Issue №18

Part 1

International periodic scientific journal
ONLINE
www.sworldjournal.com
D.A.Tsenov Academy of Economics - Svishtov (Bulgaria)

Indexed in
INDEXCOPERNICUS
(ICV: 87.25)
GOOGLESCHOLAR

SWorld Journal

Issue №18
Part 1
March 2023

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

ISSN 2663-5712
DOI: 10.30888/2663-5712

UDC 08
LBC 94

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

Editorial board: More than 200 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 from different countries.

Journal Established in 2018. Periodicity of publication: twice 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.

UDC 08
LBC 94
DOI: 10.30888/2663-5712.2023-18-01

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

Copyright
© Authors, scientific texts 2023

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-002
DOI: 10.30888/2663-5712.2023-18-01-002

УДК 641.5:639.2:543.92

CHILDREN'S MENU OF HOSPITALITY INDUSTRY INSTITUTIONS: WAYS OF EXPANDING THE RANGE OF FISH DISHES

ДИТЯЧЕ МЕНЮ ЗАКЛАДІВ ІНДУСТРІЇ ГОСТИННОСТІ: ШЛЯХИ РОЗШИРЕННЯ АСОРТИМЕНТУ РИБНИХ СТРАВ

Ditrikh I.V. / Дітріх І.В.
c.ch.s., as.prof. / к.х.н., доц.
Shtoma Yevhen/ Штома Є.В.
master of degree / магістр
National University of Food Technologies, Kyiv ,Volodymyrska 68, 01601
Національний університет харчових технологій, Київ, вул. Володимирська 68, 01601

Анотація. *В представленій роботі доведено доцільність удосконалення традиційної рецептури рибних котлет любительських внаслідок повної заміни основної рибної сировини на філе тріски з доданням пюре моркви та повної заміни допоміжної сировини на хліб житній, яйця перепелині, молоко мигдалеве, олію оливкову. Проаналізовано хімічний склад основної сировини страви – тріски та доведено її переваги у рецептурі. Встановлено, що оптимальним є внесення в рецептуру дитячих рибних котлет «Морквяні» пюре моркви в кількості 30%.*

Досліджено органолептичні та фізико-хімічні показники якості та розраховано біологічну цінність дитячих рибних котлет «Морквяні». Методом Харрингтона проведено комплексну оцінку якості нової страви.

Ключові слова: *тріска, морква, дитячі рибні котлети, біологічна цінність, органолептичні показники, фізико-хімічні показники, комплексна оцінка якості*

Вступ

Правильно організоване, збалансоване за основними компонентами харчування забезпечує певний рівень імунологічного захисту дитячого організму і сприяє збереженню здоров'я дітей. Однак дослідження характеру харчування дитячого населення України свідчить, що в останні роки спостерігається зміна структури споживання харчових продуктів. В добовому раціоні дітей від 2-х до 17 років переважають продукти з низькою біологічною цінністю, але зі значною енергомісткістю, а саме хлібобулочні та борошняні вироби, кондитерські вироби тощо. Саме тому на даний час важливим і потрібним є введення до дитячого раціону страв зі збалансованим нутрієнтним складом, що забезпечує їх високу харчову та біологічну цінність [1-3].

Однією із важливих складових дитячого меню є рибні страви, які мають високу харчову цінність, містять ряд біологічно активних речовин (мінеральні речовини, вітаміни тощо), тому вони рекомендовані Міністерством охорони здоров’я України у сезонному меню для дітей віком від 1 до 6 (7) років для харчування в закладах освіти [4,5]. Риба є цінним харчовим продуктом, до складу якого входять усі речовини, необхідні для розвитку дитячого організму.

Основний матеріал

До переліку страв у меню, яке затверджено Наказами Міністерства охорони здоров’я України, входять такі рибні страви як хлібець рибний, рулет рибний, котлета рибна любительська тощо [4 -8].

Особливе зацікавлення вчених викликають котлетні маси, корегування складу яких шляхом введення овочевих інгредієнтів дозволяє підвищити біологічну цінність і поліпшити органолептичні властивості готових страв та задовольнити вибагливі смаки дітей, тому об'єктом для удосконалення обрано традиційну рецептуру рибних котлет любительських.

Рибні котлети любительські виготовляються за рецептурою №390 з морської риби – хеку. До складу фаршу котлет, за рецептурою, включені наступні інгредієнти: морква, хліб пшеничний, цибуля ріпчаста, яйця курячі, молоко коров'яче, масло вершкове, сіль йодована [8].

Відомо, що рибні котлети любительські мають невисоку харчову цінність і середні органолептичні показники. З метою подолання цих недоліків, запропоновано модифікувати традиційну рецептуру рибних котлет любительських. Заміна традиційних складників рецептури на більш цінну сировину призводить до підвищення певного ряду показників: підсилення смаку та запаху, оптимізації нутрієнтного складу страви.

Рибною сировиною обрано тріску, яка відрізняється невисоким вмістом жиру та значним вмістом білка, тому м'ясо тріски вважається дієтичним (рис. 1) [9]. До складу жирів тріски входять поліненасичені жирні кислоти у кількості 0,231 г, серед яких переважають омега-3 жирні кислоти – 0,196г [9].

Висока біологічна цінність м'яса цієї риби підтверджується його мінерально-вітамінним складом наведеним у таблиці 1 [9].

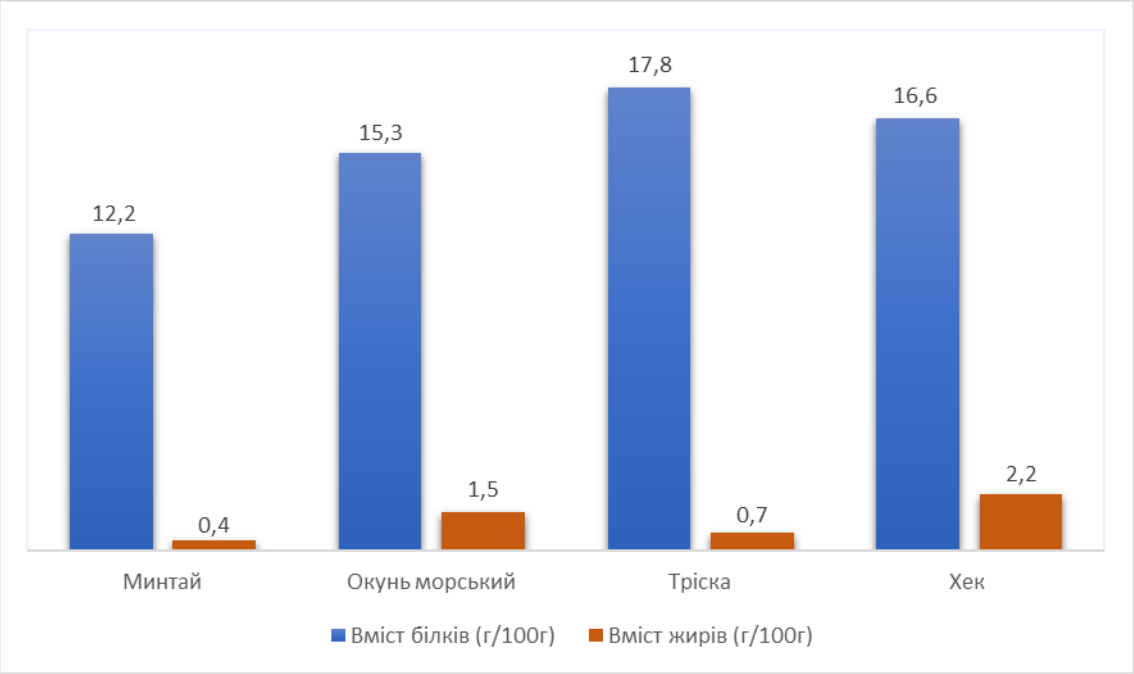


Рис. 1 Вміст білка та жиру в різних видах морської риби [9-12]

З погляду технології тріска – ідеальна сировина. М'яке, практично безкосте біле м'ясо тріски чудово підходить для приготування різноманітних страв.

Таким чином, вищенаведені дані про нутрієнтний склад тріски та її кулінарні властивості, свідчать, що використання м'яса тріски для виготовлення дитячих рибних котлет є доцільним.

Таблиця 1 Мінерально-вітамінний склад м'яса тріски на 100 г їстівної частини [9]

Макроелементи (мг)								
K	Ca	Mg	Na	S	P			
413	16	32	54	178,1	202			
Мікроелементи								
мг			мкг					
Fe	Mn	Zn	Cu	Se				
0,38	0,015	0,45	28	33,1				
Вітаміни (мг)								
A	E	C	B_1	B_2	B_4	B_5	B_6	PP
0,012	0,64	1,0	0,076	0,065	65,2	0,153	0,245	2,063

Негативну роль для дитини відіграють харчові алергії, пов'язані з непереносимістю організмом окремих видів білкової їжі (молоко, яйця, горіхи, білки деяких злаків). При потраплянні алергенів у кров дитини виникає гостра реакція, що проявляється у свербінні, шкіряному висипанні або шлунково-кишкових розладах. Природа таких реакцій до кінця ще не з'ясована [13]. Запобігти виникненню харчової алергії у дітей можна вилученням алергену з раціону, тому із рецептури прототипу виключені наступні складові: молоко коров'яче і яйця курячі.

Новими інгредієнтами у рецептурі фаршу дитячих рибних котлет є молоко мигдальне, хліб житній, яйця перепелині та олія оливкова, внесення яких надає можливість підвищити біологічну цінність страви та покращити її органолептичні властивості.

У якості основного функціонального інгредієнта у рецептурі дитячих рибних котлет використано овочеву сировину – моркву, яка містить на 100 г: білків – 1,3- г; жирів – 0,1 г; вуглеводів (в т. ч. харчові волокна) – 9,3 (2,4) г; β-каротину - 12 мг; вітамінів, мг: B_1 – 0,06; B_2 – 0,07; B_4 – 8,8; B_5 – 0,26; B_6 – 0,13; C – 5,0; E – 0,4; мінеральних речовин, мг: калію – 200; кальцію – 27; магнію – 38; фосфору – 55 [14].

Таблиця 2 - Рецептура дитячих рибних котлет «Морквяні»

№ пор.	*Назва сировини*	*Маса сировини, г*		*Відповідність сировини нормативній документації*
		Брутто	*Нетто*	
1	Філе тріски	45	40	ДСТУ 4868:2007
2	Пюре моркви	40	30	ДСТУ 8061:2015
3	Хліб житній	5	5	ДСТУ 4583:2006
4	Цибуля ріпчаста	8	7	ДСТУ 3234-95
5	Яйця перепелині	1шт	8	ДСТУ 4656:2006
6	Молоко мигдальне	8	8	ТК
7	Олія оливкова	1,5	1,5	ДСТУ 5065:2008
8	Сіль йодована	0,5	0,5	ДСТУ 4307:2004

У таблиці 2 представлена удосконалена рецептура страви із риби для дитячого харчування із частковою заміною філе тріски на 30% пюре моркви, що є оптимальним для отримання високих органолептичних показників дитячих рибних котлет «Морквяні».

Технологічна схема приготування дитячих рибних котлет «Морквяні» наведена на рисунку 2.

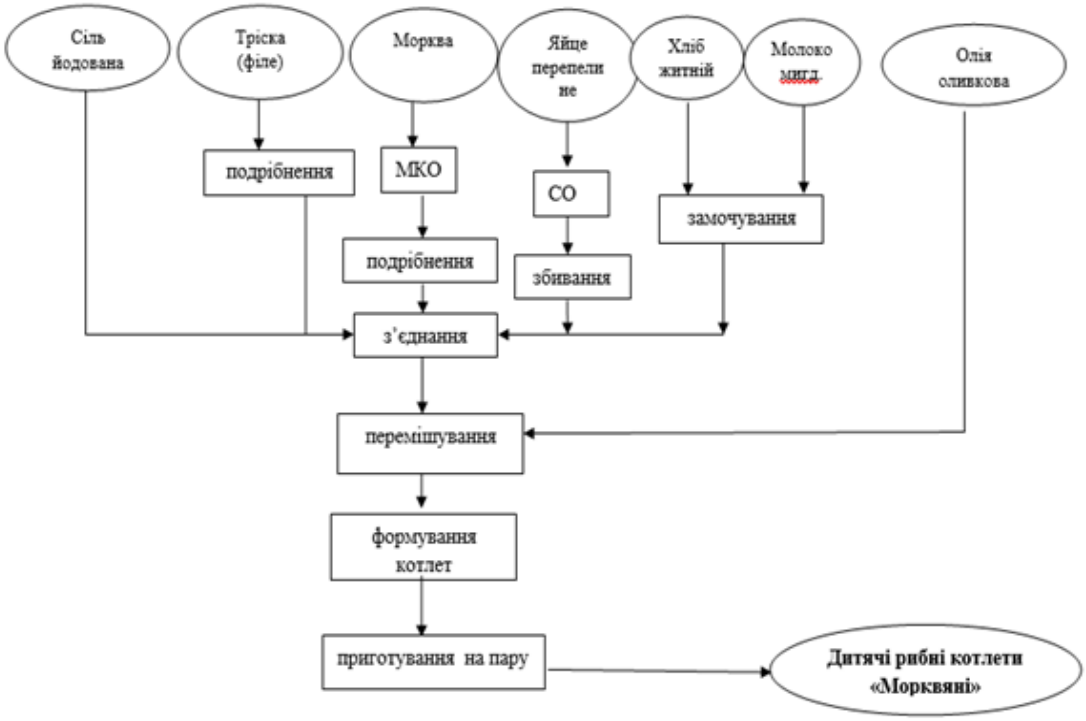


Рис. 2 Технологічна схема приготування дитячих рибних котлет «Морквяні»

Таблиця 3 - Порівняльна органолептична оцінка якості зразків дитячих рибних котлет «Морквяні» зі зразками, виготовленим за традиційною рецептурою

Назва зразка	***Найменування показника***				
	Зовнішній вигляд	***Колір***	***Консистенція***	***Запах***	***Смак***
Рибні котлети любительські (прототип за ТК № 390) [8]	4,0	3,2	3,1	4,2	3,8
Дитячі рибні котлети «Морквяні»	4,9	4,9	5,0	5,0	5,0

Оцінку органолептичних показників зразків рибних котлет любительських (прототип за ТК № 390) [8] і дитячих рибних котлет «Морквяні» проводили за розробленою 5-ти бальною шкалою.

Встановлено, що запропонована овочева сировина позитивно позначається на якості дитячих рибних котлет «Морквяні». Вони мають привабливий зовнішній вигляд, правильну форму, приємний колір, соковиту, ніжну консистенцію, гармонійні запах і смак (табл. 3).

Результати органолептичної оцінки, які представлені на рис. 3 свідчать, що зразок дитячих рибних котлет «Морквяні» має більшу площу порівняно з прототипом. Таким чином, удосконалення традиційної рецептури забезпечує отримання виробів з гармонійними органолептичними показниками.

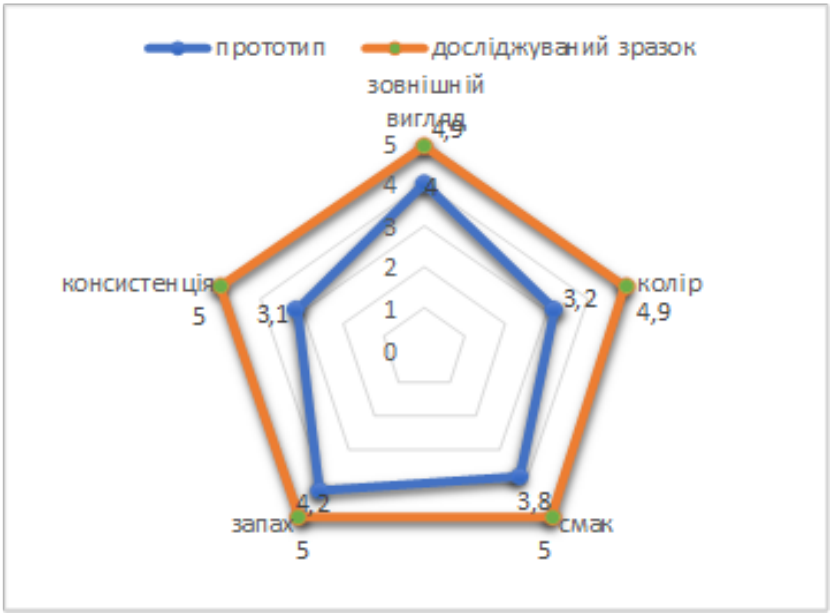


Рис. 3 Профілограма органолептичних показників якості зразків рибних котлет любительських (прототип за ТК № 390) [8] і дитячих рибних котлет «Морквяні»

Таблиця 4 - Порівняльна оцінка фізико-хімічних показників зразків дитячих рибних котлет «Морквяні» зі зразками, виготовленими за традиційною рецептурою

Найменування показника	***Назва зразка***	
	Рибні котлети любительські (прототип за рецептурою № 390) [8]	***Дитячі рибні котлети «Морквяні»***
Масова частка сухих речовин, %	28,6	25,3
Масова частка жиру, %	2,81	2,41
Масова частка хлориду натрію %	0,5	0,48

Як видно з даних таблиці 4, масова частка сухих речовин у зразках дитячих рибних котлет «Морквяні» менша, ніж у прототипі. Завдяки цьому покращуються органолептичні показники нових виробів, а саме консистенція – вона стає соковитою. Також зменшується масова частка жиру, таким чином, нові

рибні котлети можуть бути рекомендовані як дієтичний продукт у дитячому харчуванні.

Біологічну цінність білка дитячих рибних котлет «Морквяні» розраховано методом амінокислотного скору (табл. 5).

Таблиця 5 - Амінокислотний скор білків дитячих рибних котлет «Морквяні»

Амінокислота	*Вміст АК в ідеальному білку, мг/г (за даними ВООЗ)*	*Вміст АК у котлетах «Морквяні»*		*АС, %*
		мг/100г	*мг/1г білка*	
Валін	50	470,0	52,7	105,4
Ізолейцин	40	414,9	46,6	116,5
Лейцин	70	705,8	79,2	113,1
Лізин	55	767,4	86,1	156,5
Метіонін+ цистин	35	360,2	40,4	115,4
Триптофан	10	101,9	11,4	114
Фенілаланін+тирозин	60	660,7	74,1	123,5
Треонін	40	345,7	38,8	97,0

Першою лімітуючою амінокислотою є треонін (АС=97,0%), таким чином, білок рибних котлет «Морквяні» засвоюється на 97,0%, є повноцінним і має високий ступінь засвоюваності.

Методом Харрингтона проведено комплексну оцінку якості нових дитячих рибних котлет. Цей метод передбачає 5 інтервалів, у загальному інтервалі шкали від 1 до 0: 1,00...0,80 – дуже добре (відмінно); 0,80...0,63 – добре; 0,63...0,37 – задовільно; 0,37...0,20 – погано; 0,20...0,00 – дуже погано [16].

Для розрахунку кількісної оцінки якості визначено стандартні та оригінальні показники. Стандартні показники якості – органолептичні, фізико-хімічні показники, показники безпеки, та мікробіологічні. До оригінальних показників відносять вміст білків, вуглеводів, жирів, мінеральних речовин, вітамінів.

Таблиця 6 - Шкала вузлових значень показників якості дитячих рибних котлет «Морквяні»

Назва показника, одиниця виміру	**Оцінка K_i**					
	1,00	0,80	0,65	**0,37**	0,20	0,00
	Кодоване значення У					
	3,00	1,50	0,85	**0,00**	-0,50	-3,00
1	2	3	4	5	6	7
Органолептичні показники						
Зовнішній вигляд	5,0	4,0	3,0	**2,0**	1,5	1,0
Колір	5,0	4,0	3,0	**2,0**	1,5	1,0
Консистенція	5,0	4,0	3,0	**2,0**	1,5	1,0
Запах	5,0	4,0	3,0	**2,0**	1,5	1,0
Смак	5,0	4,0	3,0	**2,0**	1,5	1,0

Фізико-хімічні показники							
МЧ сухих речовин, %		24,1	24,5	24,9	**25,3**	26,1	26,9
МЧ жиру, %		2,1	2,2	2,3	**2,41**	2,9	3,4
МЧ хлориду натрію (кухонної солі), %		0,33	0,38	0,43	**0,48**	**0,7**	0,8
Показники безпеки							
Свинець, мг/кг, не більше		0,03	0,05	0,07	**0,1**	0,2	0,5
Кадмій, мг/кг, не більше		0,005	0,01	0,02	**0,03**	0,2	0,4
Миш'як, мг/кг, не більше		0,001	0,005	0,01	**0,05**	0,2	0,6
Ртуть, мг/кг, не більше		0,001	0,002	0,003	**0,005**	0,1	0,3
Цинк, мг/кг, не більше		2,0	3,0	4,0	**5,0**	7,0	9,0
Мідь, мг/кг, не більше		0,05	0,1	0,3	**0,5**	1,0	1,4
Мікотоксини							
Зааренол, мг/кг, не більше		0,0	0,3	0,6	**1,0**	1,5	2,0
Патулін , мг/кг, не більше		0,0	0,01	0,03	**0,05**	0,1	0,2
Афлатоксин β1, мг/кг, не більше		0,0	0,001	0,003	**0,005**	0,01	0,02
Пестициди							
ГХЦГ(γ-ізомери), мг/кг, не більше		0,0	0,01	0,5	**1,0**	1,5	2,0
Гептахлор ГПХ (епоксид гептахлора), мг/кг, не більше		0,0	0,0	0,0	**0,0**	0,0	0,0
Радіонукліди							
Cs^{137}, Бк/кг		10	200	400	**600**	800	1000
Sr^{90}, Бк/кг		10	100	150	**200**	400	600
Мікробіологічні показники							
Кількість МАФАнМ в 1 $см^3$, КУО, не більше		$1·10$	$5·10$	$5·10^2$	**$5·10^3$**	$2·10^4$	$5·10^4$
Бактерії групи кишкової палички в 0,1 $см^3$, не більше		0,0	0,0	0,0	**0,0**	0,1	0,3
Staphylococcus aureus в 1,0 $см^3$продукту, не більше		0,0	0,0	0,0	**0,0**	0,1	0,3
Патогенні мікроорганізми, зокрема бактерії роду Salmonella, в 25 г продукту, не більше		0,0	0,0	0,0	**0,0**	0,1	0,3
Дріжджі КУО, не більше в 1 г продукту, не більше		0,0	0,0	0,0	**0,0**	0,5	1,0
Плісняві гриби КУО, в 1 г продукту, не більше		2	20	50	**100**	200	300
Макронутрієнти, г							
Білки у 100 г продукту	Новий продукт	10,4	9,8	9,4	**8,91**	8,0	7,5
	Прототип	12,4	11,8	10,6	**10,4**	9,6	8,6
Жири у 100 г продукту	Новий продукт	1,4	1,8	2,1	**2,41**	3,4	4,1
	Прототип	1,3	1,8	2,0	**2,81**	3,8	4,4
Вуглеводи у 100 г продукту	Новий продукт	6,0	5,8	5,6	**5,24**	3,6	2,8
	Прототип	5,8	5,0	3,9	**2,98**	2,0	0,6
Мінеральні речовини, мг							
Кальцій у 100 г продукту	Новий продукт	29,6	29,0	28,7	**27,7**	26,4	25,0
	Прототип	46,0	44,7	43,8	**42,6**	40,9	38,5
Калій у 100 г продукту	Новий продукт	274,7	272,1	271,4	**270,6**	268,0	266,0
	Прототип	199,6	199,4	199,1	**197,5**	190,2	184,2
Магній у 100 г продукту	Новий продукт	34,1	33,6	32,9	**31,87**	29,0	27,2
	Прототип	28,1	27,5	26,8	**25,9**	23,8	22,2

продовження таблиці 6

Фосфор у 100 г продукту	Новий продукт	214,8	213,1	211,7	**209,3**	205,8	202,2
	Прототип	208,2	203	199,4	**197,0**	193,0	186,2
Залізо у 100 г продукту	Новий продукт	2,05	1,86	1,74	**1,53**	1,29	1,1
	Прототип	1,0	0,95	0,9	**0,74**	0,6	0,45
Вітаміни, мг							
Вітаміну B_1 у 100 г продукту	Новий продукт	0,1	0,09	0,08	**0,077**	0,06	0,05
	Прототип	0,09	0,08	0,06	**0,055**	0,04	0,03
Вітамін B_2 у 100 г продукту	Новий продукт	0,16	0,15	0,14	**0,123**	0,09	0,07
	Прототип	0,17	0,15	0,13	**0,108**	0,09	0,06
Вітамін B_4 у 100 г продукту	Новий продукт	56,1	55,5	54,8	**53,93**	51,8	50,2
	Прототип	74,9	74,3	73,6	**72,74**	70,6	69,0
Вітамін B_6 у 100 г продукту	Новий продукт	0,32	0,26	0,22	**0,17**	0,13	0,1
	Прототип	0,24	0,19	0,14	**0,10**	0,05	0
Вітамін С у 100 г продукту	Новий продукт	2,02	1,83	1,71	**1,5**	1,26	1,02
	Прототип	2,9	2,4	1,9	**1,35**	2,0	2,3
β-каротин у 100 г продукту	Новий продукт	4,4	3,9	3,67	**3,36**	2,5	1,9
	Прототип	2,7	2,1	2,15	**2,1**	1,9	1,8

У таблиці 6 наведено шкалу вузлових значень показників якості дитячих рибних котлет «Морквяні». Дані, які представлені у табл. 6, свідчать, що у зразках дитячих рибних котлет «Морквяні» збільшився вміст калію, магнію, фосфору, заліза (мг) на 73,1; 5,97; 12,3; 0,79 відповідно; вітамінів B_1, B_2, B_6, С, β-каротину (мг) на 0,022; 0,015; 0,07; 0,15; 1,26 відповідно; вміст харчових волокон збільшився на 2,26 г, вміст жиру – зменшився на 0,4 г.

