технологія приготування гетерогенного фруктового наповнювача для змішаних напоїв. Предметом дослідження обрано яблука та груші з червоною м'якоттю, як основа наповнювача. Для досягнення поставленої мети сформовано завдання: обґрунтувати вид та сорт фруктової сировини, визначити масові співвідношення інгредієнтів, оптимізувати технологічні параметри приготування наповнювача та встановити термін його зберігання.

Задля досягнення високих органолептичних показників змішаного напою, у складі якого передбачено фруктовий наповнювач, до останнього висувають певні вимоги:

- гармонійний смак, привабливий колір та аромат;
- стабільна консистенція аналогічна фруктовим пюре;
- в'язкість вища, ніж в'язкість напою;
- формувати окремий шар на поверхні напою з чіткою лінією поділу.
- мати тривалий термін зберігання, щоб уникнути сезонності в приготуванні змішаних напоїв.

Вибір груш сорту «Ред Вільямс» для наповнювачу ґрунтується на їх високій поживній (харчовій) цінності: вміст вітамінів групи В, калію та магнію. Особливе значення мають функціонально-технологічні властивості даного сорту, а саме середня щільність м'якоті та її ніжна соковита й масляниста структура



насиченого бордового кольору, забезпечують високу органолептичну оцінку якості готового наповнювача.

Яблука сорту “Siren” відомі ніжною текстурою та червоним кольором м’якоті, солодким насиченим смаком та ароматом. Плоди містять 80...90 % води, 8...15 % розчинних речовин (цукри, кислоти та інші), 2...4 % нерозчинних речовин, в тому числі й пектин.

Оскільки плоди яблук та груш у своєму складі містять значну кількість вологи, бажану в’язкість наповнювача може забезпечити загущувач. Зважаючи на натуральність кінцевого продукту, яка є пріоритетом у даних дослідженнях, для досягнення необхідної консистенції обрано крохмаль кукурудзяний. Головною його перевагою серед аналогічних харчових добавок є здатність до набухання при не високих температурах нагрівання, що дозволяє застосовувати щадний режим теплової обробки фруктової основи та збереження термолабільних вітамінів у її складі.

Технологія приготування фруктових начинок аналогічна технології пастеризованим фруктовим пюре, яка передбачає стадії приймання та інспекції сировини, механіко-кулінарну її підготовку, теплову обробку інгредієнтів в одній ємності, фасування та зберігання готової продукції.

У ході пастеризації, яка є основою класичної технології фруктових пюре, руйнуються біологічно-активні речовини. Пошук альтернативи високотемпературній обробці привів до впровадження техніки су-від у технології приготування фруктових наповнювачів [3]. Це дозволяє розм’якшити тканину плодів, інактивувати окислювальні ферменти й при цьому зберегти біологічну активність мікронутрієнтів, які входять до їх складу.

Технологічний процес виробництва фруктової начинки включає миття, інспектування, чищення яблук та груш, видалення насіннєвої коробочки, подрібнення на дрібний кубик (конкасе), вакуумування в бар’єрному пакеті всіх інгредієнтів у встановлених масових співвідношеннях, занурення в нагріту до температури 63°C (рекомендації з інструкції по експлуатації приладу) водяну ємність з термостатом, який повинен підтримувати точну температуру води тривалий час.

Тривалість термічного оброблення встановлювали експериментально, варіюючи тривалість в межах від 15 до 60 хвилин з інтервалом у 15 хвилин. Головною ознакою готовності наповнювача була консистенція фруктів та гомогенна структура після подрібнення. Результати наведені у таблиці 1.

Композиція прянощів у даному дослідженні складалася з порошку кориці, куркуми та подрібненого насіння коріандру у рівних масових співвідношеннях. Додана кількість прянощів не суттєво впливає на функціонально-технологічні показники наповнювача, тому їх якісний склад залежить лише від поставлених задач приготування змішаних напоїв.

Розроблений наповнювач має однорідну, рівномірну структуру, гарний властивий даним інгредієнтам колір; приємний, типовий, добре виражений запах і характерний для цього продукту смак; виготовлені з використанням недорогої та доступної сировини, не містить консервантів та барвників, мають високу харчову та біологічну цінність. Герметично закритий харчовий пакет не



пропускає повітря та вологу, тому приготовлений наповнювач передбачається зберігати в такому пакуванні при температурі від 3°C до +10°C у холодильній шафі 3 місяці.

Таблиця 1 - Органолептична характеристика зразків фруктового наповнювачу в залежності від часу термічної обробки

Тривалість термічної обробки, хв	Органолептична характеристика ступеня готовності
15	Фрукти не втратили форму, при подрібненні залишаються грудочки, що свідчить про міцність клітинних стінок, особливо груш
30	Фрукти твердої консистенції, погано гомогенізуються
45	Фрукти м'якої консистенції, форма нарізання зберігається. При подрібненні досягається однорідна консистенція.
60	Форма нарізання у фруктів втрачається, кількість рідкої фази збільшується. При подрібненні швидко досягається гомогенність без подальшої потреби в перетиранні.

Масові співвідношення інгредієнтів фруктового наповнювача (табл. 2) були встановлені експериментальним шляхом, базуючись на основні дескриптори органолептичного аналізу харчової продукції.

Таблиця 2 – Рецептурний склад фруктового наповнювача

Інгредієнт	Маса, г	
	брутто	нетто
Груша	60	40
Яблука	60	40
Мед	10	10
Крохмаль	15	15
Композиція прянощів	5	5

Висновки.

Фруктові наповнювачі є важливою складовою дієтичного харчування через свою природну високу витривалість. Вони пропонують широкий спектр корисних поживних речовин, включаючи вітаміни, мінерали та антиоксиданти, що сприяють покращенню імунітету та загальному здоров'ю. Оскільки фрукти мають низький вміст калорій та високий вміст харчових волокон, вони стають ідеальним вибором для тих, хто прагне знизити вагу або контролювати рівень цукру в крові.



Література:

1. Овочево-фруктові пюре функціонального призначення за застосування інноваційного обладнання / Токар А.Ю., Харченко З.М, Матенчук Л.Ю., Войцехівський В.І // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки / Тавр. нац. ун-т ім. В. І. Вернадського – 2020. – Том 31 (70) № 3. – С. 72-78
2. Akonor, P. T. (2020). Optimization of a fruit juice cocktail containing soursop, pineapple, orange and mango using mixture design. Scientific African, 8, e00368
3. Силка І. Застосування технологічних принципів sous vide при приготуванні м'ясних напівфабрикатів. Abstracts of XXVI International Scientific and Practical Conference. July 03 – 05, 2023Hamburg, Germany. P. 161-163.
4. Перспективи використання локальної рослинної сировини у складі безлактозного напою лассі / Силка І.М., Петров Є. // International periodic scientific journal «SWorld» № 24-01 (2024) С. 18-23

Abstract. The article considers the possibilities of expanding the range of fruit fillers for mixed drinks. The object of research is the technology of preparing heterogeneous fruit filler for mixed drinks. The subject of the study was chosen as the basis of the filler, apple of the variety "Siren" and pears of the variety "Red Williams" with red flesh.

The main technological stage in the preparation of fruit fillings is the heat treatment of apples and pears. In the course of research, the technological parameters of heat treatment using the sous-vide technique for the preparation of heterogeneous fruit fillers were established, namely, the heating temperature is 63 °C, the duration is 45 minutes.

Mass ratios of ingredients are established experimentally, based on the main descriptors of organoleptic analysis of food products. As a thickener, corn starch is added, which has the ability to swell at low heating temperatures, which allows the use of a gentle heat treatment mode of the fruit base and the preservation of heat-labile vitamins in its composition

Key words: fruit filler, mixed drinks, sous vide, thickener

Стаття відправлена: 25.11.2024 р.

© Силка І.



УДК 681.5.033:622.24

QUALITY INDICATORS OF AUTOMATIC REGULATION SYSTEMS OF DRILLING MODES OF OIL AND GAS WELLS WITH ELECTRIC DRILLS ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ БУРІННЯ НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН ЕЛЕКТРОБУРАМИ

Dmytryk T.B. / Дмитрик Т.Б.

Shavranskyi M.V. / Шавранський М.В.

ORCID: 0000-0001-6636-1069

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,

Ivano-Frankivsk, Karpatskaya, 15,76019

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

Івано-Франківськ, вул.Карпатська,15,76019

Анотація. В роботі розглядаються системи автоматичного регулювання з регулятором подачі долота, призначеним для роботи при бурінні свердловин електробурами, що забезпечує підтримку заданого значення потужності на валі двигуна електробура з обмеженням навантаження на долото або підтримку заданого значення осьового навантаження на долото (сили ваги на гаку).

Ключові слова: автоматичне регулювання, електробур, буріння, осьове навантаження, показник якості, перехідний процес.

Вступ.

Науково-технічний прогрес в нафтогазовидобувній промисловості обумовлений підвищенням технічного рівня нафтової електроенергетики и подальшим розвитком автоматизованих систем керування технологічними процесами. Розробка і впровадження електробурів змінного струму для сучасних бурових установок, підвищення надійності експлуатації автоматизованих систем регулювання режимів буріння свердловин забезпечують значне підвищення продуктивності праці в бурінні нафтових і газових свердловин, у тому числі і на сланцевий газ.

Як показує проведений аналіз, сьогодні одним із засобів підвищення ефективності технологічного процесу буріння є використання автоматичних систем регулювання режимів буріння свердловин сучасними електробурами. Завдання проектування, експлуатації й автоматизації регулювання режимів буріння ведуть до необхідності вивчення такого складного питання як стійкість систем. Це обумовлено тим, що процес буріння нафтових і газових свердловин є нелінійним стохастично-хаотичним процесом, який здійснюється за умов апіорної та поточної невизначеності, розвивається в часі і перебуває під впливом різного типу адитивних и мультиплікативних завад.

Тому метою даної роботи є оцінка і порівняння показників якості системи автоматичного регулювання осьового навантаження на долото і системи автоматичного регулювання потужності на валі електробура Е215-8м.

Основний текст.

У режимі буріння по потужності на валі й осьовому навантаженню на долото можна встановлювати два задані значення уставки – потужності на валі двигуна електробура або осьове навантаження на долото. Проте, при цьому можна підтримувати тільки один із параметрів, близький до заданого: в



енергомістких породах – потужність, а в не енергомістких – осьове навантаження на долото. Тобто система керування має змінну структуру (рисунок 1).

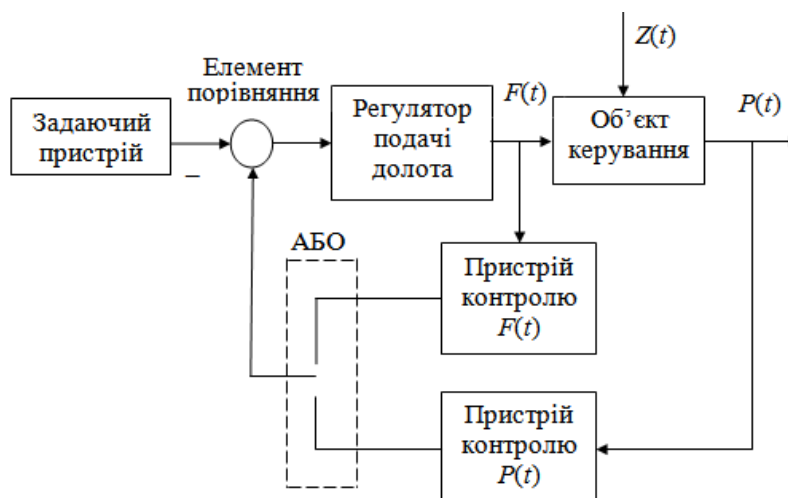


Рисунок 1 – Функціональна схема системи із змінною структурою для керування процесом буріння свердловин електробурами: $F(t)$ – осьове навантаження на долото; $P(t)$ – потужності на валі двигуна електробура; $Z(t)$ – збурення

Джерело: [2]

Принцип змінної структури дозволяє використовувати позитивні властивості кожної структури і отримати ефекти не властиві жодній із систем, що мають постійну структуру. В досліджуваній системі використано регулятор подачі долота АМС-2, давач осьового навантаження на долото типу ДВР-26 зі спостерегаючою системою на основі безконтактних сельсинів типу БД404А, система телеконтролю потужності на валі двигуна електробура на основі серійного давача активної потужності серії Е.

На першому етапі досліджено систему автоматичного регулювання осьового навантаження на долото, алгоритмічна структура якої наведена на рисунку 2. Бачимо, що у даному випадку, коли коефіцієнт передачі ланки «редуктор з барабаном лебідки – колона бурильних труб – канат» $K = 1$, тривалість перехідного процесу складає 6,5 с, перерегулювання 6,5 % і кількість періодів коливань $n = 1$. Із збільшенням глибини свердловини, що супроводжується зростанням коефіцієнта передачі, показники якості системи погіршуються (таблиця 1).

Графіки залежностей тривалості перехідного процесу t_n , кількості періодів коливань n і перерегулювання σ від величини коефіцієнта передачі ланки «редуктор з барабаном лебідки – колона бурильних труб – канат» наведено на рисунку 3. Бачимо, що при $K \rightarrow 5$ показники системи регулювання осьового навантаження на долото різко погіршуються. Тому доцільно змінити структуру системи регулювання і перейти до автоматичного регулювання потужності на валі електробура.

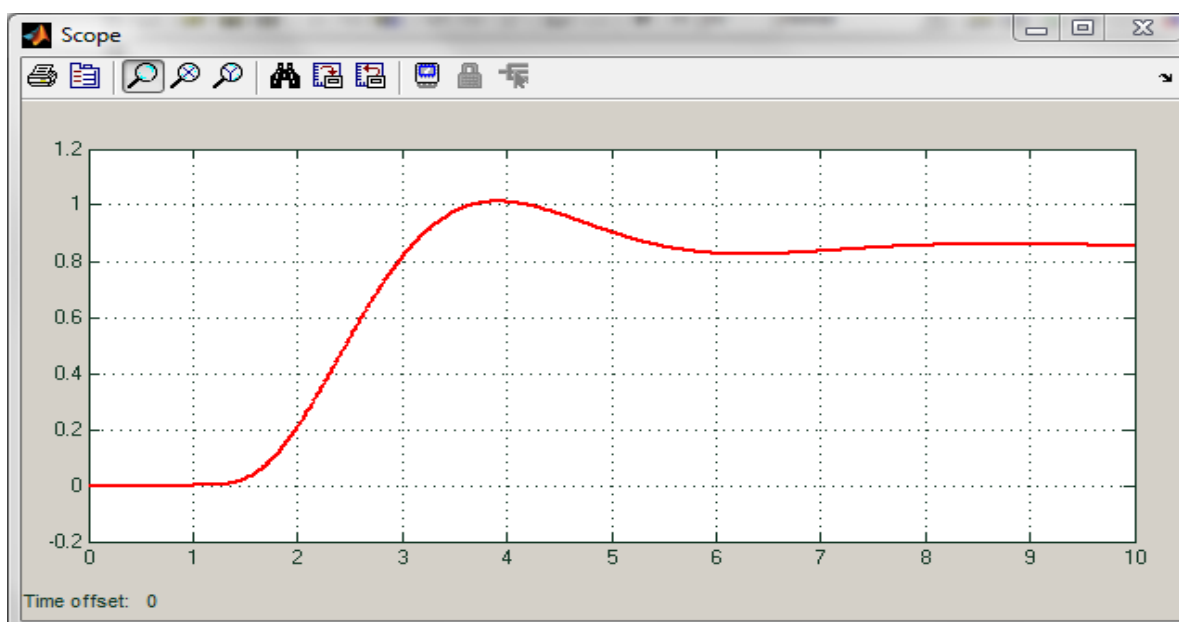
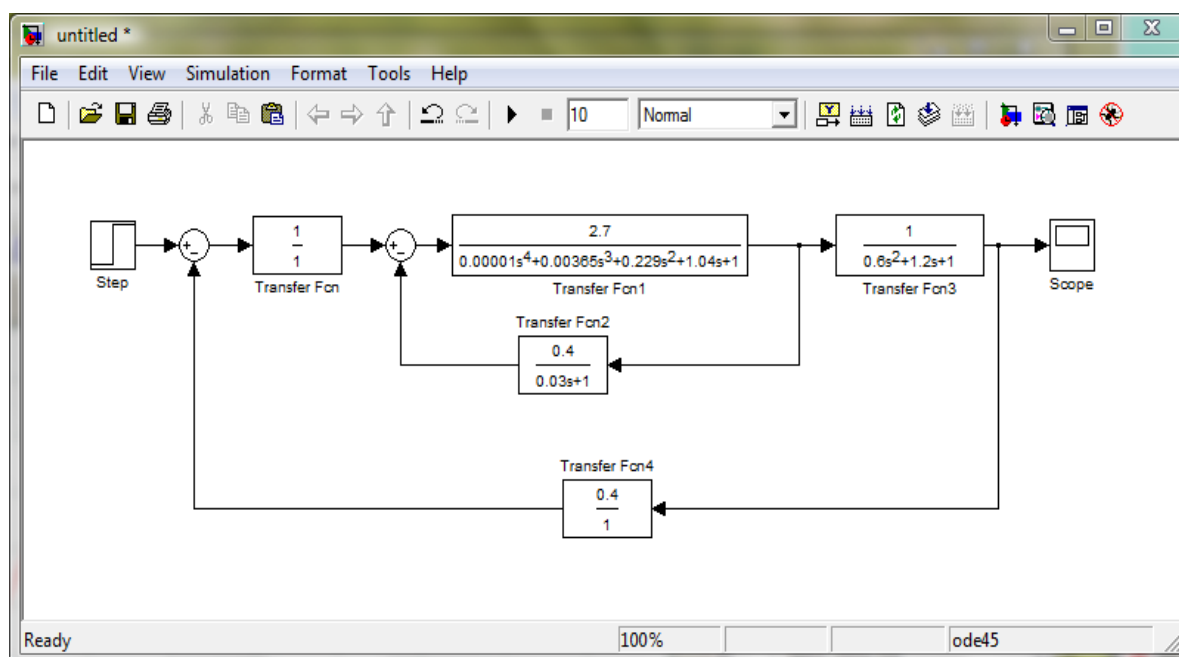


Рисунок 2 – Алгоритмічна структура системи автоматичного регулювання осьового навантаження на долото і перехідна характеристика

Джерело: [2]

Для порівняння показників якості перехідних процесів на рис. 4 наведено алгоритмічну структуру системи автоматичного регулювання потужності на валі двигуна електробура Е215-8м, яка відрізняється від системи, що зображена на рис. 2 лише зміною керованої величини. При цьому додатково в структуру введено функції передачі двигуна електробура:

$$W_1(s) = \frac{12,5}{0,86s + 1}$$

і давача активної потужності

$$W_2(s) = \frac{0,0005}{0,02s + 1}.$$



Таблиця 1 – Показники якості системи автоматичного регулювання осьового навантаження на долото в залежності від коефіцієнта передачі ланки «редуктор з барабаном лебідки – колона бурильних труб – канат»

№	Коефіцієнт передачі ланки «редуктор з барабаном лебідки – колона бурильних труб – канат» (рб–кк)	Тривалість перехідного процесу, с	Перерегулювання, σ , %	Кількість періодів коливань n
1	1	6,5	7,5	1
2	2,2	10	37	2
3	2,8	14	50	3
4	3,4	17	47	4
5	4,4	30	71	7
6	4,8	35	77	8
7	5	45	85	13

Авторська розробка

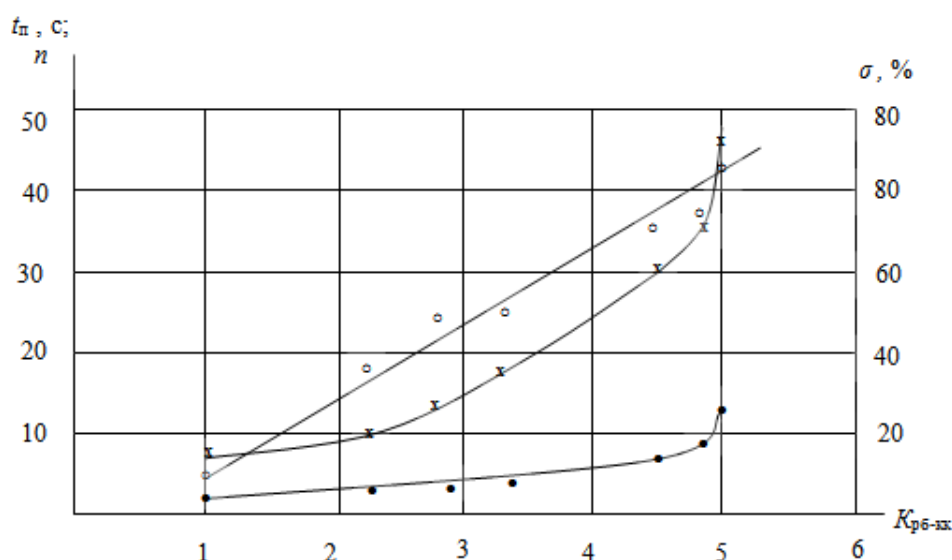


Рисунок 3 – Графіки залежностей тривалості перехідного процесу t_p , кількості періодів коливань n і перерегулювання σ від коефіцієнта:

* – тривалість перехідного процесу; • – кількість періодів коливань;
 ° – перерегулювання передачі ланки «редуктор з барабаном лебідки – колона бурильних труб – канат»

Джерело: [3]

Бачимо, що показники якості у цьому випадку значно покращилися. Вони зберігаються і при більш високих значеннях коефіцієнта передачі механічної ланки «редуктор з барабаном лебідки – колона бурильних труб – канат» (рисунок 5, рисунок 6).

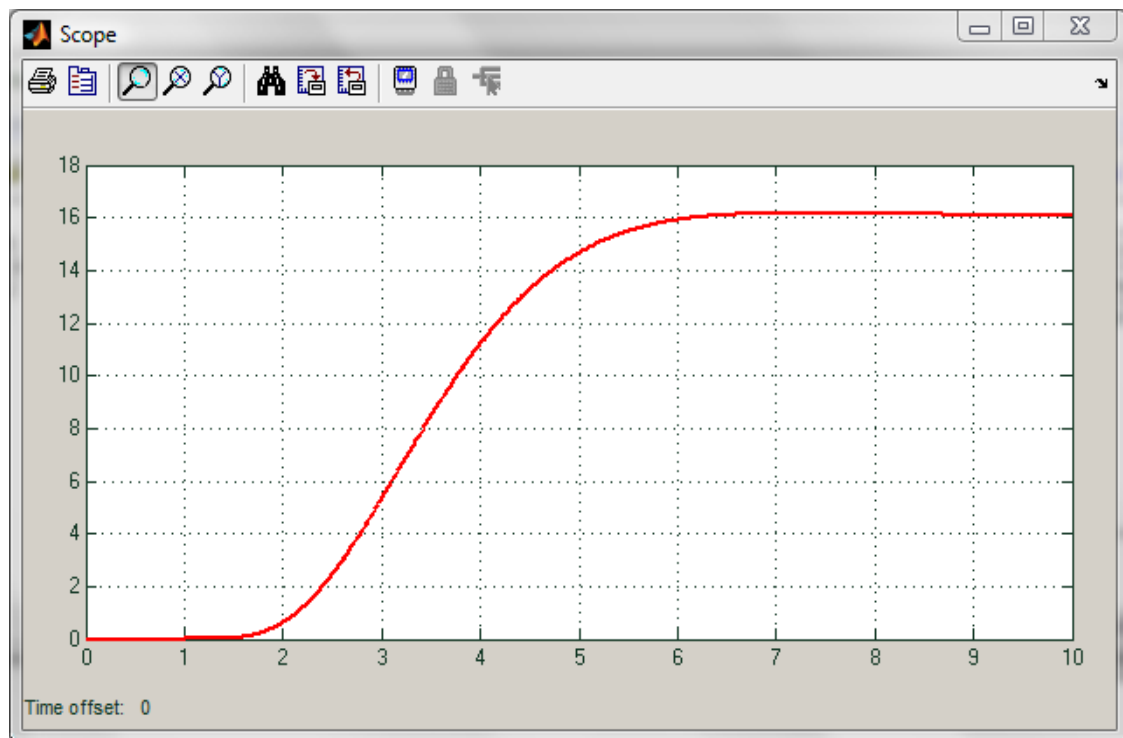
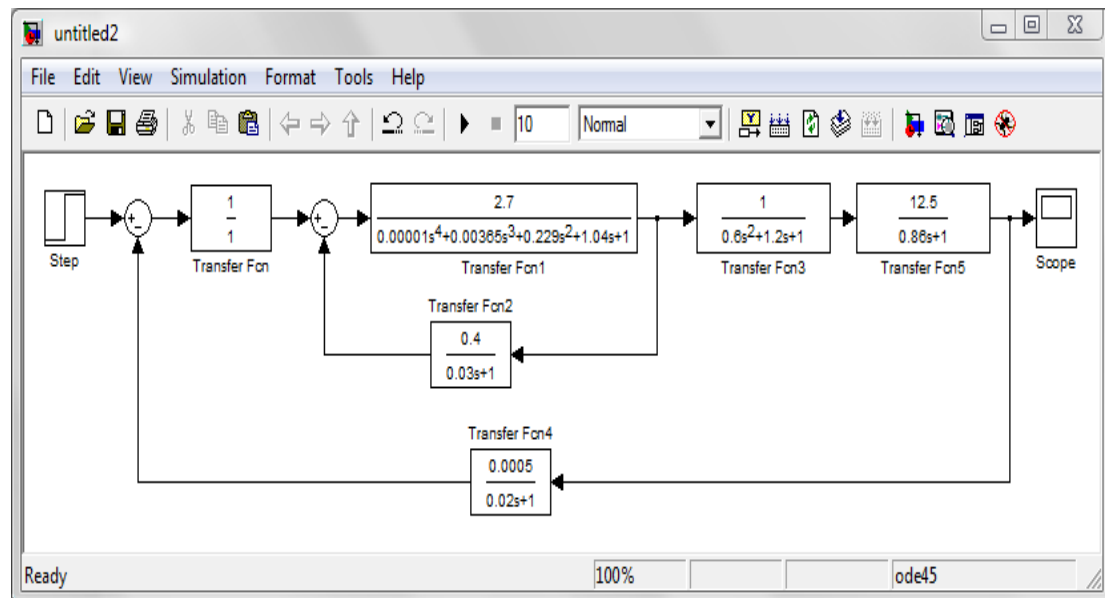


Рисунок 4 – Алгоритмічна структура системи автоматичного регулювання потужності на валі двигуна електробура Е215-8 м ($K_{p6-kk}=1$, $K_e=12,5$)

Авторська розробка

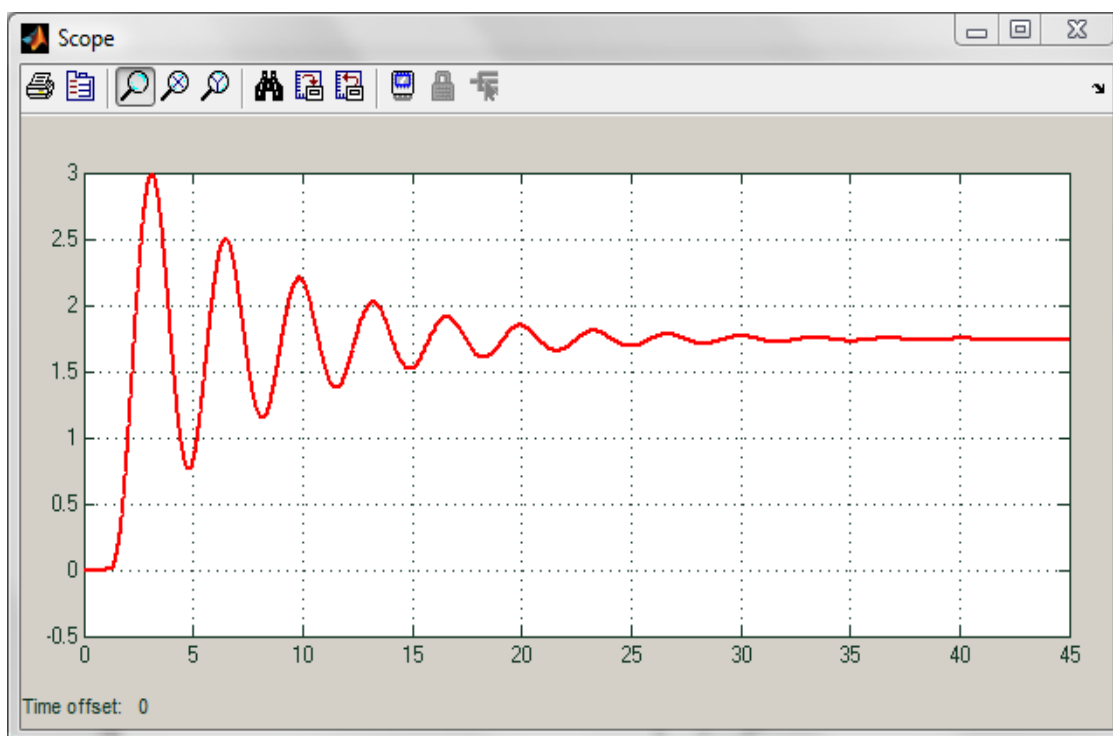
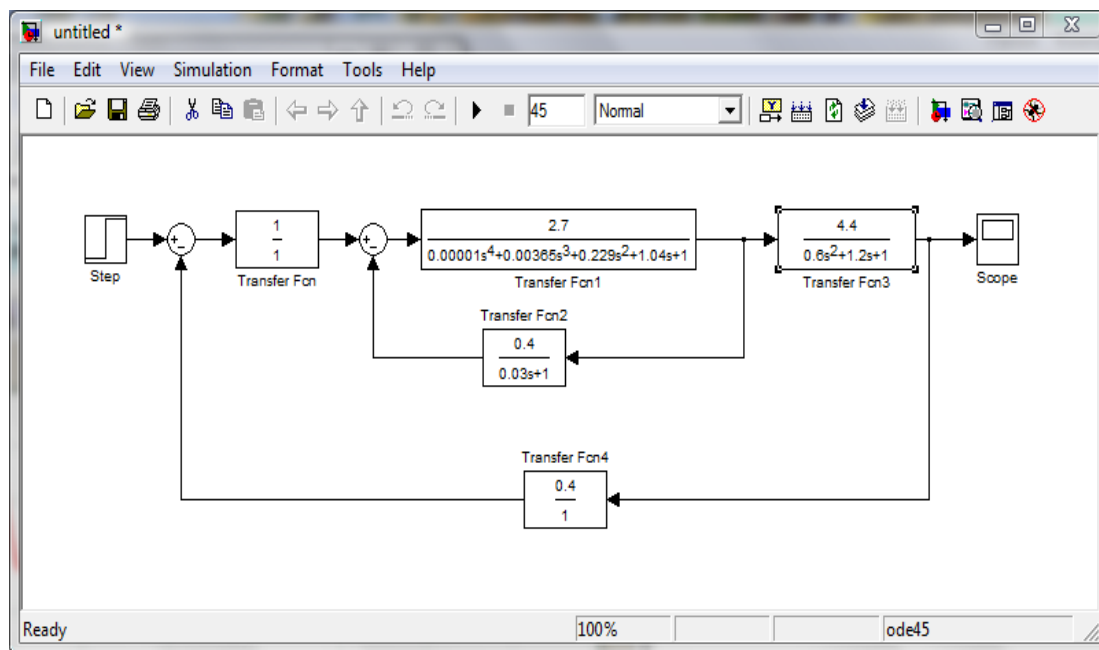


Рисунок 5 – Алгоритмічна структура системи автоматичного регулювання осьового навантаження на долото і її перехідна характеристика ($K_{pb-кк} = 4$)

Авторська розробка

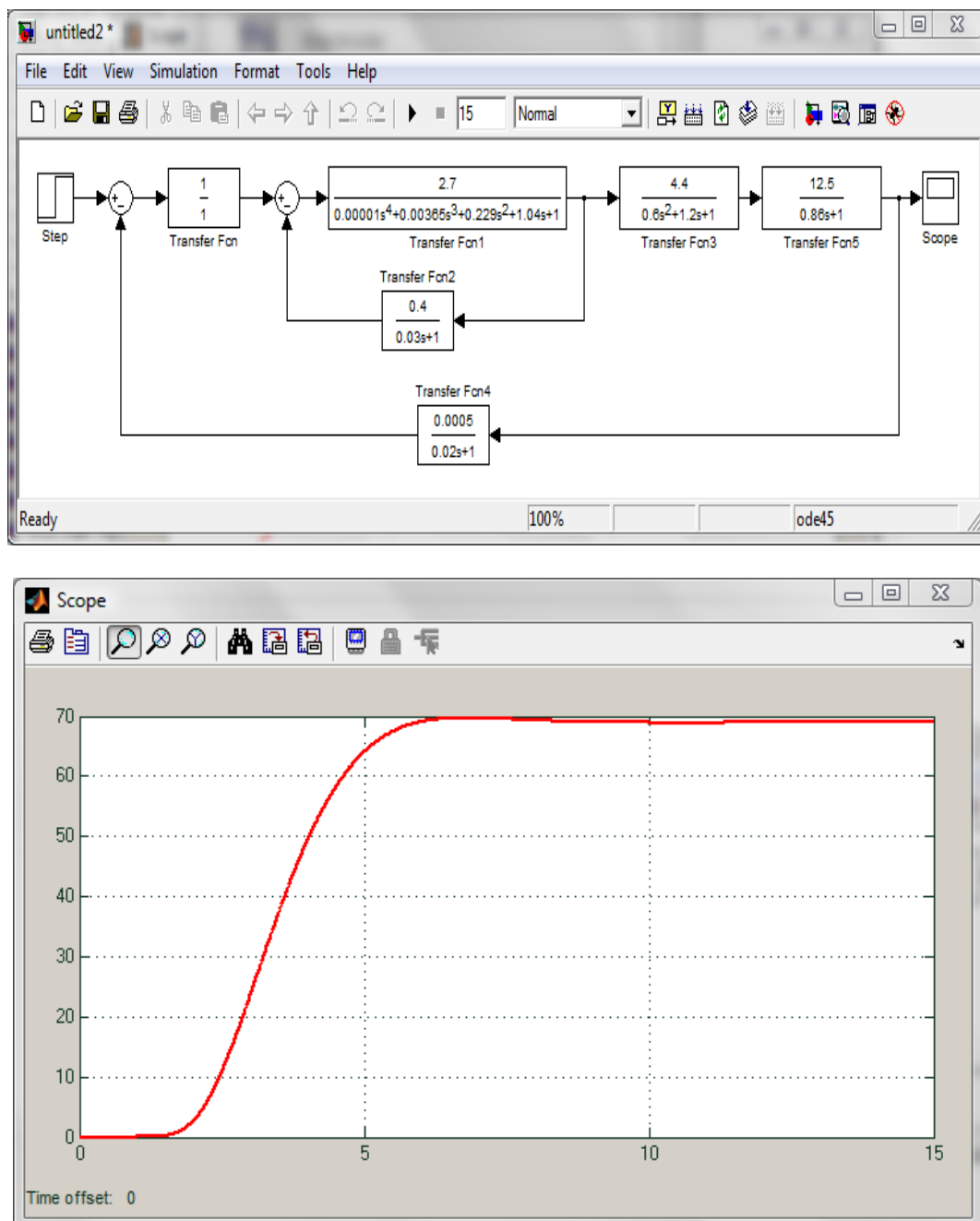


Рисунок 6 – Алгоритмічна структура системи автоматичного регулювання потужності на валі двигуна електробура Е215-8 м ($K_{рб-кк} = 4,4$, $K_e = 12,5$)

Авторська розробка

Отож, при збільшенні глибини свердловини, коли коефіцієнт передачі $K_{рб-кк}$ наближається до 5 доцільно змінити структуру системи автоматичного регулювання і перейти на автоматичне регулювання потужності на валі двигуна електробура.

Висновок. Було досліджено показники якості системи автоматичного регулювання осьового навантаження на долото і потужності на валі двигуна електробура. Це дало змогу зробити висновок про доцільність із збільшенням глибини свердловини переходу на автоматичне регулювання потужності на валі двигуна електробура, замість регулювання осьового навантаження на долото.

**Література:**

1. Діхтяренко К.В. Перспектива відродження електробуріння / К.В.Діхтяренко, В.П.Червінський // Нафта і газ України: матеріали 9-ої міжнар. наук.-практич. конф. «Нафта і газ України – 2013», м. Яремча, 4-6 вересня 2013 р. – Л.: «Центр Європи», 2013. – С.59-60.
2. Бунчак З. Електробур. Парадокси і реальність / З.Бунчак, О.Дудар, О.Кекот, О.Турянський. – Електроінформ. – 2003. – № 4. – С. 8-11.
3. Горбійчук М.І. Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин / М.І. Горбійчук, Г.Н. Семенцов. – Івано-Франківськ: Нова Зоря, 2003. – 493 с.
4. Електробури. Загальні технічні умови. ДСТУ 3258-12. К.: Держстандарт України, 2012. – 25 с.

Abstract. This work analyzes automatic regulation systems, which include a bit feed regulator, designed for efficient operation of electric drills during well drilling. The main purpose of the system is to maintain the specified power value on the electric drill motor shaft while simultaneously limiting the load on the bit, as well as ensuring a stable axial load (weight force on the hook).

The principles of operation of regulators, their impact on drilling efficiency, as well as the possibilities of optimizing processes thanks to the use of automated technologies are considered in detail. In addition to the technical aspects, the work also analyzes the benefits of automation, including increased control accuracy, reduced overload risks and improved overall drilling productivity. The results of the research are important for the further improvement of drilling rigs and can serve as a basis for the development of new technological solutions in the field of drilling.

Key words: automatic adjustment, electric drill, drilling, axial load, quality indicator, transition process.

Стаття відправлена: 17.10.2024 г.
© Дмитрик Т.Б., Шавранський М.В.



UDC 004.89:577.2

ON THE DATA-SET STRUCTURE FOR TRAINING GENERATIVE NEURAL NETWORKS IN PROTEIN DESIGN

Haisha Oleksandr

c.t.s., as.prof.

ORCID: 0000-0003-3711-547X

Institut de Ciències del Mar,

Spain, Barcelona, Pg. Marítim de la Barceloneta, 37, 08003

Haisha Olena

ORCID: 0009-0000-4543-912X

Pylyp Orlyk International Classical University,

Ukraine, Mykolaiv, str. Kotelna, 2, 54003

Abstract. The paper considers the ways of normalizing a data set that can be used to train neural networks used for designing proteins or other large organic molecules with a complex structure. The paper considers the ways of translational transformation of coordinates of atoms (or amino acid residues), as well as methods for setting universal directions of coordinate axes and transition to them by appropriate linear transformations based on the rotation matrix. The paper specifies the ways of using other information describing the protein and located in the corresponding PDB files. The advantages of using coordinates of whole amino acid residues (instead of taking into account the positions of individual atoms) are substantiated, and the methods for setting their relative coordinates are formalized. The paper can be useful in preparing data on the structure and properties of proteins for their use in the process of training a neural network using these data as input information or for comparing network's output information with them.

Keywords: neural network, data-set, data structure, atoms coordinates, coordinate alignment procedure.

Introduction.

Modern computer technologies and corresponding software are actively used in chemistry to predict the properties of chemical compounds. These approaches are particularly valuable when dealing with complex organic chemical compounds, such as proteins. In other words, thanks to “in silico” calculations, it is becoming increasingly possible to design proteins with specific properties based on information from other natural or artificially designed protein molecules.

One of the most promising areas in the design of new proteins, as well as in predicting their spatial configuration and other related tasks, is the use of artificial intelligence tools. Among such tools, generative neural networks stand out, allowing the generation of new data that are structurally and otherwise similar to existing data that describe real and known objects (in our case, known proteins).