Висновки

Доведено доцільність удосконалення традиційної рецептури рибних котлет любительських шляхом повної заміни основної рибної сировини на філе тріски з доданням овочевого пюре моркви та повної заміни допоміжної сировини на хліб житній, яйця перепелині, молоко мигдалеве, олію оливкову.

Обґрунтовано харчову та біологічну цінність тріски та інгредієнту рослинного походження - моркви.

Встановлено, що оптимальним є внесення в рецептуру дитячих рибних котлет «Морквяні» пюре моркви - 30%. Визначено, що введення овочевої сировини у рецептуру дитячих рибних котлет поліпшує у готовій страві органолептичні показники в порівнянні з прототипом.

Запропоновано рецептурний склад дитячих рибних котлет «Морквяні». Розроблена технологічна схема їх приготування.

Визначено органолептичні та фізико-хімічні показники дитячих рибних котлет «Морквяні», які свідчать, що удосконалення традиційної рецептури забезпечує отримання виробів з гармонійними органолептичними показниками.

На підставі комплексної оцінки з'ясовано, що внаслідок часткової заміни філе тріски овочевим пюре і повної заміни допоміжної сировини, у дитячих рибних котлетах «Морквяні» підвищується вміст дефіцитних для дітей нутрієнтів, а саме калію, магнію, заліза, фосфору, вітамінів групи В, С,

β-каротину, харчових волокон, завдяки чому вони можуть розглядатися як страви підвищеної біологічної цінності.

Дитячі рибні котлети «Морквяні» мають нескладний технологічний процес приготування і можуть бути введені до дитячого меню закладів індустрії гостинності.

Література:

1. Гуліч М.П., Онопрієнко О.М., Ольшевська О.Д. Харчування – вагомий фактор збереження здоров'я населення. [Електронний ресурс] - Режим доступу:http://www.health.gov.ua/publ/conf.nsf/50e0ce97d91c75b3c2256d8f0025c386/efa1b54347f228dec2256d95004e250e?OpenDocument

2. Сімахіна Г. О., Науменко Н. В. Харчування як основний чинник збереження стану здоров'я населення. "Здоров'я, харчування, довголіття": матеріали наук.-практ. конф., м. Київ, 16—17 травня 2016 р. Київ, 2016. С. 204

3. 2/3 усіх хвороб в Україні є наслідком неправильного харчування. [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://moz.gov.ua/article/news/23-usih-hvorob-v-ukraini-e-naslidkom-nepravilnogo-harchuvannja

4. Про затвердження рекомендованого Примірного чотиритижневого сезонного меню рекомендованого для організації триразового харчування дітей віком від 1 до 6(7) років в закладах освіти та інших організованих дитячих колективах на осінній період. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 05 листопада 2021 року. № 2441. [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://moz.gov.ua/article/ministry-mandates/nakaz-moz-ukraini-vid-05112021--2441-pro-zatverdzhennja-rekomendovanogo-primirnogo-chotiritizhnevogo-sezonnogo-menju-rekomendovanogo-dlja-organizacii-trirazovogo-harchuvannja-ditej-vikom-vid-1-do-67-rokiv-v-zakladah-osviti

5. Про затвердження рекомендованого Примірне чотиритижневе сезонне меню рекомендоване для організації триразового харчування дітей віком від 1 до 6 (7) років в закладах освіти та інших організованих дитячих колективах на зимовий період. [Електронний ресурс] - Режим доступу: Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 03 лютого 2022 року. № 215. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://nus.org.ua/wp-content/uploads/2022/02/35816-dodatok_do_nakazu_zima.pdf

6. Рецептура 210. Технологічна карта. Хлібець рибний. [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://moz.gov.ua/uploads/6/34104-tehnologicna_dokumentacia_na_stravi_ta_virobi_dla_organizacii_harcuvanna_ditej_vikom_vid_1_do_6_7_rokiv_1_tizden_rekomendovanogo_menu.pdf

7. Технологічна карта. Рулет рибний. [Електронний ресурс] - Режим доступу:https://moz.gov.ua/uploads/6/34103tehnologicna_dokumentacia_na_stravi_ta_virobi_dla_organizacii_harcuvanna_ditej_vikom_vid_1_do_6_7_rokiv_3_tizden_rekomendovanogo_menu.pdf

8. Рецептура № 390. Технологічна карта. Котлета рибна любительська. [Електронний ресурс] - Режим доступу:https://moz.gov.ua/uploads/6/34103tehnologicna_dokumentacia_na_stravi_ta_virobi_dla_organizacii_harcuvanna_ditej_vikom_vid_1_do_6_7_rokiv_3_tizden_rekomendovanogo_menu.pdf)

9. Калорійність. Тріска атлантична, сира. Хімічний склад і харчова цінність. [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://health-diet.ru/base_of_food/sostav/18105.phpUSDA

10. Калорійність. Минтай, сирий. Хімічний склад і харчова цінність [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://health-diet.ru/base_of_food/sostav/18156.php

11. Калорійність. Окунь морський атлантичний. Хімічний склад і харчова цінність. [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://health-diet.ru/base_of_food/sostav/18148.php

12. Калорійність. Хек. Хімічний склад і харчова цінність. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://health-diet.ru/base_of_food/sostav/417.php

13. Уманець Т.Р. Сучасна стратегія ведення дітей з алергією. [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://health-ua.com/article/41259-suchasna-strategya-vedennya-dtej-z-alergyu

14. Морква. Хімічний склад і харчова цінність. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://health-diet.ru/base_of_food/sostav/804.php

15. Harrington E.C. The desirable function / E.C. Harrington // Industrial Quality control. – 1965/21. – № 10. – P. 124-131

Abstract. *The presented work proves the feasibility of improving the traditional amateur fish cutlet recipe by completely replacing the main fish raw material with cod fillets with the addition of carrot purée and completely replacing auxiliary raw materials with rye bread, quail eggs, almond milk, olive oil. The chemical composition of the main raw material of the dish - cod - was analyzed and its advantages in the recipe were proven. It has been established that adding 30% of carrot purée to the recipe of "Carrot" children's fish cutlets is optimal.*

The organoleptic, physical and chemical indicators were studied and the biological value of children's fish cutlets "Carrots" was calculated. A comprehensive assessment of the quality of a new dish was carried out using Harrington's method.

Keywords: *cod, carrots, children's fish cutlets, biological value, organoleptic indicators, physical and chemical indicators, comprehensive quality assessment*

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-006
DOI: 10.30888/2663-5712.2023-18-01-006

УДК 628.16:621.9.048

IDENTIFICATION OF DEPOSITS IN TURBINE CONDENSERS ACCORDING TO STEAM TURBINE PLANT WORK PARAMETERS

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ВІДКЛАДЕНЬ В КОНДЕНСАТОРАХ ЗА ПАРАМЕТРАМИ РОБОТИ ПАРОТУРБІННИХ УСТАНОВОК

Kochmarskii V.Z./Кочмарський В.З.
c.f.-m.s, prof./к.ф.-м.н., проф.
ORCID:0000-0003-2036-8841
National University of water and environmental engineering,
Rivne, Soborna 11, 33028,
Національний університет водного господарства та природокористування,
Рівне, Соборна 11, 33028.

Анотація. *Розглядається алгоритм ідентифікації відкладень в конденсаторах турбін за зміною температури конденсації пари та її тиску, що виникають внаслідок забруднення відкладеннями поверхонь теплопередачі. Для характеристики відкладень використовують спеціальний параметр - «фактор відкладень» - величину, що рівна різниці теплового опору шару забруднень та зміни коефіцієнта тепловіддачі від забрудненої стінки трубки до охолодної води. З фактором відкладень безпосередньо пов'язані зміни параметрів роботи паротурбінної установи (ПТУ) і він може бути визначений за їх поточними вимірюваннями. Для представлення фактора відкладень через режимні параметри ПТУ, використовують рівняння теплового балансу і визначають коефіцієнт теплопередачі чистого конденсатора, або його трубок. За моніторингом температури конденсації пари впродовж кампанії блока та динамікою її зміни розраховують фактор відкладень і за його величиною судять, чи причиною погіршення вакууму є відкладення на трубній системі, чи інші фактори. При відомому коефіцієнті теплопровідності оцінюють товщину відкладень, а також втрати електричної потужності блоком ВВЕР-1000 та його брутто ККД.*

Ключові слова: *конденсатори, коефіцієнт теплопередачі, фактор відкладень, температура конденсації.*

Вступ

За законами термодинаміки в електроенергію можна перетворити лише частину теплоти згенерованої в котлах чи ядерних реакторах. Неперетворена частина теплоти (анергія) розсіюється в довкіллі системами охолодження. На ТЕС та АЕС переважно використовують оборотні системи охолодження (ОСО) [1-7], що споживають поверхневі води. Отримане оборотною водою (ОВ) в конденсаторах турбін (КТ) тепло розсіюється в довкіллі переважно випаровуванням завдяки тому, що кожен кг випареної води виносить ≈2.45 МДж тепла. Проте випаровування має також негативну сторону – воно в ОВ призводить до концентрування солей. Через те, що поверхневі води, які використовують в ОСО, належать до гідрокарбонатного класу [4], то солями, які виділяються з ОВ і формують відкладення на внутрішній (водній) поверхні трубок КТ є карбонати.

Дослідження [3] показали, що основою відкладень є карбонат кальцію $CaCO_3$. Карбонат магнію практично не створює відкладень. Це зумовлено тим, що розчинність $MgCO_3$ у сотні раз більша порівняно з розчинністю $CaCO_3$ і в ОВ іони Mg^{2+} ведуть себе подібно до іонів Cl^-, маючи практично однаковий ступінь концентрування [7]. Якщо ОВ нестабільна щодо $CaCO_3$, то повністю

позбутися відкладень практично не можливо [8].

Забруднення КТ призводить до зменшення його коефіцієнту теплопередачі (КТП), росту температури і тиску в паровому просторі та зменшення ефективності ПТУ, зокрема, недовиробітку електроенергії [5,7]. Фінансові втрати, пов'язані з недовиробітком електроенергії на потужних блоках внаслідок забруднень КТ, можуть за рік сягати сотень мільйонів грн. Проте цим шкода від відкладень не обмежується, адже під відкладеннями розвивається піттингова корозія трубок та втрата герметичності парового простору КТ, що призводить до присмоктування ОВ в паровий простір, зниження якості конденсату і утворення відкладень на паровій стороні трубних систем (ТС).

Незважаючи на це, що проблема відкладень в КТ має давню історію[1-6, 8-10] в останні роки цікавість до цього питання знову зросла у зв'язку з глобальним потеплінням і намаганням обмежити шкідливі викиди у тепла та продуктів згорання органічних палив [7,11]. Ситуація усугубляється також ростом цін на паливо і помилковим рішенням урядів багатьох країн щодо обмеження розвитку ядерної енергетики, закінченням термінів експлуатації діючих ядерних енергетичних реакторів та пов'язаного з цим дефіцитом електроенергії в розвинутих країнах.

Метою роботи є розрахунок впливу відкладень на зміни режимних параметрів ПТУ в процесі їх експлуатації та ідентифікація відкладень як причини відхилення режиму роботи ПТУ від нормативного.

1. Розрахунок коефіцієнта теплопередачі забрудненого КТ

Визначимо зміну теплового потоку відпрацьованої пари до КТ, що виникає внаслідок забруднення КТ. Для цього скористаємося даними з експлуатації ПТУ [1-6], які вказують на те, що роботу ПТУ припиняють і чистять КТ, якщо ККД ПТУ зменшується більше ніж на два відсотки ($\Delta\eta_б < 0.02$), а тиск в паровому просторі КТ збільшується до 10 кПа.

Оцінимо нагрів ОВ при її проходженні через брудний КТ. Для цього використаємо рівняння теплового балансу КТ по охолодній воді,

$$c_в \cdot G_в \cdot \Delta t_в = Ne/\eta_б \cdot (1-\eta_б), \qquad (1)$$

$c_в$, $G_в$ - масові теплоємність та витрата охолодної води, кг/с; $\Delta t_в$ – нагрів ОВ в трубках КТ.

Використовуючи (1) будемо вважати, що відкладення не впливають на витрату води через КТ та подачу теплоти в ПТУ. На підставі (1) та прийнявши максимально допустиме зменшення ККД $\delta\eta_б = 0.02$, для $\eta_б = 0.33$, отримуємо відносну зміну температури нагріву ОВ,

$$\varepsilon_{tв} = \frac{\Delta t_в - \Delta t_{в0}}{\Delta t_{в0}} = \frac{\delta\eta_б}{1-\eta_{б0}} \approx 0.03, \qquad (2)$$

індекс «0» стосується параметрів чистого конденсатора.

Бачимо, що відносна зміна нагріву води в КТ менша від 3%, що при $\Delta t_в$=9°С дає абсолютний приріст температури нагріву ОВ

$$\delta\Delta t_в = 0.27°C < 0.3\ °C, \qquad (3)$$

цей приріст температури нагріву ОВ надто малий і тому він не може служити надійним ідентифікатором відкладень.

Якщо припустити, що при забрудненні КТ його поверхня теплопередачі не змінюється, то з похибкою меншою ніж 3% можемо прирівняти потоки тепла від відпрацьованої пари до ОВ для чистого та забрудненого КТ, що дає

$$\frac{K_0}{\ln\left(\frac{t_{k0}-t_{1в}}{t_{k0}-t_{1в}-\Delta t_в}\right)}=\frac{K}{\ln\left(\frac{t_k-t_{1в}}{t_k-t_{1в}-\Delta t_в}\right)}, \qquad (4)$$

$t_к$ – температура конденсації пари в брудному КТ; тут прийнято, що $\Delta t_{в0} = \Delta t_в$ та температура води $t_{1в}$ на вході в КТ в обох випадках однакова.

Встановимо зв'язок між КТП чистого та брудного конденсаторів. Теплопередача в КТ реалізується через його ТС, що складається з N паралельно включених одинакових трубок, тому приблизно можемо записати,

$$Q_{КТ} = F\cdot K\cdot\Delta t_{lnКТ} \approx N_{тр}\cdot f_{тр}\cdot \Delta t_{lnтр};\ \ F\cdot K = N_{тр}\cdot F/N_{тр}\, k_{тр};\ \ K = k_{тр}. \qquad (5)$$

$k_{тр}$ – КТП для окремих трубок; в цьому наближенні ми отримали, що КТП конденсатора і його окремих трубок співпадають.

Нехтуючи кривизною забрудненої трубки, її КТП представимо у вигляді,

$$k_{тр}=\frac{1}{\alpha_1^{-1}+\frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}+\alpha_2^{-1}+\frac{\delta_d}{\lambda_d}+\Delta\left(\frac{1}{\alpha_1}\right)}=\frac{k_{тр0}}{1+k_{тр0}\cdot depF}. \qquad (6)$$

$$k_{тр0}=\frac{1}{\alpha_1^{-1}+\frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}+\alpha_2^{-1}},\quad depF=\frac{\delta_d}{\lambda_d}-\frac{\Delta\alpha_1}{\alpha_1}\cdot\frac{1}{\alpha_1+\Delta\alpha_1}, \qquad (6a)$$

α_2, α_1 – коефіцієнти тепловіддачі від пари до зовнішньої стінки трубки та від внутрішньої стінки до води в чистому КТ; $\delta_{ст}$, $\lambda_{ст}$ – товщина стінки трубки і теплопровідність матеріалу трубки; δ_d, λ_d – товщина шару відкладень на внутрішній поверхні трубки та теплопровідність відкладень; $\Delta\alpha_1$ – зміна коефіцієнту тепловіддачі від внутрішньої стінки, покритої відкладеннями, до ОВ порівняно з чистою трубкою; ***depF - фактор відкладень.*** У випадку, коли нехтуємо зміною коефіцієнту тепловіддачі від поверхні трубки до ОВ, фактор відкладень рівний тепловому опору відкладень, ***depF = δ_d/λ_d.***

Зауважимо, що переважно у всіх випадках, коли обговорюється вплив відкладень на роботу ПТУ, не враховують зміни α_1 хоча зрозуміло, що стінка покрита відкладеннями має інші теплогідродинамічні властивості порівняно з чистою. На підставі (5) отримуємо [6,7,11],

$$K \approx \frac{K_0}{1+K_0\cdot depF}. \qquad (7)$$

З другої сторони співвідношення між КТП брудного і чистого КТ дається виразом (4).

Приймемо, що початкові параметри режиму роботи відповідають ПТУ К-1000-60/3000 з конденсаторами 1000КЦС-1, які використовуються на АЕС з реакторами ВВЕР-1000,

$$t_{к0} = 29\ ^oC,\ P_к = 4.0\ кПа,\ t_{1в} = 15\ ^oC,\ \Delta t_в = 9^oC. \qquad (8)$$

Позначимо комплекс, що характеризує нормативний режим роботи ПТУ у формулі (4),

$$H(t_{k0},t_{1в},\Delta t_в) = \frac{t_{k0} - t_{1в}}{t_{k0} - t_{1в} - \Delta t_в}, \qquad (9)$$

$H(t_{k0}, t_{1в}, \Delta t_в)$ впродовж кампанії блока вважається сталим і за даними (8) $H(t_{k0}, t_{1в}, \Delta t_в) = 2.8$.

Припустимо, що з *невідомих причин* температура конденсації пари в КТ збільшилась на $\delta t_k = 10^oC$. За цих умов знаходимо співвідношення між К та K_0

$$\frac{K}{K_0} = \frac{\ln\left(\frac{t_{k0} + \delta t_k - t_{1в}}{t_{k0} + \delta t_k - t_{1в} - \Delta t_в}\right)}{\ln\left[H(t_{k0},t_{1в},\Delta t_в)\right]} = \frac{\ln\left(\frac{29 + 10 - 15}{29 + 10 - 15 - 9}\right)}{\ln(2.8)} = 0.46 \ . \qquad (9a)$$

Поточна величина K/K_0, як це випливає з (9а), залежить від температури конденсації пари $t_k = t_{k0} + \delta t_k$ та від початкових параметрів ПТУ. Бачимо з (9а), що росту температури конденсації пари на $\delta t_k = 10^oC$ КТП конденсатора зменшується на 54%. Проте отриманий результат не свідчить однозначно, що причиною зменшення КТП і відповідного збільшення температури конденсації є відкладення. Зменшення КТП може відбуватися також внаслідок підсмоктувань повітря в паровий простір КТ. Щоб переконатися, що причиною зменшення КТП є відкладення, необхідно його визначити за формулою (7) при аналогічних умовах і порівняти результат з (9а).

За виразами (4), (7) та (9) розраховуємо ***фактор відкладень,***

$$depF = \left[\ln\left(\frac{t_k - t_{1в}}{t_k - t_{1в} - \Delta t_в}\right)\cdot\left[\ln(H(t_{k0},t_{1в},\Delta t_в))\right]^{-1} - 1\right]\cdot K_0^{-1} \ . \qquad (10)$$

Неперервний моніторинг t_k у заданому режимі роботи ПТУ (початкові параметри: t_{k0}, $t_{1в}$, та $\Delta t_в$ = Const) дозволяє розрахувати depF, пов'язати відхилення роботи КТ від нормативного режиму з його величиною, тобто з відкладеннями, та встановити чи саме відкладення є причиною таких відхилень.

Як бачимо з (7) та (10) для отримання фактора відкладень, потрібно визначити КТП чистого КТ.

2. Розрахунок КТП чистого КТ та фактора відкладень

При розрахунку коефіцієнта теплопередачі чистого КТ використаємо, що $K_0 = k_{тр0}$ і з рівняння теплового балансу для трубки,

$$J_0 = k_{тр0}\cdot \Delta t_в\cdot\left(\ln H(t_{k0},t_{1в},\Delta t_в)\right)^{-1}, \qquad (11)$$

J_0 – питомий тепловий потік на трубку в чистому КТ типу 1000КЦС-1 у вибраному режимі роботи ПТУ, $J_0 \approx 20.2$ кВт/м^2.

З рівняння (11) отримуємо,

$$k_{тр0} = \frac{j_0}{\Delta t_в}\cdot \ln H(t_{k0},t_{1в},\Delta t_в) \ . \qquad (12)$$

Відповідно, для КТ 1000КЦС-1 $k_{тр0} = 2.31\cdot10^3$ Вт/(м^2·К) і для вибраного режиму роботи ця величина не змінюється.

Оцінимо фактор відкладень для КТ 1000КЦС-1, де, як вже згадувалось раніше, за невідомих причин температура конденсації пари зросла на $\delta t_k = 10^oC$ тобто $t_к = 39^oC$, а тиск відповідно збільшився до $P_к = 7.0$ кПа.

$$depF = \left(\frac{K_0}{K} - 1\right)\cdot K_0^{-1} = \frac{2.17-1}{2310} = 5.1\cdot 10^{-4}\,\frac{м^2\cdot К}{Вт}. \qquad (13)$$

За означенням depF, див. (6), знехтувавши $\Delta\alpha_1/\alpha_1^2$, отримуємо нижню оцінку гіпотетичної товщини відкладень, яка при $\lambda_d = 2.5$Вт/(м·К) рівна,

$$\delta_d = depF\cdot \lambda_d = 5.1\cdot 10^{-4}\cdot 2.5 \approx 1.270\cdot 10^{-3}\ м \approx 1.3\ мм. \qquad (14)$$

Розрахована товщина відкладень близька до спостережуваної при чистках КТ, що дає підставу вважати***, що саме відкладення є причиною постульованого раніше (9а) росту температури конденсації пари.***

Оцінимо похибку до якої призводить нехтування зміною коефіцієнту тепловіддачі α_1 у формулі (6). Приймемо, що відкладення змінюють величину $\alpha_1 = 3\cdot 10^3$Вт/(м·К) на 50%. Тоді зміна величини δ_d буде рівною

$$\Delta(\delta_d) = \frac{\Delta\alpha_1}{\alpha_1}\cdot\frac{1}{\alpha_1+\Delta\alpha_1}\cdot\lambda_d = \frac{0.5}{4.5\cdot 10^3}\cdot 2.5 = 2.8\cdot 10^{-4}\,м = 0.28\ мм, \qquad (15)$$

що становить 22% від величини δ_d. Тобто врахування зміни α_1 (на 50%) внаслідок відкладень збільшує на 22% розрахункову товщину відкладень до 1.58 мм, проте не змінює її в рази. Зауважимо, при розрахунках (15) вважалось, що $\Delta\alpha_1 > 0$, проте це не завжди так, особливо для органічних відкладень.

3. Оцінка втрат генерації електроенергії внаслідок забруднення КТ

Визначимо втрату потужності блоком з ВВР-1000 при товщині відкладень в 1.3 мм. Для цього врахуємо, що зміна ентальпії відпрацьованої пари при переході від її конденсації при $P_к$ 0.004 МПа до $P_к = 0.007$ МПа становить

$$\Delta h = h_к(0.007) - h_к(0.004) = 2572 - 2554 = 0.018\ (МДж/кг).$$

Зменшення теплоти пари, що перетворюється в електричну (втрата генерації електроенергії) становить [12],

$$\Delta Ne = D_k\cdot \Delta h = 909\cdot 18 = 16.4\ (МВт),$$

D_k - витрата пари, кг/с, що подається в КТ.

Отже втрата електричної потужності блоком внаслідок забруднення трубок КТ відкладеннями товщиною 1.3 мм становить,

$$\Delta Ne = 16.4\ МВт, \qquad (16)$$

а відносна зміна ККД блока з ВВЕР-1000 досягає

$$\Delta\eta/\eta = \Delta Ne/Ne = 0.0164 \rightarrow 1.6\%.$$

Зауважимо, що втрата електричної потужності 16.4 МВт енергоблоком для АЕС рівна додатковому тепловому навантаженню на довкілля, а для ТЕС дозволяє поряд з цим оцінити забруднення пов'язані з перепалом палива.

Отже вирази (9) – (15) представляють алгоритм визначення ***фактора відкладень*** та ймовірної товщини відкладень за поточними даними температури конденсації пари в КТ, якщо відомі параметри номінального режиму роботи ПТУ

і дозволяють встановити причини (діагностувати) відхилення режимних параметрів від номінальних.

Висновки

1. Представлена схема розрахунку ***фактора відкладень*** за поточними вимірюваннями температури конденсації пари та КТП чистої трубки КТ.

2. ***Фактор відкладень*** – величина, яка рівна різниці теплового опору шару забруднень та зміни коефіцієнта тепловіддачі від забрудненої стінки трубки до охолодної води. Розрахунок КТП конденсатора чи окремої трубки робимо за рівнянням питомого теплового потоку до окремої трубки.

3. Виконуючи моніторинг температури конденсації пари впродовж кампанії блока, розраховують за її динамікою зміну КТП та фактор відкладень і за їх величинами встановлюють , що є причиною погіршення вакууму є відкладення на ТС. У випадку відкладень оцінюють їх товщину і при необхідності розробляють і впроваджують відповідні заходи їм протидії .

Література

1. Кучеренко Д.И. Оборотное водоснабжение (Системы водяного охлаждения). Москва. Стройиздат, 1980. 169 с.

2. Топольницький М.В. Атомні електричні станції. – Львів: "Бескид Біт", 2005. 523 с.

3. Кочмарський В.З., Поспелов Д.Н. Состояние проблемы противонакипной обработки воды. Київ, Знання. РДЕНТП. 1986. 24 с.

4. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Ленинград. Гидрометеоиздат.1970. 444 с.

5. Шелєпов І.Г. Теплотехнические установки электростанций (исследование и расчет низкопотенциальных комплексов ТЭС и АЭС). Шелєпов І.Г., Заруба В.К., Яцкевич С.В. Київ. УМКВО. 1993, - 200 с.

6. Шелєпов І.Г., Михайський Д.В. Диагностирование конденсаторов паровых турбин на основе уравнения теплопередачи. Східноєвропейський журнал передових технологій. №5(5). 2003. С. 74-77.

7. Kochmarskii V.Z. Control of cooling water stability with respect to Carbonate deposits. ВіВТ. НТ- вісті. № 2 (27). 2020. Ст. 75-83. DOI: https://doi.org/ 1020535/2218-9300 2722020209 843

8. Кочмарський В.З., Костюк О.П. Тимейчук О.Ю. Відкладення у водогрійних котлах та їх наслідки. Вісник НУВГП, вип. 3(95). Рівне, 2021. С. 75-84.

9. Грішин А.А., Кочмарський В.З., Поспелов Д.Н. Состояние и перспективы применения безреагентных методов противонакипной водоподготовки на предприятиях Минэнерго. Мат. Республ. н.т. конф. Рівне, 1988. С. 6-8.

10. Kochmarskii V.Z. Magnetic Treatment of Water. Possible mechanisms and conditions for applications. Magnetic and Electrical Separation. 1996, v.7. p. 77- 107.

11. Кочмарський В.З. Моделювання процесу виділення карбонату кальцію і алгоритм оперативного контролю стану водогрійних котлів. Енергетика і електрифікація. № 10. 2015. С. 4 - 8.

12. Теплообменники энергетических установок. https://openedu.urfu.ru/files/book%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F.html

Abstract *The algorithm for identification of deposits in turbine condensers based on changes in steam condensation temperature and pressure resulting from contamination of heat transfer surfaces by deposits is considered. To characterize deposits, a special parameter is used -* ***"deposit factor"*** *- a value equal to the difference in the thermal resistance of the pollution layer and the change in the heat transfer coefficient from the polluted tube wall to the cooling water. Changes in the operating parameters of the steam turbine plant (STP) are directly related to the deposit factor and can be determined from their current measurements. To represent the deposit factor through the mode parameters of the STP, the heat balance equation is used and the heat transfer coefficient of the pure condenser or its tubes is determined. By monitoring the steam condensation temperature during the unit campaign and the dynamics of its change, the deposit factor is calculated, and by its value it is judged whether the cause of vacuum deterioration is due to deposits on the pipe system or other factors. With a known coefficient of thermal conductivity, the thickness of deposits is estimated, as well as the loss of electric power by the WWER-1000 block and its gross efficiency.*

Key words: *turbine condensers, heat transfer coefficient, deposition factor, condensation temperature.*

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-013
DOI: 10.30888/2663-5712.2023-18-01-013

УДК 622.276.53

ALGORITHM OF CALCULATION THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF AN ADVANCED JET WELL INSTALLATION

АЛГОРИТ РОЗРАХУНКУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ УДОСКОНАЛЕНОЇ СТРУМИННОЇ СВЕРДЛОВИННОЇ УСТАНОВКИ

Yakymechko Y. Y./Якимечко Я. Я.
c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.
ORCID: 0000-0002-4406-0094
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
Карпатська , 15, Івано-Франківськ, Україна, 76019
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
Karpatska, 15, Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76019

Анотація: *Запропоновано удосконалену методику розрахунку технологічних параметрів струминної свердловинної установки з розділеними робочими потоками, конструкція якої немає аналогів в Україні. Дана методика була апробована під час промислових випробувань дослідного зразка комплекту обладнання для видобування високов'язких нафт. Спосіб роботи насосно-ежекторної свердловинної струминної установки з гідродинамічним пульсатором для видобування високов'язких нафт захищений патентом України.*

Ключові слова: *високов'язка нафта; глибинні насоси; струминні апарати; обмежений відбір нафти; послідовність розрахунку; проектування процесу.*

Вступ. В Україні видобування високов'язкої нафти здійснюється свердловинним методом з використанням глибинно-насосних установок, а в якості глибинних насосів використовують штангові, електрозанурювані, гідропоршневі і гвинтові. Враховуючи те, що в міру піднімання нафти з вибою свердловин її в'язкість суттєво зростає, застосування штангових насосів стає не лише нерентабельним, але й технічно важко зреалізованим. При ході штанг вниз вони в високов'язкому середовищі зависають, а при підніманні їх вверх штанги витримують великі розтягуючі напруження, що призводить часто до їх розриву.

У США струминні насоси були розроблені в 70-х роках минулого століття і почата експериментальна експлуатація нафтових свердловин фірмами Kobe, National і Guiberson. Застосування їх на деяких свердловинах виявилось досить ефективним.

Нами запропоновано удосконалену конструкцію струминної свердловинної установки з розділеними робочими потоками, у якій робоча рідина, рухаючись по міжтрубному просторі, досягнувши корпусу насосу, розділяється на два потоки. Частина робочої суміші – 40% (в залежності від перерізу сопла камери закручування) потрапляє в камеру закручування гідродинамічного кавітатора, в якій при проходженні робочої рідини з неї виділяються бульбашки газу, а на виході з камери при проходженні рідини через ступінчатий дифузор ці бульбашки під дією зовнішнього тиску лускають. Друга частина робочої суміші – 60% (в залежності від перерізу сопла струминного апарату) потрапляє на сопло насосу, звідки витікаючи з великою швидкістю, утворює зону зниженого тиску, внаслідок чого суміш і нафта із підпакерного пристрою поступає в камеру змішування дифузора пристрою. В колоні НКТ за рахунок аерації нафти і

використання енергії, виділеного з нафти газу, суттєво знижується тиск на пласт, що дозволяє збільшити приплив і відбір пластової рідини. Далі по насосно-компресорним трубам нафта піднімається на поверхню. Аналогів запропонованої конструкції струминного апарату в Україні немає.

Метою роботи є удосконалення алгоритму розрахунку технологічних параметрів струминної свердловинної установки з розділеними робочими потоками.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій. Струминні насоси в даний час широко застосовують в багатьох країнах світу, в тому числі і в Україні. Вперше в України запропонував використання струминних апаратів в технології освоєння свердловин та інтенсифікації припливу вуглеводнів професор Яремійчук Р.С. за участю Кіфора Б.І., Хомінця З.Д., Лотовського В.М., Шандровського Т.Р. та ін.

Застосування глибинних струминних насосів для експлуатації нафтових свердловин зумовлено такими їх особливостями:

- необхідний тиск робочої рідини біля входу у сопло струминного насосу створюється не тільки наземним силовим насосом, але і напором стовпа робочої рідини в колоні НКТ;
- тиск на виході струминного насосу, який необхідний для підйому рідини на поверхню, суттєво зменшується завдяки газліфтному ефекту, який виникає при виділенні вільного газу з нафти в колоні НКТ;
- менша чутливість до наявності вільного газу і піску в рідині у порівнянні з поршневими насосами;
- простота конструкції і порівняно малі габарити насосів, надійність і корозійна стійкість при прийнятній ціні [5].

Поєднання струминного насоса із дією на високов'язку нафту імпульсно-кавітаційними технологіями може істотно вплинути на інтенсифікацію видобування важких вуглеводнів із свердловин. В якості генераторів імпульсно-кавітаційного впливу нами запропоновано використовувати ультразвукові гідродинамічні кавітатори. Такі пристрої мають мінімальні габарити і масу, просту конструкцію, що не містить жодної рухомої деталі, легко монтується у струминний апарат.

На сьогоднішній день відома низка свердловинних насосних установок і пристроїв для відкачування рідини із свердловини із використанням струминних насосів і застосуванням аерування робочої рідини [1-8]. Деякі з них мають на меті піднімання на поверхню рідин, які не володіють високов'язкими властивостями. Заслуговує на увагу пристрій для видобування високов'язкої і парафінистої нафти. Пристрій вміщує струминний насос 3, підвішений з пакером 2 на колоні труб 1 (рисунок 1).

Струминний насос вміщує реакційну камеру 6, яка заповнена хімічним реагентом 7. Причому порожнина реакційної камери 6 з'єднана з проточним каналом 8 струминного насоса через регулюючий клапан 5. Струминний насос 3 спускають в колону труб 1, реагент 7 при зіткненні з водою, яка подається під тиском з поверхні, виділяє велику кількість тепла. Воно нагріває стінки реакційної камери 6. Ефективність досягається за рахунок зниження в'язкості

нафти шляхом нагрівання її на вибої нафти. В якості джерела тепла використовується реакція хімічного реагента з водою.

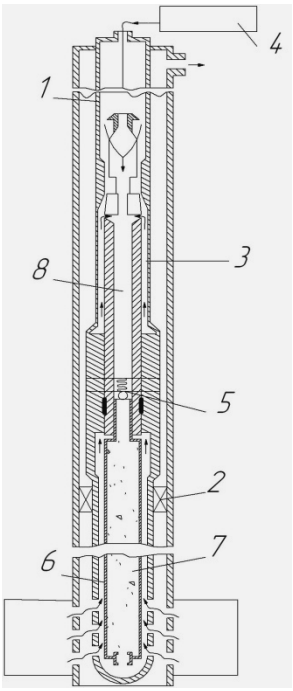


Рисунок 1 - Пристрій для видобування високов'язкої і парафінистої нафти
1 *- колона труб;* ***2*** *– пакер;* ***3*** *– струминний насос;* ***4*** *– поверхневий насос;*
5 *– регулюючий клапан;* 6 *– реакційна камера;* ***7*** *– хімічний реагент;*
8 *– проточний канал*

Недоліком цього винаходу є те, що реагент, який використовується для ініціювання хімічної реакції з виділенням тепла є недешевим і через деякий час його необхідно буде поновлювати. А для цього необхідно буде зупиняти видобування і зворотним промиванням або за допомогою канатної техніки піднімати реакційну камеру на поверхню. Все це незадовільно відобразиться на ефективності видобування високов'язкої нафти, погіршить економічні показники роботи свердловини.

Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми. Для зменшення впливу цих недоліків нами пропонується удосконалити технологію видобування високов'язких нафт шляхом застосування струминних насосів з розділеними робочими потоками і використанням енергії пульсуючих потоків.

При проектуванні комплекту обладнання для видобування високов'язких нафт була взята за основу уже відома і випробувана конструкція струминного апарату типу ПЕОС. Нами запропоновано струминний апарат, схему якого зображено на рис. 2.

Корпус пристрою має осьовий канал з мінімальним діаметром 48 мм, який для заданого технологічного процесу перекривається відповідною вставкою (клапаном для опресування пакера, насосом ежекторним з клапаном гідродинамічних досліджень або гідродинамічним кавітатором). В корпусі пристрою є також радіальні канали для подачі робочої рідини і бокові канали вздовж осі для всмоктування пластової рідини з підпакерної зони. У верхній і

нижній частинах корпус пристрою має різьбу НКТ 73 ГОСТ 633-80 для з'єднання з насосно-компресорними трубами.

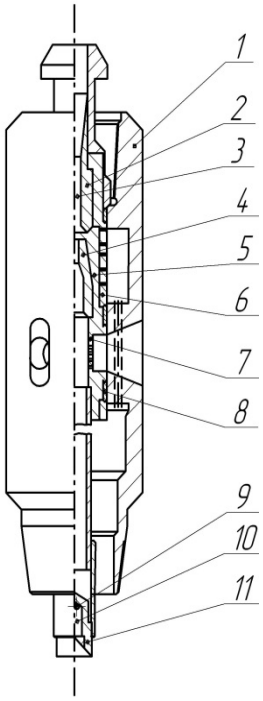


Рисунок 2 - Струминний апарат для видобування високов'язких нафт
1 *– корпус пристрою;* ***2*** *– дифузор;* ***3*** *– камера змішування;* ***4*** *– сопло;* ***5*** *– сідло;* ***6*** *- струминний насос; 7 – фільтраційні отвори;* ***8*** *– ущільнуючі кільця;* ***9*** *- тангенціальні вхідні отвори;* ***10*** *– камера змішування;* ***11*** *– гідродинамічний кавітатор*

В струминних апаратах типу ПЕОС робоча рідина подається по трубах НКТ, а за технологією видобування високов'язких нафт робоча рідина подається по затрубному просторі, тому насос ежекторний нами конструктивно змінений. Він складається з корпусу, в якому вгвинчені сопло і змішувач. В корпусі насосу передбачені радіальні отвори діаметром не більше 2,5 мм для фільтрації як робочої суміші, так і для фільтрації пластової рідини. Цим забезпечується більш надійніша і довговічніша робота струминного апарату. Сопло і змішувач виконані двох типорозмірів, що дає можливість підбирати різні режими роботи. У верхній частині ежекторного насосу знаходиться хвостовик з проточкою, за яку при допомозі цангового вловлювача на канатній техніці можна підняти на поверхню. В нижній частині ежекторного насосу є різьбова частина, до якої можна приєднувати клапан гідродинамічних досліджень або гідродинамічний кавітатор.

Клапан для гідродинамічних досліджень складається з корпусу, в якому знаходиться сідло, з'єднане з обмежуючою втулкою, кулька діаметром 25 мм притиснена пружиною до сідла і обмежуючий гвинт. Сідло в нижній частині з'єднане з наконечником, який підтримує ущільнюючі манжети. В наконечнику передбачена різьба для приєднання глибинного манометра або термометра.

Експлуатація свердловин з високим газовим фактором і відносно низькими вибійними тисками (при підніманні високов'язких нафт для забезпечення

притоку нафти з пласта необхідно створити великі депресії на пласт, а значить створювати низькі вибійні тиски) представляє значні інженерні труднощі. Фонтанний спосіб не реалізується через недостачу природної енергії пласта, механізовані - економічно малоефективні і газліфтний - через високі питомі витрати газу, насосні - через низький коефіцієнт корисної дії та інші фактори.

Висвітлення основного матеріалу дослідження. Для визначення технологічних параметрів ми опиралися на роботи таких вчених: Баскієва К.С. , Гіматутдінова Ш.К. Бойка В.С., Савенкова І.Г., Міщенка І.Т., Соколова Е.О., Зінгера М.М., Шурова В.І., Аметова І.М., Яремійчука Р.С., Качмара Ю.Д., Світлицького В.М. та ін. [9-23].

Приймемо такі позначення:

H - глибина свердловини до середніх отворів фільтра, м;

$D_в$ - внутрішній діаметр експлуатаційної колони, м;

$d_в$ - внутрішній діаметр НКТ, м;

$d_з$ - зовнішній діаметр НКТ, м;

b - товщина продуктивного пласта, м;

$P_{пл}$ - пластовий тиск, Па;

k_o - коефіцієнт продуктивності свердловини або постійний коефіцієнт в рівнянні притоку, м^3/Па·с;

$h = 1$ - показник ступеню в рівнянні притоку;

$Q_н$ - дебіт свердловини, м^3/с·Па;

$p_{нас}$ - тиск насичення нафти газом, Па;

$p_в$ - тиск на вибої свердловини, Па;

p_2 - тиск на викиді свердловини (буферний), Па;

p_0 - атмосферний тиск, Па;

G_o - газовий фактор, приведений до нормальних умов, м^3/м^3;

α - коефіцієнт розчинності газу в нафті, м^3/м^3·Па;

$\rho_н$ - густина нафти, кг/м^3;

$\rho_{го}$ - густина газу, приведена до нормальних умов, кг/м^3;

$\rho_р$ - густина робочої рідини, кг/м^3;

$\rho_з$ - густина змішаної рідини, кг/м^3;

μ - коефіцієнт витрати насадки струминного апарату;

$\mu_н$ - в'язкість нафти, Па·с;

$\mu_р$ - в'язкість робочої рідини, Па·с;

i - коефіцієнт інжекції струминного апарату;

ϕ - кут нахилу свердловини.

Відбір рідини з свердловини, виходячи з конкретних умов, є обмеженим. Таким чином, відомо $Q_н$ і аналітичний вираз індикаторної лінії:

$$Q_н = f(P_в) \quad (1)$$

Знаючи $Q_н$, витрату надземної силової установки або витрату робочої рідини визначаємо з співвідношення:

$$Q_p = \frac{Q_н}{i} B \ , \tag{2}$$

де

$$B = \frac{\rho_н + G_0 \rho_{го}}{\rho_p} \tag{3}$$

Коефіцієнтом інжекції i задаються, виходячи з умов забезпечення найбільш ефективної роботи установки. Сумарна подача струминного апарату буде дорівнювати

$$Q_c = Q_н + Q_p \tag{4}$$

Знаючи дебіт свердловини $Q_н$, вибійний тиск визначається із рівняння припливу

$$p_в = p_{пл} - \left(\frac{Q_н}{k_0} \right)^{\frac{1}{H}} \tag{5}$$

За вибійним тиском $P_в$, тиском насичення нафти газом $P_{нас}$ і умов експлуатації свердловини, тиск на прийомі струминного апарату $P_н$ визначається, виходячи з таких міркувань, якщо

$$p_в > p_{нас}, \text{ то } p_н = p_{нас} \tag{6}$$

У випадку, коли $p_в < p_{нас}$, то тиск на прийомі насосу приймають рівним вибійному:

$$p_н = p_в \tag{7}$$

Знаючи глибину свердловини, вибійний тиск і тиск біля струминного апарату, визначається глибина його спуску в свердловину за залежністю:

$$L = H - \frac{p_в - p_н}{\rho_н g} \tag{8}$$

В нашій схемі можуть мати місце варіанти конструкцій струминного апарату: робоча рідина подається до струминного апарату через кільцевий міжтрубний простір.

Для розрахунку подачі і необхідної витрати газу необхідно знайти відповідні приведені еквіваленті діаметри. Значення цих діаметрів визначаються за експериментальними залежностями відповідно для визначення витрат рідини і витрат газу:

$$d_Q = \frac{d_в}{2} + 0{,}013 \tag{9}$$

$$d_г = \frac{d_в}{2} \tag{10}$$

Газ, який повертається з поверхні у вигляді газорідинної суміші переходить у розчин, а пізніше виділяється з розчину у вихідному потоці. Осереднений тиск насичення цього потоку газом визначається з такого співвідношення:

$$P'_{нас} = \frac{G_0 i}{\alpha' (i + B)} \tag{11}$$

Коефіцієнт α' аналогічний коефіцієнту розчинності газу в рідині і приблизно враховує особливості розчинення та виділення газу у висхідному потоці підйомника. Його значення визначається з виразу:

$$\alpha' \approx \frac{2\alpha i}{2i+B} \tag{12}$$

Ефективний газовий фактор (питома витрата газу), який забезпечує процес фонтанування потоку рідини в підйомнику у верхній його частині, починаючи з деякої площини розгазування, буде дорівнювати:

$$G_{еф} = \frac{1}{2}\left[\frac{iG_0}{i+B} - \alpha'(p_2 - p_0)\right] \tag{13}$$

Для забезпечення раціонального використання фонтанного ефекту у струминному апараті, режим фонтанування на пошуковій частині його довжини повинен бути оптимальним. Для оптимального режиму довжина верхньої частини підйомника, з якої забезпечується фонтанування висхідного потоку, визначається з такого співвідношення:

$$L' = \frac{\dfrac{iG_0}{\alpha'(i+B)} - p_2}{2\rho_н g} + \sqrt{\left(\frac{\dfrac{iG_0}{\alpha'(i+B)} + p_2}{2\rho_н g}\right)^2 + \frac{\dfrac{1}{2}\left[\dfrac{iG_0}{(i+B)} - \alpha'(P_2 - 2p_0)\right] d_г^{0,5}\left[\dfrac{iG_0}{\alpha'(i+B)} - p_2\right]}{2{,}77\cdot 10^{-4}\rho_c^2} \times d_з \frac{iG_0}{\alpha'(i+B)p_2}} \tag{14}$$

Таким чином, в установці струминного підйомника, який спущений у свердловину на глибину L, в інтервалі $L - L_1$, відбувається піднімання негазованої рідини за допомогою струминного апарату, а починаючи з глибини L', здійснюється її фонтанування за рахунок енергії напору, що відповідає тиску насичення $P_{нас}$, і енергії розширення газу, який виділяється з потоку цієї рідини.

Отже, за допомогою залежності (13) ми можемо проектувати режим роботи надземних газорідинних установок (насосів-бустерів або надземних ежекторів), а за допомогою залежності (14) визначити інтервал свердловини, де буде здійснюватися фонтанний підйом рідини.

Найбільш важливим параметром, від якого, в основному, залежать всі робочі параметри силової установки, є тиск на викиді струминного апарату p_c. Його значення, при умові, коли $p_{нас}$ і α' відомі, визначається за таким рівнянням:

$$p_c = \frac{iG_0}{\alpha'(i+B)} + (\alpha - \alpha')\rho_c g + \frac{8\lambda_k(\alpha - \alpha')Q_н^2(i+B)^2\rho_c}{\pi^2(D_в^2 - d_з)i^2}\cdot\frac{\lambda}{\cos\phi}, \tag{15}$$

де ρ_c - густина суміші свердловинної і робочої рідини, що виходять з струминного апарату.

Коли $\alpha < \alpha'$ тиск на викиді струминного апарату можна визначити із співвідношення:

$$p_c = \frac{iG_0}{\alpha'(i+B)} + (\alpha - \alpha')\rho_c g \qquad (16)$$

Значення коефіцієнтів гідравлічного опору λ визначаються з відомих залежностей у відповідності до умов, що розглядаються:

Для кільцевого простору

а) якщо $Re < 1200$, то $\lambda_k = \dfrac{16\pi(D_в + d_з)\mu_c}{Q_c \rho_c}$ (17)

б) якщо $Re \geq 1200$, то $\lambda_k = \dfrac{0{,}2365}{\left(\dfrac{4Q_c\rho_c}{\pi(D_в + d_з)\mu_c}\right)^{0{,}21}}$ (18)

Для визначення p_c використаємо такі залежності:

а) якщо $P_в < P_{нас}$ і $P_c \geq P'_{нас}$, то

$$p_c = \frac{p_н p_p (1+i)}{p_н + p_p} \qquad (19)$$

б) якщо $P_в < P_{нас}$ і $P_c < P_{нас}$, то

$$P_c = \frac{p_p(p_н + G_0 p_{го})(1+i)}{p_н + G_0 p_{го} + ip_p\left[(G_0 - \alpha' p_c)\dfrac{p_0}{p_c}\right]} \qquad (20)$$

в) якщо $P_в \geq P_{нас}$ і $P_c > P'_{нас}$, то

$$p_c = \frac{p_н\, p_p (1+i)}{p_н + ip_p} \qquad (21)$$

Для визначення відносного перепаду тиску на струминному апараті (за Соколовим і Зінгером):

$$A = \frac{\Delta P_c}{\Delta P_p} = \frac{\varphi_1^2}{m}\left[2\varphi_2\left(1 + \frac{\Delta p_k}{\Delta p_p}\right)^{0,5} + \frac{2\varphi_2 \rho_p i^2}{\rho_н(m-1)} - \frac{(2-\varphi_3^2)\rho_p(1+i)^2}{m\rho_c}\right] - \frac{\Delta p_k}{\Delta p_p}, \qquad (22)$$

де $\dfrac{\Delta P_k}{\Delta P_p} = \left(\dfrac{\varphi_1}{\varphi_4}\right)^2 \dfrac{p_p \cdot i}{p_н(m-1)}$

де $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ - коефіцієнт швидкості відповідно робочого сопла, камери змішування, дифузора, вхідної ділянки камери змішування

$$\varphi_1 = 0{,}95;\ \varphi_2 = 0{,}975;\ \varphi_3 = 0{,}924$$

Якщо $P_в < P_{нас}$, то $p_н = p'_н = \dfrac{p_н + G_0 p_{го}}{1 + \dfrac{(G_0 - \alpha p_н) p_0}{P_н}}$.