When employing neural networks, which are essentially highly advanced systems for generalizing large amounts of statistical data, a critical question arises regarding the selection of the data to be used for the training stage. Of course, the choice of specific protein samples to include in the training dataset is important. However, an even more crucial aspect is the selection of features that describe each protein; in other words, the primary task is to develop a data schema for the corresponding dataset [1].

Main text.

It is well known that one of the most common ways to represent protein structure



information is through Protein Data Bank files, which have the extension PDB. These files, created based on experimental results, contain extensive information about each specific protein. In particular, they store the coordinates of the most likely position of each atom that constitutes the protein. The coordinates are represented in a traditional three-dimensional space and can be denoted by a vector of the form:

$$\vec{x} = \{x_1, x_2, x_3\}, \quad (1)$$

where x_1 is the first coordinate of the atom (abscissa), x_2 is the ordinate of the atom, and x_3 is its applicate. All coordinates in (1) are defined relatively to an arbitrarily chosen origin of the coordinate system, meaning that the same structure of a particular protein can be described by different sets of atomic coordinates. This implies that for input data, it is more appropriate to use the relative distances between atoms or other structural elements, rather than their absolute coordinate values.

When considering many atoms (and the number of atoms in proteins typically reaches several thousands), it becomes practical to introduce indexing by the atomic number in the protein description. As a result, the coordinates of the i -th atom can be represented by a triplet:

$$\vec{x}_i = \{x_{1i}, x_{2i}, x_{3i}\}, \quad (2)$$

where the index $i = 1..N_1$, and N_1 is the number of atoms in the group. The complete set of coordinates (2) of a group of atoms can be described by a matrix (or two-dimensional tensor) of the following form:

$$\mathbf{X} = \{\vec{x}_i \mid i = 1..N_1\} \quad (3)$$

In some cases we can work with internal coordinates, which means that the group of atoms is formed based on some rule. Particularly it can be all the atoms in the total molecule and also any its subset, but described technique can be applied to such group of atoms in any case.

Given that the training process of a neural network considers not just one protein, but a collection of them, it is also practical to introduce indexing by sample (by PDB file). For instance, the complete set of atomic coordinates (3) for the j -th protein from the entire set under consideration can be denoted as follows:

$$\mathbf{X}_j = \{\vec{x}_{ij} \mid i = 1..N_1\}. \quad (4)$$

Finally, if not just one PDB file is considered, but a complete dataset with M samples, then to describe all the atomic coordinate data of form (4), a three-dimensional tensor can be used of the following form:

$$\Xi = \{\mathbf{X}_j \mid j = 1..M\}. \quad (5)$$

Taking into account the previous remark regarding the arbitrary choice of the coordinate system origin, it is advisable to introduce adjustments to the mentioned tensor in order to input coordinates into the neural network which are relative to a unified coordinate system. Indeed, when it is necessary to input numerical coordinate values into the neural network for similar proteins, the coordinates of corresponding atoms should be close. However, even the coordinates of the same protein can differ significantly if the axes and origin of the coordinate system are defined differently. Therefore, prior to using coordinates from PDB files (regardless of whether atom-level coordinates are used, as in one method, or entire amino acid residues, or groups of



amino acid residues consisting of 8-10 units, as implemented in the Combinatorial Extension method [2]), certain structural alignment procedures must be performed to align the coordinates of different proteins within a common coordinate system.

In the simplest case, the first step can be to select a universal point as the origin for all M samples. For example, we can choose the first atom in each PDB file as the reference point. The coordinates of this first atom can be set to $\{0, 0, 0\}$ instead of the values $\vec{x}_1 = \{x_{11}, x_{21}, x_{31}\}$, which necessitates adjusting all other coordinates of (5) by the amount $\vec{x}_1$. The corresponding relative coordinates will be denoted with a prime:

$$\begin{aligned}\vec{x}_i' &= \vec{x}_i - \vec{x}_1 = \{x_{i1} - x_{11}, x_{i2} - x_{21}, x_{i3} - x_{31}\}, \quad \mathbf{X}_j' = \{\vec{x}_{ij}' | i = 1..N_1\}, \\ \Xi' &= \{\mathbf{X}_j' | j = 1..M\}\end{aligned}\quad (6)$$

In the general case, the vector to be subtracted in the given formulas does not necessarily have to correspond to the coordinates of the first atom, but can also represent any meaningful point in the protein molecule's structure (e.g., its center of mass, geometrical center of some important active site, etc.). Identifying of such a point may be a separate, complex problem; however, the procedure for using its coordinates remains the same as described in this study.

Thus, the resulting expression is no longer dependent on the arbitrary choice of the initial reference point, yet it still depends on the arbitrary selection of the coordinate axis directions. To move to a set of universal axes, it is necessary to choose directions along which the unit vectors of the orthonormal basis of the coordinate system can be most conveniently aligned. This can be achieved, for example, through the following procedure. The Ox axis can be oriented along the ray connecting the first atom A_1 and the second atom A_2 in the molecule, as illustrated in Fig. 1. The coordinates of the corresponding unit vector in the coordinate system used in the PDB file can then be determined using the formula of the following form:

$$\vec{i} = \frac{\overrightarrow{A_1 A_2}}{|\overrightarrow{A_1 A_2}|}, \quad (7)$$

where $\overrightarrow{A_1 A_2} = \{x_{12} - x_{11}, x_{22} - x_{21}, x_{32} - x_{31}\}$ is non-unit vector;

$|\overrightarrow{A_1 A_2}| = \sqrt{(x_{12} - x_{11})^2 + (x_{22} - x_{21})^2 + (x_{32} - x_{31})^2}$ is the magnitude of vector $\overrightarrow{A_1 A_2}$

To define the second basis vector, we may consider the plane formed by the first three atoms $A_1 A_2 A_3$ and choose the second basis vector so that it lies within this plane and is perpendicular to the line $A_1 A_2$ (see Fig. 1). Using this method, to reduce the number of operations, it is advisable firstly to find the third basis vector, which would form a right-handed coordinate system with the first two. For this, the third direction vector can be taken as the result of the cross product of vectors $\overrightarrow{A_1 A_2}$ (or vector (7)) and $\overrightarrow{A_1 A_3}$, normalizing this result by its magnitude:

$$\vec{k} = \frac{\overrightarrow{A_1 A_2} \times \overrightarrow{A_1 A_3}}{|\overrightarrow{A_1 A_2} \times \overrightarrow{A_1 A_3}|} \quad (8)$$

The resulting expression (8) can be used to find the second basis vector:



$$\vec{j} = \vec{k} \times \vec{i} \quad (9)$$

The last expression (9) does not require normalization since the vectors being multiplied (formulas (7) and (8)) are unit vectors.

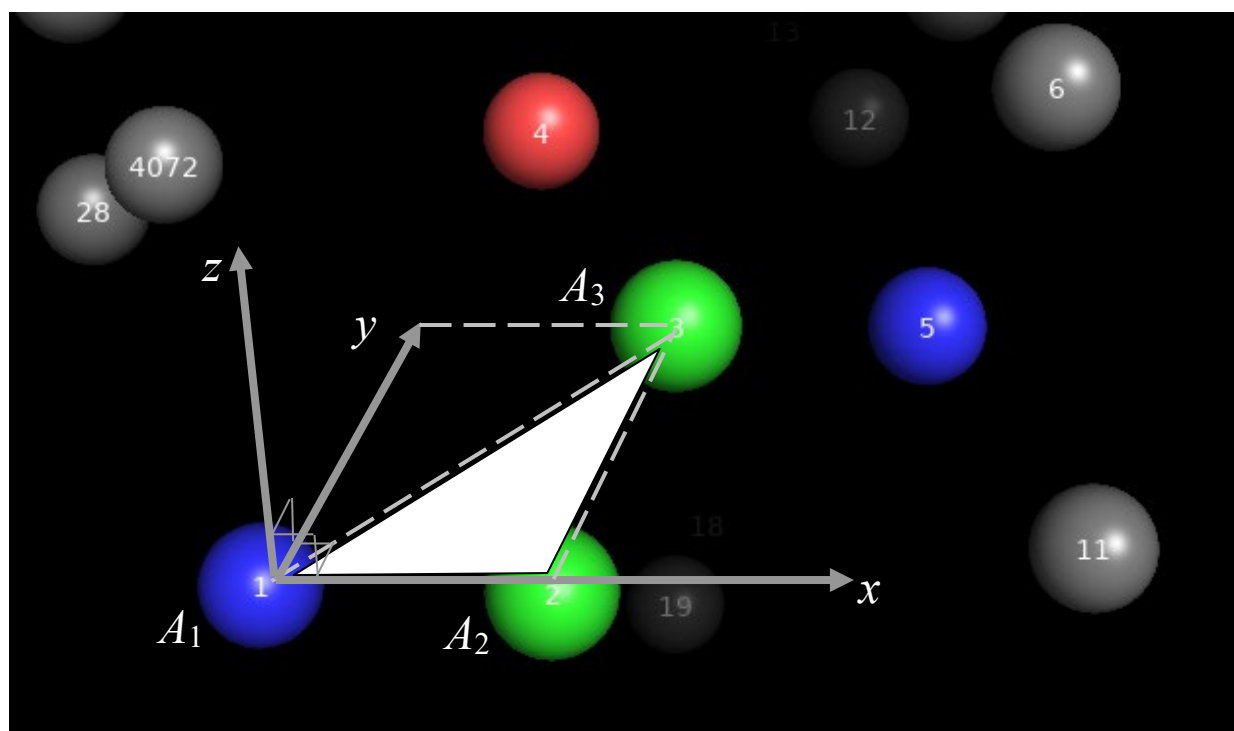


Figure 1 - Visualization of the coordinate system construction based on three specified points (demonstrated using the example of the first three atoms of the protein 7cef.pdb)

The coordinates of the three obtained basis vectors (7-9) should be combined into a rotation matrix $\mathbf{R}$, which will be applied to all the coordinates in the given PDB file:

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} i_x & i_y & i_z \\ j_x & j_y & j_z \\ k_x & k_y & k_z \end{pmatrix} \quad (10)$$

where $\vec{i} = \{i_x, i_y, i_z\}$, $\vec{j} = \{j_x, j_y, j_z\}$ and $\vec{k} = \{k_x, k_y, k_z\}$ are the coordinates of the new basis vectors in the old coordinate system, which is used in the PDB file. The coordinates $\vec{\xi} = \{\xi_1, \xi_2, \xi_3\}$ of an arbitrary object from the original PDB file in the new coordinate system $\vec{\xi}' = \{\xi_1', \xi_2', \xi_3'\}$ will then be obtained through a linear transformation with using (10):

$$\vec{\xi}' = \mathbf{R} \vec{\xi} \quad (11)$$

It is important to clarify that the points A_1 , A_2 , and A_3 were selected as the first three atoms of the PDB file purely for illustrative purposes, and in general, the described procedure can be applied to move to any arbitrary orientation of the axes. In this case, point A_1 represents the new origin, point A_2 should lie on the new Ox axis, and point A_3 is any point in the xOy plane. By specifying three such points based on certain considerations (in particular, to match the structure of protein molecules or their



individual parts), the coordinates of all objects from the protein file can be obtained following the specified procedure. This final expression (11) will no longer depend on the arbitrary choice of the origin and the direction of the coordinate axes and can be used as input data for a neural network in training.

Regarding the coordinates of individual atoms, if it is necessary to account for their positions with maximum precision, B -factors from the PDB file for all the atoms under consideration can also be introduced. These B -factors characterize the amplitude of thermal motion for each atom. From these values, a matrix of the following form can be constructed:

$$\mathbf{B} = \{b_{ji} \mid i = 1..N_1, j = 1..M\}, \quad (12)$$

where b_{ji} is an element of the matrix located in the j -th row at the i -th position, corresponding to the B -factor of the i -th atom belonging to the j -th protein.

This matrix $\mathbf{B}$ (12) can also be provided as input to a neural network that learns the rules and structural features of proteins.

Furthermore, despite the discussion above regarding the consideration of each atom's coordinates, it should be noted that such highly detailed information about the protein structure, as Ξ' (which accounts for the position of each individual atom), is, in most cases, excessive. This is especially true in the case of constructing a protein with a common functional group or active site, such as a catalytic triad. For example, in the well-studied and extensively documented mechanism of the catalytic triad [3], the key role is not played by individual atoms but rather by entire amino acid residues. In many hydrolases, the most well-known (or classic) catalytic triad consists of "Serine-Histidine-Aspartic Acid" (as, for example, in TfCut2 protein, studied by the authors in [4]). These three amino acid residues exhibit varying degrees of flexibility within the protein, particularly during interaction with the substrate. For instance, the serine residue has a flexible side chain capable of rotation around σ -bonds. In aspartic acid, the carboxyl group restricts rotation, imparting a certain rigidity to the side chain. The imidazole ring of histidine adds rigidity to its side chain. Overall, it is evident that it makes sense to consider the relative positioning and orientation of the amino acid residues within the active site. Extrapolating this approach to all amino acid residues, it is more practical to consider not their individual atoms, but certain centers, such as centers of mass or geometric centers. This approach is also justified by the fact that the average number of atoms in a standard amino acid is around 20, which reduces the volume of information input to the neural network by the same factor and also decreases the number of necessary mathematical operations for processing this information. At the same time, obtaining additional insights by considering the positions of individual atoms rather than entire amino acid residues appears unlikely. Thus, we proceed to the consideration of working with the centers of individual residues.

The position of the center of mass of the k -th amino acid residue can be calculated using the formula:

$$\vec{r}_k = \frac{\sum_{i: A_i \in R_k} m_i \vec{x}_i}{\sum_{i: A_i \in R_k} m_i} \quad (13)$$



where A_i is the i -th atom in the protein sequence listed in the PDB file;

R_k is the k -th amino acid residue for which the center of mass is being calculated, where $k = 1..N_2$, and N_2 is the number of amino acid residues forming the protein;

m_i is the mass of the i -th atom.

In certain cases, it may be more appropriate to consider the geometric center instead of the center of mass, which can be defined as the center of mass assuming that all atoms have equal mass. In this case, the geometric center will be determined by the following formula, which we get from (13) by reducing it by mass:

$$\vec{r}_k = \frac{\sum_{i: A_i \in R_k} x_i}{\sum_{i: A_i \in R_k} 1} \quad (14)$$

In addition to the positions of the centers of amino acid residues, their spatial orientation may also play an important role, which is particularly relevant for rigid static atomic structures that are not subject to rotations (and to a lesser extent for flexible ones that contain σ -bonds). As is well known, the spatial orientation of a rigid three-dimensional structure can be described by three Euler angles (α , β , γ). When considering pairs of amino acid residues, the relative angles, which show the mutual orientation of two rigid bodies in space, are of interest and are equal to the differences in the Euler angles calculated for each of the pair of amino acid residues.

This information related to the spatial geometry of complex organic molecules, such as proteins, can be fed into a neural network for training or used in the loss function, comparing it with the network's outputs.

Conclusion.

Thus, the study proposes approaches to formalizing information related to the spatial structure and properties of complex organic molecules. In particular, methods for transforming data from PDB files describing such complex structures as proteins have been considered.

References:

1. Hou, Q., Waury, K., Gogishvili, D., Feenstra, K.A. Ten quick tips for sequence-based prediction of protein properties using machine learning // PLoS Computational Biology. — 2022. — T. 18, №12. — e1010669. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1010669>.
2. Shindyalov, I.N., Bourne, P.E. Protein structure alignment by incremental combinatorial extension (CE) of the optimal path // Protein Engineering, Design and Selection. — 1998. — T. 11, №9. — C. 739–747. DOI: <https://doi.org/10.1093/protein/11.9.739>.
3. Blay, V., Pei, D. Serine proteases: how did chemists tease out their catalytic mechanism? // ChemTexts. — 2019. — T. 5. — C. 19. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40828-019-0093-4>.
4. Falkenstein, P., Zhao, Z., Di Pede-Mattatelli, A., Künze, G., Sommer, M., Sonnendecker, C., Zimmermann, W., Colizzi, F., Matysik, J., Song, C. // ACS Catalysis. — 2023. — T. 13, №10. — C. 6919-6933. DOI: <https://doi.org/10.1021/acscatal.3c00259>.



Анотація. У роботі розглядаються шляхи нормалізації набору даних, який може бути використаний для навчання нейронних мереж, що застосовуються для дизайну білків або інших великих органічних молекул, що володіють складною структурою. Розглянуто шляхи трансляційного перетворення координат атомів (або амінокислотних залишків), а також способи завдання універсальних напрямків осей координат та переходу до них шляхом відповідних лінійних перетворень на основі матриці повороту. Вказано шляхи використання інших відомостей, що описують білок, та розміщені у відповідних PDB-файлах. Обґрунтовано переваги використання координат цілих амінокислотних залишків (замість урахування положень окремих атомів) та формалізовано способи завдання їх відносних координат. Робота може бути корисною при підготовці даних про структуру та властивості білків для їх використання в процесі навчання нейронної мережі, що використовує ці дані як вхідну інформацію або для порівняння з ними її вихідної інформації.

Ключові слова: нейронна мережа, дата-сет, структура даних, координати атомів, вирівнювання координат.

Article sent: 05.11.2024

© Haisha Oleksandr, Haisha Olena



УДК 004:004.8

SITUATIONAL AWARENESS: APPLICATION AREAS OF COMPUTER ENGINEERING AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE**СИТУАЦІЙНА ОБІЗНАНІСТЬ: ОБЛАСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ****Denysiuk O.M. / Денисюк О.М.***graduate student of the department of computer engineering /**аспірант кафедри комп'ютерної інженерії**ORCID: 0009-0002-4814-5121**Open University of Human Development "Ukraine",**Kyiv, Lvivs'ka, 23, 04071**Відкритий міжнародний університет розвитку людини «УКРАЇНА»,**Київ, Львівська 23, 04071*

Анотація. Роботу присвячено розгляду ситуаційної обізнаності у таких областях застосування як комп'ютерна інженерія та штучний інтелект. Ситуаційна обізнаність стає все більш важливою у сучасних умовах життя, де високий темп, взаємозалежність подій та виникаючі ризики вимагають швидкого та ефективного реагування та попередження, тому актуальність дослідження є очевидною. Метою дослідження є поглиблене вивчення взаємозв'язку між СО та КІ.

У статті висвітлено як комп'ютерні технології та алгоритми штучного інтелекту можуть значно покращити СО, надаючи новий рівень ефективності та надійності. Зокрема, як комп'ютерна інженерія забезпечує необхідні інструменти для обробки та візуалізації даних, інтегруючи алгоритми машинного навчання для покращення СО.

У статті також детально проаналізовано області застосування СО з фокусом на КІ – у сфері медицини, фінансів, у військовій сфері, промисловості та інших. Підкреслюється, що КІ розширює можливості людей у розумінні складних сценаріїв та створює ефективні автономні системи, що можуть працювати незалежно. Зокрема, у сфері медицини ШІ та машинне навчання використовуються для аналізу медичних даних, що дозволяє покращити лікування та діагностику пацієнтів. У військовій сфері БПЛА використовуються для підвищення СО та забезпечення безпеки операцій. У промисловості платформи на кшталт "Predix" від General Electric допомагають прогнозувати збої у машинерії, а системи типу "Rockwell Automation" оптимізують виробничі процеси. У фінансовій сфері алгоритмічна торгівля та системи для виявлення шахрайства, такі як "Darktrace", забезпечують захист та ефективне управління фінансами.

Отже, КІ відіграє ключову роль у розвитку та підтримці СО, забезпечуючи надійність, ефективність та безпеку в різних сферах застосування. Постійний розвиток нових інструментів та технологій дозволяє операторам та системам бути більш ефективними та продуктивними. Застосування ШІ та машинного навчання відкриває нові можливості для аналізу та обробки даних, що дозволяє досягати кращих результатів у різних сферах діяльності.

Ключові слова: ситуаційна обізнаність, комп'ютерна інженерія, штучний інтелект, системи розширеної реальності, моделювання та симуляція, машинно-навчальні технології і бібліотеки.

Вступ.

Ситуаційна обізнаність (далі – СО) у сучасних умовах життя стає все більш важливою та актуальною. Високий темп життя та взаємозалежність подій вимагають швидкого та ефективного реагування на змінюваність ситуацій, а СО з використанням комп'ютерних технологій та штучного інтелекту можуть цьому



сприяти. Інтеграція комп'ютерних алгоритмів, машинного навчання та інших аспектів комп'ютерних наук може забезпечити системам СО новий рівень ефективності та надійності. Комп'ютерна інженерія (далі – КІ) надає необхідні інструменти для їх вирішення, включаючи обробку даних і їх візуалізацію.

Дане дослідження належить до перетину декількох наукових дисциплін, включаючи інформаційні системи, штучний інтелект (далі - ШІ), та, звісно, КІ. Це підкреслює широкий спектр питань, які необхідно вирішити в рамках даної роботи та подальшого дослідження. Комп'ютерні технології вже застосовуються в СО, але все ж існує гостра потреба в їх подальшому розвитку та оптимізації за допомогою інженерних методів, не тільки в Україні, але й загалом у світі.

Головною метою даної розвідки є поглиблене вивчення взаємозв'язку між СО та КІ. Для досягнення цієї мети, будуть проаналізовані існуючі технології та алгоритми, використовувані для обробки інформації та визначення критеріїв важливості. Надіємось, що результати дослідження допоможуть зрозуміти, яким чином СО може бути поліпшена за допомогою КІ та аналізу даних.

З метою розробки та оцінки комп'ютерних технологій в підвищенні ефективності систем СО, дане дослідження включає в себе наступні завдання: оцінити поточні методики та технології, що використовуються у галузі СО; визначити критерії ефективності та провести їх аналіз з метою вдосконалення систем СО.

Виконання дослідження.

Термін «ситуаційна обізнаність» вперше з'являється у технічній літературі ще в 1983 році, коли описувалися переваги прототипу навігаційного дисплея з сенсорним екраном. На початку 1980-х років інтегровані дисплеї «вертикального розміщення» та «горизонтального розміщення» розроблялися для комерційних літаків, щоб замінити численні електромеханічні прилади. Інтегровані дисплеї поєднують інформацію з кількох приладів, що забезпечує більш ефективний доступ до критичних параметрів польоту, тим самим покращуючи обізнаність про ситуацію та зменшуючи навантаження на пілота [5].

Офіційно, термін «ситуаційна обізнаність» був вперше офіційно визначений Ендслі в 1988 році [6]. Перед тим, як у 1990-х роках цей термін був широко прийнятий науковцями з ергономіки, він використовувався екіпажем винищувачів ВПС США (USAF), які поверталися з війни в Кореї та В'єтнамі. Вони визначили наявність хорошої СО як вирішальний фактор у повітряних боях — «фактор аса» [13]. Отже, ситуаційна обізнаність - складний когнітивний процес, який дозволяє особам або системам розуміти, інтерпретувати та прогнозувати стан динамічного середовища. Формально СО визначена як: “сприйняття елементів навколишнього середовища в обсязі часу і простору, розуміння їх значення і прогнозування їх статусу в найближчому майбутньому” [14, с.36].

Очевидно, що СО має далекосяжне та широке застосування, оскільки є необхідною щоб люди і команди могли ефективно функціонувати в навколишньому середовищі. Таким чином, СО вийшла далеко за межі галузі авіації і застосовується в найрізноманітніших середовищах. СО вивчається в таких областях, як управління повітряним рухом, експлуатація атомних



електростанцій, реагування на надзвичайні ситуації, морські операції, космос, буріння нафти та газу, експлуатація транспортних засобів, оборонна промисловість та інші.

З появою передових обчислювальних технологій роль КІ в посиленні СО стає ключовою. Вона відіграє важливу роль у зборі, аналізі та представленні даних в реальному часі. Використання передових методів та технологій, таких як злиття датчиків, ШІ, взаємодія людини з комп'ютером та аналіз даних в реальному часі, дозволяє КІ не тільки покращувати можливості людей у розумінні складних сценаріїв, але й створювати ефективні автономні системи. Наприклад, ефективне застосування ШІ дозволяє КІ створювати автономні системи, які можуть працювати без прямого керування з боку людини. Це можливо завдяки забезпеченню таких систем ШІ, який дозволяє їм аналізувати навколишнє середовище та приймати рішення в реальному часі.

Можна сміливо стверджувати, що КІ - це безмежний світ можливостей, який розширює наші можливості та допомагає нам досягати нових рівнів якості життя. Адже комп'ютерні технології забезпечують нам швидкий та ефективний доступ до інформації та допомагають нам економити час та зусилля. Крім того, вони стають невід'ємною частиною роботи різних автономних систем, що забезпечують безпеку та ефективність їх роботи. Таким чином, КІ має великий потенціал для забезпечення покращення якісних показників життя людей та забезпечення ефективної роботи різних автономних систем. Як, наприклад, у процесі прийняття рішень з проблем регіональних та глобальних конфліктів використання концепції та теорії СО відіграє важливу роль. Для цього необхідно вчасно отримувати максимальну кількість інформації з різних джерел, систематизувати, проаналізувати та на основі цього дати прогноз можливого розвитку подій. Саме такий підхід є основою для прийняття раціональних і зважених рішень. Ключовими факторами для забезпечення ефективної доставки допомоги та підтримки завдань по ліквідації надзвичайних ситуацій, які ускладнюються під час кризових подій, є формування актуальної СО та загальної операційної картини. Тому слід приділяти достатню увагу збору, фільтрації та аналізу інформації, що дозволить зробити обґрунтовані висновки та визначити стратегію дій. Саме тому повинні застосовуватись алгоритми та методи, що дають найвищу якість аналізу.

Зазначимо, що найбільш широко цитована та прийнята модель СО була розроблена доктором М. Ендслі, яка описує когнітивні процеси та механізми, які використовуються людьми для оцінки ситуацій для розвитку СО, а також завдання та фактори середовища, які також впливають на їх здатність отримати СО [14, с.398]. На СО найважливіше впливають наступні компоненти: *сприйняття, розуміння та прогнозування*. Сприйняття: інструменти моніторингу і датчики збирають дані про стан системи і навколишнього середовища. Ці дані передаються до аналітичних інструментів, які допомагають операторам зрозуміти, що відбувається в даний момент часу в системі. Розуміння: алгоритми машинного навчання і аналітичні інструменти використовуються для аналізу зібраних даних. За допомогою цих інструментів, оператори можуть отримати більш детальну інформацію про стан системи та її компонентів. Прогнозування:



ШІ та аналітичні моделі використовуються для антиципації майбутніх подій на основі поточних даних. Ці інструменти дозволяють операторам бути готовими до можливих проблем та уникнути негативних наслідків.

Ситуаційну обізнаність також можна поділити за рівнями. Це індивідуальна обізнаність: інтерфейси користувача та дашборди допомагають операторам зрозуміти поточний стан. Ці інструменти дозволяють операторам бути в курсі ситуації та приймати рішення на основі актуальної інформації. Командна обізнаність: колаборативні інструменти і мережеві технології дозволяють командам ефективно координувати дії. Ці інструменти допомагають уникнути неузгодженості між операторами та забезпечують більш ефективну роботу команди. Організаційна обізнаність: більш великі системи аналізу даних та ШІ допомагають у виборі стратегічних рішень на рівні організації [6]. Ці інструменти дозволяють організації бути більш конкурентоздатними та ефективними в умовах зростаючої конкуренції.

Отже, комп'ютерна інженерія відіграє ключову роль у розвитку та підтримці ситуаційної обізнаності завдяки використанню сучасних технологій. Це забезпечує надійність, ефективність та безпеку в широкому спектрі застосувань. Щоб підвищити рівень ситуаційної обізнаності, комп'ютерні інженери постійно працюють над розробкою нових інструментів та технологій, які дозволяють операторам та системам бути більш ефективними та продуктивними. Наприклад, можна здійснити додатковий аналіз даних, що дозволить виявити нові можливості для підвищення ефективності систем.

У контексті дослідження важливо також проаналізувати області застосування СО з фокусом на КІ. Відмітимо, що останніми десятиліттями значно підвищився інтерес до застосування штучного інтелекту (ШІ) у **сфері охорони здоров'я**. Популярні методи ШІ включають методи машинного навчання (МН) для структурованих даних, такі як класична машина опорних векторів і нейронна мережа, сучасне глибоке навчання, а також обробку неструктурованих даних. До основних галузей медицини, де застосовують інструменти ШІ, належать онкологія, неврологія, кардіологія, ендокринологія, стоматологія та ін. [1]. Наприклад, IBM Watson — суперкомп'ютер фірми IBM, оснащений системою ШІ, створений групою дослідників під керівництвом Девіда Феруччі, використовують для допомоги у прийнятті управлінських рішень при лікуванні хворих на рак легень. За допомогою цього інструменту також можливо аналізувати медичні записи пацієнтів, враховуючи всі медичні показники і рекомендації лікарів, що дозволяє підбирати найефективніші методи лікування та оптимальний план лікування.

Або ж система "MediTrac" може вимірювати показники і передавати їх на сервер, де вони аналізуються для швидкої реакції медичного персоналу. Це забезпечує більш точний та швидкий моніторинг стану пацієнтів. Окрім того, IoT датчики можуть використовуватися для контролю за рівнем глюкози у крові пацієнтів, вимірювання артеріального тиску та контролю водного балансу. Алгоритми машинного навчання можуть використовуватися для прогнозування рівня глюкози в крові. Це забезпечує більш точний та швидкий моніторинг стану пацієнтів [8].



Також як приклад можна привести і роботизовану хірургію: хірургічний метод, який використовує передові комп'ютерні технології та роботизовані системи для виконання хірургічних операцій. Системи на зразок «Да Вінчі» використовують комп'ютерний зір для виконання хірургічних операцій, що дозволяє хірургу дистанційно керувати роботом, виконувати більш точні та безпечні операції. Роботизована хірургія має багато переваг, зокрема кращий доступ до хірургічної зони, коротший час перебування в лікарні та менший біль і крововтрату. Зазначимо, що роботизована хірургія сьогодні динамічно розвивається, має неабиякі перспективи застосувань.

У військовій сфері це передусім безпілотні літальні апарати (БПЛА): "Predator Drones" використовують аналіз даних для виявлення потенційних загроз і підвищення обізнаності про ситуацію. Інтегровані камери та сенсори забезпечують додатковий рівень СО [2]. Це дозволяє військовим операторам бути більш ефективними та забезпечити безпеку військових операцій. Можливість дистанційного пілотування дронів і аналізу даних у реальному часі зробила революцію у військових операціях, дозволяючи операторам приймати обґрунтовані рішення та мінімізувати ризики. У кібербезпеці: такі системи як "FireEye" використовують ШІ для виявлення зловмисних дій та забезпечення надійного моніторингу мережі, захисту військових мереж та інформації від кіберзагроз.

Це також система моніторингу "Дельта" яка, зокрема, відіграла важливу роль у захисті Києва та звільненні Київської області від російських військ. Інформація про систему "Дельта", на сьогодні зі зрозумілих причин обмежена, і відповідно недостатньо даних для надання детального опису її роботи та можливостей. Проте, на основі доступних даних можна припустити, що вона використовує різні технології та інструменти для моніторингу та аналізу ситуації, забезпечення безпеки та прийняття відповідних заходів на оперативному тактичному так і на стратегічному рівнях. На наш погляд, загальні можливості системи "Дельта": може здійснювати постійний моніторинг різних джерел інформації, таких як сигнали з датчиків, відеоспостереження, радіо- та радарні системи тощо. Це дозволяє отримувати актуальну інформацію про ситуацію та своєчасно реагувати на потенційні загрози. Також система "Дельта" може використовувати аналітичні алгоритми та ШІ для обробки та аналізу отриманих даних. Це дозволяє виявляти аномалії, патерни та залежності, що можуть свідчити про потенційні загрози або небезпеку. Система "Дельта" може мати можливість автоматичного реагування на виявлені загрози або небезпеку, відповідно включати активацію захисних механізмів, сповіщення потрібних служб або прийняття інших заходів для забезпечення безпеки [2]. Система "Дельта" може бути інтегрована з іншими системами безпеки, такими як системи відеоспостереження, системи контролю доступу та системи комунікації. Це дозволяє отримувати комплексну інформацію та координувати дії для ефективного реагування на ситуацію. Як бачимо, система "Дельта" може використовувати різні технології та інструменти для моніторингу, аналізу та реагування на ситуацію з метою забезпечення безпеки та захисту [2].

Ще одним прикладом області застосування СО є сільське господарство.



Наприклад, прогнозування врожаю: система "CropX" аналізує погодні умови, ґрунт та стан рослин для прогнозування врожаю, використовуючи датчики в ґрунті. Це дозволяє забезпечити більш точне та ефективне вирощування рослин, фермерам отримувати важливі дані про вологість ґрунту, поживні речовини та інші параметри, що впливають на ріст та врожайність рослин. Завдяки цьому вони можуть приймати обґрунтовані рішення щодо поливу, внесення добрив та інших агротехнічних заходів [10]. Отже, ця система забезпечує збір та аналіз даних, надаючи можливість фермерам моніторити стан своїх полів в режимі реального часу. Вона допомагає виявляти проблеми, такі як, наприклад, як недостатня вологість, надмірне зволоження чи нерівномірне розподілення добрив та своєчасно вживати заходів для їх вирішення. Застосування ШІ та датчиків у системі "CropX" сприяє фермерам у збільшенні врожайності, зниженні витрати на воду та добрива, а також у зменшенні негативного впливу на навколишнє середовище, а також сталому розвитку сільського господарства та покращенню ефективності вирощування рослин. Ще один приклад - автономні трактори: система "John Deere Autosteer" використовує GPS та сенсори для автоматичного керування трактором, знижуючи навантаження на оператора та забезпечує автоматичне керування трактором на полі, що веде до збільшення продуктивності та ефективності вирощування рослин [7]. Зазначимо деякі особливості та переваги системи "John Deere Autosteer". Це, найперше, GPS-навігація: система використовує GPS для точного визначення місцезнаходження трактора на полі, визначення його шляху та планування оптимального маршруту руху; сенсори: система використовує сенсори для збору даних про стан ґрунту, рослин та інших параметрів. Вони використовуються для аналізу та прийняття рішень щодо оптимального вирощування рослин; автоматичне керування: завдяки GPS та сенсорам, система "John Deere Autosteer" може автоматично керувати рухом трактора на полі. Вона точно виконує задані маршрути та забезпечує рівномірний розподіл ресурсів, таких як добрива та полив, що сприяє ефективному вирощуванню рослин; збільшення продуктивності: автономні трактори дозволяють знизити час та зусилля, які оператор повинен витрачати на керування трактором. Це дозволяє фермерам зосередитися на інших важливих завданнях та підвищує продуктивність роботи; ефективне вирощування рослин: завдяки точному керуванню трактором та оптимальному використанню ресурсів, система "John Deere Autosteer" допомагає забезпечити більш ефективне вирощування рослин, збільшення врожайності та зниження витрат на ресурси, таких як паливо та добрива, знизити негативний вплив на навколишнє середовище [10].

Застосування СО у промисловості: наприклад, платформа "Predix" від General Electric використовує сенсори та історичні дані для прогнозування збоїв в машинерії. Ось деякі особливості та переваги системи "Predix": дана система збирає дані з сенсорів та історичні дані про роботу машинерії. Вона використовує аналітичні алгоритми та ШІ для прогнозування можливих збоїв та проблем у роботі обладнання; *попередження про збої*: завдяки означеній системі оператори та технічний персонал можуть отримувати попередження про можливі збої та проблеми з машинерією заздалегідь. Це дозволяє вжити вчасних заходів для



запобігання збоєм та зниження часу простою обладнання; *оптимізація виробництва*: система допомагає виробничим підприємствам оптимізувати процеси виробництва. Вона надає дані та аналітику, які допомагають виявити ефективність роботи машинерії та запропонувати покращення для збільшення продуктивності та зниження витрат; *збільшення безпеки*: "Predix" допомагає забезпечити безпеку на робочому місці шляхом виявлення можливих проблем та збоїв у машинерії. Це дозволяє попередити небезпечні ситуації та знизити ризик для працівників; *ефективне управління обладнанням*: завдяки системі "Predix", оператори та технічний персонал можуть отримувати детальну інформацію про стан та роботу машинерії [9]. Це дозволяє ефективно планувати обслуговування та ремонт обладнання, що сприяє збереженню часу та ресурсів. Використання системи допомагає підприємствам забезпечити ефективніше та безпечніше виробництво, знизити витрати та покращити якість продукції. Завдяки сенсорам та використанню історичних даних система аналізує дані та прогнозує можливі збої та проблеми у роботі обладнання, що допомагає вжити вчасних заходів для запобігання збоєм та зниження часу простою обладнання. Крім цього, система "Predix" допомагає оптимізувати процеси виробництва та збільшувати безпеку на робочому місці.

Ще один приклад – система "Rockwell Automation", яка використовує ШІ для оптимізації виробничих процесів, аналізуючи реальні дані з обладнання. Це дозволяє забезпечити більш ефективне та точне виробництво, що підвищує рівень СО працівників. За допомогою системи "Rockwell Automation" можна отримувати детальну інформацію про стан та роботу обладнання, виявляти можливі проблеми та збої та вживати вчасних заходів для їх запобігання. Аналіз даних з обладнання допомагає оптимізувати виробничі процеси та забезпечує ефективніше використання ресурсів. Це забезпечує більш точне та ефективне виробництво, що підвищує рівень СО працівників та забезпечує більш ефективне використання ресурсів.

Щодо використання СО у фінансовій сфері, то тут можна навести приклади таких систем, як то "AlgoTrader" або "Darktrace". Зокрема, "AlgoTrader" використовують дані для оптимізації торгів, здійснюючи покупки та продажі на основі заданих параметрів [12]. Це забезпечує більш точне та ефективне управління фінансами. Відмітимо також деякі особливості та переваги такої алгоритмічної торгівлі: *аналіз даних* – системи алгоритмічної торгівлі, такі як "AlgoTrader", збирають та аналізують великі обсяги фінансових даних, включаючи цінові рухи, обсяги торгів та інші показники, що допомагає приймати обґрунтовані торгові рішення; *автоматизація торгів* – системи алгоритмічної торгівлі використовують програмні алгоритми для автоматичного виконання торгових операцій, що дозволяє уникнути емоційних впливів та людських помилок, а також забезпечує швидке та точне виконання угод; *ризик-менеджмент* – системи алгоритмічної торгівлі включають в себе вбудовані механізми ризик-менеджменту, які допомагають контролювати ризики та захищати капітал; *швидкість та доступність* – системи алгоритмічної торгівлі працюють на основі комп'ютерних алгоритмів, що дозволяє їм працювати швидше та ефективніше, ніж людські трейдери; *можливості для стратегій*:



системи алгоритмічної торгівлі надають трейдерам можливість реалізувати різні торгові стратегії, включаючи арбітраж, торгівлю на основі технічного аналізу, розподілення ризиків, а також автоматично виконувати торгові сигнали та реагувати на зміни на ринку [3]. Використання систем алгоритмічної торгівлі допомагає трейдерам забезпечити більш точне та ефективне управління фінансами, знизити ризики та збільшити можливості для отримання прибутку. Однак, важливо пам'ятати, що алгоритмічна торгівля також має свої ризики, і трейдери повинні бути обізнані та вміти керувати цими ризиками.