Перепад тиску на насадці струминного апарату

$$\Delta p_p = \frac{p_c - p_н}{p} \tag{23}$$

Тиск на вході в насадку струминного апарату

$$P_p = \Delta p_p + p_н \tag{24}$$

Тиск на викиді наземних агрегатів на гирлі свердловини

$$P_a = p_p - p_{гр} + p_{тер}, \tag{25}$$

де $p_{гр}$ - тиск, що створюється стовпом рідини при вході в насадку

$p_{тер}$ - витрати тиску на тертя в НКТ

$$p_{тер} = \frac{8\lambda L Q_p^2 p_p}{\pi^2 d_в^5} \tag{26}$$

Діаметр насадки струминного апарату визначається із залежності

$$d_c = \left[\frac{2Q_p}{\mu \pi} \left(\frac{2p_p}{\Delta p_p} \right)^{0,5} \right]^{0,5} \tag{27}$$

Діаметр камери змішування визначається із залежності:

$$d_{кз} = d_c m^{0,5}, \tag{28}$$

де $m = \dfrac{f_c}{f_{кз}}$

f_c - площа насадки;

$f_{кз}$ - площа камери змішування.

Вище приведеними залежностями визначаються основні параметри роботи струминної установки.

Технологічна схема обв'язки обладнання для видобування нафти за допомогою струминного насоса з розділеними робочими потоками передбачає таку область застосування:

1) глибина свердловини від 700 м до 2000 м;

2) в'язкість нафти на вибої свердловин від 20 мПа·с до 100 мПа·с ;

3) продуктивність свердловини від 5 до 100 м^3/добу;

Обладнання повинно включати в себе:

1) фонтанну арматуру;

2) комплект насосно-компресорних труб;

3) гідродинамічний пульсатор (кавітатор) для імпульсно-хвильової дії на високов'язкі нафти, в якому зреалізований ефект зменшення в'язкості нафти в камері всмоктування за рахунок розчинення високов'язкої нафти потоком робочої рідини, дії кавітації та пропуском через високов'язку нафту природного

газу;

4) гідромеханічний або механічний пакери;

5) наземний гідропривід, обладнаний ежекторним пристроєм для аерації робочої рідини, який здатний подавати у свердловину газорідинну суміш у співвідношенні за об'ємом рідини-газу при тиску нагнітання в межах 40:60;

6) лінію нагнітання робочої рідини, обладнану зворотним клапаном і фільтром з діаметром отворів не більше 3,5 мм;

7) для повторного використання природного газу повинна бути передбачена дегазаційна установка (сепаратор);

8) мірну ємкість з витратоміром;

9) ємкість технологічної рідини і ємкість доливання технологічної рідини.

Висновки. Наукова новизна - запропоновано удосконалену методику розрахунку технологічних параметрів струминної свердловинної установки з розділеними робочими потоками, конструкція якої немає аналогів в Україні.

Дана методика була апробована під час промислових випробувань дослідного зразка комплекту обладнання для видобування високов'язких нафт на свердловині № 95 Бугруватівського родовища НГВУ «Охтирканафтогаз», якими доведено його ефективність і роботоздатність.

Спосіб роботи насосно-ежекторної свердловинної струминної установки з гідродинамічним пульсатором для видобування високов'язких нафт захищений патентом України 57331 [24].

Застосування комплекту обладнання для видобутку високов'язких нафт створює низку позитивних факторів:

- ✓ тиск на виході струминного насосу, який необхідний для підйому рідини на поверхню, суттєво зменшується завдяки газліфтному ефекту, який виникає при виділенні вільного газу з нафти в колоні НКТ;
- ✓ конструкція струминного насосу менш чутлива до наявності вільного газу і піску в рідині у порівнянні з поршневими насосами;
- ✓ простота конструкції і порівняно малі габарити насосів, надійність і корозійна стійкість установки.

Література:

1. Яремийчук Р.С. Применение струйных аппаратов при освоении скважин / Яремийчук Р.С., Кифор Б.М., Лотовский В.Н., Шанович Л.М. // Техника и технология бурения скважин: обзор. информ. – М.: ВНИОЭНГ, 1988. – 56 с.

2. Яремийчук Р.С. Применеие струйных аппаратов при интенсификации притока нефти / Р.С. Яремийчук, А.А. Джавадян // Нефтяное хозяйство. – 1988. - № 5. – С. 37-40.

3. Яремийчук Р.С. Технология повышения продуктивности скважин с помощью струйных аппаратов / Яремийчук Р.С., Возный В.Р., Кифор Б.М., Лотовский В.Н. // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море: обзор. информ. – М.: ВНИОЭНГ, 1992. – 52 с.

4. А. с. 1332086 СССР, МКИ F 04 F 5/54. Скважинная насосная установка / Р.С. Яремийчук, Б.М. Кифор, В.Н. Лотовский, В.И. Арцеховский, М.Г. Храбатин, С.Н. Горев, Г.А. Лесовой, К.Г. Догец (СССР). - № 4020533/25-06; заявл. 06.02.86;

опубл. 23.08.87, Бюл. № 31.

5. А. с. 1474339 СССР, МКИ F 04 F 5/14. Струйный насос / А.М. Абдулзаде, Р.С. Яремийчук, А.И. Спивак, С.Б. Назаров (СССР). - № 4304842/25-29; заявл. 08.09.87; опубл. 23.04.89, Бюл. № 15.

6. А. с. 1481485 СССР, МКИ F 04 F 5/02. Струйный насос / А.М. Абдулзаде, Р.С. Яремийчук, А.И. Спивак, Н.А. Ефимов (СССР). - № 4302914/25-29; заявл. 08.09.87; опубл. 23.05.89, Бюл. № 19.

7. А. с. 1551840 СССР, МКИ F 04 F 5/54. Скважинная насосная установка / Р.С. Яремийчук, И.В. Белей, Ю.С. Лопатин, М.Г. Храбатин, В.Д. Холодюк, А.А. Домальчук (СССР). - № 4449704/25-29 ; заявл. 29.06.88 ; опубл. 23.03.90, Бюл. № 11.

8. А.с. 1701992 СССР, МКИ F 04 F 1/20. Устройство для добычи нефти / М.Г. Храбатин, Р.С. Яремийчук, М.Н. Томин, В.Д. Холодюк (СССР). - № 4661478/29 ; заявл. 13.03.89 ; опубл. 30.12.91, Бюл. № 48.

9. Яремийчук Р.С. Вскрытие продуктивных горизонтов и освоение скважин / Р.С. Яремийчук, Ю.Д. Качмар. – Львов: Вища школа. - 1982.-150 с.

10. Яремійчук Р.С. Освоєння свердловин: Практикум / Р.С. Яремійчук, Ю.Д. Качмар. – Львів: Світ, 1997. – 256 с.

11. Яремійчук Р.С., Возний В.Р. Освоєння та дослідження свердловин / Р.С. Яремійчук, В.Р. Возний. – Львів: Оріяна-Нова, 1994. – 440 с.

12. Подземная гидравлика / К.С. Баскиев, А.И. Власов, И.Н. Кочина, В.М. Максимов. – М.: Недра, 1986. – 303 с.

13. Гиматутдинова Ш.К. Справочная книга по добыче нефти / Ш.К. Гиматутдинова. – М.: Недра, 1974. – 704 с.

14. Справочное руководство по проектированию разработки и эксплуатации нефтяных месторождений // Добыча нефти / Под ред. Ш.К. Гиматутдинова. – М.: Недра, 1983.- 455 с.

15. Савенков Г.И., Бойко В.С. Расчет процесов интенсификации притока, освоения и эксплуатации скважин / Г.И. Савенков, В.С. Бойко. – Львов.: Вища школа, 1986. – 160 с.

16. Савенков Г.И. Совершенствование технологии процесса освоения скважин сжатым газом: автореф. дис. на присвоение науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.15.10 “Бурение скважин” / Г.И. Савенков. - Ивано-Франковск, 1986. – 22, [1] с.

17. Сборник задач по технологии и технике нефтедобычи / Н.Т. Мищенко, В.А. Сахаров, В.Г. Грон, Г.И. Богомольный. – М.: Недра, 1984. – 272 с.

18. Соколов Е.Я. Струйные аппараты / Е.Я. Соколов, Н.М. Зингер. 2-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1970. – 288 с.

19. Шуров В.И. Технология и техника добычи нефти / Шуров В.И. – М.: Недра, 1983. – 510 с.

20. Добыча тяжелых и высоковязких нефтей / Аметов И.М., Байдиков Ю.Н., Рузин Л.М., Спиридонов Ю.А. – М.: Недра, 1985. – 205 с.

21. Временная методика проектироввания эксплуатации скважин струйными насосами с использованием фонтанного эффекта. Яремийчук Р.С., Савенков И.Г., Ивано-Франковск, 1991. – 21 с.

22. Інтенсифікація припливу вуглеводнів у свердловину: [наукове видання, книга перша] / Ю.Д. Качмар, В.М. Світлицький, Б.Б. Синюк, Р.С. Яремійчук. – Львів: Центр Європи. 2004. – 352 с.

23. Інтенсифікація припливу вуглеводнів у свердловину: [наукове видання, книга друга] / Ю.Д. Качмар, В.М. Світлицький, Б.Б. Синюк, Р.С. Яремійчук. – Львів: Центр Європи. 2004. – 414 с.

24. Патент 57331 Україна, МПК F04F 5/00 E21B 37/00. Спосіб роботи насосно-ежекторної свердловинної струминної установки з гідродинамічним пульсатором для видобування високов'язких нафт/ Р.С. Яремійчук, Я.Я. Якимечко, Т.Р. Шандровський: заявники і патентовласники Р.С. Яремійчук, Я.Я. Якимечко, Т.Р. Шандровський. - № u2010 08424; заявл. 05.07.2010; опубл. 25.02.2011. Бюл. № 4.

References

1. Yaremiychuk R.S. Primenenie struynyih apparatov pri osvoenii skvazhin / Yaremiychuk R.S., Kifor B.M., Lotovskiy V.N., Shanovich L.M. // Tehnika i tehnologiya bureniya skvazhin: obzor. inform. – M.: VNIOENG, 1988. – 56 s.

2. Yaremiychuk R.S. Primeneie struynyih apparatov pri intensifikatsii pritoka nefti / R.S. Yaremiychuk, A.A. Dzhavadyan // Neftyanoe hozyaystvo. – 1988. - # 5. – S. 37-40.

3. Yaremiychuk R.S. Tehnologiya povyisheniya produktivnosti skvazhin s pomoschyu struynyih apparatov / Yaremiychuk R.S., Voznyiy V.R., Kifor B.M., Lotovskiy V.N. // Stroitelstvo neftyanyih i gazovyih skvazhin na sushe i na more: obzor. inform. – M.: VNIOENG, 1992. – 52 s.

4. A. s. 1332086 SSSR, MKI F 04 F 5/54. Skvazhinnaya nasosnaya ustanovka / R.S. Yaremiychuk, B.M. Kifor, V.N. Lotovskiy, V.I. Artsehovskiy, M.G. Hrabatin, S.N. Gorev, G.A. Lesovoy, K.G. Dogets (SSSR). - # 4020533/25-06; zayavl. 06.02.86; opubl. 23.08.87, Byul. # 31.

5. A. s. 1474339 SSSR, MKI F 04 F 5/14. Struynyiy nasos / A.M. Abdulzade, R.S. Yaremiychuk, A.I. Spivak, S.B. Nazarov (SSSR). - # 4304842/25-29; zayavl. 08.09.87; opubl. 23.04.89, Byul. # 15.

6. A. s. 1481485 SSSR, MKI F 04 F 5/02. Struynyiy nasos / A.M. Abdulzade, R.S. Yaremiychuk, A.I. Spivak, N.A. Efimov (SSSR). - # 4302914/25-29; zayavl. 08.09.87; opubl. 23.05.89, Byul. # 19.

7. A. s. 1551840 SSSR, MKI F 04 F 5/54. Skvazhinnaya nasosnaya ustanovka / R.S. Yaremiychuk, I.V. Beley, Yu.S. Lopatin, M.G. Hrabatin, V.D. Holodyuk, A.A. Domalchuk (SSSR). - # 4449704/25-29 ; zayavl. 29.06.88 ; opubl. 23.03.90, Byul. # 11.

8. A.s. 1701992 SSSR, MKI F 04 F 1/20. Ustroystvo dlya dobyichi nefti / M.G. Hrabatin, R.S. Yaremiychuk, M.N. Tomin, V.D. Holodyuk (SSSR). - # 4661478/29 ; zayavl. 13.03.89 ; opubl. 30.12.91, Byul. # 48.

9. Yaremiychuk R.S. Vskryitie produktivnyih gorizontov i osvoenie skvazhin / R.S. Yaremiychuk, Yu.D. Kachmar. – Lvov: Vischa shkola. - 1982.-150 s.

10. Yaremiichuk R.S. Osvoiennia sverdlovyn: Praktykum / R.S. Yaremiichuk, Yu.D. Kachmar. – Lviv: Svit, 1997. – 256 s.

11. Yaremiichuk R.S., Voznyi V.R. Osvoiennia ta doslidzhennia sverdlovyn / R.S. Yaremiichuk, V.R. Voznyi. – Lviv: Oriiana-Nova, 1994. – 440 s.

12. Podzemnaya gidravlika / K.S. Baskiev, A.I. Vlasov, I.N. Kochina, V.M. Maksimov. – M.: Nedra, 1986. – 303 s.

13. Gimatutdinova Sh.K. Spravochnaya kniga po dobyiche nefti / Sh.K. Gimatutdinova. – M.: Nedra, 1974. – 704 s.

14. Spravochnoe rukovodstvo po proektirovaniyu razrabotki i ekspluatatsii neftyanyih mestorozhdeniy // Dobyicha nefti / Pod red. Sh.K. Gimatutdinova. – M.: Nedra, 1983.- 455 s.

15. Savenkov G.I., Boyko V.S. Raschet protsesov intensifikatsii pritoka, osvoeniya i

ekspluatatsii skvazhin / G.I. Savenkov, V.S. Boyko. – Lvov.: Vischa shkola, 1986. – 160 s.

16. Savenkov G.I. Sovershenstvovanie tehnologii protsessa osvoeniya skvazhin szhatyim gazom: avtoref. dis. na prisvoenie nauch. stepeni kand. tehn. nauk: spets. 05.15.10 "Burenie skvazhin" / G.I. Savenkov. - Ivano-Frankovsk, 1986. – 22, [1] s.

17. Sbornik zadach po tehnologii i tehnike neftedobyichi / N.T. Mischenko, V.A. Saharov, V.G. Gron, G.I. Bogomolnyiy. – M.: Nedra, 1984. – 272 s.

18. Sokolov E.Ya. Struynyie apparatyi / E.Ya. Sokolov, N.M. Zinger. 2-e izd., pererab. – M.: Energiya, 1970. – 288 s.

19. Shurov V.I. Tehnologiya i tehnika dobyichi nefti / Shurov V.I. – M.: Nedra, 1983. – 510 s.

20. Dobyicha tyazhelyih i vyisokovyazkih neftey / Ametov I.M., Baydikov Yu.N., Ruzin L.M., Spiridonov Yu.A. – M.: Nedra, 1985. – 205 s.

21. Vremennaya metodika proektirovvaniya ekspluatatsii skvazhin struynyimi nasosami s ispolzovaniem fontannogo effekta. Yaremiychuk R.S., Savenkov I.G., Ivano-Frankovsk, 1991. – 21 s.

22. Intensyfikatsiia pryplyvu vuhlevodniv u sverdlovynu: [naukove vydannia, knyha persha] / Yu.D. Kachmar, V.M. Svitlytskyi, B.B. Syniuk, R.S. Yaremiichuk. – Lviv: Tsentr Yevropy. 2004. – 352 s.

23. Intensyfikatsiia pryplyvu vuhlevodniv u sverdlovynu: [naukove vydannia, knyha druha] / Yu.D. Kachmar, V.M. Svitlytskyi, B.B. Syniuk, R.S. Yaremiichuk. – Lviv: Tsentr Yevropy. 2004. – 414 s.

24. Patent 57331 Ukraina, MPK F04F 5/00 E21B 37/00. Sposib roboty nasosno-ezhektornoi sverdlovynnoi strumynnoi ustanovky z hidrodynamichnym pulsatorom dlia vydobuvannia vysokov'iazkykh naft/ R.S. Yaremiichuk, Ya.Ia. Yakymechko, T.R. Shandrovskyi: zaiavnyky i patentovlasnyky R.S. Yaremiichuk, Ya.Ia. Yakymechko, T.R. Shandrovskyi. - № u2010 08424; zaiavl. 05.07.2010; opubl. 25.02.2011. Biul. № 4.

Abstract. *The article considers the use of a jet pump design with separate workflows for the production of high-viscosity oil. The authors have developed an improved design of a jet well installation with separate workflows, in which the working fluid, moving through the intertube space, reaching the pump housing, is divided into two streams. Part of the working mixture - 40% (depending on the cross section of the nozzle of the twisting chamber) enters the twisting chamber of the hydrodynamic cavitator, in which the passage of the working fluid from it emit gas bubbles. These bubbles flake under the action of external pressure at the outlet of the chamber when the liquid passes through a stepped diffuser. The second part of the working mixture - 60% (depending on the cross section of the jet nozzle) falls on the pump nozzle, where flowing at high speed, forms a zone of reduced pressure, resulting in the mixture and oil from the subpacker enters the mixing chamber of the device. An improved method for calculating the technological parameters of a jet well installation with separate workflows, the design of which has no analogues in Ukraine, is proposed. This technique was tested during industrial tests of a prototype of a set of equipment for the extraction of high-viscosity oils. We have considered the conditions that can provide the effect of gushing, taking into account the fact that with the use of jet devices can achieve this effect. There may be two cases: 1) the extraction of fluid from wells is limited; 2) extraction of fluid from wells is unlimited. The initial data, technological parameters and the sequence of their determination are given for the variant when light oil is used as a working liquid, and the working pressure of the surface power plant is not set. Determining the technological parameters of the well installation is a solution to the direct problem, and then - the reverse. An improved method for calculating the technological parameters of a jet well installation with separate workflows, the design of which has no analogues in Ukraine, is proposed. This technique was tested during industrial tests of a prototype of a set of equipment for the extraction of high-viscosity oils.*

Keywords: *high viscosity oil; submersible pumps; jet devices; limited oil extraction; sequence of calculation; process design*

Стаття відправлена 01.03.2023 р.
https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-024
DOI: 10.30888/2663-5712.2023-18-01-024

UDC 536.24:621.184.5

ANALYSIS OF QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF EMISSIONS OF "GREENHOUSE AND THERMAL" GASES DEPENDING ON THE TYPE OF FUEL

АНАЛІЗ КІЛЬКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИКИДІВ «ПАРНИКОВИХ ТА ТЕРМІЧНИХ» ГАЗІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ВИДУ ПАЛИВА

Sheleshey T.V. / Шелешей Т.В.
senior lecturer / ст.викл.
ORCID: 0000-0002-7242-4107
Bednarska I. S. / Беднарська І.С.
assist. / асист.
ORCID: 0000-0002-5558-4467
Kutsa A.V. / Куца А.В.
student / студент
Tsyhanov K.O. / Циганов К.О.
student / студент
Olymenko I.O. / Олименко І.О.
student / студент
Apostol Ye.A. / Апостол Я.А.
student / студент
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Politechnichna, 6, 03056
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Політехнічна, 6, 03056

Abstract. *The main goal of this article is to conduct a calculated study of the emission level of nitrogen and carbon oxides when burning different fuels at different power plants. Such installations are: boiler units with a circulating fluidized and fixed bed, as well as boiler installations with liquid and solid slag removal. Installations for burning anthracite coal with the aim of reducing the level of nitrogen oxide emissions are considered: boiler units with a circulating fluidized and fixed bed, as well as boiler installations with liquid slag removal and with solid slag removal. A comparative analysis of the emission level of nitrogen oxides during the burning of anthracite slag using different technological methods was carried out. The results of combustion of various types of fuel and the quantitative characteristics of carbon oxide emissions were analyzed. When burning any fuel, we get quite high values of carbon oxides, but we also observe that when burning coal, we get quite high values of carbon oxides, while burning wood and natural gas leads to the lowest values of carbon oxide emissions. It was established that the most optimal installation from the point of view of environmental friendliness is a circulating fluidized bed, the worst is an installation with liquid slag removal during flaring.*

Key words: *burning, fuel, emission level, nitrogen oxides, carbon oxides.*

Environmental pollution in fairly developed countries of the world is one of the most important and most urgent issues of our time, and it actually requires a lot of attention from both the community and state bodies, in particular, a lot of attention is paid to studying the environmental impact of energy production. Energy consumption is closely related to all types of human activity, such as: heating houses, cooking, moving vehicles, agricultural production, etc. But in Ukraine, compared to other countries, the situation is completely different. While all the countries of the world are trying to reduce the number of thermal power plants, Ukraine, on the contrary, is

increasing the purchase of coal for thermal power plants. Combustion of solid and liquid fuel is accompanied by the release of sulfur, carbon dioxide and carbon monoxide gases, as well as nitrogen oxides, dust, soot and other polluting and dangerous substances [1].

Today, emissions from thermal power plants in Ukraine exceed the established standards of the European Union by 5-30 times and are the main air pollutants in the country. Therefore, providing favorable living conditions for the residents of the cities of our country is the main urgent problem that requires a clear analysis of the impact of harmful emissions of thermal power plants on the environment and the adoption of ways to solve this environmental problem

Worldwide, more than 80% of thermal and electrical energy is obtained by burning organic fossil fuels and converting its chemical energy into electrical and thermal energy. About 80% of all types of pollution of the biosphere are caused by energy processes. Due to the intensive use of the planet's non-renewable fuel and energy resources, their reserves have significantly decreased. In the structure of fossil organic fuels, the specific weight of oil is almost 45%, natural gas - 18%, coal - 37%. As a result of the combustion of C_nH_m hydrocarbons, n molecules of CO_2 carbon dioxide and m/2 molecules of H_2O water vapor are formed per one molecule of the fuel component. The named components belong to the so-called greenhouse gases, an increase in the concentration of which determines a change in the thermal equilibrium condition on the Earth's surface. In addition, in places with a large concentration of gross water vapor emissions, there may be negative consequences associated with a local change in the microclimate. In addition to the products of complete combustion of CO_2 and H_2O, nitrogen N_2 and an excess amount of oxygen O_2, flue gases may contain products of incomplete combustion in the form of carbon monoxide CO, commonly called carbon monoxide, hydrogen H_2 and unburned hydrocarbons $C_xH_yO_z$. Dissociation reactions also occur among the intermediate reactions in the combustion zone. For example, the oxygen dissociation reaction as a result of which two oxygen atoms are formed from one molecule.

$$O_2 \rightarrow 2O, \quad (1)$$

Oxygen atoms O are characterized by increased chemical activity and, having collided with the usually neutral nitrogen molecule N_2 at high temperatures, contribute to the reaction of the formation of the so-called thermal nitrogen oxide

$$NON_2 + O \rightarrow NO + N. \quad (2)$$

As a result of reaction (2), an active nitrogen atom N will be formed, which reacts with oxygen to form additional nitrogen oxide and chemically active atomic oxygen:

$$O_2 + N \rightarrow NO + O. \quad (3)$$

An appropriate amount of nitrogen oxides will be formed in the combustion products, the concentration of which depends on many factors and primarily on the temperature level in the combustion zone. Therefore, such nitrogen oxides are called thermal. The theory of their formation was first developed by Y. B. Zeldovych.