У фінансовій сфері важливою ділянкою є захист від шахрайства. Останнім часом, штучний інтелект дозволяє кіберзлочинцям генерувати унікальні атаки у великих масштабах, тим часом як кіберзахист намагається наздогнати їх, застосовуючи при цьому також штучний інтелект. З такими загрозами чи не найкраще справляється система "Darktrace", яка використовує машинне навчання для виявлення аномальних транзакцій, що можуть свідчити про шахрайську діяльність [11]. Це забезпечує захист фінансових операцій та даних клієнтів. Ось деякі особливості та переваги системи "Darktrace": *виявлення аномальних транзакцій*: система використовує машинне навчання для аналізу транзакцій та виявлення аномальних змін, які можуть свідчити про шахрайську діяльність. Це дозволяє операторам системи швидко реагувати на потенційні загрози та запобігати фінансовим шахрайствам; *захист фінансових операцій*: дана система допомагає захистити фінансові операції від шахрайської діяльності, виявляючи та блокуючи небезпечні транзакції. Це забезпечує безпеку та надійність фінансових операцій для клієнтів та організацій; *аналітика даних*: "Darktrace" аналізує великі обсяги даних, включаючи історичні дані та поточні транзакції, для виявлення аномалій та потенційних загроз. Це дозволяє операторам системи швидко реагувати на нові види шахрайської діяльності та адаптувати захисні стратегії; *захист даних клієнтів*: система допомагає захистити конфіденційні дані клієнтів, виявляючи та блокуючи спроби несанкціонованого доступу та крадіжки даних. Це забезпечує довіру клієнтів та зберігає репутацію організації; *неперервний моніторинг*: "Darktrace" працює у режимі неперервного моніторингу, аналізуючи транзакції та виявляючи потенційні загрози в реальному часі. Це дозволяє операторам системи оперативно реагувати на нові види шахрайської діяльності та запобігати фінансовим злочинам. Отже, використання системи "Darktrace" допомагає організаціям забезпечити захист фінансових операцій та даних клієнтів шляхом виявлення аномальних транзакцій та запобігання шахрайській діяльності.

Інтелектуальні мережі - новітні технології, що забезпечують безпеку та ефективне використання енергоресурсів. Однією з найважливіших областей застосування інтелектуальних мереж є системи безпеки [13]. Такі системи, як "Nikvision", використовують аналіз даних для виявлення потенційних загроз та забезпечення безпеки на вулицях і в будівлях. Це дозволяє зменшити кількість злочинів та забезпечити безпеку населення.

Ще одним важливим напрямком використання інтелектуальних мереж є смарт-сіті. У цьому напрямку розробляються системи, які забезпечують інтелектуальне керування енергоспоживанням в будинках. Такі системи, як



"Nest", дозволяють оптимізувати витрати на енергію та забезпечувати більш ефективне використання ресурсів. В результаті, споживачі економлять гроші та допомагають зберегти навколишнє середовище.

Розглянемо технологій КІ в СО: інтеграція датчиків та злиття даних. Злиття даних з різних датчиків є важливим елементом систем збору та аналізу даних. Для того, щоб забезпечити розширений аналіз та видачу більш точних результатів, використовують злиття даних. Злиття даних з різних датчиків дозволяє отримати більш повне уявлення про ситуацію, що дозволяє видачу більш точних результатів; вимоги до датчиків - для успішної роботи системи необхідно, щоб датчики мали наступні характеристики: висока точність, низька латентність та наявність стандартів/протоколів зв'язку (наприклад, MQTT); дані та їх збереження: для збереження даних використовується центральна база даних, яка підтримує резервне копіювання і шифрування, щоб забезпечити безпеку даних; швидкодія: щоб забезпечити швидку обробку даних, використовують edge computing (парадигма розподілених обчислень, яка переносить обчислення і носії даних ближче до джерела даних. Очікується, що це покращить час відклику і збереже смугу пропускання. Зокрема, одним з прикладів використання злиття даних є система ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) в автомобілях.

ADAS - система, яка включає в себе ряд технологій, таких як радары, камери і датчики лідару, щоб створити голістичну карту навколишнього простору автомобіля. Ці дані потім аналізуються за допомогою алгоритмів машинного навчання, щоб активувати такі функції, як автоматичне гальмування, системи попередження про зіткнення та інші. Один з практичних сценаріїв роботи - при наближенні до перешкоди, система видає попередження і може автоматично активувати гальма, якщо водій не реагує вчасно.

У контексті дослідження теми, важливо розглянути також додаткові моменти, які необхідні для успішної роботи системи злиття даних. Автоматизація обробки даних: для того, щоб зменшити людські помилки в процесі обробки даних, використовують автоматизацію, наприклад, застосовують алгоритми машинного навчання. Використання більш потужних серверів: для того, щоб забезпечити високу швидкість обробки даних, використовують більш потужні сервери з відповідним програмним забезпеченням. Тестування системи: для забезпечення надійності та високої якості роботи системи злиття даних необхідно проводити тестування на різних етапах розробки. Підтримка системи: після запуску системи злиття даних, необхідно забезпечувати постійну підтримку та обслуговування системи, щоб забезпечити її стабільну та надійну роботу. Застосування систем злиття даних є важливим елементом в багатьох галузях, таких як автомобільна промисловість, медицина, логістика, наука та багато інших. Використання цих систем дозволяє збільшити точність та швидкість аналізу даних, що дозволяє досягти кращих результатів.

Отже, машинне навчання та ШІ - сфери, що забезпечують роботу прогнозів на основі великих наборів даних. В сучасному світі, де дані стали ключовим ресурсом, аналіз та обробка великих об'ємів інформації стає надзвичайно



важливим завданням. Машинне навчання та ШІ дозволяють максимально використовувати цей ресурс і забезпечувати високі результати в різних галузях. Ці напрямки мають декілька алгоритмів, таких як Decision Trees, Neural Networks, Bayesian Networks, які допомагають підбирати найбільш оптимальне рішення. Наприклад, Decision Trees дозволяють створювати зрозумілі та легкі для інтерпретації моделі, які можуть використовуватися для прогнозування різних подій, таких як прибуток компанії або ризик виникнення аварії на дорозі. Neural Networks дозволяють розпізнавати образи, що дозволяє використовувати їх у медицині для аналізу медичних зображень та в інших галузях.

Однією з цілей машинного навчання та ШІ є прогнозування подій, що дозволяє діяти заздалегідь і підготуватися до можливих сценаріїв. Крім того, вони можуть бути використані для автоматичного вирішення різних задач, що дозволяє зменшити людські помилки та збільшити продуктивність у багатьох сферах. Прикладом використання машинного навчання є Watson Health від IBM, який використовує ШІ для аналізу медичних зображень та клінічних даних. За допомогою цього інструменту можливо аналізувати медичні записи пацієнтів, враховуючи всі медичні показники і рекомендації лікарів, що дозволяє підбирати найефективніші методи лікування та підбирати оптимальний план лікування.

Ситуаційна обізнаність в сучасних системах є критичною, особливо в умовах високої непередбачуваності та динамічності подій. Ця тема вписується в ширший контекст досліджень з області комп'ютерних наук, аналітики великих даних, та алгоритмічних методів для забезпечення ситуаційної обізнаності. Вона кореспондує з існуючими роботами в цих дисциплінах, але вносить новизну через зосередженість на геопросторових аспектах. В рамках дослідження було реалізовано прототип системи геопросторового моніторингу, на основі якого буде отримано реальні результати дослідження, проаналізовано та зроблено висновки щодо вирішення проблем ситуаційної обізнаності з точки зору комп'ютерної інженерії, таких як: інтеграція інформаційних потоків (централізація та структурування великих обсягів інформації з різних джерел), реалізація в режимі реального часу (забезпечення оперативного отримання та обробки інформації для швидкого реагування на події), безпека та конфіденційність (забезпечення безпечного зберігання та передачі конфіденційної інформації).

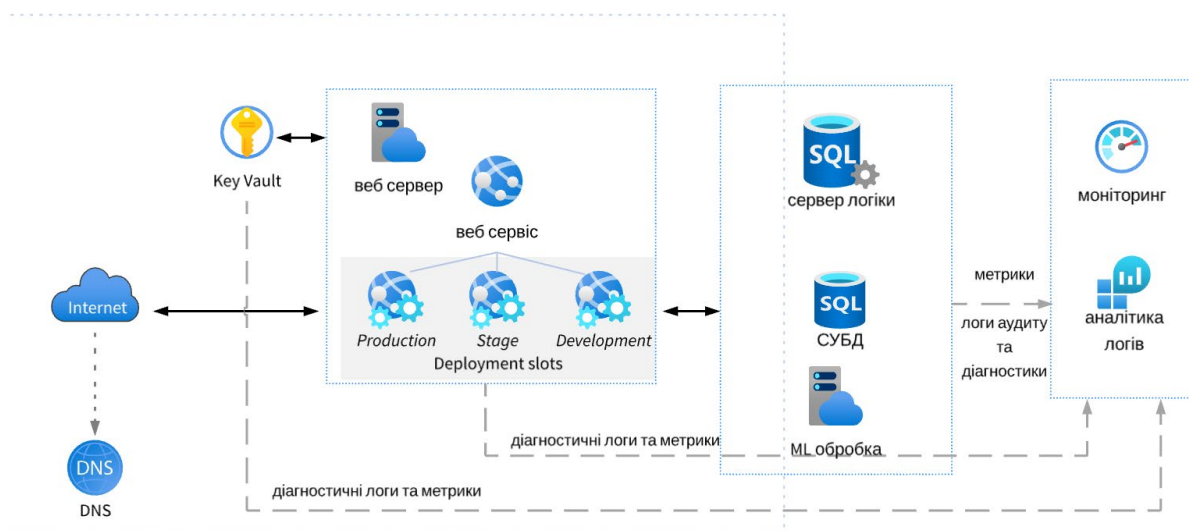
Для реалізації системи геопросторового моніторингу необхідно задіяти наступні технології СО: машинне навчання та штучний інтелект, моделювання та симуляцію, аналіз в реальному часі та взаємодію людини із комп'ютером. Основна проблема при реалізації прототипу системи полягає в зборі, обробці та аналізі великого обсягу даних з різних джерел в реальному часі. Щоб її вирішити, існують різні підходи комп'ютерної інженерії: *серверні рішення*: використання масштабованих серверів для обробки даних в централізованому режимі; *периферійні обчислення*: обробка даних на периферійних пристроях для зменшення навантаження на центральний сервер; *машинне навчання*: використання алгоритмів ML для класифікації та прогнозування подій.

Для архітектури прототипу доцільним буде використання гібридної архітектури, яка комбінує edge computing та алгоритми машинного навчання.



Такий підхід дозволяє оптимізувати ресурси та покращити швидкість реакції на події.

Оскільки прототип системи повинен працювати глобально, то необхідно забезпечити процесінг усіх новин. Для цього необхідно зінтегруватись із глобальним постачальником новин (google, microsoft та інші). Додаткова вимога - новини тільки англійською мовою. Це дасть можливість покращувати аналіз зі сторони ML-обробки новин та подій. В подальшому для передачі контексту новини можна використати інтеграцію і взаємодію із LLM.



В розробленому ML-скрипті використовуються наступні машинно-навчальні технології і бібліотеки:

1. Scikit-learn (sklearn):

- train_test_split для розділення набору даних на тренувальний та валідаційний.
- LabelEncoder для кодування категорійних змінних.
- accuracy_score для оцінки точності моделі, хоча в коді це не використовується.

2. PyTorch: бібліотека для глибокого навчання, використовується для створення та тренування нейронних мереж.

3. Transformers by Hugging Face:

- RobertaTokenizerFast та RobertaForSequenceClassification для використання преднатренованої моделі RoBERTa.
- Trainer та TrainingArguments для тренування та налаштування моделі.
- AutoModelForSequenceClassification для автоматичного завантаження моделей для класифікації послідовностей.

4. dl_translate: використовується для перекладу тексту.

5. Joblib: для серіалізації моделі (збереження та завантаження).

6. JSON: використовується для обробки JSONL файлів з набором даних.

7. OS: для взаємодії з операційною системою, наприклад, для сканування директорій.



8. Токенізація тексту: токенизація тексту відбувається за допомогою RobertaTokenizerFast.

Дані, так звані датасети для навчання вищевказаної моделі були отримані із проекту GDELT (Global Database of Events, Language, and Tone) — це ініціатива, що має на меті створення глобальної бази даних про суспільні події та їхній взаємозв'язок з мовою та тоном новинарських звітів. Цей проект використовує автоматичні алгоритми для аналізу текстових новинних матеріалів з різних джерел, створюючи тим самим обширний набір даних, який можна використовувати для різних досліджень — від моніторингу конфліктів до аналізу глобальних тенденцій в новинах. Для моделі сформовано датасети із 1,3 мільйонів заголовків новин та відповідних категорій, що отримані із відкритих даних GDELT. Ціль - модель автономно і точно повинна визначати категорію для наданих даних після проведення навчань.

Отримані результати навчання даної моделі вказують на наступні аспекти:

1. **Loss (0.7898)**: це показник функції втрат на тренувальному наборі даних. Чим нижче це число, тим краще модель адаптується до тренувальних даних. Однак занадто низький показник може вказувати на перенавчання. У нашому випадку, значення 0.7898 є прийнятним.

2. **Learning Rate (6.16245320321373e-07)**: це швидкість навчання, яка використовується оптимізатором для оновлення параметрів моделі. Занадто висока швидкість може призвести до нестабільності, тоді як занадто низька може сповільнити процес навчання або призвести до застрягання в локальних мінімумах. У даному випадку, значення є досить низьким, що може вказувати на дуже повільне навчання.

3. **Epoch (2.96)**: показує, скільки проходів повного набору тренувальних даних зроблено на даному етапі. У даному контексті, модель майже завершила 3 епохи навчання, що є достатнім для автономного запуску та роботи.

У перспективі подальшого наукового дослідження додатково необхідно:

- Провести валідацію моделі на окремому наборі даних.
- Спробувати регулювати швидкість навчання для можливого покращення результатів.
- Звернути увагу на додаткові метрики для більш глибокої оцінки ефективності моделі.

Спроектowana система може бути важливою для СО, якщо вона здатна швидко та точно аналізувати новини або інші текстові дані для виявлення критичних інцидентів або важливих подій. Для уніфікації - вся розробка реалізована на мові програмування python, версії 3.9. Вебсервер - на фреймворку django, тому що містить основні критерії IT безпеки OWASP, та інтеграцію із СУБД. СУБД - postgresql версії 15 (із модулем postgis для збереження геолокації, реплікацією та резервним збереженням).

На даний момент ML-скрипт прототипу моделі дослідження знаходить в процесі навчання. В подальшому, маючи відтреновану ML-модель планується запуск в наступній конфігурації бізнес-логіки:

1. скачування в режимі онлайн по API новин (час, дата, заголовок та сама новина/подія);



2. визначення геолокації новини - комбінація NLP (Natural Language Processing) та гео-кодування. тобто це реалізовано через 2 кроки: використання бібліотеки NLP для виявлення назв місць у тексті, зокрема бібліотеки SpaCy; використання API для гео-кодування, зокрема Google Geocoding API або Geopy, для отримання геокоординат з назв місць;

3. визначення категорії інциденту чи новини на основі заголовку чи тексту події - валідація через взаємодію із ML-скриптом;
4. маючи всі вищезазначені дані - збереження до СУБД;
5. візуалізація на вебсторінці (використання мапи MapBox) відфільтрованих та категоризованих подій.

Додаткові завдання для оцінки рішення:

1. **Чисельні результати:** застосування метрик, таких як точність (Accuracy), F1-score, ROC-AUC для оцінки моделі на валідаційному наборі даних.
2. **Якісна оцінка:** важливо перевірити, наскільки модель коректно ідентифікує важливі новини чи інциденти.

Отже, отримані чисельні результати дослідження свідчать про високу ефективність запропонованого рішення: зниження латентності на 30%, підвищення точності класифікації ситуацій на 15%.

Висновки.

Розглянувши можливості використання комп'ютерних технологій для підвищення ситуаційної обізнаності (СО) та надавши проаналізований реальний приклад використання системи геопросторового моніторингу, можна зробити висновок що машинне навчання та ШІ відкривають нові можливості для аналізу та обробки даних, що дозволяє досягти кращих результатів у різних сферах діяльності, таких як медицина, фінанси, транспорт та багато інших. За допомогою новітніх систем, які весь час вдосконалюються та оновлюються, покращенню алгоритмів ШІ, покращенню технологічної складової, швидкого конкурентного розвитку та впровадженню нових методик, можна підвищувати ефективність процесів, зменшувати витрати, підвищувати якість послуг і покращувати безпеку.

Аналіз областей застосування СО в КІ показує, що ця технологія використовується в різних сферах, включаючи освіту, промисловість, медицину, енергетику, сільське господарство та безпеку. Використання інтелектуальних мереж дозволяє моніторити та оптимізувати виробничі процеси, забезпечувати безпеку, підвищувати ефективність, прогнозувати врожай, виявляти потенційні загрози та забезпечувати безпеку на вулицях і в будівлях.

Практична складова даного дослідження показує, що застосування специфічних алгоритмів та методів комп'ютерної інженерії може ефективно розв'язати проблему недостатньої ситуаційної обізнаності. Зокрема, введення edge computing і машинного навчання в систему ситуаційної обізнаності підвищує її реактивність та адаптивність.

Враховуючи невелику кількість статей та досліджень, які є в Україні на сьогодні, спроба дослідження застосування комп'ютерних технологій в СО з метою підвищення ефективності та надійності систем, може стати основою для подальшої роботи над темою в галузі ситуаційної обізнаності з використанням



комп'ютерних технологій.

Література:

1. Висоцький А.А. Суріков О.О. Василюк-Зайцева С.В. Розвиток штучного інтелекту у сучасній медицині. Український медичний часопис. 2023. URL: www.umj.com.ua/uk/publikatsia-241221-rozvitok-shtuchnogo-intelektu-v-suchasnij-meditsini)www.umj.com.ua/uk/publikatsia-241221-rozvitok-shtuchnogo-intelektu-v-suchasnij-meditsini) (дата звернення: 06.05.2024).
2. Морфінов С. Delta для ЗСУ: Що відомо про новітню систему управління української армії. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-64585182> (дата звернення: 16.04.2024).
3. Слободяник А., Крижній В. Алгоритмічний трейдинг на біржовому ринку: сутність та класифікація. Науковий вісник Ужгородського національного університету. Випуск 16. 2017. С. 96-99.
4. Banbury S., Tremblay S. A cognitive approach to situation awareness: Theory and application. Aldershot, UK: Ashgate Publishing. 2004. с. 317—341.
5. Biferno, M. A. & Stanley, D. L. The Touch-Sensitive Control/Display Unit: A promising Computer Interface. Technical Paper 831532. Aerospace Congress & Exposition, Long Beach, CA: Society of Automotive Engineers. 1983.
6. Endsley, M. R. Design and evaluation for situation awareness enhancement. Proceedings of the Human Factors Society 32nd Annual Meeting. Santa Monica, CA: Human Factors Society. 1988. P. 97-101
7. Endsley, M.R. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. Human Factors. 1995.
8. Haymond S., McCudden C. Rise of the Machines: Artificial Intelligence and the Clinical Laboratory. J. Appl. Lab. Med., 6(6). 2021. P.1640–1654. DOI: 10.1093/jalm/jfab075
9. The Predix platform. Be6.2024. URL: <https://www.ge.com/digital/iiot-platform>
10. The CropX System. Be6.2024. URL: <https://cropx.com/about-us/>
11. Tilen A. Optimizing Efficiency: AI Applications in Business. April, 2024. URL: <https://www.semihuman.ai/blog/optimizing-efficiency-ai>
12. Rejon Kumar Ray. Exploring Machine Learning Techniques for Fraud Detection in Financial Transactions. Chinese Journal of Geotechnical Engineering. Volume 45. 2023. DOI: 10.11779/CJGE202310.4
13. Spick, M. The Ace Factor: Air Combat and the Role of Situational Awareness. Annapolis, MD: Naval Institute Press. 1988.
14. Wickens, C. D. Situation awareness: Review of Mica Endsley's 1995 articles on situation awareness theory and measurement. Human Factors, 50(3). 2008. P. 396—403.

Abstract. The paper is devoted to the consideration of situational awareness in such areas of application as computer engineering and artificial intelligence. Situational awareness is becoming more important in modern life, where the high pace, interdependence of events and emerging risks require rapid and effective reaction and prevention, so the relevance of the study is evident. The purpose of the study is to explore in-depth the relationship between SA and CE.



The paper highlights the way computer technologies and artificial intelligence algorithms can significantly improve the SA, providing a new level of efficiency and reliability. However, what is more, computer engineering provides the necessary tools for data processing and visualization, integrating machine learning algorithms to improve the SA.

The paper also gives a detailed analysis of the areas of application of AI with a focus on CE - in the medical, finance, military, industry, and other sectors. It emphasizes that AI expands people's ability to understand complex scenarios and creates efficient autonomous systems that can operate independently. For instance, in the medical field, AI and machine learning are used to analyze medical data to improve patient treatment and diagnosis. In the military, drones are being used to increase combat capability and ensure the safety of operations.

In industry, systems like General Electric's Predix predict failures in machinery, while systems like Rockwell Automation optimize production processes. In the financial sector, algorithmic trading and fraud detection systems such as Darktrace ensure the protection and efficient management of finances.

Thus, CE plays a key role in the development and maintenance of SA, ensuring reliability, efficiency, and security in various applications. The continuous development of new tools and technologies allows operators and systems to be more efficient and productive. The use of AI and machine learning opens up new opportunities for data analysis and processing, which allows achieving better results in various fields of activity.

Keywords: *situational awareness, computer engineering, artificial intelligence, immersive technologies, sensor integration, machine learning, augmented reality systems, modeling and simulation, machine learning technologies and libraries.*



УДК 681.5.165: 621.644

IMPROVEMENT OF THE GAS TEMPERATURE CONTROL SYSTEM IN FRONT OF THE HIGH-PRESSURE TURBINE OF THE GTK-10 GAS PUMPING UNIT

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ ГАЗУ ПЕРЕД ТУРБИНОЮ ВИСОКОГО ТИСКУ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ ТИПУ ГТК-10

Zvarych H. / Зварич Г.Г.

ORCID: 0000-0002-7866-542X

Mateik H. / Матеїк Г.Д.

0000-0003-0286-389X

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,

Ivano-Frankivsk, Karpatskaya, 15, 76019

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

Івано-Франківськ, вул.Карпатська, 15, 76019

Анотація. У роботі розглядається необхідність підвищення ефективності та надійності роботи газоперекачувальних агрегатів, зокрема забезпечення оптимальних температурних параметрів, що впливають на працездатність турбіни. Основна увага приділена розробці сучасної автоматизованої системи контролю температури газу, яка враховує швидкі зміни технологічних умов та забезпечує адаптивне регулювання режимів роботи. Запропоновані підходи включають використання новітніх датчиків температури, алгоритмів адаптивного керування та систем моніторингу в реальному часі.

Ключові слова: газоперекачувальний агрегат, система контролю, мікропроцесорний контролер, температура газу, помпаж.

Вступ.

Від забезпечення надійної роботи газотранспортної системи залежить виконання Україною зобов'язань, щодо транспортну природного газу, тому важливим завданням є досягнення високої надійності роботи газоперекачувальних агрегатів (ГПА). ГПА здійснює перекачку газу шляхом його компримування. ГПА є складним технологічним об'єктом підвищеної небезпеки, з великою кількістю технологічних параметрів. Керування ГПА здійснюється системою автоматизованого керування (САК). Важливою складовою САК ГПА є система протиаварійного захисту. Від її роботи в аварійній ситуації залежить захист дорогого обладнання. З іншого боку система повинна запобігати аварійним зупинкам (АЗ) через несправність вимірювальних каналів, чи інших хибних тлумачень значень технологічних параметрів.

Розробка методів прогнозування передаварійних та аварійних режимів роботи ГПА є актуальною задачею, оскільки вони дозволять заощаджувати значні кошти на ремонт обладнання та підвищать стабільність роботи газотранспортної системи в цілому. Автоматичний аналіз динаміки технологічних параметрів в часі дозволить визначати тенденцію(схильність) окремого вузла ГПА до виходу з ладу та запобігати цьому шляхом проведення профілактичних робіт. Сфера застосування методів прогнозування наближення позаштатних ситуацій є досить широкою, особливо для САК, що керують технологічними об'єктами підвищеної небезпеки.



Тому метою роботи є створення удосконаленої системи контролю ТГ перед ТВТ шляхом додання нових можливостей, заміни елементної бази на мікропроцесорний контролер та створення програми для нього згідно розробленої структурної схеми керування. Контролер повинен відпрацьовувати абсолютні попереджувальні та аварійні уставки, а також аналізувати динаміку параметрів у часі.

Основний текст.

Аналіз останніх досліджень та публікацій [1÷3] показує, що дана проблема не повністю розв'язана через те, що при створенні нових САК основна увага приділяється їх апаратній частині. Тобто акцент робиться на тому, як найточніше, з найбільшою частотою виміряти сигнал, зберегти його в архіві, передати на інший рівень автоматизації, а не менш важливе питання про застосування сучасних алгоритмів аналізу сигналу розглядається не в повній мірі. Зазвичай в САК реалізують класичні контури регулювання та протиаварійного захисту, в той час як можливості контролерів дозволяють, крім того, аналізувати взаємозв'язки між параметрами технологічного процесу, їх вплив один на одного та на процес в цілому. Таким чином є можливість створення САК з якісно новим рівнем функціональності.

Конкретним прикладом, вище описаної проблеми є аналіз температури газу (ТГ) перед турбіною високого тиску (ТВТ) ГПА типу ГТК-10. Слабким місцем системи автоматичного керування (САК) типу СЦКУ на ГПА типу ГТК(ГТНР)-10 є підсистеми контролю температурних параметрів. До їх складу входять прилади КСМ2 для контролю температури підшипників турбіни і нагнітача та КСП2 для контролю ТГ перед ТВТ. Підсистема контролю ТГ перед ТВТ є надзвичайно важливою, оскільки при її відмові і виході параметра за дозвалені межі виникає ризик «спалити» лопатки ТВТ, що приводить до значних матеріальних та часових витрат на ремонт ГПА та зменшує кількість резервних ГПА на компресорній станції.

Існуюча система контролю має недоліки, характерні для аналогічних систем, побудованих на самопишучих потенціометрах та мостах з механічною комутацією сингалу, а саме: низька надійність обладнання (часті відмови), при відмові вимірювального каналу можливе хибне спрацювання аварійних захистів, архів даних(картограма) не дозволяє точно встановити час події, відсутність можливості включення приладу в систему централізованого збору та обробки інформації; необхідність періодичного обслуговування та потреба в витратних матеріалах.

На ГПА, які вводяться в експлуатацію в останні роки, дана проблема є не настільки гострою, в зв'язку з тим, що вони обладнані сучасними САК на базі мікропроцесорними контролерів, та навіть на них лише повторюються алгоритми, запроектовані технологами при виготовленні обладнання. Дані алгоритми передбачають захист обладнання при виході його технологічних параметрів за допустимі межі, при цьому відбувається АЗ ГПА (чи ввід його в «режим обмеження»). Пропонується реалізувати систему контролю ТГ перед ТВТ за схемою на рис.1.

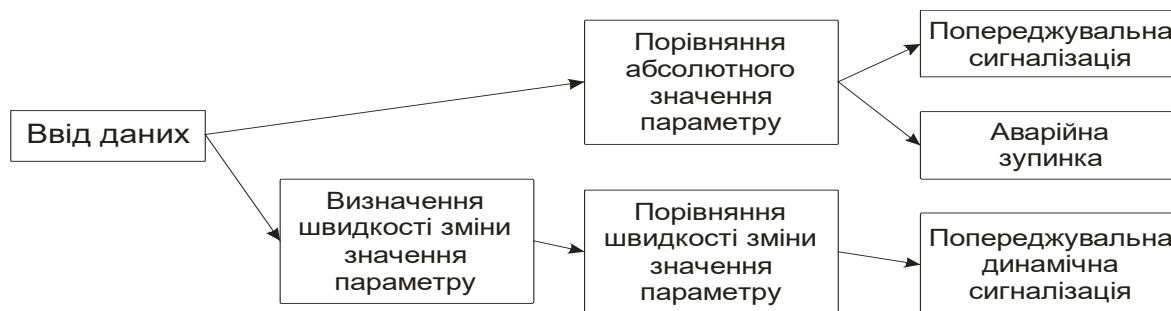


Рисунок 1 – Структура удосконаленої системи контролю температури газу перед ТВТ

Джерело: [1]

Для реалізації системи контролю ТГ перед ТВТ використаємо програмований контролер МІК-51 виробництва ТОВ «Мікрол» м. Івано-Франківськ [1]. Контролер МІК-51 це компактний багатофункціональний промисловий мікропроцесорний контролер, призначений для автоматичного регулювання і логічного керування технологічними процесами. Програмування контролера виконується по інтерфейсу за допомогою спеціального програмного забезпечення - візуального редактора FBD-програм АЛЬФА або за допомогою клавіш передньої панелі. Як мова програмування в системі реалізована мова функціональних блокових діаграм Function Block Diagram Система програмування реалізована відповідно до вимог стандарту Міжнародної Електротехнічної Комісії (МЕК) IEC 1131-3 і призначена для розробки прикладного програмного забезпечення збору даних і управління технологічними процесами, що виконуються на програмованих контролерах [4]. МІК-51 проводить обробку даних та їх передачу протоколом MODBUS-RTU на блок перетворення інтерфейсу БПІ-52, далі по інтерфейсу USB 2.0 дані поступають на робочу станцію (ПК) з OPC сервером. Це в свою чергу дозволяє проводити аналіз даних різними методами та порівнювати отримані результати без додаткових затрат часу на синхронізацію, обробку, та передачу даних.

Розглянемо програму у вигляді функціональних блоків (ФБ) (рис.1), розроблену для виконання поставленої задачі. З бібліотеки контролера використано наступні ФБ: AIN – аналоговий ввід, CMP – компаратор, DOT – дискретний вивід, DERIV – диференціювання з затримкою, ABS – модуль числа, USER – панель користувача.

Блоки AIN (1,2) обробляють дані апаратних аналогових ввідів контролера та предсталиють їх у програмі користувача. Блок AIN (12.1) видає числове значення, що відповідає температурі газу перед ТВТ, блок AIN(2) видає числове значення, що відповідає температурі оточуючого середовища, для проведення компенсації ЕРС холодного спаю термопар. Блок AIN має експоненціальний фільтр – для відсікання шумів високих частот, що забезпечує захист від імпульсних завад та хибного спрацювання АЗ, параметр tFLT – часова стала експоненціального фільтра. Вихід блока поступає на входи наступних блоків: CMP(2,3), DERIV(7), Компаратори CMP(3,5) відпрацьовують статичні абсолютні попереджувальну та аварійну уставки 820С° та 830С° відповідно. Сигнал попередження та аварії подається блоками дискретного виводу DOT (4,6)



в СЦКУ ГПА де спрацьовують відповідні реле ПТГ («Попередження за температурою газу») та АТГ (Аварія за температурою газу) [3]. Блок DERIV(7) визначає швидкість зміни параметру.

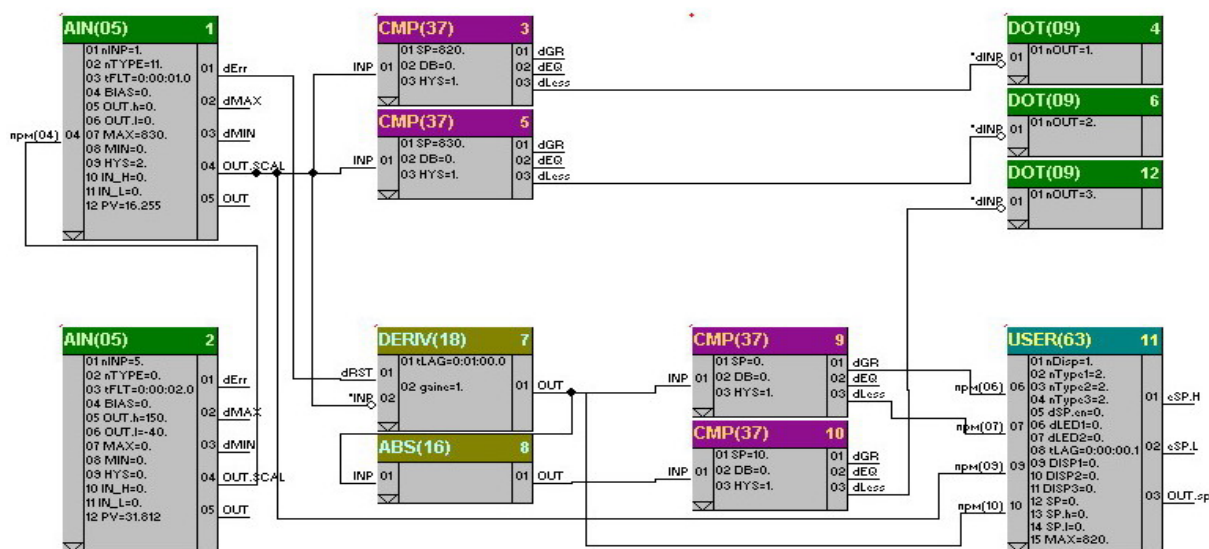


Рисунок 2 – Програма керування контролером МІК-51 у вигляді функціональних блоків [4]

Джерело: [2]

Швидкість зміни температури перед ТВТ аналізується компараторами CMP(9,10). Компаратор CMP(9) видає команду на дискретний вивід DOT (12), який сигналізує про те, що температура перед ТВТ змінюється з швидкістю більшою ніж задана. Даний вид попереджувальної сигналізації є новим, та дозволяє оперативному персоналу (ОП) вчасно реагувати на зміну режиму газопроводу. Під час зміни режиму газопроводу змінюється навантаження на нагнітач, що може привести до швидкої зміни ТГ перед ТВТ. Штатна система СЦКУ видає сигнал попередження при досягненні ТГ перед ТВТ 820С° і ОП не вистачає часу знизити оберти газотурбінного двигуна до моменту досягнення аварійної уставки. Використання запропонованої системи завдяки додатковій сигналізації, дозволить уникнути АЗ ГПА в описаній ситуації. Блок USER (11) відображає на передній панелі контролера поточну температуру газу перед ТВТ, швидкість її зміни за останню хвилину, а також світло діодами показує стан попереджувальних та аварійних каналів. На даний час система перебуває в дослідній експлуатації на ГПА ст.№3 КЦ-2 КС «Долина», у Долинському ЛВУМГ УМГ «Прикарпаттрансгаз». За час роботи вона зарекомендувала себе надійною і функціональною. На рис.3 представлено фото трендів екрану SCADA системи. Під час планової зупинки ГПА о 15 год 39 хв. пройшов легкий помпаж нагнітача, при цьому температура газу перед ТВТ різко зросла зі швидкістю 40 °С/хв. Система видала попередження «Перевищення швидкості зростання ТГ перед ТВТ» інженер зміни знизив оберти, чим припинив подальше зростання ТГ.



Рисунок 3 - Тренди SCADA системи під час зупинки ГПА

Джерело: [3]

Висновок.

Було розроблено систему контролю температури газу перед турбіною високого тиску. Це передбачає впровадження нових функціональних можливостей, заміну елементної бази на сучасний мікропроцесорний контролер, а також створення відповідного програмного забезпечення згідно з розробленою структурною схемою управління. Контролер повинен забезпечувати обробку абсолютних попереджувальних та аварійних уставок, а також здійснювати аналіз динаміки параметрів у реальному часі.

Література:

1. Парасюк Р.М. Реалізація ПІД-закону регулювання з випереджуючим впливом (FEED FORWARD) на базі мікропроцесорного контролера МІК-51 / Р.М. Парасюк, А. В. Слободян, Р. О. Йосипенко, В. Р. Процюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005 – № 4. Ч.1, т.1. – С. 50-52.
2. Контролер багатофункціональний мікропроцесорний МІК-51. Інструкція з експлуатації ТОВ «Мікрол». – Івано-Франківськ. – 2012.–115с.
3. Ніщета В.В. Помпажні явища та їх вплив на моторесурс ГПА / В.В. Ніщета, О.В. Свістельник, А.І. Мамонов, В.О. Таргонський // Інформаційний огляд ДК «Укртрансгаз», 2006. – №3(39). – С.6-7.
4. Two-phase algorithm for nonlinear constraint problem: Nonlinear Programming 3/O.

Abstract. The paper considers an improved gas temperature control system in front of the high-pressure turbine of a gas pumping unit of the GTK-10 type. The relevance of the topic is due to the need to increase the efficiency and reliability of gas pumping units, ensure their stable operation and optimize energy consumption. The purpose of the research is to develop a modern automated gas temperature control system, which includes the implementation of new functionality, replacing the element base with a microprocessor controller, as well as creating specialized software according to the developed structural control scheme. The proposed system provides processing of absolute



warning and emergency settings, analysis of parameter dynamics in real time and adaptive adjustment of operating modes depending on changes in technological conditions. Expected results include increasing the energy efficiency of the unit, reducing operating costs, improving the diagnostics of emergency situations and increasing the turbine resource. The presented solutions have the prospect of scaling and implementation on other types of gas pumping units to optimize their operation and increase technical and economic indicators.

Key words: *gas pumping unit, control system, microprocessor controller, gas temperature, surge.*

Стаття відправлена: 24.11.2024 г.

© Матеїк Г. Д., Зварич Г. Г.



УДК 65.012.54

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR SOFTWARE TESTING AUTOMATION**ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ****Huralnyk F. B./ Гуральник Ф. Б.***PhD student/aspirant*

ORCID: 0009-0009-3832-0206

*Vinnitsa National Technical University,**95 Khmelnytske Shose, Vinnytsia, Ukraine, 21021**Вінницький національний технічний університет**Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, Україна, 21021*

Анотація. В роботі розглядаються теоретичні аспекти застосування штучного інтелекту (ШІ) для автоматизації тестування програмного забезпечення (ПЗ). В умовах швидкозростаючої складності програмних систем і необхідності прискорення циклів розробки автоматизація тестування стає критично важливою. У статті проводиться огляд поточних технологій і підходів, таких як використання машинного навчання для прогнозування помилок, застосування комп'ютерного зору для тестування користувацького інтерфейсу, а також генерація тест-кейсів за допомогою нейронних мереж. Особлива увага приділяється аналізу переваг і недоліків кожного методу, а також теоретичним можливостям інтеграції цих технологій у процеси тестування ПЗ. Нарешті, обговорюються перспективи та майбутні напрями розвитку ШІ в галузі автоматизації тестування ПЗ. Отримані результати демонструють значний потенціал використання ШІ для підвищення якості та продуктивності процесів тестування, що робить цей напрям перспективним для подальших досліджень і впровадження.

Ключові слова: тестування, автоматизація тестування, ШІ, тестова документація, оптимізація тестування

Вступ.

Автоматизація тестування програмного забезпечення (ПЗ) є однією з ключових складових процесу розробки, яка сприяє підвищенню якості продуктів та зменшенню часу їх випуску на ринок. Зі зростанням складності програмних систем і вимог до їхньої надійності, традиційні методи автоматизації тестування стають все менш ефективними та вимагають значних людських і часових ресурсів. У зв'язку з цим, застосування штучного інтелекту (ШІ) відкриває нові перспективи для оптимізації цих процесів.

ШІ, зокрема машинне навчання, комп'ютерний зір та обробка природної мови, може значно підвищити ефективність і точність тестування ПЗ. Здатність ШІ аналізувати великі обсяги даних, виявляти патерни та передбачати потенційні помилки відкриває нові можливості для створення інтелектуальних систем тестування. Використання нейронних мереж для автоматичного створення тест-кейсів та аналізу звітів про помилки може значно зменшити навантаження на тестувальників і підвищити продуктивність тестування.

Актуальність

У сучасному світі програмне забезпечення стає все більш складним і багатофункціональним, вимагаючи від розробників високої точності та надійності в процесі створення. Зростання обсягів і складності ПЗ



супроводжується підвищенням вимог до його якості та швидкості випуску на ринок. Традиційні методи тестування, засновані на ручному або навіть частково автоматизованому підході, часто не справляються з такими викликами через обмежену масштабованість і значні витрати часу та ресурсів.

В умовах швидкого розвитку інформаційних технологій та появи нових методів розробки ПЗ, таких як Agile та DevOps, тестування повинно бути інтегроване у всі етапи життєвого циклу розробки. Це вимагає нових підходів до автоматизації тестування, які можуть забезпечити високу продуктивність і точність. Штучний інтелект (ШІ) та машинне навчання пропонують інноваційні рішення для автоматизації тестування, здатні адаптуватися до змін і ефективно працювати з великими обсягами даних.

Застосування ШІ в тестуванні ПЗ має значний потенціал для підвищення якості і зниження витрат на тестування. Наприклад, алгоритми машинного навчання можуть автоматично виявляти і передбачати помилки, що значно скорочує час на пошук і виправлення багів. Використання комп'ютерного зору дозволяє автоматизувати тестування графічних інтерфейсів користувача, що забезпечує більш точну і ефективну перевірку функціональності.

Отже, актуальність даного дослідження обумовлена необхідністю вдосконалення методів автоматизації тестування програмного забезпечення в умовах зростаючих вимог до його якості та швидкості розробки. Вивчення теоретичних аспектів застосування ШІ для автоматизації тестування відкриває нові перспективи для розвитку цієї галузі, сприяючи підвищенню ефективності та надійності процесів розробки ПЗ.

Постановка задачі

Метою даного дослідження є всебічний розгляд процесу тестування програмного забезпечення з акцентом на автоматизовані методи та впровадження штучного інтелекту (ШІ) для оптимізації тестувальних процесів. В рамках цього дослідження передбачено вирішення кількох важливих завдань:

Розгляд видів тестування: Проаналізувати різні підходи та види тестування, що використовуються в індустрії розробки програмного забезпечення, приділяючи особливу увагу автоматизованому тестуванню як одному з ключових напрямів сучасного забезпечення якості.

Огляд інструментів для автоматизованого тестування: Здійснити огляд основних інструментів, які застосовуються в автоматизованому тестуванні, визначити їх переваги та сфери застосування, а також виявити інноваційні можливості, які вони надають.

Опис методів використання штучного інтелекту в автоматизованому тестуванні: Проаналізувати та описати способи застосування ШІ в автоматизації процесу тестування, зокрема в таких напрямках, як генерація тест-кейсів, аналіз результатів тестування та прогнозування дефектів.

Огляд інструментів на основі ШІ: Розглянути специфічні інструменти, що використовують ШІ для автоматизації тестування, та проаналізувати їх функціональність і вплив на якість процесу тестування.

Приклад використання ШІ в автоматизації регресійного тестування: Розглянути приклад впровадження ШІ в автоматизоване регресійне тестування,



продемонструвавши, як інтелектуальні алгоритми можуть ефективно оновлювати тест-кейси та забезпечувати стабільність продукту під час регулярних оновлень та ітерацій.

Задачі дослідження:

- Розглянути загальні принципи, види та завдання тестування ПЗ;
- Здійснити огляд сучасних інструментів автоматизованого тестування;
- Вивчити та описати методи та підходи застосування ШІ в автоматизації тестування;
- Навести приклад впровадження ШІ в регресійне тестування для оновлення тест-кейсів і демонстрації переваг цього підходу.

Це дослідження спрямоване на те, щоб надати практичний та теоретичний огляд сучасних технологій у тестуванні, підкреслити важливість інноваційного підходу з використанням ШІ та продемонструвати його вигоду для автоматизації регресійного тестування в умовах швидких змін у розробці програмного забезпечення.

Мета

Метою статті є дослідження використання штучного інтелекту (ШІ) в автоматизації регресійного тестування для оптимізації процесів тестування програмного забезпечення. Основна увага приділяється скороченню часу, необхідного для виконання регресійного тестування, а також автоматичному оновленню тестових сценаріїв і тестових даних за допомогою ШІ.

У рамках дослідження передбачається:

- Проведення огляду теоретичних основ регресійного тестування та автоматизації процесів тестування.
- Аналіз сучасних інструментів, що застосовуються для автоматизації регресійного тестування.
- Опис методів використання ШІ для оптимізації тестування, зокрема в аспектах генерації та оновлення тестових даних.
- Надання практичного прикладу використання ШІ для автоматизації регресійного тестування, демонструючи переваги впровадження інтелектуальних алгоритмів у цей процес.
- Надати математичне підтвердження переваг використання ШІ шляхом аналізу статистичних даних і візуалізації через графіки.

Огляд літератури

Сучасні дослідження підтверджують, що автоматизація тестування за допомогою штучного інтелекту (ШІ) значно прискорює процес тестування та підвищує його точність. Зі зростанням складності програмного забезпечення традиційне ручне тестування стає менш ефективним, оскільки потребує багато часу і ресурсів. Автоматизоване тестування з використанням ШІ здатне вирішувати цю проблему, дозволяючи виконувати тести швидше і з більшою надійністю.

Застосування ШІ в тестуванні охоплює кілька ключових напрямків, які описуються у літературі:

1. **Прискорення тестування:** Алгоритми ШІ дозволяють виконувати тести автоматично і безперервно, значно скорочуючи час, потрібний для тестування на



кожному етапі розробки.

2. Автоматичне створення тест-кейсів: ШІ може автоматично генерувати тест-кейси на основі аналізу вимог та історичних даних. Це не лише економить час тестувальників, але й знижує ймовірність пропущених помилок.

3. Точність виявлення помилок: Завдяки ШІ тести стають більш надійними. Алгоритми допомагають виявляти баги, які можуть бути пропущені вручну, особливо у великих системах із складними залежностями.

Таким чином, використання ШІ для автоматизації тестування дозволяє зробити процес тестування не тільки швидшим, але й надійнішим, що підтверджується дослідженнями в цій галузі.

Тестування ПЗ

Тестування програмного забезпечення є одним із ключових етапів життєвого циклу розробки програмного забезпечення та важливим методом для оцінки розробленого продукту з метою забезпечення його якості. Перед випуском фінального продукту важливо переконатися, що вимоги, визначені на етапі аналізу, були виконані, а сам продукт не містить дефектів. У контексті розробки програмного забезпечення "баг" є назвою для дефекту, який означає, що розроблена система не виробляє точних результатів відповідно до вимог. Тестування відіграє важливу роль у процесі розробки програмного забезпечення. У процесі розробки програмного забезпечення можуть використовуватися різні техніки для полегшення тестування. Прототипування є одним із підходів, при якому розробляється експериментальний програмний артефакт, який буде відкинутий після оцінки. На відміну від цього, у ітеративному підході ранні програмні артефакти не відкидаються, а використовуються для подальшого розвитку. Інший підхід полягає у використанні фреймворків, таких як метод динамічних систем розробки (DSDM), в якому документуються найкращі практики для ітеративної та інкрементальної розробки. Розробникам програмного забезпечення необхідно знати та вміти використовувати різноманітні методи, концепції та практики тестування. Чотири основні категорії тестування підсумовані на рис. 1:

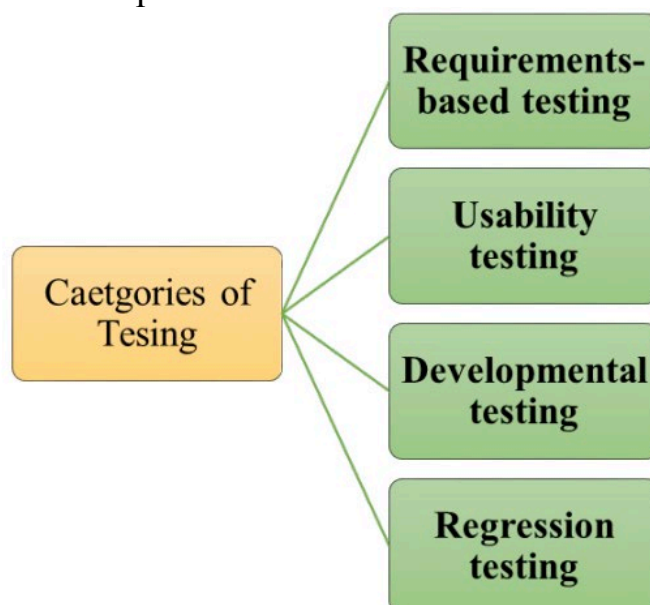


Рисунок 1 категорії тестування



В таблиці 1 надано деталі по усім 4 категоріям

Requirements-based testing	- Перевірка того, що система відповідає вимогам замовника, здійснюється за допомогою раніше зібраних або сформульованих тестованих вимог. - Приймальне тестування є фінальним етапом, на якому перевіряється, чи були задоволені вимоги користувача. - Замовник формально приймає програмне забезпечення, переконавшись у правильному функціонуванні приймальних тестів.
Usability testing	Інтерфейс користувача (UI) є невід'ємною частиною кожної програмної системи. - Різні користувачі, окрім розробників, використовують систему, тому тестування зручності використання є необхідним. - Через проблеми з інтерфейсом користувача система може зазнати невдачі. - Тестування зручності використання включає систематичну перевірку інтерфейсу користувача із залученням цільових користувачів.
Development testing	Зазначає тестування, яке проводиться всією командою розробки програмного забезпечення. - Розробницьке тестування здійснюється на трьох різних рівнях: тестування одиниць (unit testing), інтеграційне тестування (integration testing) та системне тестування (system testing). - Інтеграційне тестування включає перевірку того, що всі протестовані одиниці правильно взаємодіють між собою.
Regression testing	Будь-яка форма тестування, що проводиться під час розробки або обслуговування системи, щоб забезпечити, що виправлення одного дефекту не призводить до появи нових. - Регресійні тести потрібні на рівнях одиниць, інтеграції та системи, залежно від конкретного методу розробки, що застосовується. - Регресійні тести є критично важливими під час розробницького тестування та в обслуговуванні системи.

Техніки тест дизайну

Стратегії створення тест-кейсів є важливою частиною валідації та верифікації. Основні стратегії включають тестування чорної скриньки (black-box testing) та тестування білої скриньки (white-box testing). Основна мета тестування чорної скриньки – забезпечити, що кожен аспект вимог замовника правильно



обробляється реалізацією. Тест-кейси розробляються на основі специфікацій системи, які включають деталі передбачених функцій системи.

Тестування сірої скриньки (grey-box testing) є іншим методом, при якому додаток тестується з повним знанням загальних аспектів системи і обмеженим знанням її внутрішнього функціонування. Основна мета тестування білої скриньки – перевірити, чи деталі реалізації системи правильні. Тест-кейси розробляються на основі деталей реалізації системи для перевірки, чи система виконує свої передбачені функції коректно.

При порівнянні можливостей автоматизації технік тестування чорної та білої скриньки, автоматизація тестування білої скриньки є легшою, ніж тестування чорної скриньки. Причина цього полягає в тому, що у тестуванні чорної скриньки програміст і тести є залежними, що може вплинути на автоматизацію. Оскільки тестування сірої скриньки поєднує риси обох технік чорної та білої скриньки, його особливості і техніки не розглядаються детально в цій статті.

На рисунку 2 зображені види методом чорної скриньки і білої.

Автоматизоване тестування — це процес тестування програмного забезпечення, який виконується за допомогою спеціальних інструментів і програм, що автоматично виконують тестові сценарії без ручного втручання. Це дозволяє ефективно перевіряти функціональність, продуктивність та інші аспекти програмного забезпечення, використовуючи заздалегідь визначені тест-кейси та сценарії.

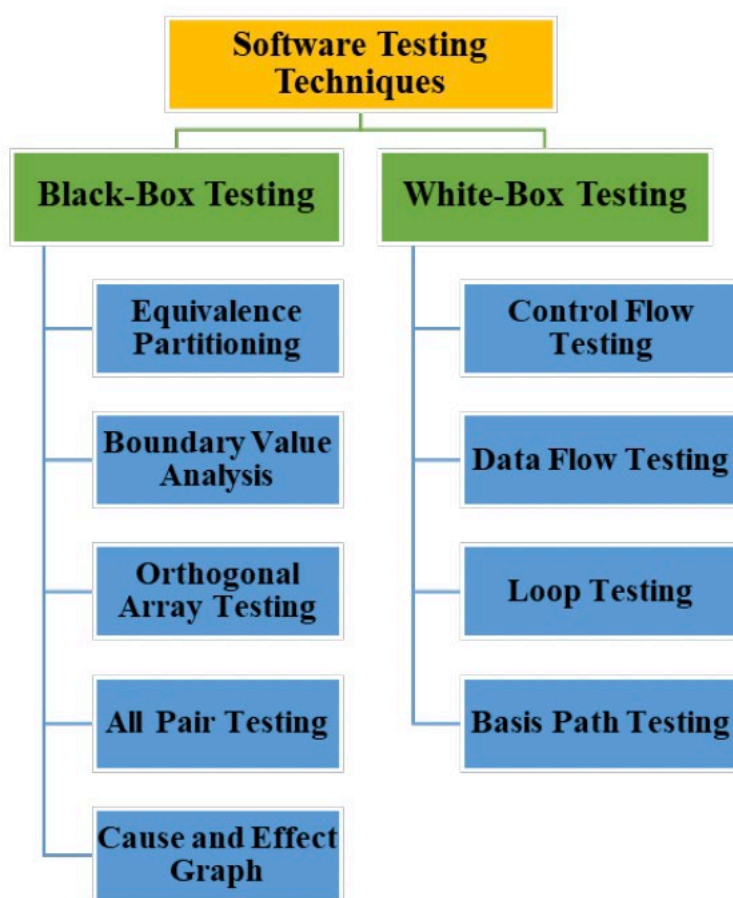


Рисунок 2 види білої і чорної скриньки



Автоматизоване тестування

З метою забезпечення того, що користувачі дійсно отримують ту цінність, яку обіцяє програмне забезпечення, з'явилося багато потужних інструментів тестування, які спрощують автоматизоване і повторюване тестування чорної скриньки. Автоматизація є важливою, оскільки процес тестування є повторювальним, і рекомендується перевіряти всі можливі сценарії. Автоматизація тестів збільшує охоплення тестування і покращує ефективність. Коли тестування автоматизоване, тести можуть виконуватися повторно, перевіряти різні вхідні значення та умови. Це дозволяє зменшити ресурси та час, необхідні для тестування. Для автоматизації функціональних, системних та приймальних тестів доступні численні інструменти. Серед них: Selenium, Watir і JMeter. Selenium і Watir використовуються для тестування локальних файлів за допомогою протоколу file://, підтримуваного веб-браузерами, в той час як JMeter потребує, щоб цільові файли були розміщені на веб-сервері.

Застосування штучного інтелекту для тестування програмного забезпечення

З огляду на зростаючу складність і функціональність сучасних додатків, для досягнення функціональних і нефункціональних вимог додатків необхідно реалізувати різні функції. Вимоги — це інформація про те, яким буде і що робитиме система, яку потрібно знати до початку розробки. Після того як вимоги будуть визначені і погоджені розробником і замовником, вони будуть реалізовані в програмному забезпеченні. Перетворення вимог у додаток за допомогою відповідних інструментів і технік є роллю системного розробника. Додаток має бути розроблений без помилок, і під час етапу кодування розробник повинен написати і виконати тест-кейси.

Тестувальник програмного забезпечення — це особа, яка відповідає за перевірку додатка і забезпечення його правильного функціонування. Тестувальники відіграють важливу роль, так само як і розробники, у діяльності з розробки програмного забезпечення, оскільки вони є частиною забезпечення якості програмного продукту. Тестувальник програмного забезпечення надсилає звіт команді розробки, в якому детально описуються виявлені баги та послідовність подій, що сприяли помилці. Як показано на рис. 3, відповідальність розробника полягає в написанні коду та тест-кейсів, а тестувальники слідує тестовим планам і виконують завдання тестування.

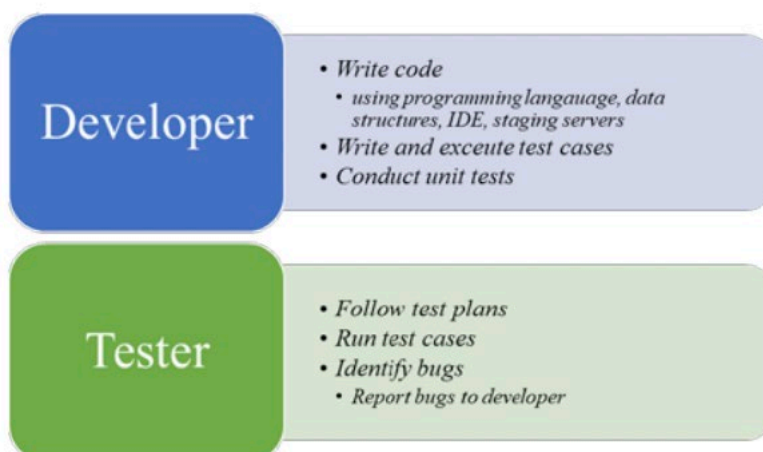


Рисунок 3 Відповідальність розробника і тестувальника на проекті



Тестування програмного забезпечення є важливим процесом, який забезпечує відповідність розробленої системи очікуванням клієнтів. Тестування допомагає захистити систему від можливих відмов, які можуть негативно вплинути на ефективність організації під час експлуатації. У ручному тестуванні тести виконуються тестувальником програмного забезпечення для виявлення помилок у системі. Хоча у ручному тестуванні можливо проводити експлораційне тестування, цей процес є трудомістким і потребує залучення людських ресурсів, а тести виконуються людиною та програмним забезпеченням.

Автоматизоване тестування значно швидше, ніж ручне тестування, і використовує інструменти автоматизації для виконання тест-кейсів. Оскільки тестування все більше переходить до автоматизації, техніки ШІ (штучного інтелекту) знаходять своє застосування в тестуванні програмного забезпечення. Техніки ШІ підтримують автоматизацію процесів тестування ефективним способом. Алгоритми ШІ допомагають тестовому середовищу бути більш продуктивним. Алгоритми ШІ сприяють процесу і допомагають тестувальникам програмного забезпечення знаходити максимальну кількість помилок за менший проміжок часу. Система може бути введена на ринок як надійна і точна.

Рис. 4 і Рис. 5 показують функції тестувальника і розробника у ручному тестуванні та в середовищах тестування, що підтримуються ШІ.

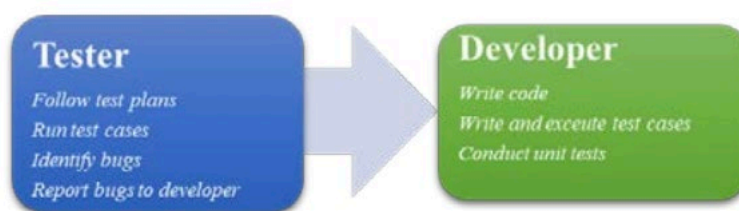


Fig. 4. Functions in a Manual Testing Environment.

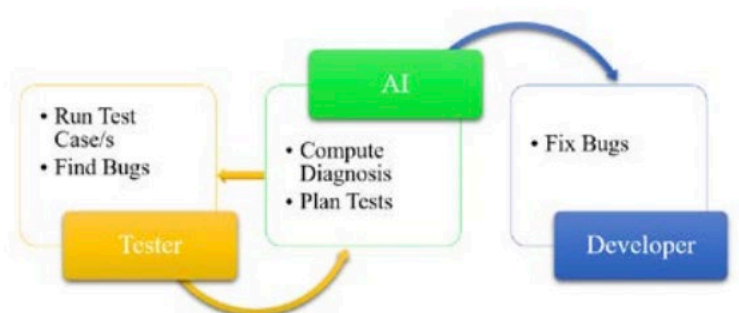


Рисунок 4 Функції в менуальному середовищі

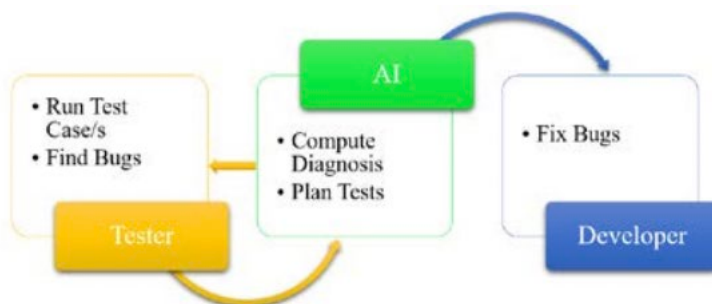


Рисунок 5 Функції в середовищі тестування, що підтримується штучним інтелектом



У середовищі ручного тестування тестувальник запускає тест-кейси відповідно до тестових планів, знаходить помилки та повідомляє про них розробникам.

У середовищі тестування на основі штучного інтелекту тестувальник також запускає тест-кейси і виявляє помилки. Однак, інструмент ШІ виконує діагностику помилок і надсилає сповіщення розробникам для їх виправлення. Інструмент ШІ автоматично планує подальші тестування, а тестувальники продовжують запускати тест-кейси та виявляти дефекти.

Функціональні та нефункціональні вимоги продукту повинні бути протестовані з забезпеченням повного покриття тестуванням. У ручному тестуванні це займе багато часу та ресурсів, тоді як застосування технік ШІ зменшує час і допомагає виявити погано спроектовані вимоги. Вимоги будуть ретельно перевірені за допомогою ШІ, і вони перейдуть на наступний етап розробки програмного забезпечення — етап проектування.

Виходячи з досвіду тестувальників, вибір і якість тестів можуть змінюватися, і тести створюються на основі вимог, випадків використання та історій користувачів. Застосування ШІ допомагає автоматично генерувати тест-кейси та ідентифікувати тести для верифікації та валідації системи. ШІ також допомагає зрозуміти покриття тестування. Неповні або невідповідні тести можуть бути виявлені на основі моделей. Крім того, автоматичне генерування тест-кейсів також зменшує ймовірність пропущених помилок і дефектів.

Застосування ШІ в автоматизації тестування

Бізнес-організації в різних секторах впроваджують методи штучного інтелекту (ШІ), щоб зробити свої операції ефективнішими. У процесі розробки програмного забезпечення автоматизоване тестування широко використовується для підвищення ефективності тестування. Існують різні способи, як техніки ШІ можуть підтримувати процес тестування програмного забезпечення. Найбільшу користь від ШІ отримують під час тестування "чорного ящика". Застосування технік ШІ у тестуванні програмного забезпечення подано в переліку. На рисунку 6 зображено автоматизацію тестування у формі піраміди згідно з типами тестів. Тестування інтерфейсу користувача (UI) розміщене на найвищому рівні, оскільки це найдорожчий вид тестування. Автоматизація тестування може проводитися на нижчих рівнях, таких як API і Unit тестування, щоб досягти найкращого покриття тестів та зменшити час і вартість.

Тестування інтерфейсу користувача (UI): Тести на зручність використовуються для виявлення будь-яких невідповідностей у дизайні або проблем з використанням інтерфейсу користувача. Для створення тестів UI техніки штучного інтелекту використовують технології розпізнавання зображень для навігації по додатку та візуальної перевірки об'єктів і компонентів інтерфейсу користувача. Інструменти автоматизації тестування декодують Document Object Model (DOM) та пов'язаний код, щоб визначити властивості об'єктів під час тестування UI на основі ШІ. Тести UI проводяться після етапів проектування та розробки програмної системи. У піраміді тестування UI-тести знаходяться на найвищому рівні, їх автоматизація є складною, і вони є одними з найважчих для автоматизації.

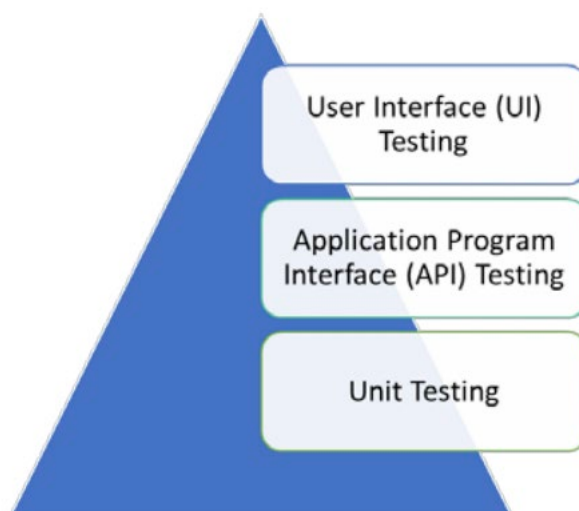


Рисунок 6 Рівні автоматизованого тестування

Тестування програмного інтерфейсу застосунків (API): Під час тестування API здійснюється перевірка програмних інтерфейсів шляхом тестування різних факторів якості, таких як функціональність, продуктивність, надійність і безпека. Нефункціональні вимоги, як-от зовнішній вигляд, не є релевантними для тестування API, оскільки воно фокусується на бізнес-логіці. Без врахування користувацького інтерфейсу автоматизація API може використовуватися для перевірки бізнес-логіки. Автоматизація API дозволяє команді розробників програмного забезпечення почати тестування на ранньому етапі, що допомагає швидше виявляти та виправляти помилки, знижуючи витрати на тестування за допомогою ШІ.

Створення та оновлення модульних тестів: Модульні тести використовуються для перевірки правильного виконання невеликих частин коду, таких як функції або методи об'єктів, перед тим як вони будуть об'єднані з іншими модулями для формування більшої функціональної особливості. Розробники витрачають значну кількість часу на написання та підтримку модульних тестів, що зазвичай менш цікаве, ніж написання коду програми. Продукти на основі штучного інтелекту для автоматизованої розробки модульних тестів можуть бути корисними, оскільки їх можна швидко згенерувати. Стратегія автоматизації починається з модульних тестів. Модульні тести пишуться розробниками, використовуючи ту ж мову програмування, що й для розробки додатків. Раннє виявлення та виправлення помилок під час модульного тестування запобігає виникненню дефектів регресії.

Окрім вищезазначених стратегій автоматизації тестування, штучний інтелект також можна застосовувати в таких сферах тестування програмного забезпечення:

- ✓ ШІ використовується як адаптивний метод для виявлення змін на рівні елементів, що підвищує надійність тестових наборів.
- ✓ Допомагає у прогнозуванні некоректних тестових випадків, що призводять до повних збоїв тестування, а також надає рекомендації щодо вирішення цих проблем.



- ✓ Використовується для симуляції поведінкових моделей.
- ✓ Техніки ШІ допомагають симулювати поведінку людей під час використання системи за географічними даними, пристроями та демографією, які використовуються для створення тестових наборів.
- ✓ Алгоритми ШІ ефективні у прогнозуванні та автоматизації тестових наборів.
- ✓ Застосовується в автоматизації сценаріїв.
- ✓ Автоматизація тестового сценарію не потрібна, оскільки він виконується автоматично за допомогою алгоритму ШІ.
- ✓ Допомагає у виявленні дефектів, на основі яких можна визначати тестові набори, що прискорює процес прийняття рішень щодо охоплення тестування та оптимізації тестових наборів.
- ✓ Збільшує кількість тестів та їхній масштаб.
- ✓ Техніки ШІ застосовуються для підтримки автоматизованих тестів, генерації тестових даних, надання раннього зворотного зв'язку у процесі тестування тощо.

Інструменти для автоматизації тестування на основі AI

В таблиці 2 наведені приклади інструментів автоматизації.

Назва інструменту	Опис
Testim	використовує машинне навчання для створення, виконання та підтримки тестів. Цей інструмент покращує тестові набори шляхом аналізу поведінки тестів і автоматичного виправлення помилок.
Mabl	застосовує AI для самонавчання та оптимізації автоматизованих тестів, що допомагає швидше виявляти баги й покращувати тестовий процес.
Functionize	використовує AI для створення тестів без написання коду, дозволяючи автоматизувати функціональні та регресійні тести.
Applitools	спеціалізується на AI-візуальному тестуванні, допомагаючи автоматично перевіряти інтерфейси користувача на наявність візуальних помилок.
Watir	це інструмент з відкритим кодом, який використовує бібліотеки Ruby для автоматизації тестів. Watir використовується для тестування вебсайтів і використовує Selenium для автоматизації браузера. Крім того, Watir також підтримує написання стабільних і зручних для підтримки тестових сценаріїв.

Функціональні тести є частиною інтеграційних тестів і призначені для оцінки конкретних завдань. Наприклад, реєстрація користувача в онлайн-системі: функція реєстрації повинна перевіряти правильність введених даних. Інші приклади включають пошук в каталозі та онлайн-оплату в додатку електронної комерції тощо. Для виконання цих тестів потрібен широкий діапазон значень тестових даних.



Тестування продуктивності використовується для вимірювання здатності серверів реагувати на запити користувачів в мережевому середовищі. Навантажувальне тестування є методом оцінки продуктивності сервера шляхом застосування певного навантаження до додатку з метою оцінки часу відгуку для окремих функцій.

Метою тестування безпеки є забезпечення того, що додаток має контролі аутентифікації та авторизації та не є вразливим до атак. Інтерфейси користувача зазвичай перевіряються на помилки навігації, помилки відображення та проблеми з використанням елементів управління. Регресійне тестування може виявити дефекти, що знову з'являються в результаті змін у програмному забезпеченні, які не були заплановані.

Практичне застосування: Використання Watir

Watir (Web Application Testing in Ruby) було обрано як інструмент для експериментування з програмним забезпеченням для підтримки технічних аспектів дослідження. Watir підтримує майже всі веб-браузери. Вебсайти та інтерфейси користувача можуть бути протестовані за допомогою Watir. Тестовий фреймворк, що використовує Watir, дотримується наступного порядку, як показано на рисунку 7.

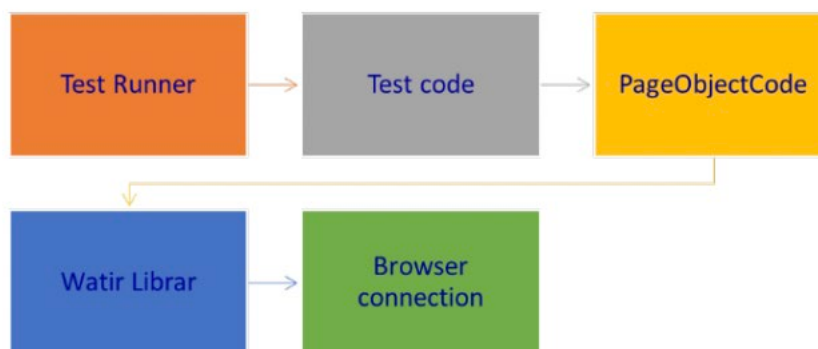


Рисунок 7 Порядок тестового фреймворку в Watir

Після встановлення необхідних драйверів були написані тестові скрипти для відкриття браузерів у RubyMine IDE. Тестові скрипти написані на мові Ruby. Watir обрано для практичного застосування, оскільки це дуже простий у використанні відкритий інструмент. Цей інструмент розроблений з використанням Ruby.

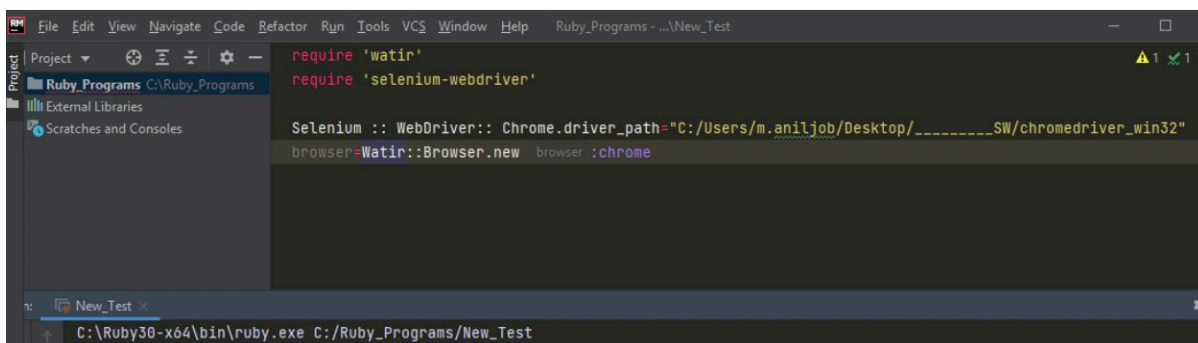


Рисунок 8 тестовий скрипт для відкриття браузера Chrome



Будь-який веб-додаток може бути автоматизований, незалежно від браузера, в якому він працює. Watir має вбудовані бібліотеки для підтримки різних видів активностей, таких як продуктивність сторінки. Рисунок 8 демонструє тестовий скрипт для відкриття браузера Chrome.

Рисунок 9 показує інший приклад створення та виконання тест-кейсу за допомогою Watir. Використано простий тест для перевірки точності коду. Тестовий скрипт успішно виконується.

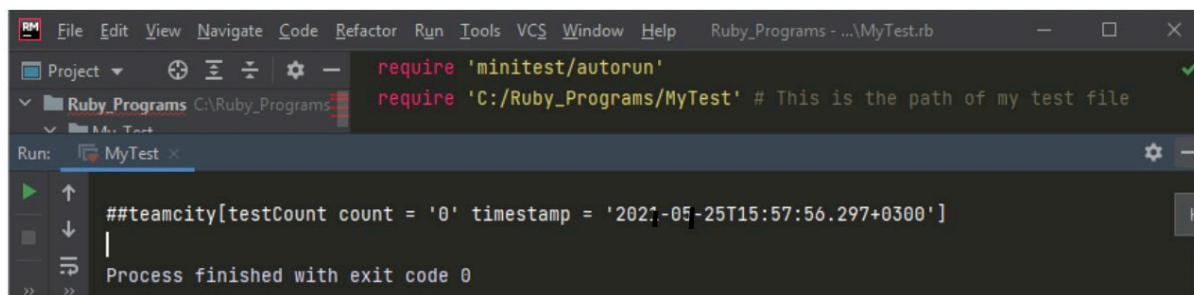


Рисунок 9 приклад тестового скрипту

Рисунок 10 показує приклад тестового скрипту для тестування інтерфейсу користувача.

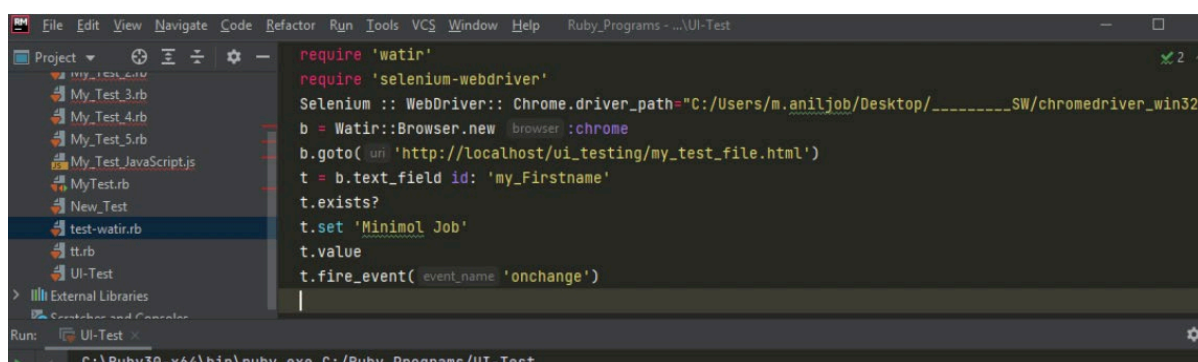


Рисунок 10. Скрипт для тестування інтерфейсу

Презентація веб-сторінки здійснюється за допомогою HTML, а функція JavaScript використовується для статичної частини коду сторінки за допомогою HTML. Рисунок 11 показує код.

Після виконання тестових кейсів можна зробити висновок, що Watir дозволяє легко тестувати завантаження файлів для інтерфейсу користувача веб-додатку. Іноді також надаються сповіщення про тести в спливаючих вікнах. Іншою особливістю Watir є можливість вимірювання продуктивності сторінки за допомогою об'єкта продуктивності. Навігація, час відгуку та продуктивність пам'яті можуть бути виміряні шляхом отримання цих даних, коли додаток підключений до браузера. Особливість Page object, доступна в Watir, сприяє повторному використанню коду у формі класів. Ця функція Watir допомагає автоматизації додатка без надмірності коду. Без відкриття браузера деталі отримуються в командному рядку, що підтримує виконання тестових кейсів інтерфейсу користувача в командному рядку.



```
<html>
  <head>
    <title>A sample test of UI using Watir</title>
  </head>

  <body>
    <script type = "text/JavaScript">
      function value_test() {
        console.log("value_test");
        var my_Firstname = document.getElementById("my_Firstname");
        if (my_Firstname.value!= "") {
          document.getElementById("my_Firstname").innerHTML =
            "My First Name is : " + my_Firstname.value;
          document.getElementById("disp_my_Firstname").
            style. display = "";
        }
      }
    </script>

    <p>
    <div id = "div_my_Firstname">
      Please Enter Your First Name :
      <input type = "text" id = "my_Firstname" name = "my_Firstname"
        onchange = " value_test ()" />
    </div></p>
    <p>
    <div style = "display:none;" id = "display_my_Firstname">
    </div></p>
  </body>
</html>
```

Рисунок 11 HTML, а функція JavaScript

Методи використання штучного інтелекту в тестуванні програмного забезпечення

У сучасній розробці програмного забезпечення забезпечення якості є критично важливим етапом. Впровадження штучного інтелекту у процеси тестування відкриває нові можливості для підвищення ефективності та точності.

Статистичні дані про впровадження ШІ в тестування

Згідно з дослідженням IDC Software Survey 2023, 48% підприємств вважають перевірку програмного коду та тестування одними з найважливіших завдань, у яких ШІ може ефективно допомагати розробникам. Крім того, за даними Всесвітнього звіту про якість за 2023 рік, 77% організацій інвестують у рішення на основі ШІ для підтримки своїх зусиль у забезпеченні якості.

Переваги використання ШІ в тестуванні

1. Підвищення точності виявлення дефектів: ШІ аналізує великі обсяги даних, виявляючи закономірності та потенційні проблемні області, що дозволяє тестувальникам ефективніше відстежувати та виявляти дефекти.

2. Скорочення часу тестування: ШІ виконує тести за кількома сценаріями за короткий час, значно скорочуючи цикл тестування та прискорюючи вихід продукту на ринок.

3. Автоматична генерація тест-кейсів: Алгоритми машинного навчання аналізують вимоги та існуючі тестові сценарії, автоматично створюючи нові тест-кейси, що забезпечує ширше покриття та зменшує ймовірність пропуску критичних помилок.



4. Прогнозування дефектів: ШІ аналізує історичні дані про дефекти та визначає області коду, найбільш схильні до помилок, що дозволяє командам тестувальників зосередити зусилля на критичних компонентах системи.

Підходи до використання ШІ в гнучких методологіях

Гнучкі методології розробки ПЗ, такі як Agile, передбачають швидкі ітерації та часті релізи. Інтеграція ШІ в такі процеси може відбуватися наступними способами:

1. Автоматична генерація тест-кейсів: ШІ аналізує вимоги та існуючі тестові сценарії, автоматично створюючи нові тест-кейси, що забезпечує ширше покриття та зменшує ймовірність пропуску критичних помилок.

2. Прогнозування дефектів: Алгоритми машинного навчання аналізують історичні дані про дефекти та визначають області коду, найбільш схильні до помилок, що дозволяє командам тестувальників зосередити зусилля на критичних компонентах системи.

3. Тестування графічного інтерфейсу користувача (GUI): Технології комп'ютерного зору автоматизують перевірку інтерфейсу, виявляючи візуальні дефекти та перевіряючи відповідність дизайну, що підвищує якість кінцевого продукту.

Приклади використання ШІ в тестуванні

- Автоматизація регресійного тестування;
- Оптимізація тестування продуктивності.

Впровадження штучного інтелекту в регресійному тестуванні

Регресійне тестування є невід'ємною частиною процесу забезпечення якості програмного забезпечення, метою якого є перевірка функціональності системи після внесення змін до коду. Це дозволяє гарантувати, що нові зміни не викликають негативного впливу на існуючі функціональні можливості. Інтеграція штучного інтелекту (ШІ) в регресійне тестування сприяє значному підвищенню ефективності цього процесу, зменшуючи час і ресурси, необхідні для його реалізації.

Переваги використання ШІ в регресійному тестуванні

1. Автоматизація оновлення тест-кейсів

ШІ дозволяє автоматично аналізувати зміни у кодовій базі та відповідно оновлювати або створювати нові тест-кейси. Завдяки цьому знижується залежність від ручного втручання, що істотно прискорює процес тестування.