Analysis of recent research and publications. Different scientists deal with the problem of "greenhouse and thermal gases", such as nitrogen oxides and carbon oxides. Y. S. Mysak studied the combustion of fuel in pulverized coal boilers while maintaining the reliability of equipment operation, improving environmental indicators

and reducing harmful emissions into the environment of thermal power plants [2]. L.O. Kesova developed and implemented a high-pressure dust supply system for TPP-210A boilers of the Trypil TPP [3], which contributes to the reduction of nitrogen oxides. Kotler, V.R. in the study "Nitrogen oxides in boiler flue gases" [4] described in detail the processes of nitrogen oxide formation in flue gases.

Highlighting previously unsolved parts of the overall problem. Scientists around the world are trying to reduce the amount of emissions into the environment, this can be done in many ways. One of these ways is the choice of technological process of combustion. A lot of research has been conducted on this topic, but in the literature there is no data on the comparative analysis of the amount of emissions of "greenhouse gases" by the type of fuel.

The purpose of the article. The main goal of this article is to conduct a calculated study of the emission level of nitrogen and carbon oxides when burning different fuels at different power plants. Such installations are: boiler units with a circulating fluidized and fixed bed, as well as boiler installations with liquid and solid slag removal.

Presenting main material. Let's consider the above settings in more detail. A fluidized bed is a two- or three-phase system, which is created by bringing the particles of the solid phase to a suspended state by dynamically affecting them with an upward flow of liquid or gas (air). In furnaces with a fluidized bed, the lifting force of the gas-air flow balances the weight of the particles, due to which fluidization occurs - intensive heat and mass exchange along the height and cross-section of the layer. In the upper layer space, the live cross-sectional area is larger, and, therefore, the gas velocity is lower (up to 1.0–2.5 m/s), and most of the particles removed from the layer fall back into the layer. Due to the fact that the combustible particles, the proportion of which is small in the layer, are surrounded by inert gases, they do not overheat, and the average temperature of the layer does not exceed 950°C. Under these conditions, the generation of nitrogen oxides is low. The relatively low specific rate of burning of carbon and its concentration in the layer are compensated by the relatively large mass and height of the layer (up to 1.0–1.2 m), and deep burning of most particles is achieved due to a sufficiently long time of their stay in the furnace. The fluidized bed is undemanding to fuel quality: it burns coal and carbon-containing waste with an ash content of up to 70% and a relatively low ash content of up to 60% [5].

A firebox with a fixed bed is a type of fuel burning that originates from the development of fire by ancient people in the form of bonfires. In furnaces with a fixed layer, the fuel lying freely on the grates is blown from below by air. The presence of fines in the fuel, on the contrary, is critical: it not only increases the loss of unburned carbon with carry-out, but, more importantly, prevents the free passage of the oxidizer through the bed. Due to this, zones of oxidizing leakage occur in the layer and, as a result, zones of uneven combustion - cooling (which causes local underburning and emissions of CO with flue gases), as well as zones of overheating (result - accelerated destruction of the lattice) [6].

There are different types of furnaces with liquid slag removal. The operating conditions of a semi-open single-chamber furnace with liquid slag removal are much more favorable. Here, the melting zone and the cooling zone are largely separated. In the combustion chamber, the screen pipes are studded and covered with a refractory

coating. The fuel burning process is almost completely completed in this chamber, and its volume is relatively limited, due to which the intensity of heat generation here is 0.5-0.8 MW/m3, and the temperature is 1700-1800 °C. 20-40% of fuel ash is caught in the chamber, which is removed in a liquid state through the fly. In the upper part of the furnace, there are open screen surfaces that provide cooling of the gas and exhaust.

In a two-chamber furnace with liquid slag removal, the fuel combustion chamber with liquid slag and the cooling chamber are separated by slag separator grates, which are made of thin studded screen pipes with a refractory coating. The main amount of molten slag is caught in the combustion chamber. The additionally captured slag flows to the bottom of the furnace, from where it enters the water bath for granulation through the fly. Up to 70% of all ash is captured in a two-chamber furnace [7].

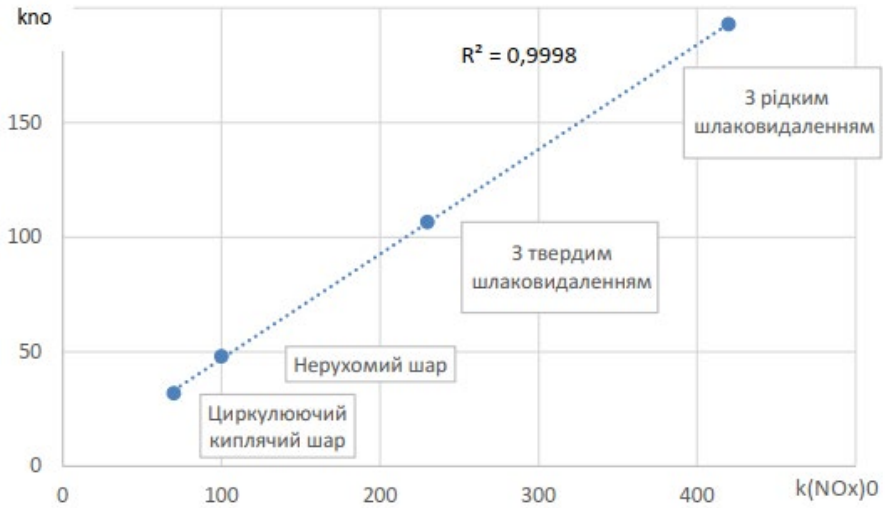
To determine the most effective technological method of burning anthracite slag, among those considered above, it is necessary to calculate the level of nitrogen oxide emissions. Calculations were performed according to [8]. According to the calculations, the following data were obtained, which are listed in Table 1.

Figure 1 shows the dependence of the emission of nitrogen oxides during coal combustion in a circulating fluidized bed, with liquid and solid slag removal during flare combustion and in a fixed bed. It can be seen from the graph that the most optimal setting from the point of view of environmental friendliness is a circulating fluidized bed, the worst is a setting with liquid slag removal during flaring.

Table 1. - Emission rate of nitrogen oxides when using different technological methods of burning anthracite wood.

Installation for incineration of AS	Emission rate of nitrogen oxides, /Gcal
With a circulating fluidized bed	32
With a stationary layer	49
With liquid slag removal	190
With solid slag removal	105

Source: author's development



Source: author's development

Figure 1. The dependence of the emission of nitrogen oxides.

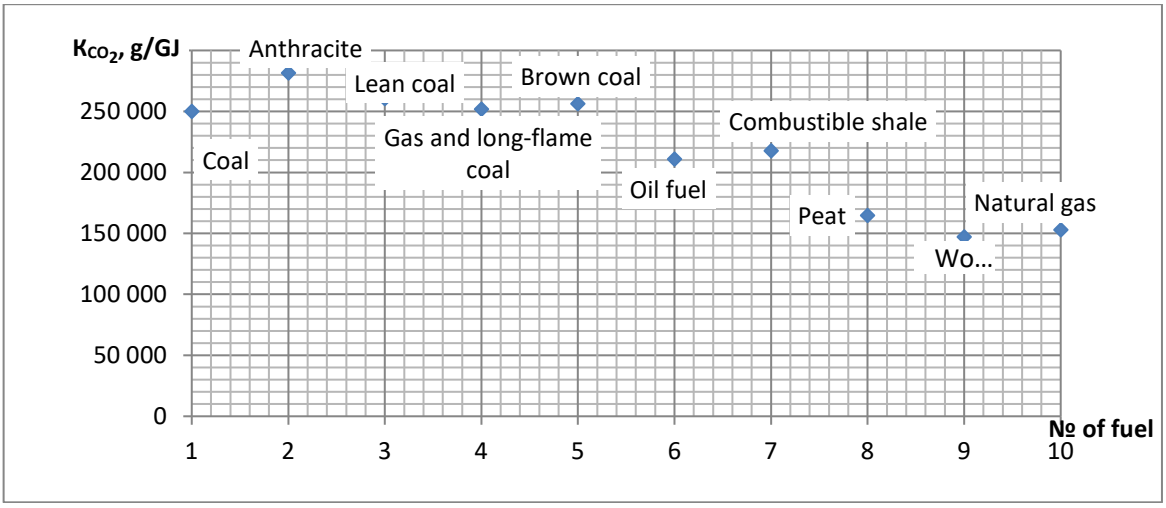
As for carbon oxides, according to [8], the following study was conducted on the dependence of carbon oxide emissions on the type of fuel. The resulting calculations are listed in Table 2.

Table 2. - Indicator of emission of carbon oxides when burning different types of fuel.

№ of fuel	Fuel	Value, g/GJ
1	Coal	250 000
2	Anthracite	281 600
3	Lean coal	260 500
4	Gas and long-flame coal	251 800
5	Brown coal	256 300
6	Oil fuel	211 000
7	Combustible shale	217 650
8	Peat	164 700
9	Wood	147 060
10	Natural gas	153 000

Source: author's development

According to the calculations, a graphical dependence was constructed, which is shown in Figure *2*.



Source: author's development

Figure 2. A graphical dependence according to the calculations.

It can be seen from the graphical dependence that when burning any fuel we get quite high values of carbon oxides, but we also observe that when burning coal, we get quite high values of carbon oxides, instead burning wood and natural gas leads to the lowest values of oxide emissions carbon

Conclusions and proposals. The following installations for burning anthracite coal with the aim of reducing the level of nitrogen oxide emissions were considered: boiler units with a circulating fluidized and fixed bed, as well as boiler installations with liquid slag removal and with solid slag removal. A comparative analysis of the emission level of nitrogen oxides during the burning of anthracite slag using different

technological methods was carried out.

The results of combustion of various types of fuel and the quantitative characteristics of carbon oxide emissions were analyzed. When burning any fuel, we get quite high values of carbon oxides, but we also observe that when burning coal, we get quite high values of carbon oxides, while burning wood and natural gas leads to the lowest values of carbon oxide emissions.

It was established that the most optimal installation from the point of view of environmental friendliness is a circulating fluidized bed, the worst is an installation with liquid slag removal during flaring.

References

1. National plan for reducing emissions from large power plants, No. 796 of November 8, 2017. Order, Cabinet of Ministers of Ukraine. Kyiv, 99 p.

2. Yanko P.I., Mysak Y.S. Modes of operation of energy boilers. Lviv: Ukrainian Technologies Fund, 2004. 270 p.

3. Kesova L.O., Pobirovskyi Yu.M.. High-concentration dust supply technology as a means of improving the environmental performance of boilers burning ash and sludge. Energy: ecology, technologies, ecology. 2000. No. 3. P. 45–49.

4. Kotler V.R. Nitrogen oxides in flue gases of boilers. Moscow: Energoatomizdat, 1987. 97 p.

5. Bodnarenko V.I. [and others]. Energy: history, present and future. Kyiv, 2005. Vol. 3. 304 p.

6. Maistrenko A.Yu., Dudnyk A.N., Topal A.I. Comparative analysis of the technical and economic performance of TPPs using clean coal technologies. Energy and electrification. 2007. No. 6. P. 1–3.

7. GKD 34.02.305-2002. Emissions of pollutants into the atmosphere from power plants. Determination method. Kyiv, 2002. 43 p.

8. Malyarenko V.A., Varlamov G.B., Lyubchyk G.N. etc. Energy installations and the environment. Kharkiv: ХГФГХ, 2002. 397 p.

9. Sheleshei T. V. Comparative analysis of the emission level of nitrogen oxides during burning of anthracite fuel at various power plants [Text] / T. V. Sheleshei, I. S. Bednarska, L. . Mayer, V. S. Yurchuk // Young scientist. — 2020. — No. 5

10. T.V. Sheleshei, I.S. Bednarska, P.P. Merenger, I.V. Dovgan, M.A. Rudyk, ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE FUEL COMPOSITION ON THE CARBON GAS EMISSION INDICATOR WHEN USING DIFFERENT ENERGY INSTALLATIONS, International scientific periodical "Nauchnyy vzladd v vuduzhno" (Ukraine), Issue No. 19, Volume 1, 2020, p. 32-35

Article sent: 10.03.2023

© Шелешей Т.В., Беднарська І.С., Куца А.В.,
Циганов К.О., Олименко І.О., Апостол Я.А.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-037
DOI: 10.30888/2663-5712.2023-18-01-037

УДК 621.878.6

RESEARCH OF THE APPLICATION OF COMPOSITE MATERIAL IN METAL CONSTRUCTION OF WORKING EQUIPMENT OF THE SCRAPER

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ У МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЇ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ СКРЕПЕРА

Spilnyk M. / Спільник М.
Ph. D., as.prof. / к.т.н., доц.
ORCID: 0000-0001-6990-1382
Dakhno O. / Дахно О.
Ph. D., as.prof. / к.т.н., доц.
ORCID: 0000-0001-6916-4327
Uzhelovskyi A. / Ужеловський А.
Ph. D., as.prof. / к.т.н., доц.
ORCID: 0000-0001-7665-8085
Prydniprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture,
Dnipro, Architect Oleh Petrov str, 24, a, 49600
Придніпровська державна академія будівництва та архітектури,
Дніпро, вул. Архітектора Олега Петрова, 24,а, 49600

Анотація. *Трубобетонні конструкції знайшли широке застосування в світовій будівельній практиці завдяки своїм позитивним якостям. Трубобетон у машинобудуванні та його механічні властивості також набули актуальності останнім часом. У процесі роботи скрепера тягова рама сприймає розтягуюче зусилля та згинаючий момент. Під дією таких навантажень тягова рама почне змінювати свою початкову геометричну форму, що може спричинити руйнування конструкції. На основі проведеного аналізу отримані епюри напружень, епюри переміщень, епюри деформацій досліджуваних елементів. Проведений аналіз епюр металоконструкції тягової рами скрепера із заповнювачем у вигляді бетону з армуючими домішками, при використанні заповнювача по усьому об'єму порожнини дозволяє збільшити міцність конструкції на 20…25%, зменшити металоємність до 20%, а також сприяє зменшенню напружень та деформацій конструкції, що підвищує тривалість роботи обладнання.*

Ключові слова: *напруження, заповнювач, композитний матеріал, тягова рама, міцність конструкції.*

Вступ.

Трубобетонні конструкції знайшли широке застосування в світовій будівельній практиці завдяки своїм позитивним якостям [1,2,3,4]. Трубобетон у машинобудуванні та його механічні властивості також набули актуальності останнім часом [5,6,7,8,9,10,11].

Дослідження конструкції землерийно-транспортних машин, які мають робоче обладнання зі металевої труби на стиск та кручення при заповненні бетоном з різноманітними домішками потребують вивчення.

Основний текст. У процесі роботи скрепера тягова рама сприймає розтягуюче зусилля та згинаючий момент (рисунок 1). Під дією таких навантажень тягова рама почне змінювати свою початкову геометричну форму, що може спричинити руйнування конструкції. Вигляд тягової рами, який

встановлений на скрепері, зображений на рисунок 2.

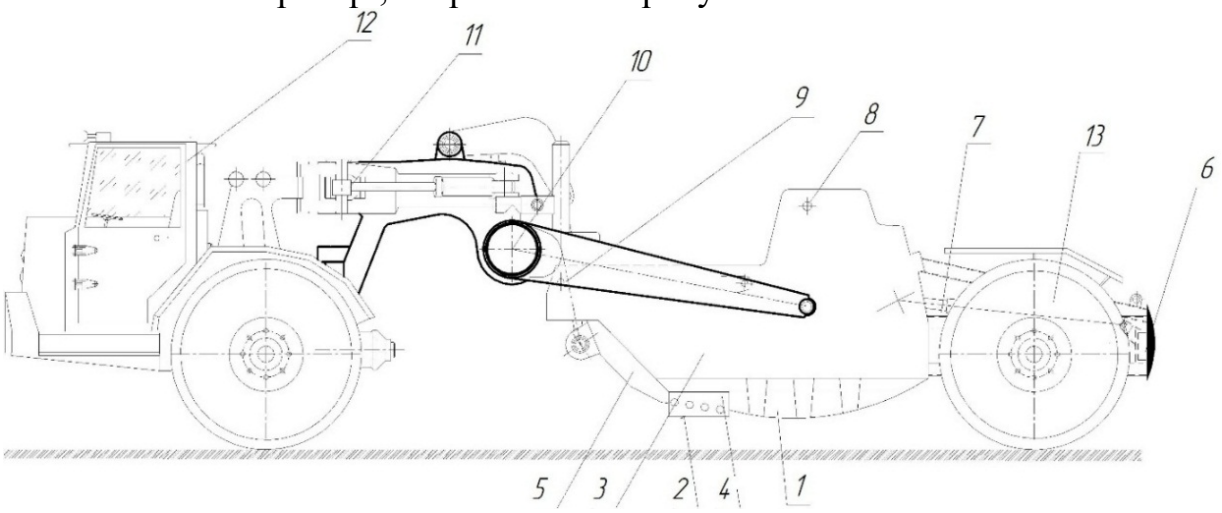
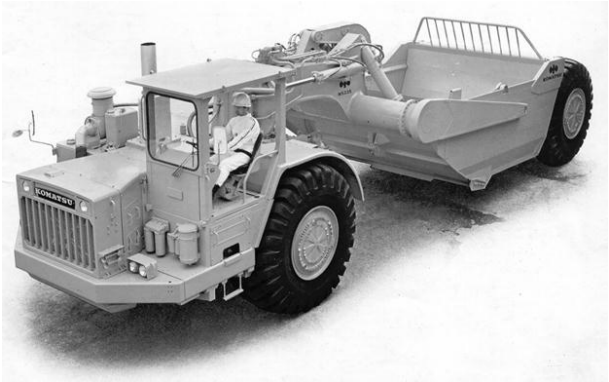


Рисунок 1. Загальний вигляд тягової рами, встановленої на скрепері
1 *– ківш;* ***2*** *– ніж;* ***3*** *– бокова стінка;* ***4*** *– підрізаючий ніж;* ***5*** *– передня заслінка;* ***6*** *– буфер;* ***7*** *– гідроциліндр;* ***8*** *– шарнір кріплення задньої стінки;* ***9*** *– гідроциліндр передньої заслінки;* ***10*** *– тягова рама;* ***11*** *– гідроциліндр повороту;* ***12*** *– тягач*



а б

Рисунок 2. Тягова рама, яка встановлена на скрепері
а *– тягова рама скрепера Caterpillar;* ***б*** *– тягова рама скрепера Komatsu*

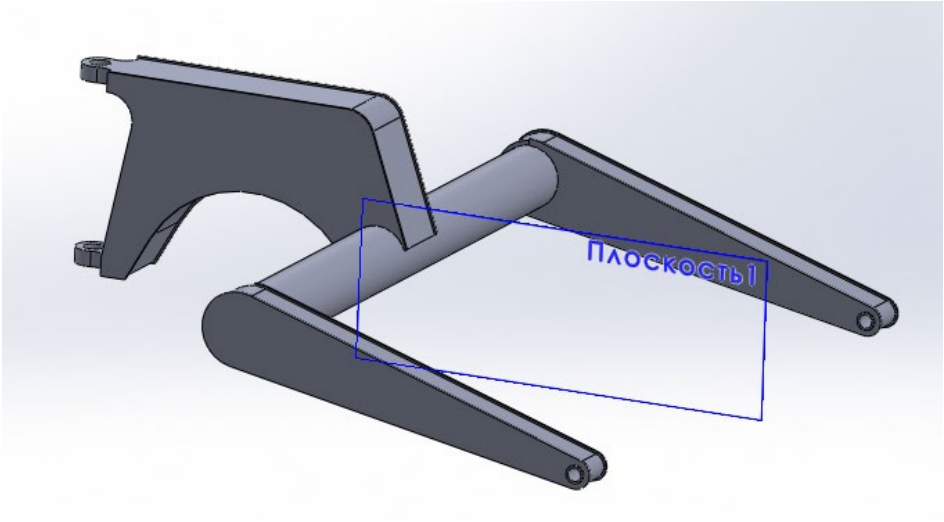
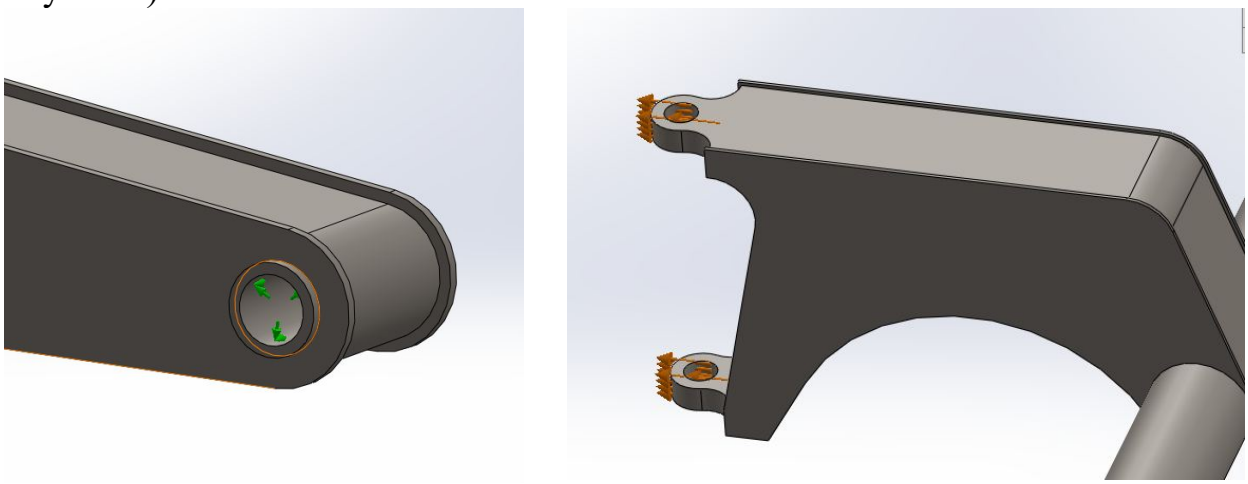


Рисунок 3. Об’ємна модель тягової рами скрепера

За основу для дослідження взята модель тягової рами скрепера Caterpillar 613 (рисунок 3) з тяговим зусиллям базової машини у 60 кН. Також були задані початкові умови: матеріал – вуглецева сталь; діючі навантаження: P_{01}=300кН.

Дослідження моделей проводилося за допомогою сучасного програмного забезпечення CAD Solid Works.

Для отримання об'єктивних результатів розглянуті схеми, які пояснюють методику прикладення сил, як з боку скрепера, так і з боку ковша, у разі зіткнення його з неподоланою перешкодою (сила, яка діє на кріплення до тягача, на провушини, яка направлена під кутом та провушини кріплення до ковша) (рисунок 4).



а б

Рисунок 4. Схема закріплення тягової рами для проведення дослідження напружено-деформованого стану

а *– схема дії сили на циліндричну грань зі сторони ковша;* ***б*** *- схема закріплення тягової рами зі сторони тягача*

У результаті прикладення сил до провушин на тяговій рамі була складена загальна схема дослідження, яка представлена на рисунок 5.