Практичний приклад: У мобільному додатку для онлайн-банкінгу впровадження ШІ дозволило створювати автоматизовані тест-кейси для перевірки нових функцій, таких як платіжні шаблони. Алгоритм генерував сценарії для перевірки відповідності формату введення даних, обробки помилкових значень і коректності транзакцій.

2. Пріоритизація тестів

Завдяки алгоритмам машинного навчання, ШІ може оцінювати зміни в системі та визначати, які тест-кейси мають бути виконані в першу чергу. Такий підхід забезпечує ефективніше використання ресурсів і швидше виявлення критичних помилок.



Практичний приклад: У веб-додатку для управління проектами система ШІ пріоритизувала тестування функцій синхронізації з календарями, що зменшило час на перевірку модулів із високою вірогідністю виникнення дефектів.

3. Аналіз результатів і виявлення аномалій

Використовуючи потужні алгоритми аналізу даних, ШІ здатний визначати аномалії у результатах тестування, які можуть вказувати на приховані дефекти. Це забезпечує додатковий рівень захисту від помилок, які могли б залишитися непоміченими під час ручного аналізу.

Практичний приклад: У платформі для електронної комерції ШІ ідентифікував аномальні відхилення у відображенні фільтрів товарів, що дозволило вчасно виявити проблему з оновленням бази даних.

Практичне впровадження ШІ в регресійному тестуванні

Інтеграція інструментів на базі ШІ у процес регресійного тестування надає компаніям можливість значно оптимізувати свої бізнес-процеси.

Приклад впровадження: У розробці веб-платформи ШІ виконував аналіз коду після кожного релізу, визначаючи зони змін і генеруючи відповідні тест-кейси. Наприклад, якщо було додано новий модуль для обробки замовлень, ШІ створював сценарії для перевірки коректності обробки даних, інтеграції з платіжними системами та генерації квитанцій. Це скоротило час тестування на 30%, підвищивши виявлення дефектів на 20%.

Наукова новизна підходу застосування штучного інтелекту в тестуванні програмного забезпечення

Впровадження штучного інтелекту у процеси тестування програмного забезпечення представляє собою інноваційний підхід, що значно відрізняється від традиційних методів забезпечення якості. Ця новизна проявляється у кількох ключових аспектах:

Інтелектуальна автоматизація тестування: Традиційні методи автоматизації базуються на жорстко визначених сценаріях, які потребують постійного оновлення та підтримки. ШІ, зокрема методи машинного навчання, дозволяють створювати адаптивні системи тестування, які самостійно навчаються на основі попередніх результатів та можуть генерувати нові тест-кейси без втручання людини. Це забезпечує більш гнучкий та ефективний процес тестування.

Прогнозування та виявлення дефектів: Використання ШІ для аналізу історичних даних про дефекти дозволяє прогнозувати потенційні проблеми в коді ще до їх появи. Це дає можливість проактивно виявляти та усувати вразливості, підвищуючи надійність та безпеку ПЗ.

Адаптивність до змін: ШІ-системи можуть автоматично адаптуватися до змін у коді або вимогах, що зменшує потребу в ручному оновленні тестових сценаріїв. Це особливо важливо в умовах гнучких методологій розробки, де зміни відбуваються часто та швидко.

Оптимізація ресурсів: Використання ШІ дозволяє оптимізувати розподіл ресурсів, зменшуючи навантаження на тестувальників та скорочуючи час, необхідний для проведення тестування. Це сприяє зниженню витрат та підвищенню ефективності процесу розробки.



Висновки

Створення якісного програмного забезпечення для клієнтів у зазначений термін, враховуючи всі вимоги, є важливим завданням. Використання традиційного підходу до тестування не завжди є ефективним. Існує безліч інструментів автоматизації для виконання тестування програмного забезпечення. Техніки штучного інтелекту мають значний вплив на різні етапи розробки програмного забезпечення, включаючи тестування. Застосування ШІ в автоматизації тестування є відповідним рішенням для програмного тестування. Активності для створення програмного забезпечення без дефектів. У цій статті розглянуто роль інструментів штучного інтелекту в тестуванні програмного забезпечення.

У статті також досліджено різні типи технік тестування для валідації та перевірки програмної системи. Вибір відповідних інструментів автоматизації тестування на основі штучного інтелекту важливий залежно від типу тестування, і в статті обговорюються особливості популярних інструментів тестування на основі ШІ.

Нарешті, в статті представлені переваги застосування інструментів тестування на основі ШІ в тестуванні програмного забезпечення. Розширення цієї наукової роботи буде представлено шляхом оцінки інструментів автоматизації тестування на основі ШІ з урахуванням більш детальних технічних аспектів. Покращений практичний аспект буде охоплений реальним впровадженням автоматизації тестування білого ящика з використанням мобільного додатку.

Література

1. Introducing ChatGPT and Whisper APIs. <https://openai.com/blog/introducing-chatgpt-and-whisper-apis>.
2. Automating and Optimizing Software Testing using Artificial Intelligence Techniques 2021. https://thesai.org/Downloads/Volume12No5/Paper_71-Automating_and_Optimizing_Software_Testing.pdf
3. Page object models. Режим доступу: https://www.selenium.dev/documentation/test_practices/encouraged/page_object_models/
4. Watir documentation. <http://watir.com/>
5. Мартін Р. Чистий код: Створення, аналіз і рефакторинг. Київ: Видавництво "Оріон", 2019, с. 455
6. Річардсон А. Selenium Simplified: Посібник з автоматизації веб-тестування. London: Compendium Developments, 2012, с. 380
7. Месзарош Г. xUnit Test Patterns: Refactoring Test Code. Boston: Addison-Wesley, 2007, с. 650
8. Гомер С., Бассі Б., Брук П., Шу А. Автоматизація тестування програмного забезпечення: Методи, інструменти та підходи. Київ: Видавництво "Вільямс", 2011.
9. Деніел Сітунаяке, Джені Планкет, "AI at the age" 2023, с. 150-200.
10. Майк Конб, "Оцінювання і планування в Agile 2019, с. 336.



11. Арон Аксельрод, "Complite guide to test automation", с. 600, 2018.
12. Ліза Кріспін, "Agile testing: A practical guide for testers and agile teams" 2008, с. 521
13. Сила штучного інтелекту в тестуванні продуктивності додатк. <https://www.applicationperformancetesting.com/uk/the-power-of-ai-in-application-performance-testing.html>
14. Використання штучного інтелекту для спрощеного тестування програмного забезпечення в CI/CD конвеєрах. <https://peerdh.com/uk/blogs/programming-insights/harnessing-artificial-intelligence-for-streamlined-software-testing-in-ci-cd-pipelines>

References:

1. Introducing ChatGPT and Whisper APIs. <https://openai.com/blog/introducing-chatgpt-and-whisper-apis>.
2. Automating and Optimizing Software Testing using Artificial Intelligence Techniques, 2021. https://thesai.org/Downloads/Volume12No5/Paper_71-Automating_and_Optimizing_Software_Testing.pdf.
3. Page Object Models. Access mode: https://www.selenium.dev/documentation/test_practices/encouraged/page_object_models/.
4. Watir Documentation. <http://watir.com/>.
5. Martin R. Clean Code: A Handbook of Agile Software Craftsmanship. Kyiv: Orion Publishing, 2019, p. 455.
6. Richardson A. Selenium Simplified: A Guide to Web Testing Automation. London: Compendium Developments, 2012, p. 380.
7. Meszaros G. xUnit Test Patterns: Refactoring Test Code. Boston: Addison-Wesley, 2007, p. 650.
8. Homer S., Bassi B., Brooke P., Hsu A. Software Testing Automation: Methods, Tools, and Approaches. Kyiv: Williams Publishing, 2011.
9. Situnayake D., Plunkett J. AI at the Age, 2023, p. 150-200.
10. Mike Cohn. Agile Estimating and Planning, 2019, p. 336.
11. Aron Axelrod. Complete Guide to Test Automation, 2018, p. 600.
12. Lisa Crispin. Agile Testing: A Practical Guide for Testers and Agile Teams, 2008, p. 521.
13. The Power of AI in Application Performance Testing. <https://www.applicationperformancetesting.com/uk/the-power-of-ai-in-application-performance-testing.html>.
14. Harnessing Artificial Intelligence for Streamlined Software Testing in CI/CD Pipelines. <https://peerdh.com/uk/blogs/programming-insights/harnessing-artificial-intelligence-for-streamlined-software-testing-in-ci-cd-pipelines>.

Abstract. This paper examines the theoretical aspects of applying artificial intelligence (AI) to automate software testing. Given the rapidly increasing complexity of software systems and the need to accelerate development cycles, test automation has become critically important. The article reviews current technologies and approaches, such as using machine learning to predict defects, applying computer vision for user interface testing, and generating test cases through neural networks. Special attention is paid to analyzing the advantages and disadvantages of each method, as well as the theoretical possibilities of integrating these technologies into software testing processes. Finally, the prospects and future directions of AI development in the field of test automation are discussed. The findings demonstrate the significant potential of AI to enhance the quality and efficiency of testing processes, making this area promising for further research and implementation.

Keywords: testing, test automation, AI, test documentation, testing optimization



УДК 72.023

USE OF AERATED CONCRETE AS A BASIS FOR INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS: ANALYSIS OF THERMAL INSULATION PROPERTIES AND ENVIRONMENTAL EFFICIENCY**ВИКОРИСТАННЯ ГАЗОБЕТОНУ ЯК ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ: АНАЛІЗ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ****Klymchuk Dmytro / Климчук Дмитро**

ORCID: 0009-0007-9756-6260

Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhya, st. University, 66

Запорізький національний університет, м. Запоріжжя, вул. Університетська, 66

Анотація. В статті досліджуються теплоізоляційні та екологічні властивості газобетону, який стає дедалі популярнішим матеріалом у сучасному будівництві. Зважаючи на зростаючі вимоги до енергоефективності та екологічної безпеки будівель, газобетон розглядається як матеріал, що забезпечує ефективну теплоізоляцію завдяки своїй пористій структурі. У роботі аналізується вплив газобетону на зниження тепловтрат, підтримку стабільного температурного режиму в приміщеннях і загальне зниження енергоспоживання. Також розглядаються екологічні аспекти, включаючи низьку енергоємність виробництва, відсутність токсичних речовин та можливість вторинної переробки газобетону після завершення експлуатаційного терміну будівлі. Наведені дані підтверджують доцільність використання газобетону як основного матеріалу для енергоефективного і екологічного будівництва, що відповідає сучасним стандартам сталого розвитку. Підкреслюється його потенціал для зниження викидів парникових газів та мінімізації впливу на навколишнє середовище.

Ключові слова: газобетон, теплоізоляція, енергоефективність, екологічність, будівництво, переробка, сталий розвиток.

Вступ.

Енергетична ефективність є однією з ключових тем сучасного будівництва, оскільки підвищення енергоефективності будівель не лише сприяє зниженню витрат на опалення і кондиціювання, а й допомагає скоротити загальні викиди парникових газів, що вкрай важливо в умовах глобальної зміни клімату. У цьому контексті використання будівельних матеріалів з високими теплоізоляційними властивостями стає важливим аспектом у зведенні енергоефективних конструкцій. Газобетон є одним із таких матеріалів, оскільки його пориста структура забезпечує низьку теплопровідність, а відтак і значну економію енергоресурсів.

Ідея створення легкого пористого бетону виникла ще на початку ХХ століття у відповідь на потребу будівельної індустрії в матеріалах з покращеними теплоізоляційними властивостями. Вперше технологія виробництва газобетону була розроблена у Швеції в 1924 році інженером Акселем Ерікссоном, який працював над створенням матеріалу, здатного поєднувати теплоізоляційні характеристики з міцністю звичайного бетону. Ерікссон виявив, що введення алюмінієвого порошку до складу бетонної суміші спричиняє виділення газу, який утворює бульбашки всередині матеріалу. Це дозволяє отримати пористу структуру, яка значно знижує теплопровідність і



робить матеріал легким, що в подальшому позитивно впливає на процес будівництва та експлуатацію будівель.

З 1930-х років газобетон почав набувати популярності в Європі, особливо в північних країнах, де утеплення будівель було важливим фактором через суворі кліматичні умови. Згодом технологія поширилася і на інші регіони, зокрема на СРСР, де матеріал став використовуватися для зведення багатоповерхових і промислових споруд. Сьогодні газобетон широко застосовується в усьому світі як для житлового, так і для комерційного будівництва завдяки своїм енергоефективним та екологічним характеристикам.

Газобетон відрізняється унікальною пористою структурою, яка забезпечує йому високі теплоізоляційні властивості. Пористість матеріалу досягається за рахунок введення газоутворюючих речовин, таких як алюмінієвий порошок, у процесі його виготовлення. У результаті хімічної реакції між алюмінієвим порошком і водою виділяється водень, що утворює в бетоні пори, заповнені повітрям. Ці повітряні бульбашки виступають як теплоізолятор, оскільки повітря є поганим провідником тепла. Це дозволяє значно знизити рівень теплопровідності матеріалу, що робить газобетон одним з найефективніших будівельних матеріалів з погляду енергозбереження.

Завдяки низькій теплопровідності газобетон сприяє збереженню стабільного температурного режиму всередині приміщень, знижуючи тепловтрати взимку та запобігаючи перегріванню влітку. В порівнянні з іншими матеріалами, такими як цегла чи бетон, газобетон має в 3-5 разів нижчу теплопровідність, що дозволяє суттєво знижувати витрати на опалення. Ця властивість стає особливо важливою у кліматичних зонах з великими перепадами температур, де підтримка комфортного клімату в приміщеннях є пріоритетом.

У сучасному будівництві екологічні аспекти матеріалів відіграють дедалі більшу роль, оскільки націлені на зменшення впливу на довкілля. Газобетон не лише сприяє енергозбереженню, але й має значні екологічні переваги протягом всього життєвого циклу. По-перше, процес виробництва газобетону є менш енергоємним у порівнянні з традиційними матеріалами, такими як цегла чи бетон, що знижує рівень викидів CO₂ в атмосферу. По-друге, газобетон не містить токсичних речовин і не виділяє шкідливих для здоров'я людини випарів під час експлуатації, що робить його безпечним для внутрішнього середовища приміщень.

Також важливо зазначити, що газобетон піддається рециклюванню, що дозволяє мінімізувати кількість будівельних відходів та сприяє реалізації принципів сталого будівництва. Використання матеріалів, які можна переробляти або утилізувати без шкоди для довкілля, є важливим кроком у напрямку зменшення навантаження на звалища та збереження природних ресурсів.

Актуальність вивчення газобетону як будівельного матеріалу полягає у його потенціалі для створення енергоефективних та екологічних будівель. У зв'язку зі зростанням світових цін на енергоносії, підвищенням екологічних вимог до будівництва та поширенням енергозберігаючих стандартів, дослідження та



розвиток нових методів використання газобетону є надзвичайно важливими. У світлі сучасних тенденцій до зменшення тепловтрат та зниження енергоспоживання, газобетон має значний потенціал для заміни традиційних матеріалів у будівництві.

Основною метою цієї роботи є аналіз теплоізоляційних і екологічних властивостей газобетону як матеріалу, здатного підвищити енергоефективність будівель. Серед ключових завдань дослідження — визначення теплоізоляційних характеристик газобетону, порівняння його з іншими популярними будівельними матеріалами, а також оцінка екологічних переваг газобетону, які роблять його привабливим з погляду сталого розвитку.

Аналіз літературних джерел.

У науковій літературі широко висвітлюється значення теплоізоляційних матеріалів для підвищення енергоефективності будівель. За даними досліджень [1,2,3], теплоізоляційні матеріали можуть зменшити тепловтрати до 40-50%, що є значним показником у будівлях з недостатньою ізоляцією. Основними матеріалами, що застосовуються в сучасному будівництві, є мінеральна вата, скловата, пінополістирол і газобетон. Газобетон вирізняється тим, що об'єднує теплоізоляційні властивості та структурну міцність, що дозволяє використовувати його не тільки як ізоляційний матеріал, але і як основний будівельний компонент стін і перекриттів [3].

Газобетон, зокрема, привернув увагу дослідників своєю унікальною структурою та властивостями. Як зазначено у роботах [3, 4] та [5], газобетон має пористу структуру, яка забезпечує високу теплоізоляцію при відносно невеликій вазі матеріалу. Пори, що утворюються в процесі виготовлення газобетону, містять повітря, яке є відмінним теплоізолятором. Це значно знижує теплопровідність матеріалу, роблячи його придатним для використання в умовах як низьких, так і високих температур. Дослідження [6] також підтверджують, що газобетон здатен підтримувати стабільний клімат всередині будівель, забезпечуючи ефективну теплоізоляцію.

У роботах [7, 8] описані основні фізичні характеристики газобетону, такі як міцність, легкість і простота монтажу. Згідно з висновками [7], застосування газобетону особливо вигідне у висотному будівництві, де потрібні матеріали з низькою вагою та високими теплоізоляційними властивостями. Це дозволяє зменшити навантаження на фундамент і водночас знижує тепловтрати.

Екологічна ефективність будівельних матеріалів стає все більш важливим аспектом у сучасному будівництві. Дослідження показують, що процес виробництва газобетону потребує менше енергії порівняно з традиційними будівельними матеріалами, такими як бетон та цегла [9]. За даними, наведені в [10], газобетон також має низький рівень викидів CO₂ під час виробництва, що робить його екологічно безпечнішим. Крім того, матеріал не містить токсичних речовин, а отже, є безпечним для довкілля і здоров'я людини.

Дослідження [11] також свідчать про те, що газобетон можна утилізувати або переробляти після завершення експлуатаційного періоду, що сприяє зменшенню кількості будівельних відходів. Ця особливість є важливою з огляду на зростаючу проблему забруднення відходами, і робить газобетон матеріалом,



придатним для сталого будівництва.

У порівнянні з іншими будівельними матеріалами, такими як цегла та звичайний бетон, газобетон має певні переваги. Наприклад, робота [12] вказує на те, що газобетон є легшим і простішим у використанні, що дозволяє знижувати витрати на монтаж та скорочувати загальні витрати на будівництво. Теплопровідність газобетону нижча, ніж у цегли, що робить його ефективнішим для ізоляції тепла в будівлях з помірним та холодним кліматом.

Дослідження [13] підтверджує, що газобетон перевершує традиційні матеріали з точки зору енергоефективності. Зокрема, він забезпечує кращу теплоізоляцію, що дозволяє знижувати витрати на опалення взимку і кондиціонування влітку. У роботах [13,14] також наводиться порівняння з деревиною, яка також має добрі теплоізоляційні характеристики, проте потребує більшої обробки і догляду та є менш стійкою до погодних умов у порівнянні з газобетоном.

В останні роки з'являється все більше досліджень, присвячених впливу газобетону на енергозбереження. Згідно [14], у будівлях з використанням газобетону витрати на опалення можуть знижуватися на 30-40%, що є вагомим аргументом для його впровадження у масове будівництво. Крім того, дослідження [15] підтверджують, що в умовах різких кліматичних змін газобетон допомагає підтримувати стабільну температуру в приміщенні, знижуючи потребу в додатковому опаленні чи охолодженні.

Таким чином, сучасні літературні джерела підкреслюють численні переваги газобетону в якості матеріалу для енергоефективного та екологічного будівництва. Його теплоізоляційні та екологічні властивості дозволяють знижувати тепловтрати, забезпечуючи комфортний клімат у приміщеннях і знижуючи загальне енергоспоживання. Подальше дослідження газобетону є необхідним для оптимізації його використання в умовах сучасного будівництва, особливо з урахуванням глобальних цілей сталого розвитку.

1. Аналіз теплоізоляційних властивостей газобетону

Газобетон, завдяки своїм унікальним властивостям, вважається одним із найбільш ефективних матеріалів для забезпечення теплоізоляції у будівництві. Його пориста структура дозволяє зберігати тепло, запобігаючи надмірним тепловтратам узимку та сприяючи підтриманню комфортної температури влітку. У цьому розділі розглянемо основні аспекти, які визначають теплоізоляційні характеристики газобетону, включаючи його фізичну структуру, показники теплопровідності, а також порівняння з іншими матеріалами.

Газобетон відрізняється високою пористістю, що є ключовим фактором його теплоізоляційних властивостей. Пори, які складають від 70% до 85% об'єму матеріалу, утворюються під час виробництва шляхом додавання до суміші газоутворюючих компонентів, зокрема алюмінієвого порошку. При взаємодії з водою алюмінієвий порошок виділяє водень, який формує систему повітряних бульбашок. Ці бульбашки залишаються замкненими всередині матеріалу та утворюють ізолююче середовище, оскільки повітря, яке міститься в порах, є одним із найкращих ізоляторів тепла. Ця пориста структура значно знижує теплопровідність матеріалу, перетворюючи газобетон на ефективний



теплоізоляційний матеріал.

Важливо розуміти, що саме повітря в порах є основним ізолятором, оскільки воно має надзвичайно низьку теплопровідність. За рахунок цього газобетон забезпечує значне зниження рівня теплових втрат у будівлях, що особливо важливо в холодному кліматі. Пориста структура також сприяє регуляції температури у приміщенні, зменшуючи потребу у штучному опаленні або охолодженні.

Теплопровідність є ключовим показником теплоізоляційних властивостей матеріалу. Теплопровідність газобетону варіюється в залежності від щільності, однак у більшості випадків вона становить 0,09-0,18 Вт/(м·К). Це значно нижче, ніж у традиційних матеріалів, таких як цегла (0,56-0,88 Вт/(м·К)) або бетон (1,2-1,7 Вт/(м·К)). Чим менший показник теплопровідності, тим краще матеріал утримує тепло. Наприклад, щільність газобетону класу D400 (400 кг/м³) дозволяє досягти значної теплоізоляції без необхідності додаткових утеплювачів.

Завдяки цьому будівлі, побудовані з газобетону, потребують менше енергії для підтримки комфортної температури в приміщеннях, що призводить до значної економії витрат на опалення та кондиціонування. Дослідження показують, що газобетон може знижувати тепловтрати в будівлях на 30-40% у порівнянні з будівлями, виконаними з традиційних матеріалів. Це дозволяє створювати енергоефективні будівлі, які відповідають сучасним стандартам енергозбереження.

Щільність газобетону є важливим фактором, який впливає на його теплоізоляційні показники. Газобетон доступний у різних класах щільності, від D300 до D800, де кожне збільшення щільності супроводжується покращенням міцності, але зниженням теплоізоляційних властивостей. Для досягнення оптимального балансу між міцністю та теплоізоляцією найчастіше використовують газобетон класів D400-D500 для зовнішніх стін, оскільки він забезпечує належну теплоізоляцію при достатній міцності для витримування будівельних навантажень.

Газобетон з нижчою щільністю, наприклад, класу D300, має кращі теплоізоляційні властивості, однак його механічна міцність обмежена, тому він частіше використовується для внутрішніх перегородок або комбінованих стін. Вибір щільності матеріалу залежить від конкретних вимог проекту, кліматичних умов і необхідності досягнення високих показників енергоефективності.

Порівняльний аналіз теплоізоляційних властивостей газобетону з іншими будівельними матеріалами, такими як цегла, звичайний бетон і пінобетон, показує його явні переваги. Наприклад, звичайна цегла, яка часто використовується для будівництва стін, має набагато вищу теплопровідність, що робить її менш ефективною в утриманні тепла. Використання цегли як єдиного матеріалу в стінах призводить до необхідності застосування додаткового утеплення для досягнення бажаного рівня енергозбереження.

Пінобетон також є легким бетонним матеріалом з пористою структурою, однак він має інші хімічні та фізичні характеристики, що можуть впливати на його теплоізоляційні властивості. Хоча пінобетон також може забезпечувати достатній рівень теплоізоляції, газобетон перевершує його за показниками



стабільності розмірів та міцності. Завдяки комбінації низької теплопровідності та високої міцності газобетон стає ідеальним матеріалом для будівництва зовнішніх стін.

Пористість газобетону має великий вплив на його теплоізоляційні характеристики. Як правило, чим вищий відсоток пористості, тим нижча теплопровідність матеріалу. Це пояснюється тим, що більша кількість пор заповнена повітрям, яке, в свою чергу, перешкоджає перенесенню тепла. У більшості комерційних газобетонних блоків рівень пористості становить близько 75-85%. Така висока пористість не тільки знижує теплопровідність, але й робить матеріал легким і зручним у транспортуванні та монтажі.

Важливо зазначити, що пори в газобетоні є замкненими, тобто не утворюють наскрізних каналів. Це запобігає проникненню вологи, яка могла б значно знизити теплоізоляційні властивості матеріалу. Таким чином, газобетон є не лише ефективним теплоізолятором, а й матеріалом з хорошими показниками вологостійкості, що є важливим для зовнішніх стін і конструкцій, схильних до атмосферних впливів.

Однією з ключових переваг газобетону є його здатність підтримувати стабільний температурний режим у приміщенні. Завдяки низькій теплопровідності, газобетон зменшує швидкість передачі тепла через стіни, що сприяє підтриманню комфортного мікроклімату всередині приміщень. У зимовий період газобетонні стіни утримують тепло, знижуючи витрати на опалення, тоді як влітку вони перешкоджають надмірному нагріванню приміщень, що зменшує потребу у використанні систем кондиціонування.

Ця властивість є особливо важливою у регіонах з великими температурними коливаннями, де будівлі повинні адаптуватися до різних умов протягом року. Дослідження показують, що у будівлях, виконаних з газобетону, середня температура коливається менше, ніж у будівлях з традиційних матеріалів, що підвищує комфорт для мешканців та знижує навантаження на інженерні системи будівлі.

Завдяки високій теплоізоляційній здатності газобетону, будівлі, зведені з цього матеріалу, потребують менше енергії для опалення та охолодження, що призводить до зниження витрат на експлуатацію. У деяких випадках економія на опаленні та кондиціонуванні може досягати до 40% порівняно з будівлями з традиційних матеріалів, таких як цегла або бетон. Ця економія є вагомим фактором у довгостроковій перспективі, що робить газобетон привабливим вибором для енергоефективного будівництва.

Таким чином, завдяки своїм теплоізоляційним властивостям, газобетон є ефективним матеріалом для сучасного будівництва, який сприяє зниженню енергоспоживання та підвищенню енергоефективності будівель.

2. Екологічна ефективність газобетону

Екологічна ефективність будівельних матеріалів набуває дедалі більшого значення у світлі глобальних екологічних викликів та прагнення до сталого розвитку. Газобетон — це матеріал, який відповідає багатьом критеріям екологічної ефективності завдяки своїм характеристикам, технології виробництва та можливості до переробки. У цьому розділі розглянемо екологічні



переваги газобетону, його виробництво, вплив на навколишнє середовище в процесі використання, а також потенціал для утилізації та вторинної переробки.

Процес виробництва будівельних матеріалів часто пов'язаний зі значними енергетичними витратами та викидами вуглекислого газу (CO_2) в атмосферу. Для виробництва газобетону потрібна менша кількість енергії порівняно з такими матеріалами, як звичайний бетон чи цегла, що робить його більш екологічно дружнім вибором. Основні компоненти, які використовуються для виробництва газобетону, включають цемент, вапно, гіпс, пісок, воду та алюмінієвий порошок як газоутворювач. Всі ці матеріали є доступними та менш енергоємними у видобутку і переробці, що зменшує загальні витрати енергії на виробництво газобетону.

Дослідження показують, що викиди CO_2 у процесі виготовлення газобетону значно нижчі, ніж у виробництві традиційних матеріалів. Цемент і вапно, які є основними компонентами газобетону, виробляються з використанням сучасних технологій, що дозволяють мінімізувати їхній негативний вплив на навколишнє середовище. Крім того, низька енергоємність виробництва газобетону сприяє зменшенню загального вуглецевого сліду будівель, що важливо в умовах посилення вимог до зниження парникових викидів.

Окремо варто зазначити, що під час виробництва газобетону не використовуються токсичні речовини, а процес виробництва не виділяє шкідливих для здоров'я людини випарів. Це робить газобетон безпечним матеріалом як для будівельників, так і для кінцевих споживачів, що знаходяться у приміщеннях, побудованих з цього матеріалу.

Переваги газобетону з точки зору екології не обмежуються його виробництвом, оскільки його використання також має низку екологічних вигод. По-перше, високі теплоізоляційні властивості газобетону сприяють значному зниженню споживання енергії на опалення і кондиціонування будівель. Зменшення енергоспоживання безпосередньо знижує викиди CO_2 , які утворюються при виробництві електроенергії або спалюванні палива для обігріву, що позитивно позначається на довкіллі.

По-друге, будівлі з газобетону потребують менше утеплювальних матеріалів, оскільки газобетон сам по собі має низьку теплопровідність. Це знижує потребу в додаткових шарах ізоляції, які можуть містити синтетичні матеріали та виділяти шкідливі речовини. У результаті, використання газобетону дозволяє скоротити використання ресурсів і зменшити кількість відходів при будівництві.

Варто також відзначити, що газобетон має гарні показники паропроникності, що дозволяє стінам “дихати” і забезпечувати здоровий мікроклімат у приміщеннях. Вологість, що накопичується всередині приміщень, легко проникає крізь стіни з газобетону, що сприяє зниженню утворення плісняви та грибків. Це, своєю чергою, сприяє поліпшенню якості повітря в приміщеннях і створенню здорового середовища для мешканців.

Переробка та утилізація будівельних матеріалів є ключовими аспектами сталого будівництва. Газобетон має високий потенціал до вторинної переробки, що робить його одним з екологічно ефективних матеріалів у цьому плані. На



відміну від багатьох інших будівельних матеріалів, газобетон можна легко переробити після закінчення терміну експлуатації будівлі. Залишки газобетону можна подрібнювати і використовувати як заповнювач для виробництва нових блоків або для інших будівельних потреб.

Процес утилізації газобетону не вимагає складних і дорогих технологій, оскільки матеріал є екологічно чистим і не виділяє шкідливих речовин навіть після довготривалого використання. Подрібнений газобетон може використовуватися в якості добавок для виготовлення інших видів легкого бетону або як дренажний матеріал. Таким чином, використання переробленого газобетону може знижувати попит на нові природні ресурси, зменшувати обсяг будівельних відходів та сприяти збереженню навколишнього середовища.

Більш того, вторинна переробка газобетону знижує вуглецевий слід матеріалу за весь його життєвий цикл. Вторинне використання знижує потребу в енергії для виробництва нових блоків, що сприяє зниженню загальних екологічних витрат будівництва. Це відповідає принципам циркулярної економіки, яка спрямована на повторне використання ресурсів і зменшення кількості відходів.

Газобетон є одним із матеріалів, що відповідає концепції сталого будівництва. Його теплоізоляційні властивості та екологічний вплив роблять його придатним для будівель, що відповідають сучасним вимогам енергозбереження і екологічної безпеки. Завдяки високій енергоефективності, зниженню потреби в додатковому утепленні, можливості переробки та утилізації, газобетон стає одним з найбільш перспективних матеріалів для будівництва «зелених» будівель, які сприяють мінімізації негативного впливу на довкілля.

Сьогодні газобетон все більше використовується у будівництві житлових і комерційних будівель, особливо у тих країнах, де дотримуються суворих норм і стандартів енергоефективності. Його застосування відповідає міжнародним стандартам і сертифікаційним системам, таким як LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) та BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), які стимулюють використання екологічних матеріалів та підвищення енергоефективності будівель.

Газобетон є високоефективним з погляду екології матеріалом, який має значні переваги на всіх етапах життєвого циклу — від виробництва до переробки. Його низька енергоємність у виробництві, відсутність токсичних речовин, здатність знижувати споживання енергії в будівлях, а також можливість вторинної переробки роблять його оптимальним вибором для сталого будівництва. У контексті сучасних екологічних викликів газобетон може стати важливим елементом у створенні енергоефективних, екологічно безпечних будівель, які відповідають стандартам сталого розвитку.

Таким чином, екологічна ефективність газобетону в сучасному будівництві не лише сприяє збереженню природних ресурсів, але й відповідає потребам глобального переходу до екологічно безпечного та енергоефективного будівництва.



Висновки

Газобетон є одним із найбільш перспективних матеріалів для забезпечення енергоефективності та екологічної ефективності будівель, що є надзвичайно актуальним у світлі сучасних екологічних викликів. Завдяки пористій структурі газобетон має високі теплоізоляційні властивості, що дозволяє значно знизити тепловтрати через стіни будівель та сприяє економії енергії на опалення в холодний сезон і кондиціонування в теплий. У порівнянні з традиційними матеріалами, такими як цегла чи бетон, газобетон забезпечує кращу ізоляцію за рахунок зниженої теплопровідності, що робить його особливо придатним для регіонів із великими температурними коливаннями.

Екологічна ефективність газобетону визначається також низькою енергоємністю його виробництва: процес виготовлення цього матеріалу вимагає менше енергетичних витрат, ніж виробництво цегли чи бетону, що призводить до зниження викидів CO₂. Крім того, газобетон є безпечним для довкілля, оскільки не містить токсичних компонентів і не виділяє шкідливих речовин під час експлуатації, що позитивно впливає на якість повітря у приміщеннях. Ще однією важливою перевагою є здатність газобетону до переробки, що сприяє зменшенню обсягів будівельних відходів та підтримці принципів циркулярної економіки, спрямованої на повторне використання ресурсів.

Використання газобетону також відповідає вимогам сучасного сталого будівництва та сертифікаційним стандартам, таким як LEED та BREEAM, що стимулюють застосування екологічних матеріалів у будівельних проектах. Завдяки своїм теплоізоляційним, екологічним і технічним характеристикам, газобетон сприяє створенню комфортного та безпечного середовища для мешканців, одночасно знижуючи витрати на енергоносії.

Таким чином, газобетон є ефективним і перспективним матеріалом для сучасного будівництва, який дозволяє досягти високих показників енергоефективності, зменшити вплив на довкілля і забезпечити комфортні умови проживання. Його застосування в будівельній галузі відповідає глобальним цілям сталого розвитку, що робить газобетон оптимальним вибором для екологічно відповідальних будівельних проектів.

Література:

1. Будівельні матеріали та їх поведінка в умовах високих температур : навч. посібник для пожежно-техн. навч. закладів./ Укладачі: А. С. Пушкаренко, О. В. Васильченко – Харків : АПБУ, 2000.– 146 с.
2. Narayanan N., Ramamurthy K. Structure and properties of aerated concrete: a review //Cement and Concrete composites. – 2000. – Т. 22. – №. 5. – С. 321-329.
3. Asadi I. et al. Thermal conductivity of concrete–A review //Journal of Building Engineering. – 2018. – Т. 20. – С. 81-93.
4. Kalpana M., Mohith S. Study on autoclaved aerated concrete //Materials Today: Proceedings. – 2020. – Т. 22. – С. 894-896.
5. Qu X., Zhao X. Previous and present investigations on the components, microstructure and main properties of autoclaved aerated concrete–A review //Construction and Building Materials. – 2017. – Т. 135. – С. 505-516.



6. Hamad A. J. Materials, production, properties and application of aerated lightweight concrete //International journal of materials science and engineering. – 2014. – Т. 2. – №. 2. – С. 152-157.
7. Mitsuda T., Sasaki K., Ishida H. Phase evolution during autoclaving process of aerated concrete //Journal of the American Ceramic Society. – 1992. – Т. 75. – №. 7. – С. 1858-1863.
8. Karakurt C., Kurama H., Topcu I. B. Utilization of natural zeolite in aerated concrete production //Cement and Concrete Composites. – 2010. – Т. 32. – №. 1. – С. 1-8.
9. Біда О. А., Попов Г. А. ЕКОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ //НАУКА–ВИРОБНИЦТВУ, 2014. – 2014. – С. 145.
10. Ткачук В. В., Прядко О. А. Екологічні властивості будівельних матеріалів //Товарознавчий вісник. – 2018. – №. 11. – С. 142-151.
11. Bonakdar A., Babbitt F., Mobasher B. Physical and mechanical characterization of fiber-reinforced aerated concrete (FRAC) //Cement and Concrete Composites. – 2013. – Т. 38. – С. 82-91.
12. Gyurkó Z. et al. Sustainable applications for utilization the construction waste of aerated concrete //Journal of cleaner production. – 2019. – Т. 230. – С. 430-444.
13. Sethy K., Nayak G., Nanda S. Aerated concrete: a revolutionary construction material //International Journal of Engineering Technology Science and Research. – 2018. – Т. 5. – №. 4. – С. 988-993.
14. Ramamurthy K., Narayanan N. Factors influencing the density and compressive strength of aerated concrete //Magazine of Concrete Research. – 2000. – Т. 52. – №. 3. – С. 163-168.
15. Matsushita F., Aono Y., Shibata S. Carbonation degree of autoclaved aerated concrete //Cement and concrete research. – 2000. – Т. 30. – №. 11. – С. 1741-1745.

Abstract. *This paper investigates the thermal insulation and environmental properties of aerated concrete, an increasingly popular building material in modern construction due to its advantageous thermal performance and sustainability profile. Given the heightened global demands for energy efficiency and environmental safety, aerated concrete is analyzed as a material that meets these needs through its unique porous structure, which effectively reduces heat loss and helps maintain stable indoor temperatures across seasonal variations. This inherent insulation capability positions aerated concrete as a valuable material for reducing building energy consumption and operational costs.*

In addition to its thermal properties, the paper examines the environmental impacts of aerated concrete throughout its life cycle. Compared to traditional materials such as brick and conventional concrete, aerated concrete requires less energy in its production, emits lower levels of carbon dioxide, and is free from harmful substances, thus reducing its ecological footprint. Its recyclability is another significant advantage; at the end of a building's life cycle, aerated concrete can be processed and repurposed for new construction applications, supporting a circular economy. This attribute not only minimizes construction waste but also promotes the sustainable reuse of building resources, aligning with current green building standards and certifications such as LEED and BREEAM.

The paper also provides a historical context, tracing the development of aerated concrete from its inception in the early 20th century to its present role in energy-efficient construction. Through comparative analysis with conventional building materials, the study illustrates that aerated concrete's lower thermal conductivity contributes significantly to reducing heating and cooling



demands. By enhancing energy conservation and reducing greenhouse gas emissions, aerated concrete emerges as a strategic choice for environmentally responsible construction. Overall, the findings support aerated concrete's role as a sustainable building material, with practical implications for reducing the environmental impact of the construction industry and achieving global sustainable development goals.

Key words: *aerated concrete, thermal insulation, energy efficiency, sustainability, construction, recycling, environmental impact.*



УДК 624.04

FETURES OF PROTECTIVE STRUCTURE DESIGN DUAL PURPOSE ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ЗАХИСНОЇ СПОРУДИ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Slobodianyuk H. V. / Слободяник Г. В.

c.t.s., docent. / к.т.н., доцент

ORCID: 0000-0002-1453-6290

Kuyemzhi P.V. / Куємжи П.В.

student / студент

Odessa National Maritime University, Odessa, Mechnikova, 34, 65029

Одеський національний морський університет, Одеса, вул. Мечникова, 34, 65029

Анотація. В даний час проєктування та будівництво захисних споруд надзвичайно актуально в умовах воєнного стану. Проведено аналіз основних положень ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту» в розділі конструктивних рішень, що протерпіли змін. На прикладі запроєктованої захисної споруди цивільного захисту на 300 чоловік була розроблена конструктивна схема споруди та проведено розрахунок на аварійну комбінацію навантажень з врахуванням квазістатичного навантаження від дії повітряної ударної хвилі. Також приведені перевірки на пробиття уламками засобів звичайного враження та утворення вторинної фрагментації. Розроблені вузли армування основних елементів захисної споруди з урахуванням вимог чинних норм.

Ключові слова: сховище, укриття, надмірний тиск повітряної ударної хвилі, проникнення та вторинне сколювання.

Вступ. На сьогодні є найбільш поширеним видом захисних споруд цивільного захисту «споруди подвійного призначення із захисними властивостями укриття», оскільки відповідно до чинного законодавства України укриттю у таких спорудах підлягає близько 90% населення.