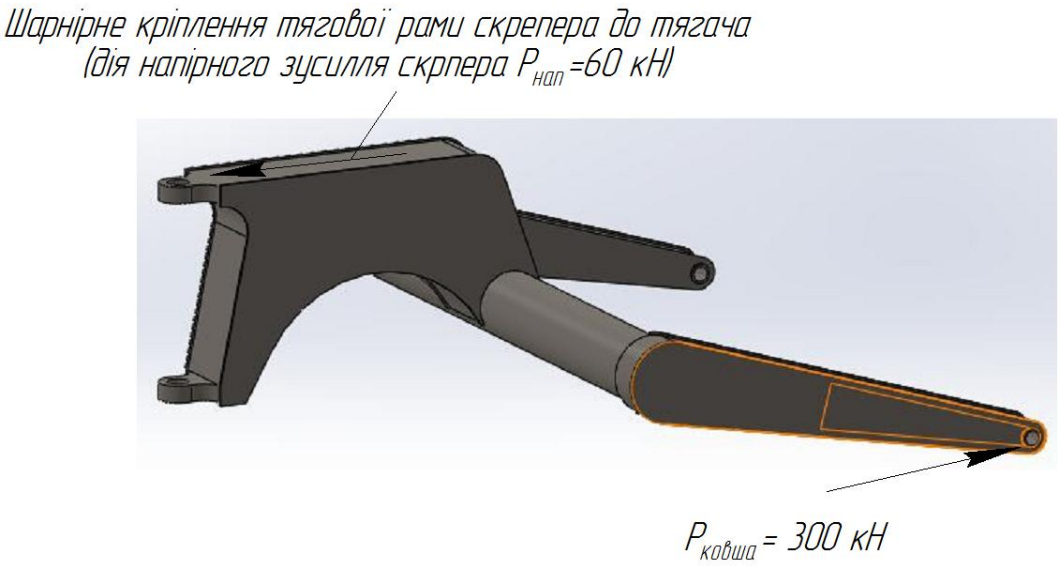
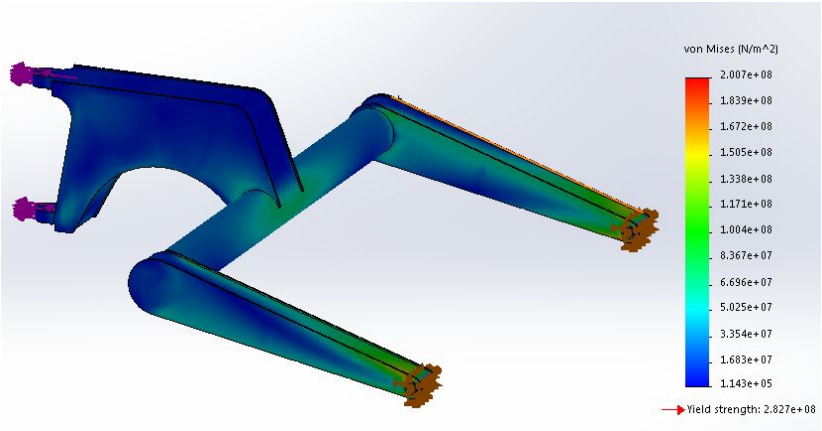
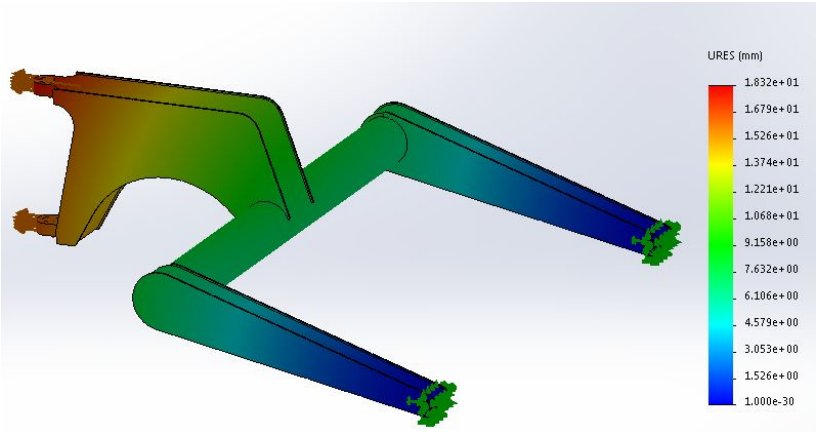


Рисунок 5. Узагальнена схема дії сил на тягову раму скрепера

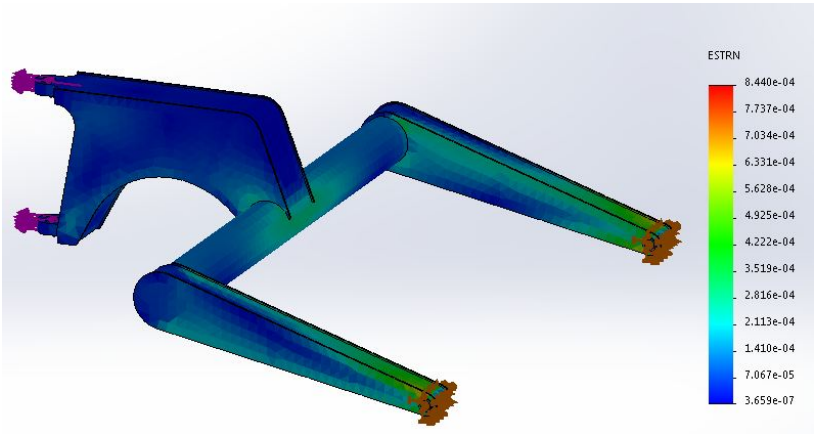
На основі проведеного аналізу отримані епюри напружень, епюри переміщень, епюри деформацій досліджуваних елементів (рисунок 6).



а



б



в

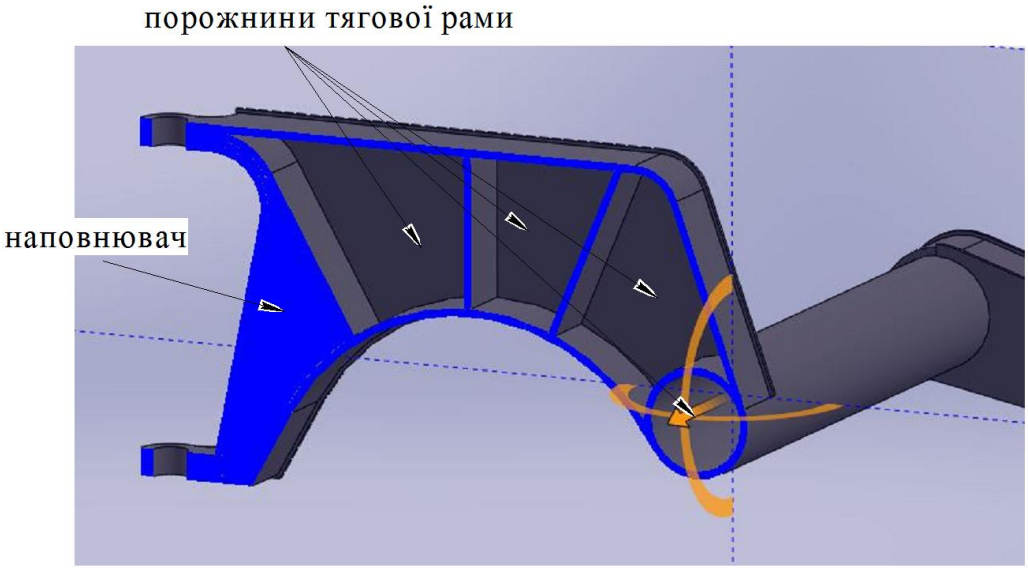
Рисунок 6.Епюри досліджень напружено-деформованого стану тягової рами скрепера

а *– епюра напруження;* ***б*** *– епюра переміщення;* ***в*** *– епюра деформації*

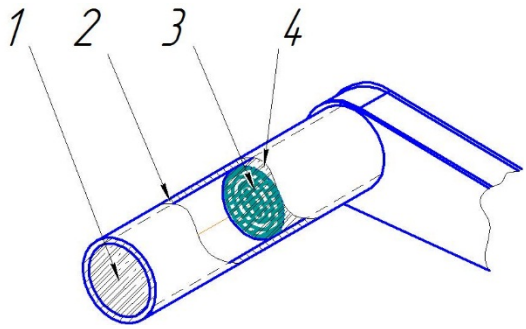
Проведені дослідження показали, що традиційна конструкція тягової рами потребує удосконалення. Шляхом вирішення даної проблеми може бути використання композитного матеріалу у порожнинах робочого обладнання, наприклад: бетон з армуючими елементами; бетон з домішками.

Після аналізу отриманих епюр, прийшли до висновку, що тягова рама скрепера традиційної конструкції є достатньо матеріалоємна.

Аналізуючи роботи [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11] прийшли до висновку, що використання трубобетонного елементу, при роботі у сталевій трубі в умовах об'ємного напруженого стану, збільшить міцність бетону, завдяки чому можна припустити, що конструктивні елементи з трубобетону матимуть безперечні технічні та економічні переваги (рисунок 7).



а



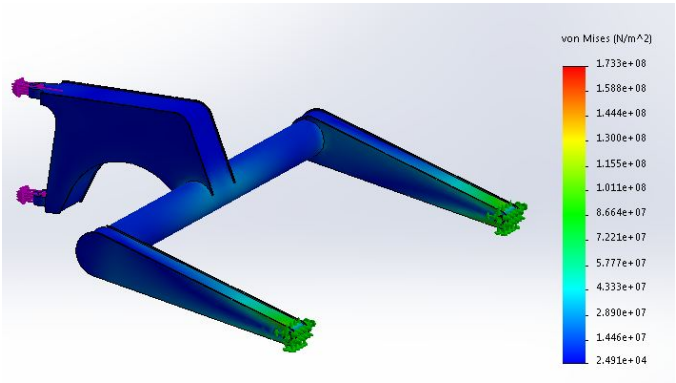
б

Рисунок 7. Об’ємна модель тягової рами скрепера

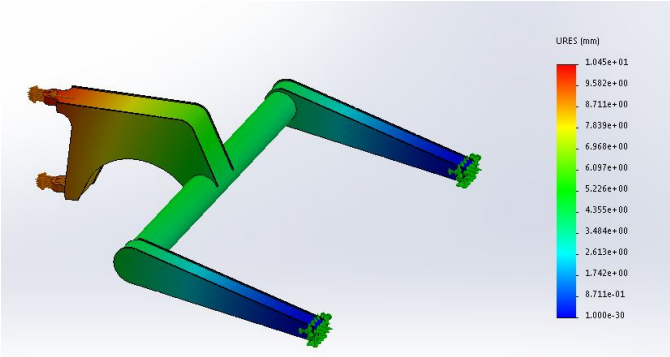
а *– розріз арки-хобота моделі тягової рами з наповнювачем у порожнині;*
б *– труба тягової рами у розрізі;*
1 *– наповнювач;* ***2*** *– труба тягової рами скрепера;* ***3*** *– армуючі елементи;*
4 *– бетон*

Перевагою даного метода є зменшення металоємності (рисунок 9, 10) та збільшення міцності металоконструкції (рисунок 11…15) є відносно проста технологія його виготовлення. У роботах, які присвячені дослідженню трубобетону, відмічено, що металева конструкція є лише опалубкою при роботі елементу і починає працювати як обойма при стадії близькій до руйнування бетону. Руйнування відбувається при значних поздовжніх деформаціях.

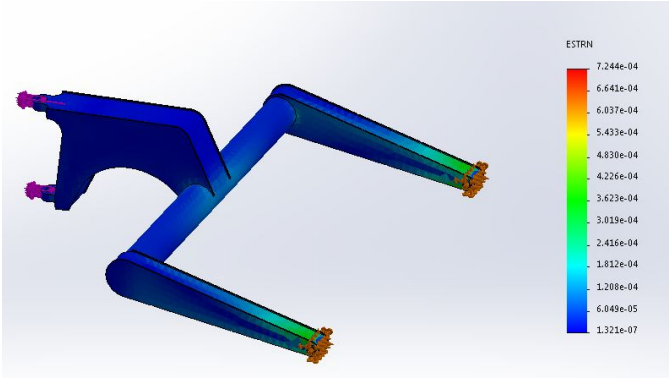
Руйнування коротких трубобетонних елементів при осьовому стиску відбувається внаслідок локальної втрати стійкості – короткохвильової форми випирання, коли в якомусь місці конструкції утворюються гофри – вм'ятини й випуклості. Це свідчить про те, що трубобетон сприймає об'ємний напружений стан на всіх стадіях роботи та руйнується в результаті досягнення поперечними деформаціями граничних значень як у трубі, так і в бетоні [9, 10,11].



а



б



в

Рисунок 8. Епюри досліджень напружено-деформованого стану тягової рами скрепера з наповнювачем

а *– епюра напруження;* ***б*** *– епюра переміщення;* ***в*** *– епюра деформації*

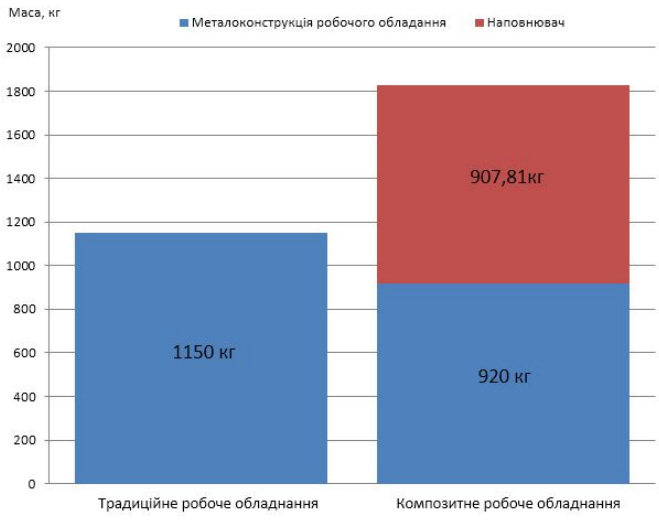


Рисунок 9. Порівняння показників маси металоконструкції для традиційної тягової рами скрепера та тягової рами скрепера з композитним заповнювачем

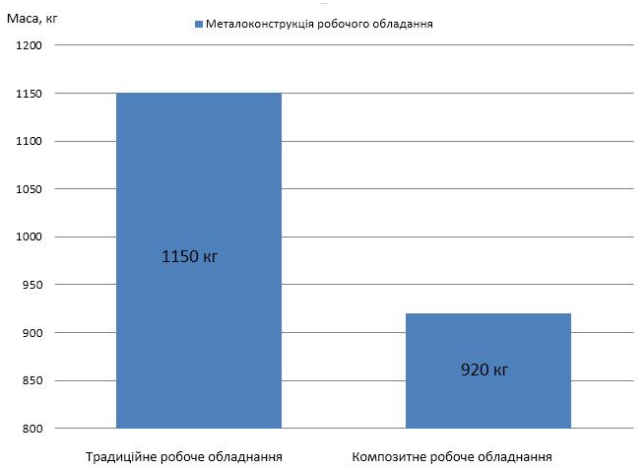


Рисунок 10. Порівняння показників маси металоконструкції для традиційної тягової рами скрепера та тягової рами скрепера з композитним заповнювачем

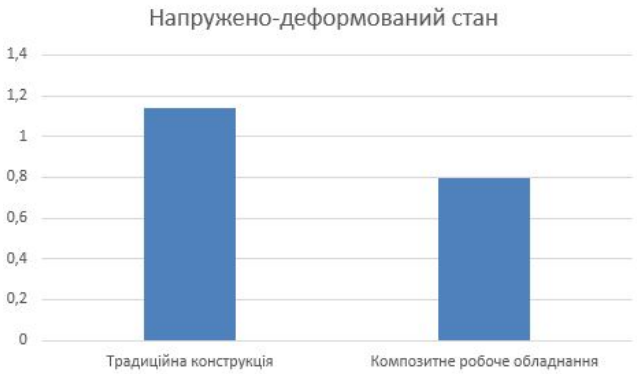


Рисунок 11. Порівняння показників напружено-деформованого стану для традиційної тягової рами скрепера та тягової рами скрепера з композитним заповнювачем (розтягування)

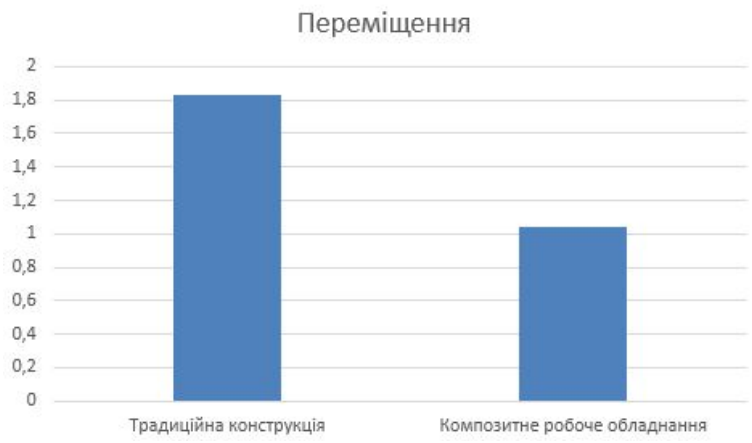


Рисунок 12. Порівняння показників переміщення для традиційної тягової рами скрепера та тягової рами скрепера з композитним заповнювачем (розтягування)

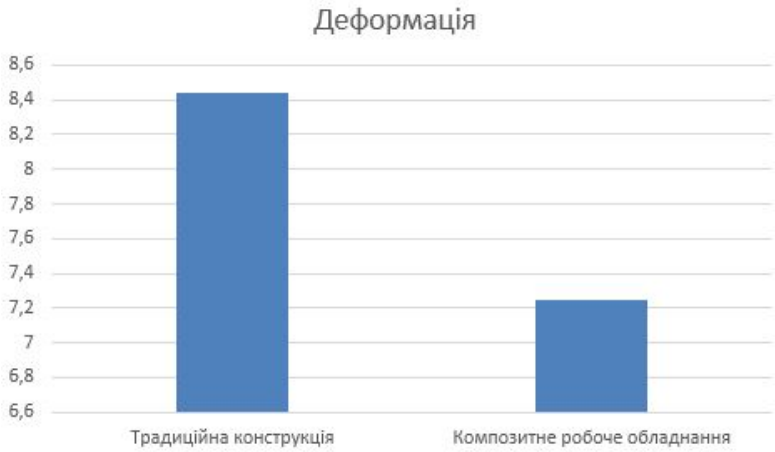


Рисунок 13. Порівняння показників деформації для традиційної тягової рами скрепера та тягової рами скрепера з композитним заповнювачем (розтягування)

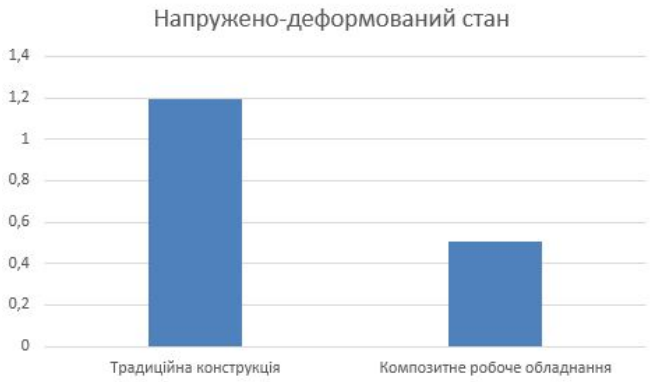


Рисунок 14. Порівняння показників напружено-деформованого стану для традиційної тягової рами скрепера та тягової рами скрепера з композитним заповнювачем (стискання)

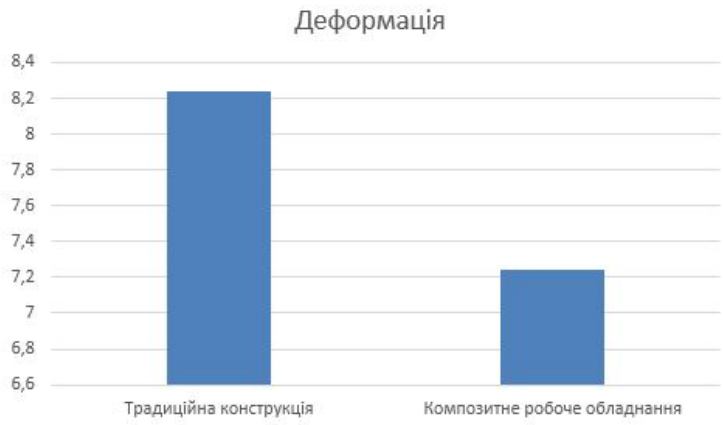


Рисунок 15. Порівняння показників деформації для традиційної тягової рами скрепера та тягової рами скрепера з композитним заповнювачем (стискання)

Висновки.

Одним з перспективних напрямків удосконалення конструкції рам скреперів є використання композитних матеріалів. Проведений аналіз епюр металоконструкції тягової рами скрепера із заповнювачем у вигляді бетону з армуючими домішками, при використанні заповнювача по усьому об'єму порожнини дозволяє збільшити міцність конструкції на 20…25%, зменшити металоємність до 20%, а також сприяє зменшенню напружень та деформацій конструкції, що підвищує тривалість роботи обладнання. Виконані розрахунки показали працездатність машини в різних умовах експлуатації. Застосування у конструкціях скреперів композитного матеріалу дозволяє ведення технологічних процесів за допомогою трактора-штовхача або у складі скреперного потягу без суттєвих деформацій тягової рами.

Література

1. Ефименко В.И. Центрифугированные трубобетонные конструкции / Ефименко В.И. – Кривой Рог: КТУ, 2008 – 257 с.

2. Єфіменко В.І. Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація / Л.І.Стороженко, В.М.Сурдін, В.І.Єфіменко, В.І.Вербицький – Кривий Ріг: КТУ, 2007. – 448 с.

3. Ефименко В.И. Строительные конструкции из стальных труб, заполненных центрифугированным бетоном / Л.И.Стороженко, В.И.Ефименко В.Ф.Пенц – К.: Четверта хвиля, 2001. –144 с.

4. Єфіменко В. І. Несучі конструкції зі сталевих труб, заповнених центрифугованим бетоном: дис. док.техн.наук : 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди / В. І. Єфіменко – Дніпропетровськ, 2009. – 414с.

5. Стороженко Л.И., Ефименко В.И., Плахотный П.И. Изгибаемые конструкции из трубобетона. -К.: «Будівельник», 1994. – 102с.

6. Кикин А.И., Санжаровский Р.С., Трулль В.А. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном. – М.: Стройиздат, 1974. – 146 с.

7. Стороженко Л.И., Семко А.В., Ефименко В.И. Сталежелезобетонные конструкции. –К.: Четверта хвиля, 1997.– 160 с.

8. Закуренко И.Е. Исследование несущей способности металлоконструкций землеройно-транспортных машин с заполнителями (на примере толкающих брусьев отвала бульдозера): Автореф. дис.. канд. техн. наук. Харьков, 1981. -25 с.

9. Ефименко В.И. Напряженно-деформированное состояние сжатых трубобетонных элементов на основе шлакощелочного бетона при кратковременном действии нагрузки / В.И.Ефименко, А.П.Сухан // Сталезалізобетонні конструкції. Дослідження, проектування, будівництво, експлуатація. – 2004. – Вип. 6. – С.77 – 79.

10. Хмара, Л. А. Інноваційний метод створення елементів робочого обладнання з підвищеною несучою здатністю / Л. А. Хмара, В. О. Талалай // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета : сб. науч. тр. / Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т ; [редкол.: Богомолов В. А. (глав. ред.) и др.]. - Харьков : ХНАДУ, 2014. - Вып. 65-66. - С. 35-39

11. Хмара, Л. А. Исследование прочностных характеристик традиционного и композиционного бульдозерного рабочего оборудования / Л. А. Хмара, В. А. Талалай // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. науч. тр. / Харьк. нац. автомоб. - дор. ун-т; [редкол. Богомолов В. А. (глав. ред.) и др.]. - Х. : ХНАДУ, 2012. - Вып. 57. - С. 43-54.

Abstract. *Tubular concrete structures are widely used in world construction practice due to their positive qualities. Tubular concrete in mechanical engineering and its mechanical properties have also become relevant recently. During the operation of the scraper, the traction frame perceives a tensile force and a bending moment. Under the influence of such loads, the traction frame will begin to change its initial geometric shape, which can cause the structure to collapse. On the basis of the conducted analysis, stress charts, displacement charts, deformation charts of the studied elements were obtained. The analysis of the metal structure of the scraper traction frame with aggregate in the form of concrete with reinforcing admixtures, when using aggregate over the entire volume of the cavity, allows to increase the strength of the structure by 20...25%, reduce the metal capacity to 20%, and also helps to reduce stresses and deformations of the structure, which increases the duration of equipment operation.*

Key words: *strain, filler, composite material, traction frame, structural strength.*

Стаття відправлена: 14.03.2023 р.

© Спільник М.А.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-044
DOI: 10.30888/2663-5712.2023-18-01-044

УДК 621.311.24

SIMULATION OF WORK MODES AND CHARACTERISTICS OF A WIND ENERGY INSTALLATION.

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТА ХАРАКТЕРИСТИК ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ.

Sorokin M. / Сорокін М.С.
c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц
ORCID: 0000-0002-7524-7687
Huzenko V. / Гузенко В.В.
c.t.s., senior lecturer / к.т.н., ст.викл.
ORCID: 0000-0001-8171-9487
State Biotechnological University, Kharkiv, Alchevskih, 44, 61002
Державний біотехнологічний університет, Харків, Алчевських, 44, 61002

Аннотация. *Роботі розглядаються основні питання моделювання та дослідження процесів вітроенергетичних установок (ВЕУ) при проектуванні вітропарків. Приділена увага використання методів імітаційного моделювання, що дозволяє не тільки істотно скоротити витрати на дослідження, розробку і випробування, а й істотно зменшити час впровадження розробки. Результати обчислювального експерименту з динаміки ВЕУ використано в розробці мікропроцесорної системи управління. За допомогою моделі визначено оптимальний закон управління та розроблено адаптивну систему автоматичного регулювання вітроенергетичного комплексу, що дозволяє підвищити його енерговіддачу.*

Ключевые слова: *імітаційне моделювання, вітроенергетична установка, мікропроцесорна система, автоматине регулювання, енерговіддача.*

Вступ. Як показують дослідження, у найближчі роки вітроенергетика в Україні буде розвиватися швидше, в порівнянні з іншими видами відновлювальної енергетики, а загальна потужність вітропарків перевищить потужність сонячних станцій в 10 разів. В порівнянні з фотоелектричними модулями, при однаковій потужності, вітроустановки займають меншу площу і коштують набагато дешевше. Таким чином на перше місце виходять питання моделювання та дослідження процесів вітроенергетичних установок (ВЕУ) при проектуванні вітропарків.