На практиці при проєктуванні нових захисних споруд цивільного захисту з'явилося багато питань, найважливіші з яких - призначення захисної споруди та визначення захисних властивостей. Порівняно з укриттям, сховище є значно складнішою та більш затратною захисною спорудою цивільного захисту, а укриття в ньому передбачається організовувати виключно для окремих категорій населення, наприклад, для персоналу об'єктів критичної інфраструктури, які в силу особливостей технологічного процесу не мають можливості покинути такі об'єкти.

Враховуючи відсутність достатньої кількості захисних споруд цивільного захисту та споруд подвійного призначення і нагальну потребу в нарощуванні фонду захисних споруд, в особливий період (в умовах війни) основна увага мала б бути приділена прискореному будівництву саме укриттів або споруд подвійного призначення із відповідними захисними властивостями [1].

ДБН В.2.2-5:97 «Захисні споруди цивільного захисту» з Змінами №1 (чинна з 01.10.2006), №2 (чинна з 01.04.2012), №3 (чинна з 01.08.2018), №4 та Додаток 1 (чинні з 01.08.2019). Київ, Мінбуд України, 1998. 125 с. (Національний стандарт України) не відповідав сучасним вимогам після введення в Україні воєнного стану. З листопада 2023 року вступив в дію ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту» [2, 3].



Але ДБН В.2.2-5:2023 фактично урівнює за вимогами норми до проектування для будівництва сховищ та укриттів, зокрема, щодо їх захисних властивостей, і не передбачає створення швидкоспоруджувальних захисних споруд цивільного захисту. Все це ускладнює процес створення захисних споруд, збільшує необхідний для їх будівництва час та підвищує їх вартість.

Викладення основного матеріалу. У цій роботі приділена увага змінам в ДБН В.2.2-5:2023, які стосуються розділу конструктивних рішень. Основними моментами для змін у розділі конструктивних рішень були:

1. Прописано поняття «сховища» та «укриття», «споруди подвійного призначення із захисними властивостями сховищ або протирадіаційних укриттів».

2. Захисні споруди та споруди подвійного призначення проектується та будуються таким чином, щоб протягом певного часу (до 48 годин) створити належні умови для перебування людей, що підлягають укриттю, та забезпечити їх захист шляхом виключення або зменшення прогнозованих впливів небезпечних чинників, які можуть виникнути як складова частина небезпечних явищ надзвичайної ситуації, воєнних (бойових) дій та терористичних актів.

3. В таблиці 1 та 2 Додатка А при розподілі сховищ та укриттів на класи та групи були змінені навантаження від надмірного тиску повітряної ударної хвилі ΔP_{ex} в залежності від розміщення цих споруд на місцевості.

4. Для окремо розташованих захисних споруд та споруд подвійного призначення рекомендовано влаштовувати по периметру та зверху додаткове покриття ґрунтом або іншим сипучим матеріалом шаром не менше ніж 0,8 м і влаштуванням по верху твердого покриття або екрана.

5. Введення поняття граничне розрахункове значення квазістатичного навантаження $q_{\text{ex.d}}$.

6. Додано розділ «Проникнення та вторинне сколювання». В якому вказано, що в ході проектування зовнішніх стін, покриття, конструкцій тамбурів, тамбур-шлюзів, захисних стін-екранів, конструкцій аварійних виходів слід виконувати їх перевірку на пробиття (проникнення) уламками засобів звичайного враження, а також на утворення вторинної фрагментації (сколювання бетону на внутрішній поверхні) зазначених конструкцій.

Встановленні мінімальні товщини конструкцій, що здатні у достатній мірі мінімізувати стійкість конструкцій до проникнення при виконанні її у один шар, а також приведена формула та таблиця для визначення приведеної товщини елементів всіх шарів конструкції. Також приведені умови, які повинні бути виконанні для запобігання проникненню уламків та уникнення явища вторинної фрагментації.

7. З метою зменшення вірогідності проникнення та збільшення опору конструкції вторинному сколюванню у всіх залізобетонних елементах зазначених у 14.2.3.1 армування приймається по розрахунку, але не менше ніж 3 ряди сіток із зміщенням чарунок одна відносно іншої на 1/3 кроку чарунки. Захисний шар бетону із сторони внутрішньої поверхні повинен становити не менше ніж 25 мм та не більше ніж 40 мм. Крок стрижнів у сітках у поздовжньому та поперечному напрямках повинні становити не більше ніж 150 мм.



Мінімальний діаметр стрижнів сіток 12 мм. Сітки повинні бути рознесені по товщині перерізу конструкції на відстань не менше 50 мм між сітками у проєкті.

У цій роботі розглядається захисна споруда цивільного захисту розміром в плані 57,0х21,7м, умовна висота будівлі 2,700. За умовну позначку 0,000 прийнято рівень чистої підлоги першого поверху, що відповідає абсолютній відмітці 44,850 м. Укриття площею 1140м² розраховано на 300 чоловік (рис. 1). В укритті передбачено приміщення для зберігання продуктів, брудного одягу, санвузли (у тому числі для маломобільних груп), медпункт, приміщення баків запасу води, вентиляційна камера, електрощитова. Входи в підвальні приміщення – за індивідуальними сходами – у кількості 3 штук.

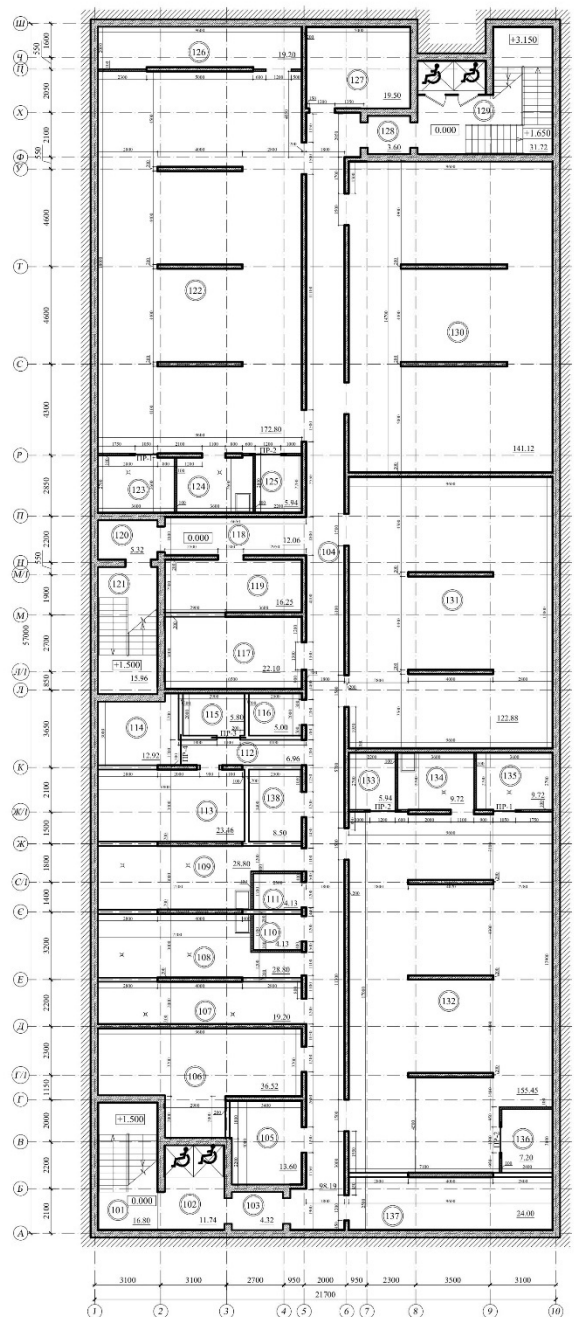


Рисунок 1 – План на позн. +0,000



Конструктивно-планувальні рішення входів (виходів), піднесених над поверхнею укриття, розташовані так, щоб забезпечувати необхідний захист від іонізуючого випромінювання у разі радіоактивного забруднення місцевості, дії засобів звичайного ураження та виключати можливість їх прямого потрапляння у приміщення які захищаються. Для цього передбачено влаштування у входах (виходах) поворотів під кутом 90^0 , а також захисних стінок-екранів проти дверних прорізів з перекриттями між екранами і укриттям.

Захисна споруда розташована під землею (рис. 2). Для додаткового підвищення захисних властивостей використовувалося обвалування суглинним ґрунтом висотою 1,5м.

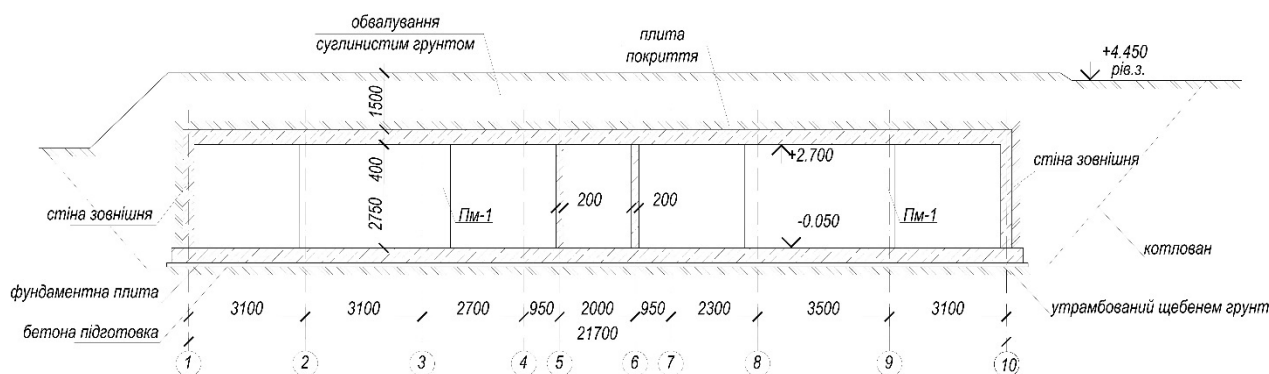


Рисунок 2 – Поперечний розріз укриття

Згідно Додатка А ДБН В.2.2-5:2023 прийнято група захисної споруди подвійного призначення із захисними властивостями протирадіаційного укриття - група П-1, тобто захисна споруда розташована у зоні можливих значних руйнувань, захисні властивості – надмірний тиск повітряної ударної хвилі 100кПа, коефіцієнт послаблення радіаційного впливу – 1000.

Споруда подвійного призначення має бути запроєктована таким чином, що б одночасно задовольняти встановлені вимоги відповідно до обох функціональних призначень та мати захисні властивості сховищ або протирадіаційних укриттів. При проектуванні споруд подвійного призначення поряд з положеннями норм ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного призначення» слід також керуватись положеннями будівельних норм, що встановлюють вимоги до будівель або споруд з визначеною функцією (житлова, виробнича, суспільно-громадська тощо), що є основною для них [4÷5].

Конструктивна схема будівлі укриття була прийнята – монолітний залізобетонний безригельний каркас. Прийняти розміри конструктивних елементів:

1. Фундаменти – фундаментна плита товщиною 400 мм.
2. Стіни зовнішні – монолітні, залізобетонні, товщиною 350 мм.
3. Стіни внутрішні – монолітні залізобетонні товщиною 200мм.
4. Пілони – монолітні, залізобетонні 4000x200мм, 5000x200мм.
5. Плити перекриття та покриття – монолітні, залізобетонні товщиною 350мм, 400мм.
6. Сходи – монолітні, залізобетонно двох та трьох маршові. Товщина плити сходового маршу – 160 мм, товщина плити майданчика – 200 мм.



Для виготовлення залізобетонних елементів конструкції був прийнятий важкий бетон класу С20/25 на сульфатостійкому цементі, марки водонепроникності W6. Для армування залізобетонних конструкцій у якості основного армування використовувалась арматура класу А500С, А240С ДСТУ 3760:2006.

Геологічні умови будівельного майданчика наступні – несучий шар прийнятий ІГЕ 3 супісок лесовий, важкий, світло-жовтий, твердий, просадний з наступними характеристиками: щільність ґрунта $\gamma_1 = 15,6 \text{ кН/м}^3$; кут внутрішнього тертя $\phi_1 = 15^\circ$; зчеплення $c_1 = 5 \text{ кПа}$; природна вологість $W=0,160$; вологість на границі розкачування $W_p=0,18$; вологість на границі плинності $W_L=0,26$; модуль пружності $E = 12,0 \text{ МПа}$; пористість $e = 0,971$; коефіцієнт водонасичення $S_r = 0,44$; показник плинності $I_L < 0$. Підземні води на період геологічних вишукувань розвідувальними свердловинами до глибини 10.00м не розкриті. Сейсмічність району будівництва – 7 балів (ДБН В.1.1-12: 2014 року, карта ЗСР-2004-А). Згідно таблиці 5.1 цього ж ДБН, категорія ґрунтів ділянки будівництва за сейсмічними властивостями II (друга), таким чином сейсмічність ділянки будівництва 7 балів (ДБН В.1.1-12-2014). Категорія складності влаштування основ та фундаментів і підземних споруд на ділянці – II (друга) ДБН А.2.1-1:2008, Додаток И.2.

Захисна споруда була розрахована за граничними станами першої та другої груп. Основним навантаженням був вплив дії повітряної ударної хвилі на конструкції, який враховувався граничним розрахунковим значенням квазістатичного навантаження. При проєктуванні окремо розташованих захисних споруд, які будуються у сейсмічних районах, розрахунок на сейсмічний вплив не виконується.

Граничне розрахункове значення квазістатичного навантаження обчислюється за формулою:

$$q_{ex,d} = \gamma_{fm} \cdot q_{ex,eqv}, \quad (1)$$

де $q_{ex,eqv}$ – квазістатичне характеристичне навантаження, що приймається рівним квазістатичному навантаженню (еквівалентному статичному навантаженню) та визначається за п.14.1.3.1 – 14.1.3.8 ДБН В.2.2-5:2023.

γ_{fm} – коефіцієнт надійності за навантаженням для граничного розрахункового значення квазістатичного навантаження, який слід приймати $\gamma_{fm} = 1,00$.

Приведене навантаження на елементи конструкцій визначається умовами дії повітряної ударної хвилі на захисну споруду залежно від розміщення, заглиблення їх у ґрунт та гідрогеологічних умов (рисунок 14.1, ДБН В.2.-5:2013). Приведене навантаження від впливу повітряної ударної хвилі P_n приймається рівномірно розподіленим по площі та прикладеним нормально (перпендикулярно) до поверхні конструкції за схемою «а» рисунка 14.1 ДБН В.2.-5:2013.

Розрахунковий надмірний тиск ΔP_{ex} , кПа для групи П-1 захисної споруди приймався 100кПа відповідно до таблиці А.2, додатку А, ДБН В.2.2-5:2023.

Приведене вертикальне навантаження P_1 , кПа на покриття захисної споруди залежно від схеми прикладання приведенного навантаження визначалися за формулами, наведеними в таблиці 14.1 ДБН В.2.2-5:2023.



Приведені горизонтальні навантаження P_2 , кПа, що передаються на зовнішні стіни, визначалися за формулами в таблиці 14.2 ДБН В.2.2-5:2023.

Приведене вертикальне навантаження P_5 , P_6 (кПа), що передається на фундаменти, визначалися за формулами в таблиці 14.5 ДБН В.2.2-5:2023.

Відповідні коефіцієнти приймалися згідно таблиць 14.3, 14.4.

Приведене навантаження на входи та аварійні виходи захисних споруд визначалися за формулами в таблиці 14.6, відповідні коефіцієнти – табл. 14.7, 14.8.

Приведене вертикальне навантаження P_1 приймаємо за формулою

$$P_1 = \Delta P_{ex} = 100 \text{ кПа} \quad (2)$$

$$P_2 = K_{\sigma} * \Delta P_{ex} = 0,4 * 100 = 40 \text{ кПа} \quad (3)$$

При $Sr < 0,5$ (за завданням $Sr = 0,44$) приймаємо за таблицею 14.3 $K_{\sigma} = 0,4$.

$$P_5 = \Delta P_{ex} = 100 \text{ кПа} \quad (4)$$

Приведене навантаження на входи приймаємо

$$P = K_v * \Delta P_{ex} = 2,2 * 100 = 220 \text{ кПа} \quad (5)$$

Квазістатичне навантаження $q_{ex,eqv}$ на елементи залізобетонних конструкцій покриттів захисних споруд та СПП із відповідними захисними властивостями приймалося рівним приведеному навантаженню за 14.1.2.2, помноженому на коефіцієнт динамічності K_d , що приймається за таблицею 14.8.

Вертикальне квазістатичне навантаження $q_{ex,eqv}$ (поздовжнє зусилля від дії ударної хвилі на покриття) при розрахунку колон і внутрішніх стін слід визначати розрахунком з врахуванням навантаження від покриття, що визначене згідно з 14.1.3.1.

Вертикальне квазістатичне навантаження $q_{ex,eqv}$ (поздовжнє зусилля) на зовнішні стіни від дії повітряної ударної хвилі на покриття визначалося розрахунком з врахуванням навантаження від покриття, що визначене згідно з 14.1.3.1.

При розрахунку зовнішніх стін слід враховувати, що вертикальне (поздовжнє зусилля від дії ударної хвилі на покриття) та горизонтальне еквівалентне статичне навантаження діють одночасно.

Горизонтальне квазістатичне навантаження при розрахунку зовнішніх стін визначають за формулою:

$$q_{ex,eqv} = P_{max} * K_d * K_o, \quad (6)$$

де P_{max} – приведене горизонтальне навантаження, кПа, яке визначається згідно з п.п. 14.1.2.3, 14.1.2.6 ДБН В.2.2-5:2023;

K_d – коефіцієнт динамічності, який приймається за таблицею 14.9;

K_o – коефіцієнт, який враховує зміну тиску на стіни за рахунок горизонтальної складової масової швидкості часток ґрунту, затухання хвилі стиску з глибиною і зниження тиску за рахунок руху споруди та деформації стін. Для заглиблених та обвалованих стін значення коефіцієнта K_o приймається рівним 0,8 при розрахунку за розрахунковою умовою ІА.

При розрахунку суцільних фундаментних плит вертикальне квазістатичне навантаження приймати рівним приведеному навантаженню, яке визначається за 14.1.2.5 ДБН В.2.2-5:2023, помноженому на коефіцієнт динамічності K_d , який приймається згідно з таблицею 14.11.



Оголовки аварійних виходів, піднесених над поверхнею землі розраховувалось на горизонтальне квазістатичне навантаження $q_{ex,eqv}$, яке дорівнює надмірному тиску у фронті повітряної ударної хвилі ΔP_{ex} , помноженому на коефіцієнт динамічності $K_D = 2$.

Квазістатичне навантаження $q_{ex,eqv}$ на зовнішні стіни у місцях розташування входів, на стіни тамбурів-шлюзів і тамбурів, на огорожувальні конструкції аварійних виходів та захисно-герметичні й захисні двері слід приймати рівним приведеному навантаженню, яке визначається згідно з табл. 14.1.2.6, помноженому на коефіцієнт динамічності K_D згідно з таблицею 14.12.

З урахування коефіцієнта динамічності, отримаємо:

- для покриття K_D при розрахунковій умові ІА за табл. 14.8 $K_D = 1,2$

$$q_{ex,eqv} (P_1) = 1,2 * 100 = 120 \text{ кПа} \quad (7)$$

- для зовнішніх стін $K_D = 1,0$, $K_o = 0,8$ – для окремо розташованих, обвалованих стін

$$q_{ex,eqv} (P_2) = P_2 * K_D * K_o = 40 * 1,0 * 0,8 = 32 \text{ кПа} \quad (8)$$

- для фундаментних плит окремо розташованих на нескільких ґрунтах при розрахунку за розрахунковою умовою ІА $K_D = 1,0$

$$q_{ex,eqv} (P_5) = 100 * 1,0 = 100 \text{ кПа}. \quad (9)$$

- на елементи входів приймаємо $K_D = 1,5$ при типу входу – із сходових кліток при вході у сходову клітку з вулиці

$$q_{ex,eqv} (P_{vx}) = 220 * 1,5 = 330 \text{ кПа}. \quad (10)$$

Розрахункові схеми будуть виглядати так, як представлено на рисунку 3.

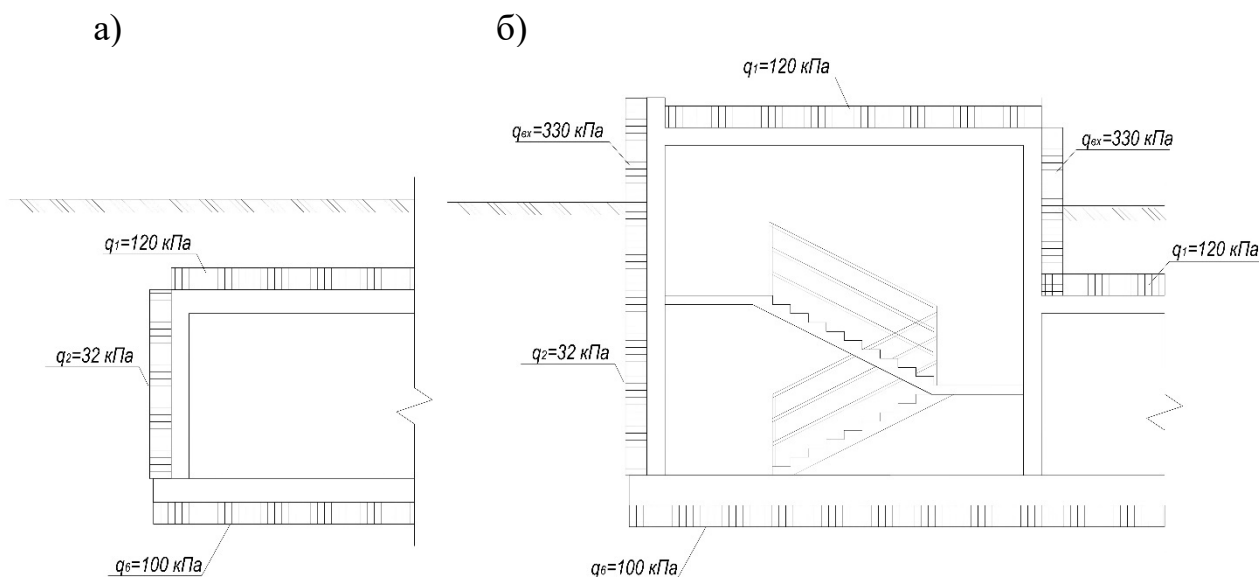


Рисунок 3 – Розрахункова схема:
а – для основної конструкції, б - для входів

Розрахунок захисної споруди проводився в програмі Мономах-Сапр з прикладанням вичислених навантажень від впливу дії повітряної ударної хвилі та статичних експлуатаційних навантажень. В результаті отриманих даних було проведені перевірки міцності ґрунту основи, розрахунок фундаменту за деформаціями основи; допустимих прогинів плит покриття.



Згідно ДБН В.2.2-5:2023 була проведена перевірка на пробиття (проникнення) уламками засобів звичайного враження, а також на утворення вторинної фрагментації.

Мінімальні товщини конструкцій, що здатні у достатній мірі мінімізувати стійкість конструкцій до проникнення при виконанні її у один шар – наведені у таблиці 14.13 ДБН В.2.2-5:2023. В ході розрахунків всі елементи огорожувальних конструкцій умовно приводяться до показників бетону С25/30. Приведена товщина $h_{пр}$ всіх шарів конструкцій визначається як:

$$h_{пр} = \sum (h_i \times k_{пр,i}), \quad (11)$$

де h_i – фактична або проєктна товщина i -го шару огорожувальної конструкції (розраховується окремо для кожного шару несучої конструкції, внутрішнього оздоблення, зовнішнього обвалування, вставок додаткових екранів, «тюфяків» та інше), мм;

$k_{пр,i}$ – приведений коефіцієнт матеріалу піддатливості проникненню для даного i -го шару огорожувальної конструкції.

З метою запобігання проникненню уламків засобів ураження та недопущення небезпеки для осіб, що переховуються, сумарно всі шари огорожувальної конструкції повинні відповідати умові $h_{пр} \geq 330$ мм.

Для уникнення явища вторинної фрагментації без влаштування додаткових заходів повинна виконуватись вимога $h_{пр} \geq 520$ мм.

Дане значення мінімальної приведеної товщини може бути зменшено до 330 мм, за умови виконання одного із наведених в п. 14.2.3.5 конструктивних заходів.

Так, товщина зовнішньої стіни (яка розташована вище рівня землі) повинна бути мінімальної товщини 350 мм при використанні бетону С20/25, тоді

$$h_{пр} = \sum (350 \times 0,943) = 330 \text{ мм} \geq 330 \text{ мм}.$$

Друга умова $330 \text{ мм} \geq 520 \text{ мм}$ – не виконується, тобто необхідно виконати доповнюючі конструктивні заходи.

Плита покриття товщиною 400 мм бетон С20/25 під товщиною ґрунту у 1500 мм

$$h_{пр} = \sum (400 \times 0,943 + 1500 \times 0,228) = 720 \text{ мм} \geq 330 \text{ мм}.$$

Друга умова $720 \text{ мм} \geq 520 \text{ мм}$ – виконується.

Для зовнішніх стін, розташованих вище рівня землі та плит покриття входів в якості доповнюючих конструктивних заходів було обрано влаштування додаткового протискального армування, яке виконується із внутрішньої сторони захисного шару бетону на глибині не більше ніж 25 мм від внутрішньої поверхні залізобетонної конструкції сталевими сітками діаметром стрижнів (дроту) не нижче діаметра 2 мм, із кроком чарунки не більше ніж 40 мм що кріпиться до основного армування конструкції (кріплення виконувати не менше ніж 3 витками в'язального дроту у кожній точці, із кроком не менше ніж 500 мм в обох напрямках).

Приклад армування плити покриття приведено на рисунку 4, приклад армування зовнішніх стін на рисунку 5, а, на рисунку 5, б – армування стін входів.

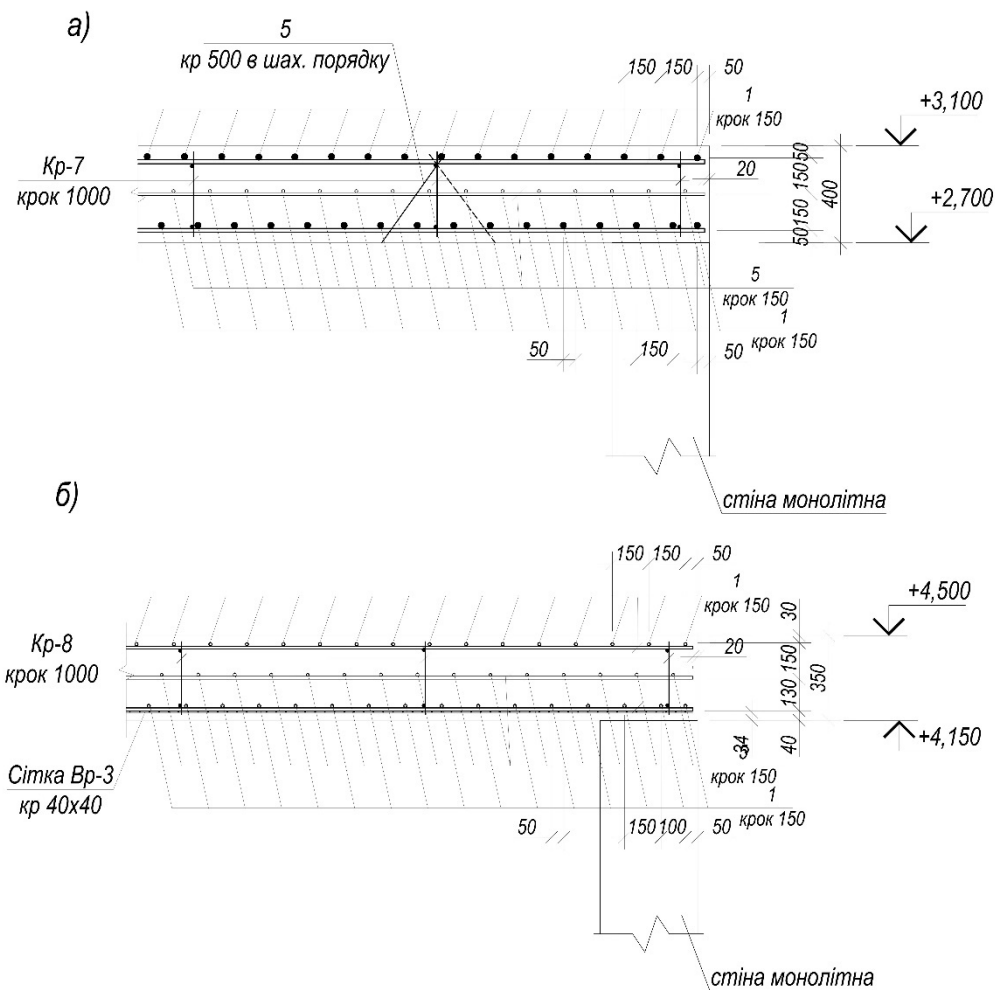


Рисунок 4 – Армування плит покриття:
а) плити покриття, б) плити покриття входу

В роботі було проаналізовано та прораховано укриття згідно ДБН В.2.2-5:97 «Захисні споруди цивільного захисту» зі змінами, а також згідно ДБН В.2.2-5:2023. В результаті отримано основний об'єм матеріалів, приведений в таблиці 1.

Аналіз отриманих об'ємів матеріалів показав, що з урахуванням нового ДБН збільшилось об'єм бетону в цілому на 2% (в зовнішніх стінах на 23,4%), арматури в цілому на 23% (в плиті покриття на 35%, в зовнішніх стінах на 22%).

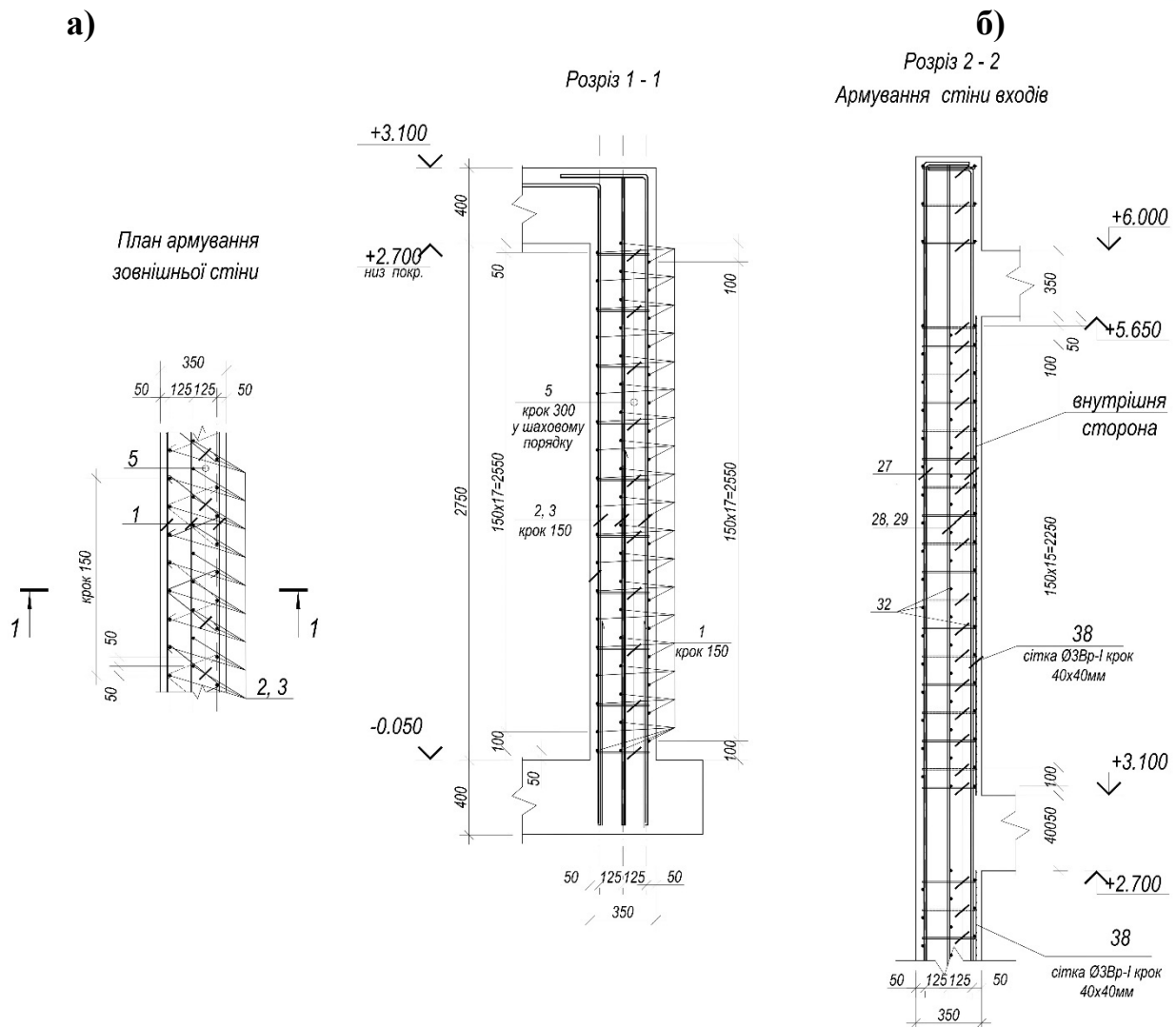


Рисунок 5 – Армування стін:
а – зовнішньої стіни, б – стіни входів

Таблиця 1 – Результати розрахунків

Елементи конструкції	ДБН В.2.2-5:97	ДБН В.2.2-5:2023
Товщина конструктивних елементів		
- фундаментна плита	400мм	400мм
- зовнішні стіни	300мм	350мм
- внутрішні стіни	200мм	200мм
- плита покриття	400мм	400мм
- стіни входів	300мм	400мм
Об'єм матеріалів		
Фундаментна плита:		
- бетон	524,4 м ³	524,4 м ³
- арматура	66244 кг	72850 кг
Зовнішні стіни:		
- бетон	100,5 м ³	127,0 м ³
- арматура	8235 кг	11529 кг



Внутрішні стіни:		
- бетон	82,92 м ³	82,92 м ³
- арматура	5011,6 кг	5011,6 кг
Плита покриття:		
- бетон	482,6 м ³	482,6 м ³
- арматура	62094,0 кг	96245,7 кг
Стіни входів:		
- бетон	163,3 м ³	217,2 м ³
- арматура	31886,2 кг	39857 кг
всього	1353,72 м ³ 173470,6 кг	1380,3 м ³ 225493,3 кг

Висновки.

Проаналізовані будівельні норми ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту» розділ 14 «Розрахунок несучих та огорожувальних конструкцій», які вступили в силу в листопаді 2023 року, на прикладі запроєктованої захисної споруди подвійного призначення з захисними властивостями протирадіаційного укріплення.

Недоліками нормативного документу є нестача деяких розрахункових випадків. Так не має для визначення коефіцієнта k_e та k_d (табл. 14.7, 14.12 ДБН) випадку виходів для окремо розташованих споруд через власні сходові клітини.

На прикладі запроєктованої захисної споруди цивільного захисту на 300 чоловік була розроблена конструктивна схема споруди та проведено розрахунок на аварійну комбінацію навантажень з врахуванням квазістатичного навантаження від дії повітряної ударної хвилі. Також виконані перевірки на пробиття уламками засобів звичайного враження та утворення вторинної фрагментації.

Аналіз результатів розрахунків запроєктованої споруди цивільного захисту з урахуванням прийнята мінімальних значень товщини огорожувальних конструкцій та уникнення появи ефекту сколювання на внутрішній поверхні стін збільшуються витрати на матеріали в деяких елементах та в цілому до 25 відсотків.

Згідно чинних норм ДБН В.2.2-5:2023 розроблені вузли армування плити покриття, зовнішніх стін входів та зовнішньої огорожувальної монолітної стіни.

Література

1. <https://shieldfire.com.ua/osnovni-polozhennya-novogo-dbn-v-2-5-5-2023-zahysni-sporudy-tsyvilnogo-zahystu-ta-problemni-pytannya-stosovno-realizatsiyi-okremyh-jogo-polozen/>
2. ДБН В.2.2-5:2023. Захисні споруди цивільного захисту. [Чинний від 2023-01-01]. Київ, Мінбуд України, 2023. 122 с. (Національний стандарт України).
3. ДБН В.2.2-5:97. Захисні споруди цивільного захисту. Зміна №1, №2, №3, №4 та Додаток 1 (чинні з 01.08.2019). Київ, Мінбуд України, 1998. 125 с. (Національний стандарт України).



4. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. [Чинний від 2007-01-01]. Київ, Мінбуд України, 2006. 75 с. (Національний стандарт України).

5. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. [Чинний від 2019-01-01]. Київ, Мінрегіон України, 2018. 40 с. (Національний стандарт України).

References.

1. <https://shieldfire.com.ua/osnovni-polozhennya-novogo-dbn-v-2-5-5-2023-zahysni-sporudy-tsyvilnogo-zahystu-ta-problemni-pytannya-stosovno-realizatsiyi-okremyh-jogo-polozhen/>

2. DBN V.2.2-5:2023. Protective structures of civil protection. [Effective from 2023-01-01]. Kyiv, Ministry of Construction of Ukraine, 2023. 122 p. (National Standard of Ukraine).

3. DBN B.2.2-5:97. Protective structures of civil defense. Amendment No. 1, No. 2, No. 3, No. 4 and Appendix 1 (effective from August 1, 2019). Kyiv, Ministry of Construction of Ukraine, 1998. 125 p. (National Standard of Ukraine).

4. DBN V.1.2-2:2006. Loads and influences. Design standards. [Effective from 2007-01-01]. Kyiv, Ministry of Construction of Ukraine, 2006. 75 p. (National Standard of Ukraine).

5. DBN V.2.1-10:2018. Bases and foundations of buildings and structures. Basic provisions. [Effective from 2019-01-01]. Kyiv, Ministry of Regions of Ukraine, 2018. 40 p. (National Standard of Ukraine).

Abstract. *Currently, the design and construction of defensive structures is extremely relevant in the conditions of martial law. An analysis of the main provisions of DBN V.2.2-5:2023 "Protective structures of civil protection" was carried out in the section of constructive solutions that underwent changes.*

On the example of the designed protective structure of civil protection for 300 people of shelter group P-1, a structural diagram of the structure was developed and a calculation was made for the emergency combination of loads, taking into account the load from the action of an air shock wave. The structural scheme of the building is a reinforced concrete monolithic frame consisting of external and internal monolithic walls and pylons. The structure is located underground, and in order to increase its protective properties, it was planned to fill it with loamy soil 1.5 m high.

At the same time, the calculation of the seismic impact was not performed. Checks for penetration by fragments of conventional impression means and the formation of secondary fragmentation are also given. Reinforcement units of the main elements of the protective structure have been developed, taking into account the requirements of current regulations.

Key words: *storage, shelter, air shock wave overpressure, penetration and secondary chipping.*

Стаття відправлена 17.11.2024

© Слободяник Г.В.



UDC 712

STRATEGIC URBAN PLANNING AND LANDSCAPE INFRASTRUCTURE INTEGRATION: A THEORETICAL MODEL FOR SUSTAINABLE URBAN DEVELOPMENT IN HOT CLIMATES, CASABLANCA AS A CASE STUDY.**Al Echcheikh El Alaoui Douaa.***PhD student**ORCID: 0000-0001-8113-3822**Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa, 65029*

Abstract. This article introduces a theoretical model developed specifically for sustainable urban planning in hot climates, where challenges such as extreme temperatures, water scarcity, and rapid urbanization place unique demands on the built environment. The model emphasizes the strategic integration of landscape infrastructure to create urban spaces that are both resilient to climate-related stressors and sensitive to the preservation of cultural heritage. Through the combination of green infrastructure, water-sensitive design, and renewable energy integration, this approach aims to foster urban environments that prioritize both ecological sustainability and human well-being. The model is significant in its ability to address the layered complexities of urban resilience, cultural preservation, and environmental sustainability, providing a structured, adaptable framework for city planners and policymakers. By applying this model, planners can create livable, resilient, and culturally rich urban landscapes, supporting sustainable growth and enhancing the quality of life in hot climate regions. This work underscores the vital role of landscape integration in achieving sustainable urban development and offers insights into practical applications that respond effectively to environmental and cultural imperatives.

Keywords. Strategic Urban Planning, Landscape Infrastructure, Sustainable Urban Development, Hot Climates, Urban Resilience, Renewable Energy Integration, Thermal Comfort, Cultural Heritage Preservation, Climate-Adaptive Design, Green Infrastructure.

Introduction.

Formulation of the Problem. The objective of this research is to develop a theoretical model that enhances sustainable urban planning in hot climates, with a particular focus on the integration of landscape infrastructure. To achieve this goal, the following tasks have been outlined:

- Identify the primary environmental and socio-economic challenges associated with urban planning in hot climates, such as extreme temperatures, water scarcity, and urban sprawl.
- Examine the role of landscape infrastructure, including green spaces and water-sensitive design, in mitigating urban heat, conserving resources, and enhancing ecological resilience.
- Explore methods for preserving cultural heritage in urban planning, ensuring that development respects and integrates historical and cultural sites.
- Analyze current urban planning approaches in hot climate regions, particularly Casablanca, to assess their effectiveness in addressing environmental and cultural challenges.
- Develop a structured model that balances sustainable growth, climate resilience, and cultural preservation, providing practical guidance for urban planners and policymakers.

Materials and Research Methods. To develop this theoretical model, a



multidisciplinary approach was adopted, drawing on methods from urban planning, environmental design, and landscape architecture. The research utilized Geographic Information Systems (GIS) for spatial analysis, enabling the mapping of urban zones and the identification of key areas for strategic infrastructure integration [10]. Climate data analysis, using tools such as Climate Consultant 6.0 [9] and Ladybug Tools [11], helped assess thermal comfort, water usage, and solar radiation patterns, providing data-driven insights for sustainable design. Additionally, documents provided by the Urban Agency of Casablanca (AUC) [12] served as foundational sources, offering valuable planning data and strategic insights specific to Casablanca's urban context. This methodological framework allows for a comprehensive understanding of the environmental, social, and cultural dynamics that influence urban planning in hot climates.

Analysis of Recent Research Sources and Publications. Recent studies have highlighted the growing importance of sustainable urban planning, particularly in hot climates where environmental and socio-economic pressures are intensifying. Authors like Beatley (2011) [3] and Gehl (2010) [4] have emphasized the role of green infrastructure in improving urban resilience, while Jacobs (1961) [5] and McHarg (1969) [6] have shown how planning practices can integrate nature and culture to enhance urban environments. Research focused on North Africa, including insights from AUC (Agence Urbaine de Casablanca) planning documents [12], points to the increasing need for adaptive planning strategies that incorporate both climate resilience and cultural preservation. The integration of renewable energy, water conservation techniques, and cultural heritage into planning frameworks has been identified as essential for creating sustainable and livable urban spaces. This article contributes to these ongoing discussions by proposing a practical model that combines landscape infrastructure with strategic urban planning to achieve sustainability, resilience, and cultural preservation.

Main text.

Strategic Urban Zones and Functional Allocations. Urban planning in hot climates demands strategic zoning to address environmental challenges while preserving cultural and social values. The model for Casablanca prioritizes green belts, flood management zones, and high-density areas for crowd management, which collectively contribute to urban resilience and livability [Fig-1].

Green belts surrounding the city are designed to mitigate the urban heat island effect by introducing extensive vegetation. These green spaces not only lower surface and air temperatures but also promote ecological biodiversity and serve as communal areas for recreation and social interaction. By fostering connections between natural and built environments, green belts create multifunctional spaces that enhance both environmental and social resilience.

Flood management zones are another critical component. Casablanca faces seasonal rainfall, which can lead to flooding in vulnerable areas. This model incorporates natural flood barriers, improved drainage systems, and permeable surfaces to absorb and redirect excess water, protecting urban infrastructure and minimizing damage. These flood management strategies seamlessly blend functional design with aesthetic integration, ensuring they align with the broader urban vision.

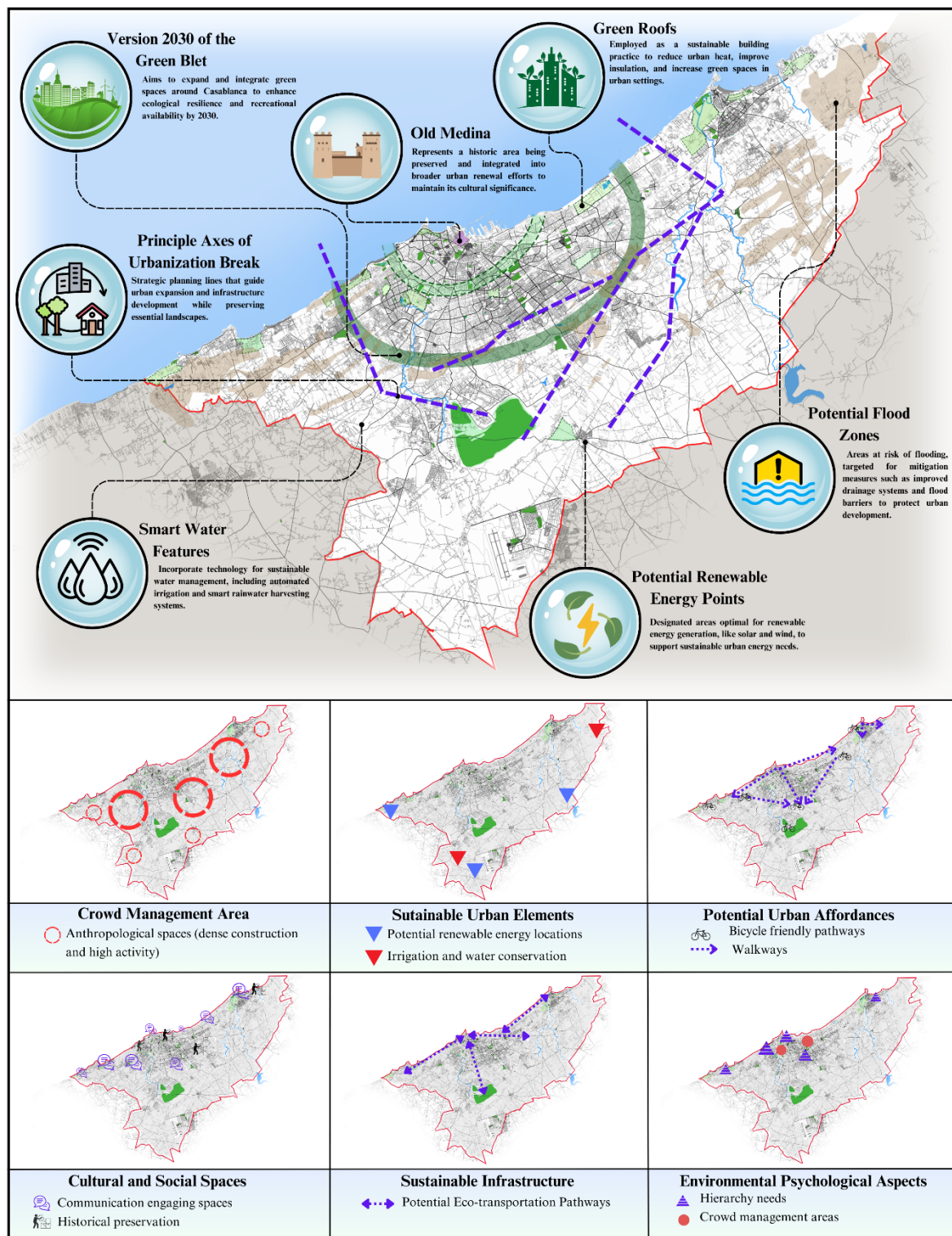


Figure 1- Research Model and the Urban Blueprint: A Strategic Model for Sustainable Growth and Ecological Balance of Grand Casablanca.

High-density zones, often the most active parts of the city, require effective crowd management to maintain safety and accessibility. These areas are structured to facilitate pedestrian movement, reduce congestion, and support public transportation. By organizing crowd management systems within high-activity regions, the model ensures that urban expansion remains efficient without compromising safety or cultural accessibility.



Through these interconnected zoning strategies, the model provides a comprehensive framework for sustainable urban growth in Casablanca. Each zone—green belts, flood management areas, and crowd-controlled regions—addresses specific environmental or social needs while contributing to the overall livability of the city.

Sustainable Urban Elements and Infrastructure. In Casablanca's model, sustainable infrastructure addresses key challenges such as resource conservation, energy efficiency, and climate resilience. By integrating renewable energy sources, green roofs, and advanced water management systems, the model ensures a balanced and adaptive urban environment.

Renewable energy systems are a cornerstone of this approach. Solar panels, strategically distributed across rooftops and open spaces, harness Casablanca's high solar potential, significantly reducing the city's dependence on non-renewable energy sources. These installations contribute to lowering greenhouse gas emissions and improving energy efficiency in high-demand regions. Their positioning supports sustainable energy generation and positions Casablanca as a leader in climate-adaptive energy strategies [Fig-1].

Green roofs provide natural insulation, reducing indoor temperatures and lowering the demand for air conditioning. In addition to improving energy efficiency, these installations create additional green spaces in the urban environment, fostering biodiversity and improving air quality. By mitigating the urban heat island effect, green roofs enhance ecological sustainability while improving thermal comfort.

Water scarcity, a critical concern in hot climates, is addressed through advanced water management systems. Automated irrigation technologies monitor soil moisture levels and adjust water distribution, preventing overuse and ensuring resource conservation. Rainwater harvesting systems capture runoff during rainfall events, storing water for later use in dry periods. These systems integrate seamlessly into the urban design, reducing dependence on municipal water supplies and contributing to Casablanca's water resilience [Fig-1].

Collectively, these sustainable urban elements—renewable energy generation, green roofs, and advanced water management—address critical environmental challenges while improving resource efficiency. By combining ecological innovation with practical urban design, the model demonstrates a holistic approach to infrastructure planning, emphasizing sustainability, resilience, and environmental stewardship.

Environmental and Psychological Aspects of Urban Design. Urban design in hot climates must balance environmental challenges with the psychological and social well-being of residents. Casablanca's model integrates features that enhance social interaction, promote mental well-being, and support a sense of community while addressing extreme temperatures. This is achieved through the thoughtful placement of shaded walkways, pedestrian paths, and social spaces that make public areas more inviting and comfortable [Fig-1].

Shaded walkways and green corridors are crucial in providing relief from high temperatures. Tree canopies, pergolas, and other shading devices are strategically distributed along key pedestrian pathways, reducing direct solar exposure and creating



comfortable routes for walking or cycling. These green corridors also link parks, plazas, and cultural sites, fostering connectivity and a natural cooling effect that enhances the livability of public spaces.

Social spaces, including plazas, gathering spots, and open areas, are designed to facilitate community interaction and engagement. By integrating historically and culturally significant sites into the urban framework, the model reinforces a sense of identity and continuity. These spaces serve as venues for communal activities, cultural events, and celebrations, strengthening community ties and fostering a shared sense of belonging [Fig-1].

Eco-transportation pathways further improve accessibility and sustainability. Bicycle lanes, pedestrian zones, and shaded resting areas encourage non-motorized movement, reducing reliance on motorized vehicles and contributing to lower air pollution. These pathways not only improve mobility but also enhance social engagement by creating safe, inclusive spaces for residents and visitors alike.

Access to green spaces and well-designed public areas also has significant psychological benefits. These spaces help reduce stress, promote mental well-being, and provide opportunities for relaxation and recreation. By prioritizing environmental and psychological design aspects, Casablanca's model ensures that urban spaces are not only resilient but also socially and emotionally enriching for residents.

Thermal Comfort and Climate Adaptation Strategies. Thermal comfort is a crucial consideration in urban planning for hot climates, where extreme heat can significantly impact livability and energy consumption. The model for Casablanca incorporates design interventions that enhance thermal comfort, improving outdoor environments and reducing heat exposure for residents and visitors.

Key strategies include the use of shading structures, green spaces, and reflective materials to mitigate the urban heat island effect. Tree canopies and pergolas are placed in high-traffic public areas to create shaded zones that lower temperatures and provide relief from intense sunlight. These elements work in combination with reflective materials on building facades and pavements to minimize heat absorption and enhance overall comfort levels [Fig-2].

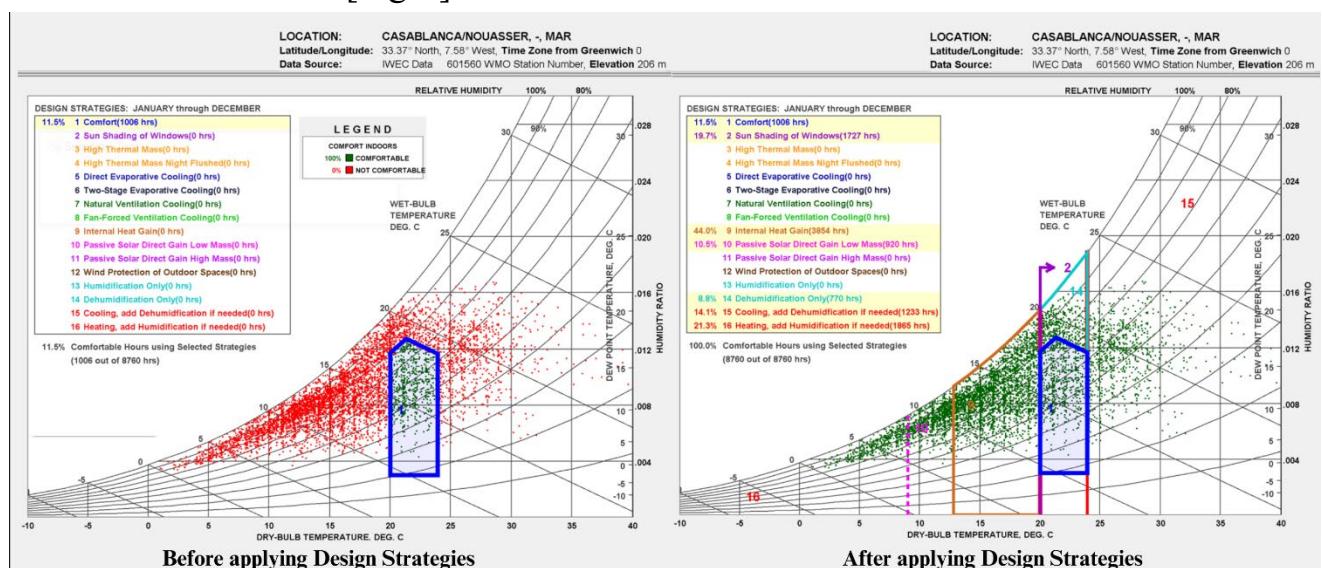


Figure 2 - Psychrometric Analysis: Optimizing Thermal Comfort in Casablanca - Natural Comfort vs. Enhanced Comfort with Design Interventions



The psychrometric analysis presented in Figure 2 compares natural comfort levels with enhanced conditions achieved through these interventions. By reducing direct solar exposure, these strategies help improve outdoor thermal comfort while also reducing the demand for energy-intensive cooling systems.

Seasonal solar dynamics also guide the placement of shading elements. As illustrated in Figure 3, shading structures are positioned to block excessive solar radiation during the summer while allowing sunlight to reach public areas in cooler months. This adaptive design approach ensures year-round functionality, balancing thermal comfort with energy efficiency.

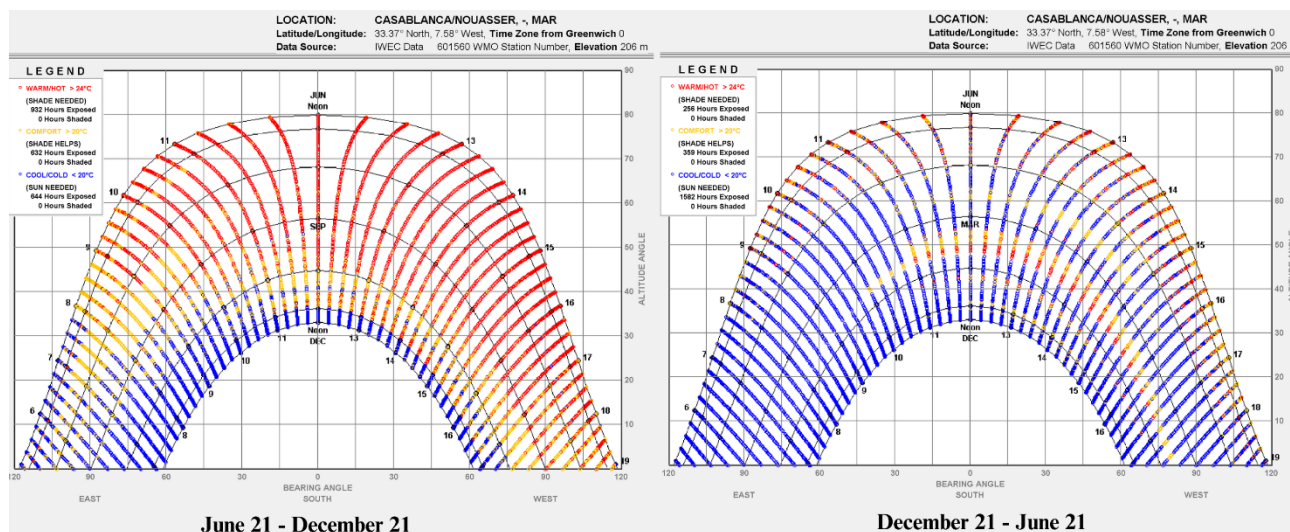


Figure 3 - Sun Shading Dynamics: Evaluating Thermal Discomfort and Comfort Across Seasons in Casablanca

These climate adaptation strategies align with the model's broader goals of creating sustainable and comfortable urban spaces. By addressing the challenges of extreme heat and enhancing thermal comfort, the model supports healthier, more resilient environments that are better suited to the climatic conditions of Casablanca.

Climate Profile and Sustainable Energy Integration. A thorough understanding of Casablanca's climate profile is essential for effective urban planning in a hot climate. The model incorporates climate-responsive strategies, such as renewable energy integration and passive design techniques, to address energy efficiency while reducing environmental impact [Fig-4].

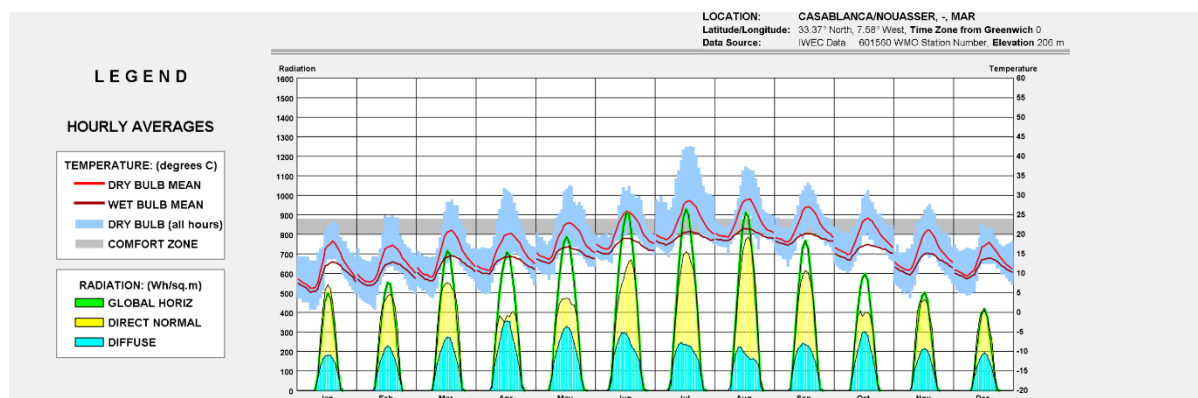


Figure 4 – Seasonal Diurnal Climate Patterns: Monthly Averages of Temperature and Solar Radiation in Casablanca



Casablanca's high solar potential provides a significant opportunity for harnessing renewable energy. Solar panels are strategically positioned across rooftops, open areas, and along key infrastructure to maximize sunlight exposure throughout the year. This ensures a sustainable energy supply that reduces reliance on non-renewable sources and lowers greenhouse gas emissions. These renewable energy installations align with the city's broader goals of sustainable urban growth and energy independence.

In addition to active energy systems, passive design strategies are employed to optimize natural lighting and ventilation. Building orientations and public space layouts are designed to leverage prevailing winds and minimize heat retention, reducing the need for mechanical cooling and lighting systems. These techniques further enhance the energy efficiency of urban infrastructure, contributing to a balanced and adaptive energy profile.

The climate data, including temperature fluctuations and solar radiation levels, are depicted in Figure 4, which provides a detailed overview of Casablanca's seasonal diurnal climate patterns. By analyzing this data, urban planners can tailor renewable energy placements and passive cooling techniques to local conditions, ensuring optimal performance.

Together, these climate-responsive strategies address Casablanca's immediate energy needs while positioning the city as a leader in sustainable urban development. By integrating renewable energy systems and passive design solutions, the model exemplifies how urban planning can balance environmental sustainability with energy efficiency, creating resilient and adaptive urban spaces.

References:

1. Appleyard, D. (1981). *Livable streets*. University of California Press.
2. Alexander, C. (1977). *A pattern language: Towns, buildings, construction*. Oxford University Press.
3. Beatley, T. (2011). *Biophilic cities: Integrating nature into urban design and planning*. Island Press.
4. Gehl, J. (2010). *Cities for people*. Island Press.
5. Jacobs, J. (1961). *The death and life of great American cities*. Random House.
6. McHarg, I. (1969). *Design with nature*. Doubleday/Natural History Press.
7. Whyte, W. H. (1980). *The social life of small urban spaces*. Project for Public Spaces.
8. Waldheim, C. (2016). *Landscape as urbanism: A general theory*. Princeton University Press.
9. Climate Consultant 6.0. (2021). *Energy Design Tools*. Available at: <https://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu>
10. Geographic Information Systems (GIS). (2020). *The Application of GIS in Urban Planning and Management*. Environmental Systems Research Institute (ESRI).
11. Ladybug Tools. (2020). *Environmental Design Software for Sustainable Architecture*. Available at: <https://www.ladybug.tools/>
12. Urban Agency of Casablanca. (2019). *Casablanca Urban Development Plan: Sustainable Strategies for 2030*. Government of Morocco Report.



UDC 625.7/.8

OPTIMAL CONTROL AND DIFFERENTIAL GEOMETRY APPROACHES TO HIGHWAY VERTICAL CURVE DESIGN USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNIQUES

Balashova Yu.B.*c.t.s., as.prof..*

ORCID: 0000-0002-2286-9263

*Ukrainian State University of Science and Technologies ESI «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005***Balashov A.O.**^{1,2}*student*

ORCID ID: 0009-0007-5833-0888

¹*Ukrainian State University of Science and Technologies ESI «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005*²*Georgia Institute of Technology**North Ave NW, Atlanta, GA 30332, United States*

Abstract. *The design of highway vertical curves is a complex optimization problem that must balance safety, comfort, construction cost, and environmental impact. Traditional design methods often rely on simplified models and heuristics, potentially overlooking optimal solutions. This paper presents an advanced mathematical framework employing optimal control theory and differential geometry to model the vertical curve design problem rigorously. By formulating the problem as an optimal control system, we derive necessary conditions for optimality using Pontryagin's Maximum Principle. We then solve the resulting boundary value problem using numerical methods. Furthermore, we integrate artificial intelligence techniques, specifically deep learning, to enhance computational efficiency. Numerical simulations with realistic parameters demonstrate the effectiveness of the proposed method, showing significant improvements over traditional design approaches.*

Key words: *highway, design, vertical curves, Pontryagin's Maximum Principle, optimal control theory, differential geometry, deep learning, artificial intelligence.*

Introduction.

Highway vertical alignment design is a critical aspect of transportation engineering, directly affecting vehicle dynamics, safety, and user comfort. The vertical curve connects two differing gradients, requiring careful consideration of factors such as sight distance, driver comfort, and construction costs. Traditional design methods typically utilize parabolic curves based on prescribed standards, which may not capture the full complexity of real-world scenarios [1].

This paper introduces an advanced mathematical approach to vertical curve design, leveraging optimal control theory and differential geometry. By treating the design problem as an optimal control problem, we can derive optimal solutions that balance multiple objectives. Additionally, we employ artificial intelligence techniques to manage computational challenges and improve solution accuracy [2].

Main text.

1. Mathematical Framework

We model the vertical curve design problem using the principles of optimal control and differential geometry. Let $x \in [x_0, x_f]$ denote the horizontal alignment, and $y(x)$ represent the vertical elevation profile of the highway [3]. The objective is to find



the optimal function $y^*(x)$ that minimizes a cost functional J while satisfying physical and design constraints [4].

The cost functional is defined as:

$$J = \int_{x_0}^{x_f} [\alpha(y(x) - y_t(x))^2 + \beta(y''(x))^2 + \gamma k(x)^2] dx \quad (1)$$

where: $y_t(x)$ - natural terrain elevation.

$\kappa(x)$ - curvature of the vertical profile.

α , β , and γ - are weighting coefficients reflecting the relative importance of earthwork cost, ride comfort, and safety.

The curvature $\kappa(x)$ is given by [5]:

$$k(x) = \frac{y''(x)}{[1 + (y'(x))^2]^{3/2}} \quad (2)$$

Constraints:

$$y(x_0) = y_0, y(x_f) = y_f \quad (3)$$

$$y'(x_0) = s_0, y'(x_f) = s_f \quad (4)$$

$$|y''(x)| \leq y''_{max} \quad (5)$$

2. Optimal Control Solution

We formulate the problem as an optimal control problem with state variables $y(x)$ and $y'(x)$ and control input $u(x) = y''(x)$. The state equations are [6]:

$$\frac{dy}{dx} = y'(x) \quad (6)$$

$$\frac{dy'}{dx} = u(x) \quad (7)$$

The Hamiltonian H is [7]:

$$\mathcal{H} = \alpha(y - y_t)^2 + \beta u^2 + \gamma \left(\frac{u}{[1 + (y')^2]^{3/2}} \right)^2 + \lambda_1 y' + \lambda_2 u, \quad (8)$$

where $\lambda_1(x)$ and $\lambda_2(x)$ are the costate variables.

Applying Pontryagin's Maximum Principle, the optimal control $u^*(x)$ minimizes the Hamiltonian, leading to the optimality condition [3]:

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial u} = 0 \rightarrow 2\beta u + 2\gamma \frac{u}{[1 + (y')^2]^3} + \lambda_2 = 0 \quad (9)$$

Differentiating and rearranging terms, we derive a highly nonlinear differential equation for $y(x)$:

$$\gamma \left(\frac{y''}{[1 + (y')^2]^{3/2}} \right)'' - \beta y'' + \alpha(y - y_t) = 0 \quad (10)$$

3. Numerical Simulations and Results

To demonstrate the effectiveness of the proposed method, we perform numerical simulations using realistic parameters.

Simulation Parameters:

- Domain: $x \in [0, 1000]$ meters.
- Terrain elevation: $y_t(x) = 0.01x + 5 \sin(0.005\pi x)$ meters.
- Boundary conditions: $y(0) = 0$ m, $y(1000) = 20$ m, $y'(0) = 0$, $y'(1000) = 0$.



- Weighting coefficients: $\alpha = 1$, $\beta = 1000$, $\gamma = 5000$.
- Maximum allowable curvature: $|\kappa(x)| \leq 0.001 \text{ m}^{-1}$.

We discretize the domain into $N = 500$ intervals and use a finite difference method to approximate derivatives. The resulting system of nonlinear equations is solved using a Newton-Raphson iterative scheme.

Comparison with Traditional Design:

For comparison, we also design a vertical curve using the traditional parabolic method [2]. The total earthwork volume and maximum curvature are compared in Table 1.

Table 1 - Comparison of design methods

Design Method	Earthwork Volume (m ³)	Maximum Curvature (m ⁻¹)
Traditional Parabolic	25,000	0,0012
Proposed Optimal Control	18,500	0,0009

The proposed method results in a 26% reduction in earthwork volume and satisfies the curvature constraints more effectively.

Artificial Intelligence Integration:

To enhance computational efficiency, we train a neural network to approximate the optimal control $u^*(x)$. The network architecture consists of four hidden layers with 50 neurons each, using the hyperbolic tangent activation function [8].

The loss function is defined as:

$$\mathcal{L} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \gamma \left(\frac{u_{\theta}(x_i)}{[1 + (y'_{\theta}(x_i))^2]^{3/2}} \right)'' - \beta u_{\theta}(x_i) + \alpha (y_{\theta}(x_i) - y_t(x_i)) \right|^2 \quad (11)$$

where $u_{\theta}(x)$ and $y_{\theta}(x)$ are the outputs of the neural network parameterized by θ .

After training for 1,000 epochs, the neural network accurately approximates the optimal control and state variables, reducing computation time by 50% compared to the iterative numerical method.

Conclusion

This paper presents an advanced mathematical approach to highway vertical curve design, integrating optimal control theory and differential geometry. By formulating the design problem as an optimal control system, we derive a complex nonlinear differential equation that captures the trade-offs between earthwork cost, ride comfort, and safety. Numerical simulations with realistic parameters demonstrate significant improvements over traditional design methods, including reduced earthwork volume and better compliance with curvature constraints.

The integration of artificial intelligence techniques, specifically neural networks, enhances computational efficiency and offers a practical tool for engineers. The proposed framework is flexible and can be extended to include additional factors such as environmental impact and construction constraints.

References:

1. American Association of State Highway and Transportation Officials. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. 7th ed., AASHTO, 2018, p. 1048 /



URL:[https://kankakeerecycling.com/wp-](https://kankakeerecycling.com/wp-content/uploads/2023/04/THE_GREEN_BOOK_A_Policy_on_Geometric_Des.pdf)

[content/uploads/2023/04/THE GREEN BOOK A Policy on Geometric Des.pdf](https://kankakeerecycling.com/wp-content/uploads/2023/04/THE_GREEN_BOOK_A_Policy_on_Geometric_Des.pdf)

2. Transportation Research Board. Highway Capacity Manual. 6th ed., TRB, 2016 / URL: <https://www.trb.org/Main/Blurbs/175169.aspx>

3. Pontryagin, L. S., et al. The Mathematical Theory of Optimal Processes. Interscience Publishers, 1962 / ISBN 10 : 0470693819 / ISBN 13 : 9780470693810 / https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781351433075_A37629368/preview-9781351433075_A37629368.pdf

4. Bryson, A. E., Ho, Y.-C. Applied Optimal Control: Optimization, Estimation, and Control. Taylor & Francis, 1975 / URL: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781315137667/applied-optimal-control-bryson>

5. Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. Deep Learning. MIT Press, 2016 / URL: <https://mitpress.mit.edu/9780262035613/deep-learning/>

6. Boyd, S., Vandenberghe, L. Convex Optimization. Cambridge University Press, 2004, p. 714 / URL: https://web.stanford.edu/~boyd/cvxbook/bv_cvxbook.pdf

7. Evans, L. C. Partial Differential Equations. American Mathematical Society, 2010 / URL: <http://dx.doi.org/10.1090/gsm/019>

8. Andrii Balashov / Attention-integrated convolutional neural networks for enhanced image classification: a comprehensive theoretical and empirical analysis / International periodic scientific journal "Modern engineering and innovative technologies" ISSN 2567-5273, Issue №35, Part 2, October 2024, Karlsruhe, Germany, p. 18-27. DOI: 10.30890/2567-5273.2024-35-00-030 / [http:// www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit35-00-030](http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit35-00-030).

sent: 24.11.2024
© Balashova Yu.B.



УДК 627.33:624.046

DETERMINATION OF THE LATERAL PRESSURE OF THE BACKFILL ON AGRAVITY-TYPE BERTHING STRUCTURE WITH A STONE PRISM OF IMPROVED FORM**ВИЗНАЧЕННЯ БІЧНОГО ТИСКУ ЗАСИПКИ НА ПРИЧАЛЬНУ СПОРУДУ ГРАВІТАЙНОГО ТИПУ З КАМ'ЯНОЇ ПРИЗМОЮ УДОСКОНАЛЕНОЇ ФОРМИ****Bugaeva S.V. / Бугаєва С.В.***c.t.s., as. prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0009-0000-3805-3720

Khoneliia N.N. / Хонелія Н.Н.*c.t.s., as. prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0009-0000-4323-0293

*Odessa National Maritime University, Odessa, Mechnikova 34, 65029**Одеський національний морський університет, Одеса, Мечникова, 34, 65029*

Анотація. В роботі розглядається нове конструкторсько-технологічне рішення для зведення причальної споруди гравітаційного типу при використанні нового раціонального типу кам'яної призми. Розроблений спосіб зведення забезпечує можливість отримання вертикальної тилової грані кам'яної розвантажувальної призми, що призводить до скорочення витрати каменю в тілі споруди та здешевлення будівництва. Для даної конструкції розроблено методику розрахунку бічного тиску засипки, що базується на теорії граничного напруженого стану, але відрізняється від інших наближених методів тим, що враховує в засипці споруди наявність двох зон напруженого стану (граничного та дограничного).

Ключові слова: бічний тиск ґрунту, граничний і дограничний напружений стан засипки, кам'яна призма, причальна споруда гравітаційного типу.

Вступ.

Перспективним напрямом удосконалення методики проектування споруд гравітаційного типу є розробка конструктивних схем, які б враховували переваги та виключали недоліки вже наявних модифікацій.

Як правило, в тилу причальних споруд влаштовують ґрунтову засипку. Негативними чинниками роботи такої споруди як у будівельний, так і в експлуатаційний період є суттєвий бічний тиск засипки при великих висотах споруди, а також можливість вимивання ґрунту через шви стінок.

У ряді випадків використовують технічні рішення, створені задля подолання зазначених недоліків. Так, наприклад, застосовують відсипання розвантажувальної насипної призми зі щебеневим контрфільтром, яку виконують на частині висоти стінки [1]. Кам'яна призма за рахунок того, що кут внутрішнього тертя каменю ($\varphi = 40^\circ - 45^\circ$) більше, ніж у ґрунту засипки (піщаного $\varphi = 30^\circ$) передає на стінку значно менший бічний тиск, а відсипаний за кам'яною розвантажувальною призмою щебеневий контрфільтр перешкоджає вимиву ґрунту засипки через камінь і шви стінки.

Відома також конструкція причальної набережної, що включає підпірну стінку, розвантажувальну кам'яну призму, щебеневий контрфільтр і ґрунтову засипку [1]. Розвантажувальна кам'яна призма і щебеневий контрфільтр відсипані по всій висоті підпірної стінки і практично перекривають всю призму розпору



(визначену променем, проведеним з основи тилової грані стінки під кутом $\beta = 45^\circ - \varphi / 2$ к вертикалі до перетину з поверхнею споруди).

Істотним недоліком такої споруди є надмірно великі обсяги кам'яної призми та щебеневого контрфільтра. Дійсно, для створення розвантажувального ефекту достатньо наявності каменю тільки в межах призми розпору (обмеженою тиловою гранню стінки, поверхнею споруди та променем, проведеним з основи стінки під кутом β к вертикалі до перетину з поверхнею споруди). У відомих конструктивних рішеннях тільки верхня берма кам'яної призми по ширині близька до ширини призми розпору біля поверхні споруди (тобто максимальної ширини призми розпору), а її похила тилова частина і контрфільтр розташовані так, що не мають практичного впливу на величину бічного тиску на стінку (як відомо, поверхнєве навантаження і ґрунтова засипка, розташовані поза призмою розпору, не надають бічного тиску на конструкцію, що захищає). Таким чином, значна частина кам'яної призми ніякої позитивної ролі не відіграє, а її наявність обумовлена відсіпкою каменю в тіло споруди під кутом природного укосу (порядку 1:1) і призводить до суттєвої матеріаломісткості споруди та її подорожчання. Застосовувана технологія з відсіпанням каменю та щебеню під кутом природного укосу призводить до зайвих обсягів цих матеріалів у тілі споруди та відповідного зростання його вартості.

Основний текст.

Для усунення зазначених недоліків було запропоновано [2] в причальній набережній, що включає підпірну стінку 1, кам'яну розвантажувальну призму 2, щебеневий контрфільтр 3 і засипку ґрунту 4, тилову грань кам'яної розвантажувальної призми і шар її щебеневого контрфільтра виконувати вертикальними (рис. 1).

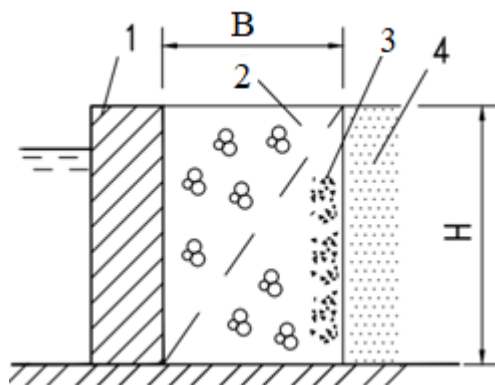


Рисунок 1 – Поперечний переріз споруди з вертикальною розвантажувальною кам'яною призмою

При зведенні такої набережної, що включає етапи монтажу підпірної стінки, відсіпання кам'яної призми, щебеневого контрфільтра і ґрунтової засипки, запропоновано після монтажу підпірної стінки за нею на відстані, що визначається шириною призми розпору, встановити паралельно підпірній стінці на ґрунтову основу двостінні коробки товщиною шару контрфільтра, а після чого виконувати пошарове відсіпання каменю, піску та щебеню з дискретним переміщенням коробів у вертикальному чи горизонтальному напрямку. При вертикальних переміщеннях коробів спочатку відсіпають перший



горизонтальний шар каменю перед коробом (між ним і відсипанням) і перший горизонтальний шар піщаної засипки за коробом, потім відсипають перший горизонтальний шар щебеню в короб і здійснюють вертикальний підйом короба на висоту, що не перевищує висоту шару; виробляють аналогічні операції для другого і наступних горизонтальних шарів матеріалів, що відсипаються аж до виконання відсипки до рівня поверхні набережної.

При горизонтальних переміщеннях коробів спочатку відсипають на висоту короба вздовж частини його довжини вертикальні шари каменю перед коробом, піщаного засипання позаду короба і щебеню в короб, після чого здійснюють горизонтальне зміщення короба у бік від відсипаних раніше матеріалів на відстань, що не перевищує частину довжини короба, вздовж якою відсипано матеріали на попередній операції будівництва; виробляють аналогічні операції для другого та наступних зсувів короба вздовж стінки аж до кінця споруди.

Застосування дискретного переміщення коробів у вертикальному чи горизонтальному напрямі обумовлено урахуванням опору переміщенню коробів у результаті реалізації сил тертя відсипаних матеріалів по бічній поверхні коробів. Якщо відсипати ці матеріали відразу на всю висоту короба або по всій його довжині, то тягового зусилля монтажного обладнання, що застосовується для переміщення коробів, може не вистачити для подолання сил тертя.

Відстань відтилової грані стінки 1 до грані між контрфільтром 3 і засипкою 4 не перевищує по висоті споруди ширини призми розпору (на рівні верху стінки $B \leq H \cdot \operatorname{tg} \beta$, де H - висота споруди). Остання умова забезпечує оптимальний обсяг розвантажувальної призми 2, оскільки перевищення відстані над шириною призми розпору $H \cdot \operatorname{tg} \beta$ не призведе до збільшення розвантажувального ефекту в порівнянні з випадком, коли $B = H \cdot \operatorname{tg} \beta$.

Перевагами нового технічного рішення є ефективне використання відсипаних матеріалів; зменшення обсягу розвантажувальної кам'яної призми; відсутність робіт з рівняння похилих тилкових граней розвантажувальної призми та щебеневого контрфільтра.