Основной текст

При проведенні досліджень та розробок у галузі вітроенергетики широко використовуються фізичні та математичні моделі, так як натурні експерименти не завжди можливі як з технічних, так і з економічних міркувань.

Математична модель визначає реальний об'єкт лише з деяким ступенем наближення (деталізації). При цьому вид моделі залежить як від природи об'єкта, що досліджується, так і від завдань дослідження, методики моделювання, необхідної точності опису об'єкта. Загальноприйнятим є поділ математичного моделювання на три основні види: аналітичний, імітаційний та комбінований [1,2].

Характерною особливістю аналітичного моделювання є опис процесів функціонування елементів моделі, що моделюється, у вигляді деяких співвідношень - диференціальних, інтегро-диференціальних, звичайно-різнисних або логічних умов. Аналітична модель може бути досліджена такими

методами: аналітичним (при цьому метою є одержання різних залежностей для шуканих характеристик у загальному вигляді); чисельним (у цьому випадку метою єся одержання чисельних результатів за певних початкових даних, і рішення у загальному вигляді не знаходиться); якісним (рішення у явному вигляді, але можна оцінити деякі властивості рішення).

Лопаті ротора повинні бути виконані таким чином, щоб будь кільцевий елемент площині омивання з середнім радіусом *r* і шириною *Δr* (рис.1)

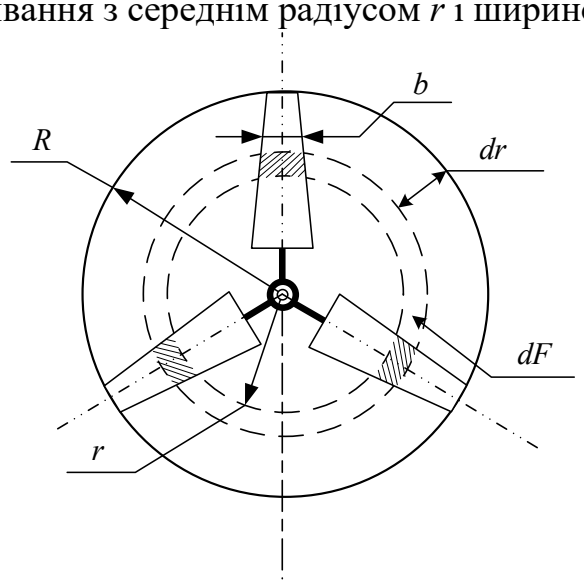


Рисунок 1 - Визначення моменту опору традиційного вітроколеса.

Відповідно до рис. 1 момент відносно вісі традиційного вітроколеса визначається рівнянням.

$$dM = dQr = 4\pi r^2 dr\rho \frac{e}{1+e} V^2 \frac{1-\mu z_u}{z_u+\mu} \quad (1)$$

де ρ – густина повітря;

e - коефіцієнт гальмування повітряного потоку;

z_u - відповідна до радіусу швидкохідність;

$\mu = C_x/C_y$ - зворотня якість лопаті;

V – швидкість потоку повітря;

Момент всього вітроколеса визначається інтегруванням попереднього рівняння у межах від r_0 до *R*.

$$M = \int_{r_0}^{R} dM = \int_{r_0}^{R} 4\pi r^2 dr\rho \frac{e}{1+e} V^2 \frac{1-\mu z_u}{z_u+\mu} \quad (2)$$

де r_o – відстань від вісі до початку лопаті;

R – відстань від вісі до кінця лопаті.

За винятком аеродинамічних втрат, що визначаються в залежності від геометричних характеристик та коефіцієнта гальмування повітряного патоку, отримаємо корисну потужність на валу:

$$N_1 = N - \Delta N_к - \Delta N_п - \Delta N_{вих} \quad (3)$$

де $\Delta N_к$ – втрати потужності на кінці крила;

$\Delta N_п$ – втрати потужності профіля крила;

$\Delta N_{вих}$ – втрати потужності вихрові повітряного потоку.

Найчастіше сучасні засоби моделювання дозволяють забезпечити високий рівень адекватності моделі. Одним із таких засобів є Simulink – інтерактивний інструмент для моделювання, імітації та аналізу динамічних систем.

За вітроколесом утворюється об'єм захопленого лопатями повітря, який при віддалені від вітряка набуває циліндричної форми. Частина потоку всередині цієї обмежувальної поверхні називається робочим потоком, а сама форма його називається вихровим соленоїдом. Він являє собою поверхню розділу, утворену нескінченно тонким вихровим шаром, який складається із вихрових шнурів нескінченно малої інтенсивності, які збігають з кінців лопатей і закручуються у вигляді спіралі з нескінченно малим кроком на поверхню розділу, яка являє собою вихровий соленоїд. Колова швидкість зовнішніх частинок приблизно дорівнює швидкості незавихреного шару, що прилягає до нього. Швидкість до центру вихора зменшується. Згідно з цією теорією, крутний момент на валу вітроколеса зазначеного типу створюється аеродинамічними силами, що виникають при взаємодії вітру з робочими поверхнями крил, поперечні перерізи яких мають спеціальну форму (рис. 1).

Вхідні змінні моделі розділені на дві категорії:

– конструктивні параметри установки (максимальний та мінімальний діаметри вітроколеса, максимальна та мінімальна шири на лопаті, число лопатей, момент інерції, оптимальний кут атаки, аеродинамічні коефіцієнти профілю крила);
– незалежні вхідні змінні (швидкість вітру, густина повітря, момент навантаження на валу, кут установки крила (крок)).

Опис залежностей коефіцієнтів *Cy* і *Cx* від кута атаки (α) створюється всередині моделі з використанням полінома інтерполяційного Лагранжа.

Перелічені співвідношення покладено основою математичної моделі, реалізованої з допомогою програмного забезпечення з пакету MATLAB – Simulink (рис. 2).

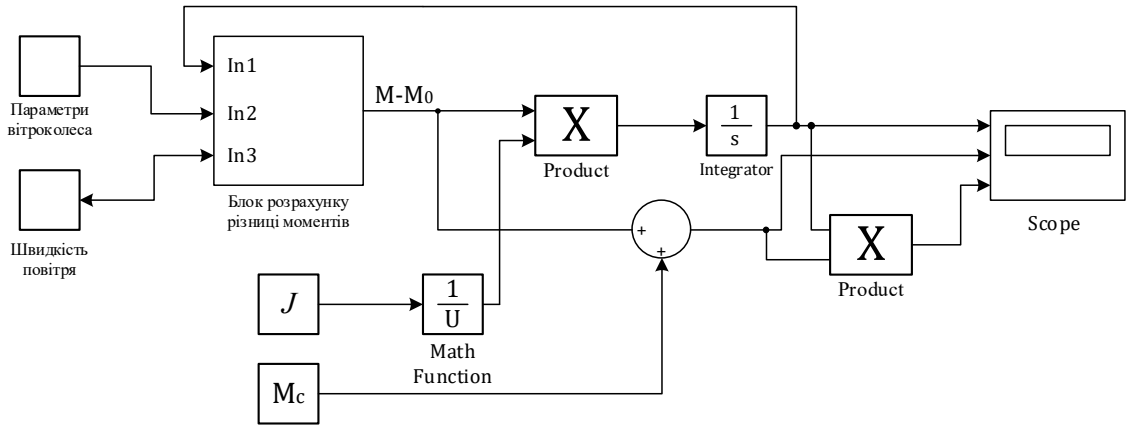
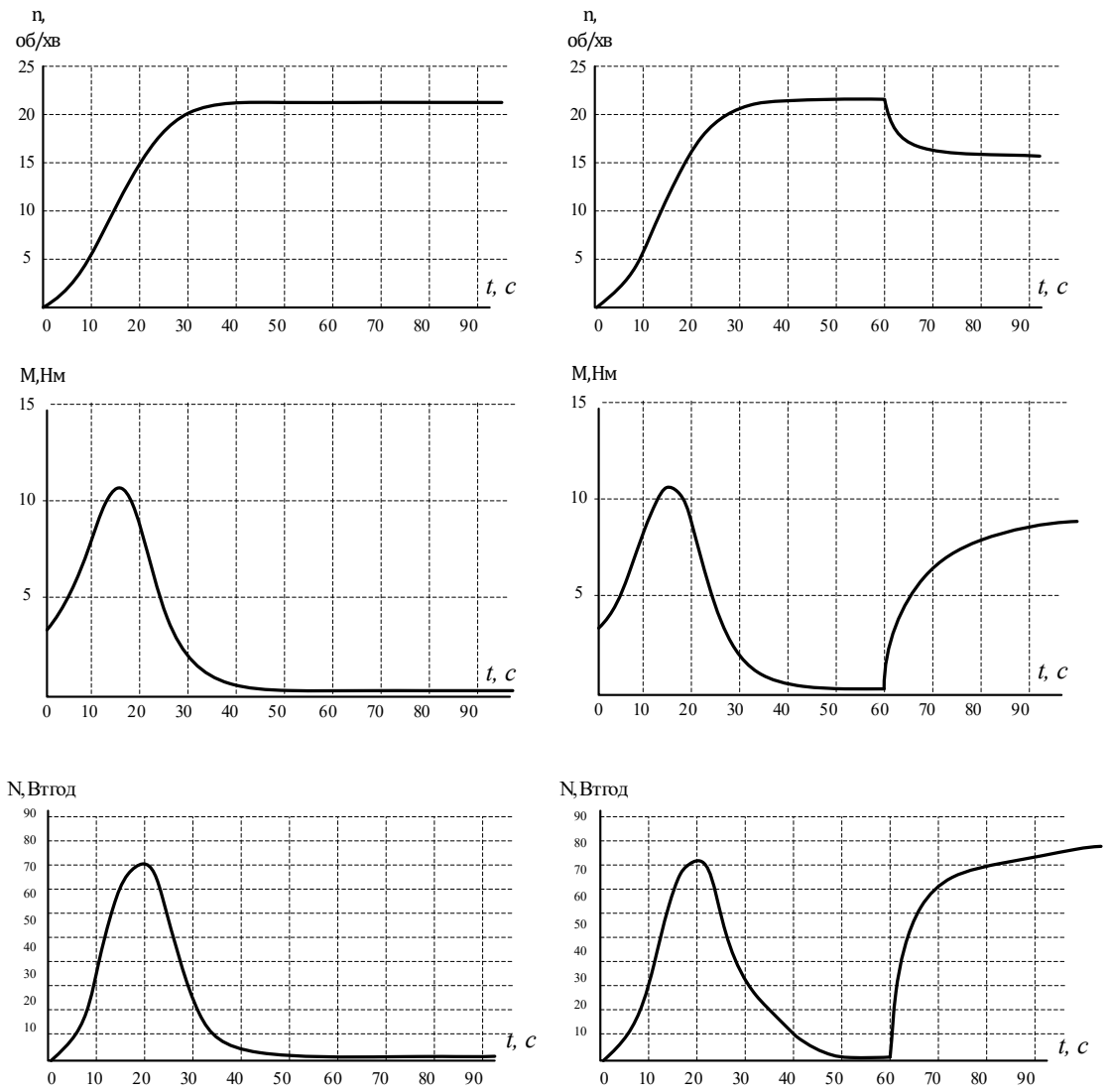


Рисунок 2 - Функціональна схема реалізації математичної моделі ВЕУ

На рис. 3 показані зміни в часі енергетичних параметрів ВЕУ у різних режимах роботи.

До безперечних переваг моделі слід віднести можливість дослідження перехідних режимів, що виникають при змінах швидкості вітру та навантаження на головному валу.



А) Б)

Рисунок 3 - Механічні характеристики перехідного процесу вітроколеса

А) – під час пуску на холостому ході; ***Б)*** *– Під час пуску на холостому ході та накиданню навантаження у момент часу t = 60с*

Висновки. Результати обчислювального експерименту з динаміки ВЕУ використано розробки мікропроцесорної системи управління. За допомогою моделі визначено оптимальний закон управління та розроблено адаптивну систему автоматичного регулювання вітроенергетичного комплексу, що дозволяє підвищити його енерговіддачу. Розроблена модель дозволяє при відомих конструктивних параметрах ВЕУ отримати для різних швидкостей вітру механічні та енергетичні характеристики, оптимальні поєднання значень кроку лопатей, частоти обертання та моменту навантаження та закон управління, який забезпечує максимум коефіцієнта використання енергії вітру.

Література:

1. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, О75 Н. Нойбергер, Д. Ципленков ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 335 с.

2. Сорокін М.С., Вітренко М.М. Використання математичного моделювання як засобу аналізу та діагностики режимів роботи електродвигунів. Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК. 2014. № 2 (2). С. 36-37

3. Хандола, Ю. М., Сорокін, М. С., Гузенко, В. В., Величко, І. А. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни:" Автоматизація промислових установок та технологічних комплексів". Харків 2019 р.

Abstract. *The work deals with the main issues of modeling and research of the processes of wind energy installations (WEI) in the design of wind farms. Attention is paid to the use of simulation modeling methods, which allows not only to significantly reduce the costs of research, development and testing, but also to significantly reduce the time of development implementation. The results of the computational experiment on the dynamics of wind turbines were used in the development of a microprocessor control system. With the help of the model, the optimal control law was determined and an adaptive system of automatic regulation of the wind energy complex was developed, which allows to increase its energy yield.*

Key words: *simulation modeling, wind energy installation, microprocessor system, automatic regulation, energy yield.*

Статья отправлена: 20.03.2023 г.

© Сорокін М.С., Гузенко В.В.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-063
DOI: 10.30888/2663-5712.2023-18-01-063

УДК 620.92

DETERMINATION OF HEAT ENERGY LOSSES BY UNDERGROUND HEAT PIPELINES TAKING INTO ACCOUNT SOIL MOISTURE

ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ПІДЗЕМНИМИ ТЕПЛОВИМИ МЕРЕЖАМИ З УРАХУВАННЯМ ВОЛОГОСТІ ГРУНТУ

Vashchyshak I. R. / Ващишак І.Р.
c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.
ORCID: 0000-0002-9078-6726
Tsykh V.S. / Цих В.С.
c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.
ORCID: 0000-0002-9095-4099
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Abstract. *The relevance of the energy efficiency study for heat networks of heat supply enterprises in order to identify excess heat energy losses and determine their level is considered. The calculation method of normative heat losses in the heat pipeline is analyzed in accordance with the requirements of normative documents. It has been established that for an objective assessment of the heat pipelines' energy efficiency, the widespread introduction of heat energy metering devices and the improvement and updating of the methodological base for determining heat losses in underground heat pipelines based on the indicators of heat energy metering devices, installed on heat networks and at heat consumers, are required. The classification of the moisture regime of heat pipelines' thermal insulation is given for each type of laying: trench pipe laying, underground laying. On the basis of a comparative analysis of the specific heat loss calculation in the section of the underground heat pipeline, a significant influence of soil moisture on the deviation of the actual losses from the normative ones is shown. The method of thermal energy losses calculating for underground heating pipelines by taking into account the influence of soil moisture has been improved. The final analytical dependences for determining heat losses, taking into account the moisture regime of the heat pipe route, are given. This makes it possible to realize the general saving of energy resources, the ability to determine the energy efficiency of the heat supply system, forecast the consumption of fuel and energy resources in the future, and, most importantly, minimize the loss of energy resources during the transfer of thermal energy to the final consumer.*

Key words: *Energy control, energy loses, heat pipes, humidity*

Formulation of the general problem.

The main purpose of the heat supply system is to provide consumers with the required amount of heat with appropriate quality. The quality of thermal energy is determined by its temperature level, which is specified by the temperature schedule.

The analysis of the heat networks state, which are the part of the city's heat supply enterprises shows that there are excessive losses of thermal energy caused by the excessive service life of the pipelines, as well as the conditions of the pipelines and the lack of constant monitoring of their technical condition [1]. It has been established that modern approaches to determining the energy efficiency of underground heat pipelines should be directed to the development of a methodology for calculating normative heat energy losses in accordance with the requirements of regulatory documents, taking into account the conditions of pipelines and the influence of external factors.

Since the compensation of thermal energy losses during the transportation of the coolant is carried out by including such a cost in the bills for payment by end

consumers, the accuracy of their calculation is a rather urgent task.

The state of its solution.

The calculation of normative losses of thermal energy in pipelines is carried out according to the requirements of KTM 204 Ukraine 244-94 [2] separately for thermal networks connected to each heat-generating source for the reporting period. The calculation is performed separately for pipelines of each diameter and type of laying.

Actual heat losses in heat networks depend on their length and diameters, laying method, type and condition of thermal insulation, soil conditions, service life, operating conditions, etc., and are determined on the basis of appropriate tests of technically sound pipelines.

Heat losses in heat pipelines are defined as the sum of heat losses with water leakage from pipelines and heat losses due to water cooling in pipelines [2].

Statement of the research problem.

In order to objectively assess the energy efficiency of heat pipelines of centralized heat supply systems, it is necessary to research the method of determining heat losses in heat networks and to develop a number of measures to reduce the level of excess heat energy losses.

Characteristics of the performed studies and kept results.

The calculation of thermal energy losses values for heating buildings in the heat supply system is carried out on the basis of the methods outlined in DBN V.2.5-39:2008 "Engineering equipment of buildings and structures. External networks and structures. Thermal networks", NPAOP 0.00-1.81-18 "Labor safety rules during operation of pressure equipment", DSTU-NB V.2.5-35:2007 "Engineering equipment of buildings and structures. External networks and structures. Heating networks and hot water supply networks using pre-insulated pipelines".

The input data for the calculation are the values of the thermal characteristics obtained during the instrumental measurement, in particular, the values averaged based on the results of several measurements of the coolant temperatures at the beginning and at the end of the supply and return pipelines, the values of the coolant consumption in individual sections, as well as data on the geometric parameters of the heat pipelines.

The calculation of heat losses by heat pipelines does not take into account the moistening of the thermal insulation of pipelines, which occurs due to the sorption of moisture from the soil due to the penetration of water through the broken protective covering layer in flooded channels. This is especially relevant for ductless laying, when the insulation layer is in contact with a layer of moist soil.

It should be noted that the presence of waterproofing with ductless laying has a positive effect only if it is airtight. In the case of air tightness violations, there is a possibility of wetting of the thermal insulation. Moreover, even small holes in the covering layer are enough to cause intense wetting of the thermal insulation in case of the channel flooding or rise of ground water in the case of channelless laying. Further drying of the thermal insulation is complicated precisely by the presence of a waterproofing layer, which prevents the escape of steam from the insulation to the outside, and thereby significantly worsens the conditions for drying the insulation. In these conditions, the waterproofing layer becomes a barrier to the exit of moisture and the drying process is delayed, many times exceeding the duration of the wetting

process. Unfortunately, in most situations, there is no ideal, absolutely airtight layer, and in underground laying there is always the possibility of wetting the insulation due to the rise of groundwater or flooding of the pipeline with domestic sewage. At the same time, the drainage system must work properly to remove moisture from the canal, which is not always the case. At the same time, it is not even assumed that the covering layer should perform waterproofing functions.

On the basis of literary data, it is possible to note the most important moments of the moisture regime of pipelines' thermal insulation of heat networks for each type of laying.

Canal pipe laying.

In the heat losses calculations for the canal pipe laying, the air temperature in the channel is assumed, in most cases, to be equal to the temperature of the soil, i.e. in the range from -5 to +10 °C. At such temperatures, the air humidity in the channel is approximately close to 100%, which leads to abundant condensation on the bottom, walls and covering of the channel. The channel coating, as a rule, has the lowest temperature, since it is located closest to the surface of the earth. It is on it that condensation occurs, as a result of which water drops fall back onto the structure of the heat pipe and moisten it. At high relative humidity, faster aging of both the thermal insulation itself and the covering layer occurs. In addition, it should be noted that the covering layer in the channel lining does not perform a waterproofing function, but only keeps the main layer of thermal insulation from crumbling. It should be assumed that the covering layer is in normal condition and the humidity of the insulation depends only on the presence of water in the channel.

In urban conditions, underground pipelines are in different regimes, taking into account a large number of additional factors: the different state of their drainage system, the level of groundwater, the presence of industrial and domestic sewage, the state of drainage sewers, the presence of asphalt pavement. Therefore, in relation to channel laying, we will use the following distribution of channels according to their moisture status:

1. The canal is dry. For channel laying in the absence of water in the channel, the wetting of the thermal insulation is small. The average moisture content of materials can be accepted within 0.4% for mineral wool and 4% for foam plastics. It is not necessary to enter correction coefficients in this situation.

2. The canal is waterlogged. For channel laying, in the presence of water at the bottom of the channel, wetting of the thermal insulation takes place, but it will be moderate, since the wetting will occur only due to the sorption of moisture from the air and due to moisture flowing from the channel overlap. For mineral wool, the effect of capillary forces is small, so the excess moisture should flow to the lower part of the structure, which will not allow the entire insulation structure to get very wet. For fine-porous materials such as phenolic foam and polyurethane foam, the effect of capillary forces is much greater, and moisture will be retained. Therefore, in the absence of a hermetic covering layer, the humidity of such insulation will be much higher. The average values of moisture content of materials can be taken as follows: 5% for mineral wool, 15% for foam plastics and polyurethane foam.

3. The canal is totally flooded. This means that there is water at the bottom of the

channel, the level of which reaches, at least, the bottom of the pipeline structure, that is, it touches the thermal insulation. Wetting of thermal insulation is quite high. As mentioned above, the covering layer is not airtight, and it is not able to protect the insulation from getting wet under these conditions. Part or all of the insulation is in the mode of complete moisture saturation. When the pipeline is partially flooded, the moisture can be unevenly distributed along the height, so that the average moisture content of the insulation depends on the water level in the channel. The average humidity values of materials can be taken as follows: 20% for mineral wool, 80% for foam or polyurethane foam.

Trenchless pipe laying.

In the case of trenchless pipe laying, the temperature of the surface layer of insulation is equal to the temperature of the soil for the considered period, i.e. in the range from -5 to +10 °C. At high relative humidity, rapid aging of both the thermal insulation itself and the covering layer occurs. Insulation moisture mainly depends on soil moisture.

With a service life of up to a half of the standard service life, it is considered that the covering layer is in good working order and protects the insulation from excessive moisture. However, due to the fact that the pipeline is always in a humid environment, the humidity of the insulation is quite high even with a functional waterproofing layer. With low-moisture soils, taking into account the protective effect of the waterproofing layer, it is possible to take the value of insulation humidity at the level of 2%; with wet soil - 4%; with soil saturated with water - 25%.

In the event that the service life of the covering layer is more than a half of the normative one, it should be considered that the covering layer has partially collapsed and no longer fully fulfills its waterproofing properties. With low moisture soils, the moisture content of thermal insulation for ductless laying, taking into account the protective effect of the waterproofing layer, can be about 3%; with wet soil - 6%; with soil saturated with water - 40%.

If the service life of the covering layer exceeds the normative one, it should be assumed that the covering layer has completely collapsed and absolutely does not fulfill its waterproofing properties. With low-moisture soils, the moisture content of thermal insulation is about 6%; with wet soil - 13%; with soil saturated with water - 80%.

Thus, this suggests that to ensure the accuracy of the heat loss calculation through the insulation, it is necessary to use the thermal conductivity coefficients of the insulation, adjusted for humidity. This is especially important when laying pipelines directly into the soil.

According to [2], heat losses are calculated by the formula:

$$q = \frac{(t_W - t_A)}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_I} \cdot \ln\left(\frac{d_{II}}{d_{OI}}\right) + \frac{1}{\alpha_{OI} \cdot \pi \cdot d_{OI}}} = \frac{(t_W - t_A)}{R_I + R_{OUT}} \quad (1)$$

where t_W – water temperature in the pipeline, °C; t_A – ambient temperature, °C; λ_I – thermal insulation heat conductance, W/(m·°C); d_{II}, d_{OI} – inner and outer diameters of the insulation, respectively, m; α_{OI} – coefficient of heat transfer on the outer surface of thermal insulation, W/(m²°C); R_I – thermal resistance of the thermal insulation layer,

(m·°C)/W; R_{OUT} – thermal resistance of the environment, (m·°C)/W.