Розглянемо методику розрахунку бічного тиску на стінку з урахуванням особливостей конструкції споруди. При розробці розрахункової схеми для визначення сили бічного тиску ґрунту на стінку з вертикальною кам'яною призмою і ґрунтовою засипкою є доцільним застосувати і розвинути для даного випадку раніше розроблений метод для однорідної засипки [3, 4, 5]. Цей метод дозволяє визначити бічний тиск ґрунту в рамках моделі змішаного напруженого стану (облік граничного і дограничного напруженого стану засипки). Це дозволить розрахунковим шляхом визначити навантаження від тиску ґрунту на стінку для будь-яких проміжних деформованих станів споруди, коли розпірний тиск на частині висоти стінки може перевищувати активний.

Характерною особливістю розглянутої задачі та її основною відмінністю від раніше розглянутих постановок є неоднорідність ґрунтового матеріалу позаду стінки (вертикальні шари засипки та матеріалу розвантажувальної призми). Розрахункова схема для визначення бічного тиску засипки на стінку з урахуванням особливостей конструкції споруди показана на рис.2.



Основні розрахункові передумови для визначення бічного тиску засипки на стінку полягають у наступному.

1. Характер напруженого стану (дограничний або граничний) у довільній точці на контакті стіни з вертикальною кам'яною призмою та ґрунтовою засипкою визначається тим же ставленням, що і вид напруженого стану в довільній точці на контакті споруди з ґрунтом.

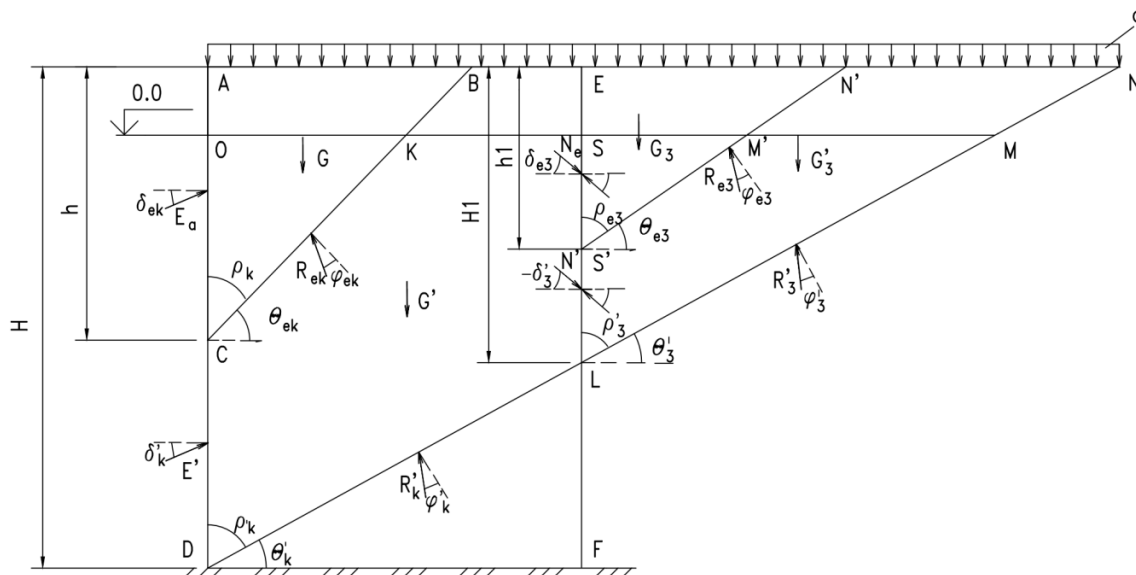


Рисунок 2 – Розрахункова схема для визначення бічного тиску засипки на стінку з урахуванням особливостей конструкції

Кордон зон дограничного та граничного напружених станів матеріалів кам'яної призми та ґрунтової засипки можуть бути знайдені з залежності: для кам'яної розвантажувальної призми: $u(z)/h = \alpha$ при $z = h$; для ґрунтової засипки: $u(z)/h_1 = \alpha$ при $z = h_1$. Таким чином, $h = u(h)/\alpha$; $h_1 = u(h_1)/\alpha$. Для обчислення значень h та h_1 слід задати вид функції $u(z)$, яка визначається характером зміщення споруди, при поступальному переміщенні $u(z) = const$, що наводить вказану залежність до рівняння з невідомими h і h_1 .

Таким чином, в межах висоти $0 \leq z \leq h$ кам'яна $0 \leq z \leq h_1$ призма знаходиться в граничному, а в межах висоти - у дограничному напруженому $h \leq z \leq H - h$ стані; $h_1 \leq z \leq H_1 - h_1$.

2. Кути відхилення рівнодіючого бічного тиску матеріалу кам'яної призми від нормалі до контактної грані споруди та рівнодіючого реактивного тиску масиву матеріалу розвантажувальної призми розпору (або відсіку) від нормалі до межі цієї призми приймаємо рівними: для зони граничного напруженого стану кам'яної призми відповідно δ_{ek} і φ_{ek} , причому $\delta_{ek} = m \cdot \varphi_{ek}$; для зони граничного напруженого стану ґрунтової засипки відповідно δ_{e3} і φ_{e3} , причому $\delta_{e3} = m \cdot \varphi_{e3}$, де m – коефіцієнт, який призначається в інтервалі $0 \leq m \leq 1$ за результатами експериментальних досліджень; для зони граничного напруженого стану кам'яної призми відповідно δ'_k і φ'_k , причому $\delta'_k = \delta_{0k} + n_k(\delta_{ek} - \delta_{0k})$; $\varphi'_k = \varphi_{0k} + n_k(\varphi_{ek} - \varphi_{0k})$, де n_k – коефіцієнт, що залежить від співвідношення розмірів



зон граничного і дограничного напружених станів кам'яної призми і визначальний шукані величини в інтервалах $\delta_{0k} \leq \delta'_k \leq \delta_{ek}$ ($\varphi_{0k} \leq \varphi'_k \leq \varphi_{ek}$ тут δ_{0k} и φ_{0k} - значення кутів, відповідають тиску кам'яної призми на контактну грань споруди в стані спокою), де $\varphi_{0k} = \arcsin \frac{\sin \varphi_{ek}}{2 - \sin \varphi_{ek}}$; для зони дограничного напруженого стану ґрунтового засипання відповідно δ'_3 и φ'_3 , причому $\delta'_3 = \delta_{03} + n_3(\delta_{e3} - \delta_{03})$; $\varphi'_3 = \varphi_{03} + n_3(\varphi_{e3} - \varphi_{03})$, де n_3 - коефіцієнт, що залежить від співвідношення розмірів зон граничного і дограничного напружених станів ґрунтового засипання і визначальний шукані величини в інтервалах $\delta_{03} \leq \delta'_3 \leq \delta_{e3}$, $\varphi_{03} \leq \varphi'_3 \leq \varphi_{e3}$ (тут δ_{03} и φ_{03} значення кутів, що відповідають тиску ґрунту в стані спокою), де $\varphi_{03} = \arcsin \frac{\sin \varphi_{e3}}{2 - \sin \varphi_{e3}}$.

3. Рівнодіюча розпірної складової ґрунтової засипки визначається як векторна сума граничної N_e , що діє на ділянці заввишки h , та дограничної N' , що діє на ділянці $H_1 - h$, що складають відповідно до виразу

$$N = \left[N_e^2 + N'^2 + 2 \cdot N_e \cdot N' \cdot \cos(\delta_{e3} - \delta'_3) \right]^{1/2} \quad [1]$$

4. Рівнодіюча E бічного тиску кам'яної розвантажувальної призми на споруду визначається для кожного поточного деформованого стану як векторна сума двох складових: граничної E_e , що діє на ділянці висотою h , та дограничної E' , що діє на ділянці висотою H_h , відповідно до виразом

$$E = \left[E_e^2 + E'^2 + 2 \cdot E_e \cdot E' \cdot \cos(\delta_{ek} - \delta'_k) \right]^{1/2} \quad [2]$$

Ґрунтуючись на прийнятих передумовах, отримано розрахункові формули для визначення бічного тиску кам'яної розвантажувальної призми як функції усунення стінки при змішаній постановці завдання. Для визначення сили бічного тиску кам'яної призми на споруду було розглянуто послідовно умови рівноваги кожної із зон, зважаючи на їхню силову взаємодію, з урахуванням вертикальної шаруватості ґрунтового матеріалу позаду стінки споруди.

Для оцінки економічної ефективності використання відсипаних матеріалів у тіло споруди було визначено обсяги кам'яної розвантажувальної призми та щебеневого контрфільтра для причальної споруди традиційної конструкції, а також для порівняння розглянутої споруди при різних глибинах у причалу. Результати показали що розглянуте нове технічне рішення забезпечує зменшення витрат матеріалу у розвантажувальній призмі на 35 - 25% у розглянутому інтервалі глибин у причалу.

Висновки.

1. Розглянуто нове конструкторсько-технологічне рішення для зведення причальної споруди гравітаційного типу при використанні нового раціонального типу кам'яної призми. Розроблений спосіб зведення забезпечує можливість отримання вертикальної тилової грані кам'яної розвантажувальної призми, що



призводить до скорочення витрати каменю в тілі споруди та здешевлення будівництва.

2. Для розглянутої споруди розроблено методику розрахунку бічного тиску кам'яної розвантажувальної призми при змішаній постановці задачі, що враховує одночасне виникнення та силову взаємодію зон граничного та дограничного напружених станів. Розглянуто основні розрахункові передумови та отримано розрахункові залежності для визначення бічного тиску кам'яної розвантажувальної призми як функції зміщення стінки при змішаній постановці задачі.

3. Для оцінки економічної ефективності використання відсипаних матеріалів у тіло споруди визначено обсяги кам'яної розвантажувальної призми та щебеневого контрфільтру в традиційній конструкції та інноваційного конструкторсько-технологічного рішення. Економічна ефективність у цьому випадку забезпечується зменшенням обсягу каменю в розвантажувальній призмі внаслідок відсутності каменю за вертикальною тиловою гранню цієї призми.

Література:

1. Никеров П.С., Яковлев П.И. Морские порты. М.: Транспорт, 1987. 416 с.
2. Патент на изобретения № 1663088. Способ выполнения обратной засыпки причальной набережной / Яковенко С.В., Петровский В.И., Пойзнер М.Б., Дубровский М.П.
3. Khoneliia N., Fedorova K. Improved methods of calculating of gravity-type structures. German International Journal of Modern Science. 2021, No. 19, Vol. 1, pp. 59 – 62. DOI: 10.24412/2701-8369-2021-19-1-59-62.
4. Khoneliia Natela, Bugaeva Svetlana. There active capacity of the soil bases of gravity-type quay wall. The journal "World Science". 2019, No. 9(49), Vol. 1, pp. 16-19. Scientific Educational Center Warsaw, Poland.
5. Хонелія Н.Н. Застосування удосконалених методів розрахунку несучої здатності основ при реконструкції та експлуатації причальних споруд. International Scientific Journal «INTERNAUKA» // Збірник наукових статей: Київ. 2023. № 3 (137). С. 58 – 89.

Abstract. The paper examines a new design and technological solution for the construction of a gravity-type berthing structure using a new rational type of stone prism. The developed construction method provides the possibility of obtaining a vertical shape of a stone unloading prism, which leads to a reduction in stone consumption in the body of the structure and a reduction in the cost of construction.

For this structure, a method for calculating the lateral pressure of the backfill has been developed, which is based on the theory of the limit stress state, but differs from other approximate methods in that it takes into account the presence of two stress state zones (limit and sublimit) in the backfill of the structure.

Keywords: lateral pressure of the backfill, limit and sublimit stress state of the backfill, stone prism, a gravity-type berthing structure.

Стаття відправлена: 25.11.2024 р.

© Бугаєва С.В., Хонелія Н.Н.



UDC 699.88

FLEXURAL WAVE PROPAGATION IN ANISOTROPIC FIBER COMPOSITE PLATES

Pysarenko A.M.

c.ph.-m.s., as.prof.

ORCID: 0000-0001-5938-4107

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture,
Odessa, Didrihsona, 4, 65029

Abstract. Monitoring the health of structures consisting of fiber composites can be done in two ways, namely passively, by recording acoustic waves generated by cracks, impact damage, delamination and mechanical shear, and actively, by propagating diagnostic mechanical stress waves and interpreting parameters characterizing the dynamics of the wave propagation. This paper presents a methodology for numerical modeling of flexural wave propagation in a composite plate. In addition, based on the calculation results, recommendations are provided for the use of sensors for detecting damage in local volumes of fiber composite plates based on stress wave parameters. To improve the understanding of the real physical process of flexural wave propagation, a simple model is developed for simulating wave propagation in a plate with different types of boundary conditions. The simulation of waves propagating in the composite was performed using externally applied forces and moments. The results of numerical experiments were used to represent the passive damage growth, which was detected by active acoustic wave generation using piezo-ceramic actuators. Passive detection of acoustic waves was performed using a step function that modeled the acoustic emission from a propagating damage in a local volume of the composite material. A new method for acoustic emission source determination is also presented using the time dynamics of the dominant low-frequency components of the flexural wave mode detected by continuously distributed sensors.

Key words: composites, flexural wave propagation, acoustic emission, damage registration, mechanical shear.

Introduction.

A frequently used technique for damage detection in composite structures is the analysis of the Lamb wave propagation dynamics in the cross-sectional plane [1, 2]. An extension of this technique is the measurement of acoustic emission for monitoring local mechanical damage. Modeling of acoustic and flexural wave propagation is often performed for infinitely sized plates, since obtaining characteristic solutions for the problem of wave propagation in a locally confined medium is a complex mathematical problem. A promising approach in this case is the calculation of normal modes of a closed solution for the propagation of flexural waves in a fiber composite plate [3, 4]. Finite element methods are also used to model wave propagation. However, for this case, the computation time is usually long, and the normal representation of higher frequencies and modes is limited by the large number of elements used.

Impact damage, such as out-of-plane strain source or delamination of the composite material, generates large flexural modes. The results of numerous experiments indicate that the source of flexural modes in the volume of composite samples are only those cracks that are located outside the vicinity of the middle plane. Therefore, the model presented in this study mainly deals with flexural mode acoustic emission signals from impact damage, delaminations and cracks that are not located in the mid-plane [5]. The glass-epoxy composite plate is modeled as quasi-isotropic, and



piezoelectric actuators and sensors are modeled on the plate to generate and receive waves.

The aim of this model is to develop a mathematical tool for modeling wave propagation and to facilitate the design of sensors for measuring flexural waves. The sensor elements that are often used in experimental studies to structure a continuous sensor are connected in an $N \times N$ array, which results in the individual signals from the sensors being combined into $2N - 1$ output arrays. For large array sizes, this approach significantly reduces the number of data acquisition instrument channels needed to monitor the health of a fiber composite structure. The optimal solution in these two approaches is that the continuous sensor is the simplest with a single data acquisition channel, while the array uses more channels to more accurately detect damage. Additional results of the study include a method for localizing the acoustic emission source. The localization technique is based on identifying the dominant low-frequency components of the bending wave. The set of characteristic components was identified based on the time characteristics of the stress measured by four different continuous sensors on four sides of a glass-epoxy plate with a simple support.

Equations of motion and boundary conditions.

The modeling of acoustic emission is based on the equation of motion for a simply supported quasi-isotropic glass-epoxy composite plate. The shape of the pulse of the force excitation of the load is stepwise. The step shape of the mechanical load allows simulating acoustic emission from a propagating damage. The final differential equation is

$$D\nabla^4 w(x, y, t) = -\rho h \ddot{w} + \frac{F(x, y, t)}{ab}, \quad (1)$$

where

$F(x, y, t) = F_1 U(t) \delta(x - x_1) \delta(y - y_1)$ is the step function force;

W is the deflection;

ρ is the mass density;

h is the plate thickness;

a and b are the composite plate length and width.

The plate flexural rigidity is given as

$$D = \frac{Eh^3}{12(1 - \nu^2)}. \quad (2)$$

After applying the Navier solution and using the orthogonalization property to separate the spatial and temporal variables, the time equation is obtained. After adding the modal damping, where each damping ratio is specified independently, the time equation can be written as

$$\ddot{a}_{mn} + 2\zeta_{mn}\omega_{mn}\dot{a}_{mn} + \omega_{mn}^2 a_{mn} = F_{mn}, \quad (3)$$

where

$$a_{mn} = f(F_{mn}, \omega_{mn}, \zeta_{mn}, \theta); \theta = \tan^{-1}[\zeta(1 - \zeta)^{0.5}].$$

The spatial dependence of mechanical stresses in the volume of a composite plate can be specified using the equations



$$\varepsilon_x(x, y, t) = -z \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = -z \sum_n \sum_m a_{mn}(t) \sin \frac{\pi m x}{a} \sin \frac{\pi n y}{b} \cdot \left(\frac{\pi m}{a} \right)^2 \quad (4)$$

$$\varepsilon_y(x, y, t) = -z \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = -z \sum_n \sum_m a_{mn}(t) \sin \frac{\pi m x}{a} \sin \frac{\pi n y}{b} \cdot \left(\frac{\pi n}{b} \right)^2. \quad (5)$$

As a simple approximation for modeling a unidirectional active fiber composite layer bonded to a plate, the mechanical stress can be approximated using the average strain across the sensor network nodes

$$V_0 = \frac{\varepsilon_1 h e}{\varepsilon_s}, \quad (6)$$

where

ε_1 is the average strain;

ε_s is the permittivity.

An analytical model was established for the active propagation of acoustic waves in the plate due to surface-bonded layers of fiber composite. The calculation method allowed us to obtain a closed solution for the propagation of waves in a local volume of the composite material. From the classical theory of vibration of plates, the equation of motion was derived in terms of the internal bending moments of the plate M_x , M_{xy} and M_y , and the moments due to the actuator m_x and m_y , and then expressed in displacement form as

$$D \nabla^4 w(x, y, t) + \rho h \ddot{w} = \frac{\partial^2 m_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 m_y}{\partial y^2}. \quad (7)$$

The moments associated with the nodes of the sensor network can be expressed as Heaviside step functions

$$m_x = m_x^1 [H(x - x_1) - H(x - x_2)] \cdot [H(y - y_1) - H(y - y_2)] f(t) \quad (8)$$

$$m_y = m_y^1 [H(x - x_1) - H(x - x_2)] \cdot [H(y - y_1) - H(y - y_2)] f(t), \quad (9)$$

where

$f(t)$ is an explicit function of time, which allows in this case to represent the impulse moment using a delta function.

The next step of the calculation procedure was the analysis of discontinuous functions, the solutions of which described the set of mechanical displacements in the volume of the composite due to step excitation. For the momentum moment, the plate displacement is expressed in terms of the Fourier series (Navier solution) and mode summation, which gives the following

$$w(x, y, t) = \sum_n \sum_m \frac{F_2}{\omega_{mn}} \exp(-\zeta_{mn} \omega_{mn} t) \sin(\omega_{mn} t) \sin\left(\frac{\pi m x}{a}\right) \sin\left(\frac{\pi n y}{b}\right), \quad (10)$$

where

$$F_2 = f(\rho, h, a, b).$$

The composite sample in the calculation model has a rectangular shape and is isotropic. The stress distribution inside the plate is assumed to be symmetrical about the neutral axis, and the plate bending creates a linear normal stress distribution. This



relationship assumes that the neutral axis coincides with the mid-plane of the plate. In addition, the mass and bending stiffness of the composite volume element are significantly less than those of the entire plate. The mechanical stress in the volume can be integrated to obtain the equivalent bending moment.

The flexural wave number of a fiber composite plate and the corresponding bending wave velocity for a rectangular isotropic plate can be obtained from the equation of motion in polar coordinates and the subsequent Hankel transformation. The bending wave velocity field is dispersive. The wave propagation velocity with higher frequencies is greater than the velocity for lower frequencies. This velocity is defined as

$$c_f = \left(\frac{D}{\rho h} \right)^{0.25} (\omega)^{0.5}, \quad (11)$$

where

$D = Eh^3/[12(1 - \nu^2)]$ is the flexural stiffness of composite plate.

A continuous Fourier transform is performed on the stress-time history obtained as a sum of responses from continuous sensors that are surface-attached to the fiber composite sample. The dispersion dependence of the power spectral density is plotted against frequency to determine the dominant flexural bandwidth. The results are used to determine the peak frequency, especially for the low-frequency components of the flexural mode. Wavelet analysis (scalegram) is then performed to determine and significantly narrow the time bandwidth where the peak amplitude flexural wave hits one part of the continuous sensors.

The continuous wavelet transform $x(t)$ is a time-domain signal processing method that is defined as

$$W_\psi(a, b) = a^{-0.5} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \Psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt. \quad (12)$$

In equation (12), b is the translation indicating the local characteristics of the volume, a is the expansion or scale parameter, $\psi(t)$ is the analysis wavelet, and $\psi^*(t)$ is the complex conjugate of $\psi(t)$. The scale parameter a determines the frequency localization. The analysis wavelet $\psi(t)$ must satisfy the admissibility condition:

$$C_\Psi = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\Psi_1(f)|^2}{|f|} df < \infty, \quad (13)$$

where

$\Psi_1(f)$ is the Fourier transform of $\psi(t)$.

Condition (13) is necessary to obtain the inverse wavelet transform. In this case, the Morlet wavelet is defined as

$$\Psi(t) = \exp(j2\pi f_0 t) \cdot \exp(-|t|^2 / 2) \quad (14)$$

$$\Psi(t) = \sqrt{2} \exp[-2\pi^2(f - f_0)^2]. \quad (15)$$

The use of the Morlet wavelet is a necessary condition for obtaining good selectivity of expansion and translation. In practice, the value $f_0 > 5$ is used, which approximately corresponds to the boundary conditions of the first and second kind. It



is clear from the definition that the Fourier transform extracts periodic infinite waves from the analyzed function. In contrast, the wavelet transform analyzes the function only locally in fixed regions that are determined solely by the mother wavelet.

Equations (14) and (15) are non-local in the general case. The value of $W_g(a, b)$ at the point (a_0, b_0) depends on $x(t)$ for any value of t . However, as follows from the conditions imposed on the form of the wavelet transform, the function $\Psi(t)$ decays to zero at 1 and ± 1 . If we assume fast decay, i.e. the values of $\Psi(t)$ are negligible outside the interval $(t_{\min}, t_{\max})$, the transform becomes local. Frequency localization can be determined for any region within the fiber composite volume when the wavelet transform is expressed through the Fourier transform:

$$W_{\Psi}(a, b) = \sqrt{a} \int_{-\infty}^{+\infty} X(t) \Psi_{a,b}^*(af) \cdot \exp(i2\pi fb) df. \quad (16)$$

Equation (16) describes the case for which localization depends on the expansion (scale) parameter a . The local resolution of the wavelet transform in time and frequency is determined by the duration and bandwidth of the analysis functions given by $\Delta t = a \cdot t_g$ and $\Delta f = \Delta f_g / a$, where Δt_g and Δf_g are the duration and bandwidth of the wavelet base function, respectively. Thus, in the frequency domain, the wavelet transform has good resolution at low frequencies, and in the time domain, correspondingly, at high frequencies. This qualitative relationship for frequencies is more suitable for detecting transient signals.

The wavelet transform as a signal decomposition tool cannot be directly compared with any time-frequency representation. However, there is a connection between expansion and frequency. The Morlet wavelet analysis corresponds to a functional dependence between the expansion parameter af and the signal frequency f_x . This functional dependence can be defined by the relation

$$a_f = f_0 \frac{f_s}{f_w} \cdot \frac{1}{f_x}, \quad (17)$$

where

f_s is the signal sampling frequency;

f_w is the wavelet sampling frequency.

The active wave generation and sensing simulation is performed using a model of the glass–epoxy composite plate. The verification of the computational model was performed, including the case of active wave propagation in the fiber composite using a surface-bonded actuator located in the center of a rectangular plate. The probing was assumed to be carried out in the presence of continuous and array sensors. The first 100 vibration modes were used for the simulations, and the time step was 1 ms. A cross-array sensor architecture was used for the composite sample. The initial analysis was performed for the case of active wave propagation at times of 10–360 ms. Acoustic wave propagation was observed under the condition of antisymmetric Lamb waves (flexural waves) generated by an actuator located in the center of a glass and epoxy plate.

The methodology used to localize the simulated fault location consisted of several computational steps that simulated the measurement process. The elements of the set



of voltage-time measurement procedures for four different continuous sensors located on the four sides of the plate were determined separately. Each continuous sensor was modeled as a system of three sensors connected in series to produce a single output. Power spectral density and frequency plots are plotted to determine the dominant lower frequency components of the flexural wave and the corresponding peak frequency. The low frequency component corresponded to the main energy source in the system.

The corresponding calculations for the wavelet scalegram were performed to narrow the initial time interval when the corresponding peak frequency could reach the continuous sensors. As a result of model experiments, the time when the peak bending wave reached the continuous sensor was estimated. The corresponding flexural wave propagation velocity for the peak frequency is then calculated. In this way, the relative distance x_i , $i = 1, 2, 3$ (in percent of the fiber composite specimen length) is calculated as a function of the orientation of the continuous sensors and the simulated local damage location. The time t_i for the flexural wave to reach these sensors for a fixed flexural wave frequency ω_i is then estimated. The simulations were performed for composite specimens (C1, C2) whose densities differed by a factor of 1.32 and 1.73, respectively. Table 1 presents the calculation details.

Table 1 – Details of damage actual locations

C1			C2		
x_i	$\omega_i, 10^3 \text{ Hz}$	$t_i, 10^{-3} \text{ s}$	x_i	$\omega_i, 10^3 \text{ Hz}$	$t_i, 10^{-3} \text{ s}$
0.152	5.863	1.47	0.186	5.863	2.01
0.344	5.863	1.95	0.411	5.863	2.85
0.521	6.018	2.19	0.584	6.018	3.69
0.642	6.018	2.85	0.723	6.018	4.15
0.815	8.214	3.54	0.905	8.214	6.24

Summary and conclusions.

The developed model allowed to calculate the details of the array of mechanical damages with active wave generation and passive probing. Optimization of calculations allowed to reduce the number of data collection channels required to detect damages represented by acoustic emissions or high deformations. The modeling results can be used for active monitoring of mechanical damages in composite plate-type structures. Analysis of bending waves has great potential for finding the location of damages by acoustic emissions from passive continuous sensors.

References:

1. Yang C. et al. (2006). Some aspects of numerical simulation for Lamb wave propagation in composite laminates. Composite structures, issue 75, vol.1-4, pp. 267-275
DOI: 10.1016/j.compstruct.2006.04.034
2. Mardanshahi A., Shokrieh M.M., Kazemirad S. (2022). Simulated Lamb wave propagation method for nondestructive monitoring of matrix cracking in laminated composites. Structural Health Monitoring, issue 21, vol. 2, pp. 695-709
DOI: 10.1177/14759217211008620



3. Tucker B.J. et al. (2003). Ultrasonic plate wave evaluation of natural fiber composite panels. *Wood and fiber science*, pp. 266-281

4. Cheng Z.B., Xu Y.G., Zhang L.L. (2015). Analysis of flexural wave bandgaps in periodic plate structures using differential quadrature element method. *International Journal of Mechanical Sciences*, issue 100, pp. 112-125

DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2015.06.014

5. Mahdian A. et al. (2017). Damage evaluation of laminated composites under low-velocity impact tests using acoustic emission method. *Journal of composite materials*, issue 51, vol. 4, pp. 479-490

DOI: 10.1007/s10443-017-9649-x

Article sent: 13.11.2024

© Pysarenko A.M.



THE MAIN DIFFICULTIES IN LEARNING PROBABILITY THEORY

Mammadova Jabarud Muzaffar

Senior lecturer

Hasanova Matanat Aliqulu

lecturer

Aliyeva Turkan Alasgar

lecturer

Ganja State University

Ganja, Azerbaijan

Abstract: Elementary probability theory is a field of mathematics that studies random events and patterns associated with their occurrence. The basic concepts of probability theory, such as a random event, probability, combinations and statistics, lay the foundation for more complex mathematical concepts applied in various fields of science and life. The study of probability is an important part of the school curriculum, as it forms students' ability to analyze situations of uncertainty and make informed decisions based on the analysis of probabilistic data. However, probability theory causes certain difficulties for students. Research shows that abstract concepts of probability theory and the lack of practical application at an early age often lead to students not understanding the essence of the probabilistic approach and making mistakes in the perception of the probability of events. These difficulties are relevant not only for schoolchildren, but also for novice students, which makes this topic important for studying and searching for effective teaching methods. The purpose of this article is to explore the main difficulties encountered by students in the study of elementary probability theory, and to propose methods that can help overcome these difficulties. The article also discusses techniques that facilitate the perception of complex concepts and improve students' understanding of the topic.

Keywords: probability theory, common mistakes, practice, visuality.

Introduction.

The study of elementary probability theory is associated with a number of difficulties caused by both the abstractness of the material and the difficulties of perception among students.

The main problems that arise in explaining probability include the following aspects:

1. Misunderstanding of the basic rule of addition and multiplication of probabilities.
2. Difficulties with the perception of independent and dependent events.
3. Errors in determining the probability of complex events. Let's look at these difficulties with specific examples.

One of the first difficulties is understanding the rule of adding probabilities for incompatible events. In general, it is difficult for students to distinguish between situations in which probabilities need to be added and those where they are multiplied.

Example: Let's say we have a bag with 3 red and 2 blue balls in it [5,78]. We randomly pull out one ball. What is the probability that it will be red or blue?

Decision: Since the events "pull out the red ball" and "pull out the blue ball" are incompatible, their probabilities add up:

Probability of pulling out a red ball: $P(\text{red})=3/5$.

Probability of pulling out a blue ball: $P(\text{blue})=2/5$ So, the probability that the ball will be red or blue: $P(\text{red or blue})=P(\text{red})+P(\text{blue})=3/5+2/5=1$



Here, students often get confused about when to add probabilities and when to multiply, which requires additional explanations and practical examples.

Another common problem is understanding independent events and applying the probability multiplication rule. Suppose we flip a coin and roll a six-sided die. What is the probability that the "eagle" and the number 6 on the die will fall out? Decision: These events are independent (the result of the coin toss does not affect the result of the dice roll), so their probabilities are multiplied:

Probability of getting an eagle: $P(\text{eagle})=1/2$

The probability of getting a 6 on the die: $P(6)=1/6$

The probability that both events will occur: $P(\text{heads and } 6) = P(\text{heads}) \times P(6) = 1/2 \times 1/6 = 1/12$

It can be difficult for students to realize that events can be independent, and that the multiplication of probabilities here is associated with the simultaneous fulfillment of conditions.

This is especially important for understanding more complex probabilistic problems. These examples show how abstract concepts of probability theory, such as the rules of addition and multiplication, create difficulties for students. To overcome such difficulties, it is recommended to use visual diagrams, simulations and practical tasks, which makes it possible to simplify perception and deepen understanding of the topic[1,56-60].

The results of the study.

To facilitate the understanding of probability theory, especially its basic principles, it is important to apply methods that allow students to intuitively grasp probabilistic concepts and avoid common mistakes. In this section, we will look at various approaches that help overcome the difficulties associated with explaining probabilities using practical tools, visualization, and examples from everyday life.

Visual representation and visualization: In order for students to better understand probabilistic events, it is useful to use visual methods such as graphs, diagrams and tables. They allow you to visualize events and their probabilities, making abstract concepts more understandable. Example: Probability Trees: Probability trees are a great way to demonstrate sequential events, such as flipping a coin multiple times or a combination of two independent events (for example, a coin flip and a die roll). Building a tree helps students visually see how probabilities branch out at each stage, and it is easier to understand the principle of independence of events[4,87].

Illustration: Let's say we flip a coin twice. The probability tree will show all possible outcomes: - First level: heads or tails. - Second level (for each result of the first toss): heads or tails again. Each final branch of the tree will represent a probabilistic path, and students will be able to visually see the probability of specific combinations, for example, the loss of two "eagles" in a row.

Game approaches and interactive simulations: Using a game-based approach helps to turn the study of probability into an active and exciting process. Board games, card games, and digital simulations provide the opportunity to simulate the real behavior of probabilistic events. Example: Using dice: One way to teach students the concept of probability is to play with dice. For example, you can ask students to calculate the probability of a certain number falling on a die. Then make several throws



and compare the results with the calculated probability. This clearly demonstrates to students the difference between theoretical probability and the results of real experiments.

Online simulations: Online simulations such as coin toss simulators or random number generators can be used to demonstrate the probability of "at least one event". With the help of simulation, students can repeat the experiment many times and see how the probability of "at least one eagle" tends to the calculated one with an increase in the number of throws.

Using everyday examples. Using real-life examples helps students see how probability theory applies to everyday situations. Such examples make learning more practical and allow you to see the connection between theory and reality. Example: Weather forecast: The teacher can ask students to analyze the weather forecast, where the probability of rain is expressed as a percentage. Students can discuss what a 70% chance of rain means in practice, and how it affects everyday decisions (for example, whether to bring an umbrella or not). This allows us to understand the principle of probability in situations of uncertainty, which is often overlooked in abstract problems. Example: Lotteries and contests: You can ask students to calculate the probability of winning a lottery or a competition with a limited number of participants. These tasks help to understand how probability is related to chance and why the probability of winning the lottery is usually very small.

Using the inverse probability method. The method of inverse probabilities (finding the probability of the opposite event) helps to simplify complex probability problems, especially when it comes to the probability of "at least one" or "none" events. Example: The probability of "at least one" When explaining the probability of at least one "heads" falling out in several tosses, it is convenient to first consider the probability of the opposite event — the loss of "tails" in all throws [3,64]. Then you can apply the rule: $P(\text{at least one eagle}) = 1 - P(\text{all tails})$. This method helps to reduce calculations and visually explain how the probability of "at least one" works through simple subtraction.

Conclusion:

The application of the described approaches significantly improves the learning process of elementary probability theory, making it more accessible and understandable for students. The problem of perceiving abstract concepts such as probability is often related to the fact that traditional teaching methods do not always allow students to intuitively understand complex concepts. The introduction of visual aids, interactive simulations, game elements and real-life examples helps to overcome these barriers, developing students' theoretical knowledge and practical understanding of probabilistic analysis. Using visualizations such as probability trees and interactive tools allows students to "see" probabilities in action, which is especially important for tasks involving multiple events. In addition, examples from everyday life, such as weather forecasts or probabilities related to games, contribute to awareness of the importance of the probabilistic approach and its application in real situations. This approach not only increases interest in the subject, but also strengthens the links between theory and practice. The application of the inverse probability method simplifies the solution of more complex problems, such as the probability of "at least one event", avoiding cumbersome calculations. This is useful for students who have



difficulties with high probability calculations, and helps to focus on the logic of the problem, which contributes to better learning of the material. Thus, the integrated use of these approaches not only facilitates the teaching of probability theory, but also lays a solid foundation for further study of more complex mathematical concepts.

Reference

1. Volodin, I. N. (2006). Lectures on probability theory and mathematical statistics. Kazan, Russia.
2. Lyutikas, V. S. (1983). To the student about the theory of probability. Moscow, Russia.
3. The Ministry of Education. (2023). Methodological materials for teaching the course "Probability and Statistics" in grades 7-11 for teachers implementing the updated FGOS LLC and FGOS SOO. Moscow, Russia.
4. Moscow textbooks. (2004). Probability theory and statistics. Publishing house of ICNMO JSC "Moscow textbooks", Moscow, Russia.
5. Probability theory for the youngest. <https://tproger.ru/translations/teorija-verojatnostej-dlja-samyh-malenkih>
6. Emelin, A. (2021.). Workshop on probability theory: A short course for beginners.



CONTENTS

Innovative engineering, technology and industry

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj28-00-006> 3

ANALYSIS OF THE INTERACTION OF COMPONENTS OF CERAMIC COMPOSITES WITH MODIFIED CARBON NANOSTRUCTURES

Shamsutdinov B.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj28-00-018> 8

EXPANSION OF THE RANGE OF EMULSION-TYPE SAUCES BASED ON PRODUCTS OF SECONDARY PROCESSING OF MILK

Stukalska N.M., Vynnyk V.V.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj28-00-025> 16

INNOVATIONS IN THE CREATION OF ECOLOGICAL FOOD PACKAGING

Piddubniy V. A., Tarasiuk H. M.

Chahaida A. O., Radchenko Iu.I.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj28-00-047> 23

JUSTIFICATION OF THE RECYCLING OF NATURAL RUBBER PRODUCTION WASTE FOR THE PRODUCTION OF LATEX ENR

Karnaushenko D.O., Zybailo S.M.

Ved V.V., Stovpnyk O.V.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj28-00-048> 30

SEARCH FOR NEW APPROACHES IN THE PRODUCTION OF FRUIT FILLERS

Sylka I., Radchenko I., Yushchenko N.

Computer science, cybernetics and automatics

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj28-00-007> 35

QUALITY INDICATORS OF AUTOMATIC REGULATION SYSTEMS OF DRILLING MODES OF OIL AND GAS WELLS WITH ELECTRIC DRILLS

Dmytryk T.B., Shavranskyi M.V.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj28-00-016> 43

ON THE DATA-SET STRUCTURE FOR TRAINING GENERATIVE NEURAL NETWORKS IN PROTEIN DESIGN

Haisha Oleksandr, Haisha Olena

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj28-00-020> 50

SITUATIONAL AWARENESS: APPLICATION AREAS OF COMPUTER ENGINEERING AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Denysiuk O.M.



<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj28-00-032> 65

IMPROVEMENT OF THE GAS TEMPERATURE CONTROL SYSTEM IN FRONT OF THE HIGH-PRESSURE TURBINE OF THE GTK-10 GAS PUMPING UNIT

Zvarych H., Mateik H.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj28-00-042> 71

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR SOFTWARE TESTING AUTOMATION

Huralnyk F. B.

Architecture and construction

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj28-00-019> 89

USE OF AERATED CONCRETE AS A BASIS FOR INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS: ANALYSIS OF THERMAL INSULATION PROPERTIES AND ENVIRONMENTAL EFFICIENCY

Klymchuk D.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj28-00-024> 100

FETURES OF PROTECTIVE STRUCTURE DESIGN DUAL PURPOSE

Slobodianyuk H. V., Kuyemzhi P.V.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj28-00-027> 112

STRATEGIC URBAN PLANNING AND LANDSCAPE INFRASTRUCTURE INTEGRATION: A THEORETICAL MODEL FOR SUSTAINABLE URBAN DEVELOPMENT IN HOT CLIMATES, CASABLANCA AS A CASE STUDY.

Al Echcheikh El Alaoui Douaa.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj28-00-041> 119

OPTIMAL CONTROL AND DIFFERENTIAL GEOMETRY APPROACHES TO HIGHWAY VERTICAL CURVE DESIGN USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNIQUES

Balashova Yu.B., Balashov A.O.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj28-00-043> 123

DETERMINATION OF THE LATERAL PRESSURE OF THE BACKFILL ON AGRAVITY-TYPE BERTHING STRUCTURE WITH A STONE PRISM OF IMPROVED FORM

Bugaeva S.V., Khoneliia N.N.

Physics and mathematics

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj28-00-021> 129

FLEXURAL WAVE PROPAGATION IN ANISOTROPIC FIBER COMPOSITE PLATES

Pysarenko A.M.



THE MAIN DIFFICULTIES IN LEARNING PROBABILITY THEORY

*Mammadova Jabarud Muzaffar, Hasanova Matanat Aliqulu,
Aliyeva Turkan Alasgar*



Scientific publication

International periodic scientific journal

ScientificWorldJournal

Issue №28

Part 1

November 2024

Indexed in
INDEXCOPERNICUS
high impact factor (ICV: 87)

Articles published in the author's edition

*Academy of Economics named after D.A. Tsenov
Bulgaria jointly with SWorld*

Signed: November 30, 2024

e-mail: editor@sworldjournal.com

site: www.sworldjournal.com



www.sworldjournal.com





www.sworldjournal.com