Heat transfer from the heat carrier to the inner surface of the pipeline is not taken into account due to the fact that the coefficient of heat transfer from the heat carrier to the pipes inner wall is much higher than the heat transfer coefficient from the insulation's outer surface to the surrounding soil. The thermal resistance of the pipeline wall and the thermal resistance of the waterproofing can also be neglected, given the high thermal conductivity of the wall and its small thickness.

For underground canal pipe laying, dependence (1) is acceptable for calculation. However, with trenchless pipe laying, the heat from the surface of the protective layer is transferred directly to the soil, e.i. $R_{OUT} = R_S$. The value R_S is determined by the well-known formula of Forchheimer [3]:

$$R_S = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_S} \cdot \ln\left[\frac{2 \cdot h}{d_{OI}} + \sqrt{\left(\frac{2 \cdot h}{d_{OI}}\right)^2 - 1}\right] \tag{2}$$

where λ_s – soil heat conductance, W/(m·°C); h – the depth of the pipelines axes, m.

Soil heat conductance λ_s depends on its structure and humidity, the value varies within quite wide limits: from 1 for sands to 3 for clay soils in a saturated state of moisture.

For a two-pipe trenchless pipe laying, the conditional thermal resistance of the soil should also be taken into account, which includes the decrease in heat transfer from the pipelines due to stronger heating of the soil layer between the pipelines. This resistance is determined by the formula:

$$R_{ADD} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_S} \cdot \ln\sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot h}{b}\right)^2} \tag{3}$$

where b – horizontal distance between pipe axes, m.

Thus, the formula for calculating thermal energy losses will take the form:

$$q = \frac{(t_W - t_A)}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_I} \cdot \ln\left(\frac{d_{OI}}{d_{II}}\right) + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_S} \cdot \left[\ln\left[\frac{2 \cdot h}{d_{OI}} + \sqrt{\left(\frac{2 \cdot h}{d_{OI}}\right)^2 - 1}\right] + \ln\sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot h}{b}\right)^2}\right]} \tag{4}$$

Let's analyze the change in heat losses at different soil moisture levels. For ease of analysis, all graphs will be constructed for one underground section of the heat network laid in a ductless method: pipe diameter - 0.1 m; depth of occurrence - 1.5 m; the thickness of the waterproofing is 0.005 m, the distance between the axes is 0.7 m. The outside air temperature is 1 °C, the temperatures in the supply and return pipelines are 95 °C and 45 °C, respectively.

The thermal conductivity of insulation materials and soil at different humidity levels is taken from reference books and is given in the table 1.

In fig. 1 it is shown the influence of changes in soil moisture for polyurethane foam insulation of pipelines of different thicknesses, and Fig. 2 – for polyurethane foam and mineral wool insulation with a thickness of 3 cm both.

Table 1 - Thermal conductivity of materials

Material	Thermal conductivity, W/(m·°C)
Mineral wool	0,052
Polyurethane foam	0,035
Dry soil	0,4
Soil, 8% water	1,12
Soil, 15% water	1,36
Soil, 20% water	1,63
Soil, 40% water	2,0

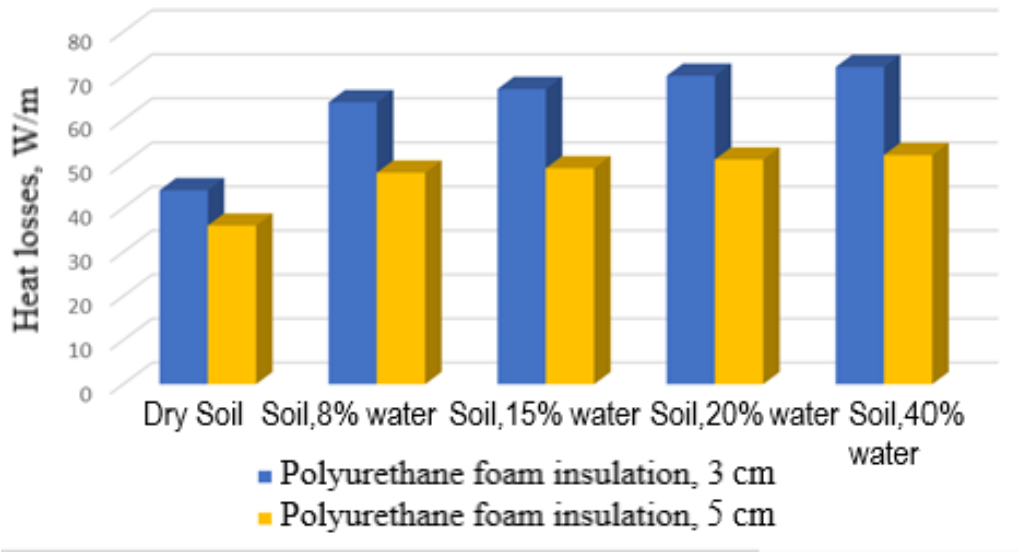


Figure 1 - The influence of soil moisture on specific heat losses for polyurethane foam insulation of pipelines

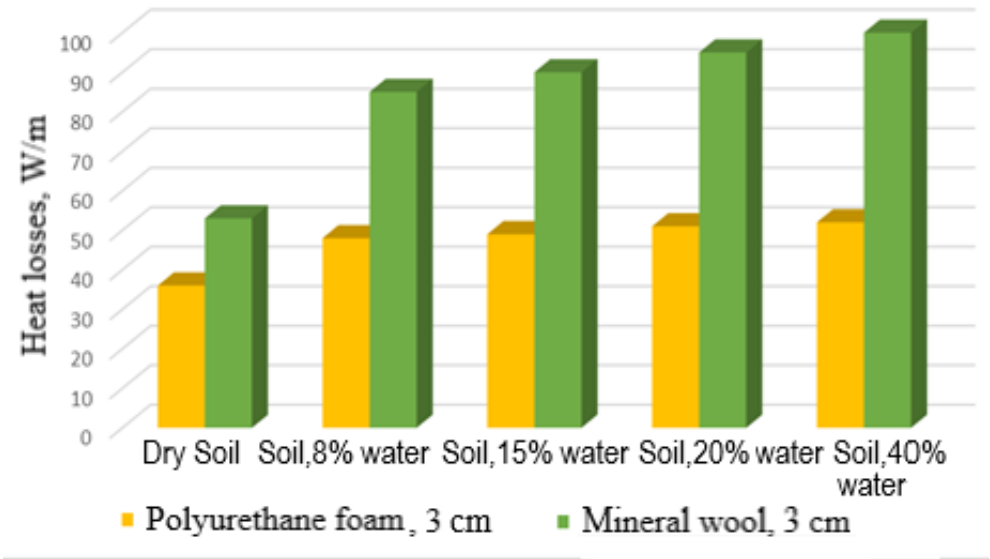


Figure 2 - The influence of soil moisture on specific heat losses with polyurethane foam and mineral wool insulation of pipelines of the same thickness

Specific heat losses with polyurethane foam and mineral wool insulation of pipelines with a thickness of 3 cm without taking into account the influence of soil moisture are: 55 W/m - for mineral wool insulation, 42 W/m - for foamed polyurethane insulation.

For the analyzed area, the specific heat loss with mineral wool insulation 3 cm thick is 53 W/m, while the value chosen from [2] is 55 W/m, which indicates that soil moisture is not taken into account. So, the soil is completely dry. When the soil is moistened up to 40%, the specific heat loss increases almost twice.

With foamed polyurethane insulation, the influence of soil moisture is much smaller: with dry soil, it is 44 W/m, and with moisture up to 40%, it is 72 W/m, that is, it increases more than 1.5 times.

When the thickness of foamed polyurethane insulation increases, the specific heat loss decreases, but the influence of soil moisture is monitored similarly. This indicates that the influence of soil moisture on specific heat losses cannot be eliminated by increasing the thickness of the insulating coating.

Thus, when calculating heat losses by underground heat pipelines, one cannot fail to take into account possible wetting of the insulating material due to soil moisture.

Conclusion.

A comparative analysis of the specific heat losses in the area of the underground heat pipeline calculation showed that the deviation of the actual losses from the normative ones may not always be caused by the unsatisfactory condition of the underground heat pipeline, but due to the significant influence of soil moisture.

Literature

1. Methodology and practical recommendations for conducting an energy audit of housing and communal facilities: training. manual / V. O. Pinchuk, D. S. Adamenko. – Kyiv: Gnosis, 2021. – 132 p.

2. "Norms and instructions on the regulation of fuel and thermal energy consumption for heating residential and public buildings, as well as for economic and household needs in Ukraine." KTM 204 Ukraine 244–94. - K.: CJSC "VIPOL". - 2001. – 376 p.

3. Engineering equipment of buildings and structures. External networks and structures. Thermal networks: DBN V.2.5-39-2008. – [Effective from 2009-07-01]. - K.: Derzhspozhivstandard of Ukraine, 2009. - 55 p.

Анотація. *Розглянуто актуальність дослідження енергетичної ефективності теплових мереж теплопостачальних підприємств з метою виявлення понаднормативних втрат теплової енергії та визначення рівня втрат теплової енергії. Проаналізовано методику розрахунку нормативних втрат теплоти в теплових мережах відповідно до вимог нормативних документів. Встановлено, що для об'єктивної оцінки енергетичної ефективності теплових мереж централізованих систем теплопостачання потрібно повсюдне впровадження приладів обліку теплової енергії та вдосконалення і актуалізація методичної бази для визначення теплових втрат у підземних теплових мережах за показниками приладів обліку теплової енергії встановлених на теплових мережах і у теплових споживачів. Наведено класифікацію вологісного режиму теплової ізоляції трубопроводів теплових мереж для кожного виду прокладки: підземна канальна прокладка, підземна безканальна прокладка. На основі порівняльного аналізу розрахунку питомих теплових втрат*

на ділянці підземної теплової мережі показано значний вплив вологості ґрунту на відхилення фактичних втрат від нормативних. Удосконалено методику розрахунку втрат теплової енергії трубопроводами підземних теплових мереж шляхом урахування впливу вологості ґрунту. Наведено кінцеві аналітичні залежності для визначення втрат тепла з урахуванням вологісного режиму пролягання теплотраси. Це дає змогу здійснити загальну економію енергоресурсів, можливість визначити енергоефективність системи теплопостачання, спрогнозувати споживання паливно-енергетичних ресурсів в майбутньому, і, найголовніше, мінімізувати втрати енергоресурсу під час передачі теплової енергії кінцевому споживачу.

Ключові слова: *Енергетичний контроль, втрати енергії, теплові мережі, вологість*

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-064
DOI: 10.30888/2663-5712.2023-18-01-064

УДК 621.3

INCREASING THE LIFETIME OF LI-ION BATTERIES AS PART OF SELF-MANUFACTURED TRACTION BATTERIES FOR PORTABLE ELECTRIC VEHICLES

ЗБІЛЬШЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ LI-ION АКУМУЛЯТОРІВ У СКЛАДІ ВЛАСНОРУЧ ВИГОТОВЛЕНИХ ТЯГОВИХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ПОРТАТИВНОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

Tatarchuk T. V. / Татарчук Т.В.
PhD Tech., associate prof. / к.т.н., доц.
ORCID: 0000-0002-6408-0463
SPIN: 9539-7370
National University «Zaporizhzhia Polytechnic», Zaporizhzhia, Zhukovskoho, 64, 69063
Національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя, Жуковського, 64, 69063
Seredenko K. A. / Середенко К.А.
student / студент
ORCID: 0009-0008-6363-594X
Slovenská technická univerzita v Bratislave, Bratislava, Vazovova 5, 811 07
Oleksenko O. S. / Олексенко О.С.
student / студент
National University «Zaporizhzhia Polytechnic», Zaporizhzhia, Zhukovskoho, 64, 69063
Національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя, Жуковського, 64, 69063

Анотація. *Під час роботи розглянуто та проаналізувано конструкції тягових батарей для портативного електротранспорту. Виявлено серйозні недоліки, які виробники батарей ретельно приховують. Теоретично доведено неспроможність балансувальних BMS плат запобігати довготривалій дії надструму на елементи.*

Наступним завданням нашого дослідження було проектування та виготовлення першої Li-ion батареї, яка за своєю конструкцією була схожа на заводські аналоги. Під час експлуатація батареї практично спостерігалась неспроможність BMS плати регулювати струм заряду.

Проаналізувавши недоліки першого прототипу Li-ion батареї, зробили висновок про його безперспективність. Виготовлення другої Li-ion батареї з урахуванням недоліків попереднього прототипу та її експлуатація не виправдала очікувань авторів. І також вказала на свою безперспективність.

Ключевые слова: *Li-ion батареї, балансувальні BMS плати, надструми, термін експлуатації*

Вступ.

Стрімкий розвиток суспільства та прогресуюче збільшення населення в межах 20 та 21 століть призвело до відчутних екологічних проблем. Чималу небезпеку для довкілля становлять двигуни внутрішнього згорання (ДВС) та об’єкти промисловості, які є причиною викидів парникових газів. Людство прикладає багато зусиль для вирішення питання глобального потепління. Одним з основних досягнень цивілізації в 21 столітті є початок процесу заміщення ДВС двигунами з нульовою емісією парникових газів, такими як електричні. Електрифікація транспорту є одним з вагомих заходів для подолання кліматичної кризи.

Паралельно з переведенням традиційного транспорту (автомобілі, автобуси, кари, вантажівки) на електротягу спостерігається швидкий розвиток

портативного електротраспорту, такого як: самокати, велосипеди, квадроцикли, карти, скутери, мотоцикли, гіроборди, гіроскутери, моноколеса тощо. Саме про цей перспективний транспорт піде розмова.

Як відомо, основним вузлом електротранспорту є акумуляторна батарея (АБ), яка має обмежену кількість циклів. АБ поступово втрачають ємність, деградують, виходять з ладу і як результат потребують часткової або повної заміни. Найпопулярнішими зараз є батареї з Li-ion елементів стандартизованих розмірів. Існує декілька факторів реалізаціїї ідеї глобальної електрофікації транспорту, а саме:

- забезпеченність необхідними ресурсами на довготривалу перспективу (запаси літію, кобальту, нікелю);
- технології видобутку, збагачення та виробництва сировини для Li-ion елементів повинні забезпечувати багаторазову перевагу за викидами парникових газів у порівнянні з експлуатацією транспорту з ДВС;
- впровадження порядку та технологій збирання й переробки відпрацьованих Li-ion елементів з метою економічної привабливості цього процесу;
- застосування зарядних пристроїв та режимів експлуатації батарей орієнтованних на заощадження їх ресурсу (подовження терміну експлуатації).

Ми експлуатуємо декілька одиниць портативного електротранспорту (електровелосипеди, електроквадроцикли) вже понад 10 років, тому питання збереження ємності та подовження терміну експлуатації АБ мене неабияк цікавлять. Ми дослідили та описали всі недоліки сучасних тягових батарей [1,2] для портативного електротранспорту, і дійшли висновку, що ресурс акумуляторів можно значно збільшити при певній конструкції батареї та експлуатаційних заходах. Головне завдання при проєктуванні полягало в можливості швидкого та нетрудомісткого розбору батареї для заряду кожного акумулятора окремо. Це дозволило б заряджати кожний елемент до 100% без небезпеки перезаряду, слідкувати за їх станом (внутрішній опір, залишкова ємність після циклу розряду, підтікання електроліту тощо) та при виході з ладу мати можливість швидкої заміни [3].

Чому ми акцентуємо увагу на заміні несправного акумулятора? Наявність несправного елемента призводить до невідворотних негативних змін, які впливають на батарею в цілому. Щоб знайти рішення цієї проблеми, необхідно розібратися в фізичних процесах, що відбуваються в елементі та в батареї.

Неминуча розбіжність таких ключових параметрів, навіть, нових елементів, як ємність та внутрішній опір зумовлюють нерівномірний розподіл зарядного струму та зарядної напруги на елементах батареї. В свою чергу це призводить до системного недозаряду одних елементів та перезаряду інших. Експлуатація батареї за відсутності контролю стану окремих елементів призведе до скорої деградації елементів, які через нетривалий проміжок часу будуть потребувати заміни.

В даній роботі запропонувано конструкцію батареї, яку можна виготовити в умовах домашньої майстерні. Технологія не передбачає використання

високотехнологічного обладнання, інструментів та істотних капіталовкладень. Дослідний зразок у порівнянні з фабричними виробами можна охарактеризувати так:

- менша собівартість;
- ідентичні масо-габаритні показники;
- кращі умови охолодження;
- значно вища пожежна безпека;
- можливість контролю стану елементів, їх заміни та зарядки за нормованими параметрами, що встановлені виробником, тобто обслуговуваність та ремонтопридатність.

Таким чином, метою та завданням даного дослідження є отримати практичне підтвердження збільшення терміну експуатації літієво-іонних акумуляторів, шляхом застосування певних правил експлуатації на базі власноруч розробленої конструкції АБ, спроєктувати та виготовити конструкцію з можливістю оперативного доступу та розбору батареї до рівня окремого елементу.

1. Аналіз недоліків попередніх конструкцій Li-ion батарей

Першим етапом створення макету нової АКБ був детальний аналіз недоліків попередніх конструкцій та шляхів їх уникнення. Основними з них були:

- Незахищеність конструкції батареї від попадання вологи та механічного пошкодження елементів.
- Ненадійність контактних з'єднань елементів, яка призводила до струмового перевантаження елементів.
- Трудомісткість процесу укомплектування батареї елементами.
- Пожежна безпека батареї.
- Ненадійність закріплення АБ на багажнику велосипеда.

Електричні принципово-монтажні схеми першої та другої батареї наведені на рисунках 1 та 2.

Були проаналізовані сильні та слабкі сторони попередніх конструкцій.

1. Перша батарея мала надзвичайно надійні контактні з'єднання (пайка, опресування, різьбове затискання). Проте не мала можливості оперативного контролю стану елементів та їх окремого, контрольованого заряджання.

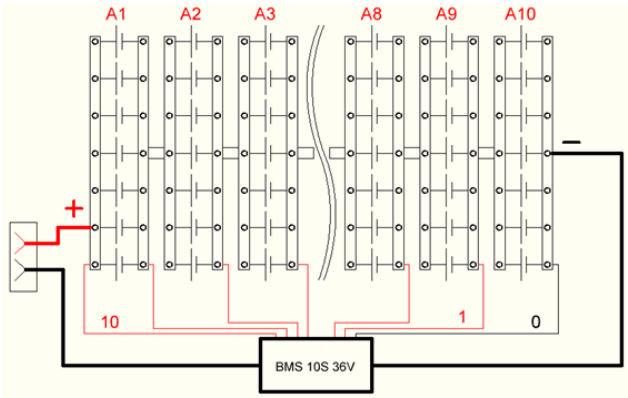


Рисунок 1 – Схема електрична, принципово – монтажна першої батареї

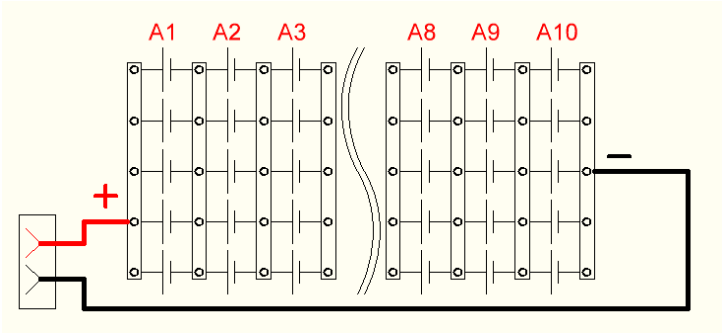


Рисунок 2 – Схема електрична, принципово-монтажна другої батареї

2. Друга батарея мала вкрай незадовільні контактні з'єднання, що приводили до виходу з ладу елементів, проте її розбірний тип дозволяв здійснювати оперативний контроль стану елементів та окреме, контрольоване заряджання.

3. Обидві перші батареї мали незадовільний захист від вологи, бруду, механічних пошкоджень, коротких замикань та велику пожежну небезпеку.

2. Розробка та виготовлення власної Li-ion батареї

Концепцією, здатною задовольнити вищезазначені вимоги здавалася трубчаста конструкція батареї.

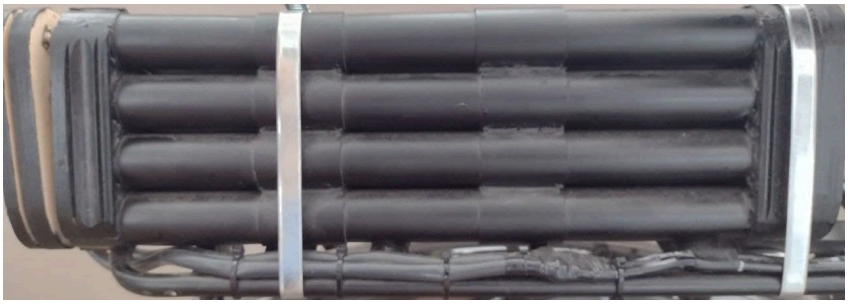


Рисунок 3 – Батарея на багажнику велосипеда, задня кришка надіта на шпильки та не притягнута

Була обрана тонкостінна електротехнічна труба, яка використовується для прокладання внутрішньої або зовнішньої електропроводки (виробник: АСКОУКРЕМ, марка SDO-25W). Труба виготовлена із ПХВ пластикату, який не підтримує горіння та самозгасає, має стінку завтовшки 1,4 мм та зовнішній діаметр 25 мм.

В задуманій конструкції під збіркою тепер слід розуміти десять послідовно набраних в трубках елементів (рис. 5 збірки А1-А5). Було вирішено залишити ємність батареї 15 А*год (5 збірок по 3А*год при 36 В), оскільки саме така кількість паралельних збірок унеможливить струмове перевантаження елементів, навіть, при різкому розгоні велосипеда. При номінальній потужності мотор-колеса 350 Вт максимальний струм однієї збірки буде становити близька 2А. Такі струмові навантаження є безпечними для елементів ємністю 3,3 А*год, виготовлених за технологією INR. 50 елементів розташовані в десяти трубках. Пара трубок становить одну збірку. Трубки скріплені у вигляді правильного трикутника (рис. 4).

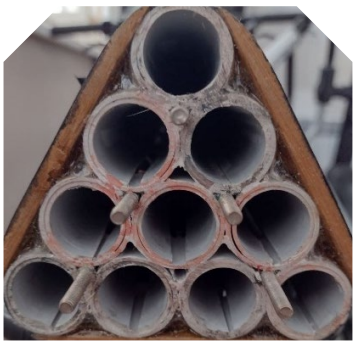


Рисунок 4 – Власна батарея: вид без задньої кришки

Опис конструкції та технології виготовлення

1. Внутрішній діаметр трубки становить 22 мм, діаметр елемента 18 мм. Елементи, набрані безпосередньо в трубку мають неприпустимий люфт, тому було прийняте рішення зменшити діаметр трубок. Для цього за допомогою кутової шліфувальної машинки був зроблений повздовжній пропил шириною близька 5 мм. Нарізані бандажувальні втулки з тієї ж труби та натягнуті на прорізані вздовж трубки. Це дозволило стиснути прорізані трубки та отримати внутрішній діаметр трубчастих збірок на рівні 19 мм. Десять трубок були склеєні між собою акриловим пластичним герметиком на водній основі. При цьому з боку завантаження елементів були вклеєні різьбові шпильки М4 для кріплення контактної кришки. Задля надання необхідної жорсткості конструкції «на кручення» та приховування огріхів нарізання та торцювання трубок по краях приклеєні декоративні дубові рейки. Краї закруглені та зашліфовані на стрічковій шліфмашині. Корпус АБ пофарбований відповідно до багажника велосипеда у чорний колір.

2. Передня кришка виготовлена із двох шарів фанери твердих порід деревини, склеєних між собою. Містить контактні містки з дротової міді, які запресовані в фанеру. Містки з’єднують дві напівзбірки із 5 елементів. Передня кришка наглухо приклеєна до трубчастої конструкції.

3. Задня кришка виготовлена із трьох шарів фанери твердих порід деревини. Розбирається пошарово. Всередині шарів (вирізані порожнини) організовані електричні кола, які забезпечують паралельне з’єднання «+» та «-» полюсів збірок. Через зовнішній шар фанери випущені вихідні дроти батареї, які оснащені швидкоз’ємними пружинними затискачами. До затискачів під’єднаний подовжувач зі спеціальним роз’ємом в бік контролера велосипеда. Кришка має наскрізні отвори для шпильок. Для унеможливлення встановлення кришки в неправильній орієнтації отвори для шпильок мають кодове розташування. В бік елементів на кришці закріплені пружини, які забезпечують постійний та надійній контакт. Ззовні кришка притискається до трубчастої конструкції за допомогою різьбових баранців (не потрібно використання викрутки або ключа для подолання жорсткості пружин). Для облегшення завантаження елементів з дотриманням необхідної полярності застосовано кольорове позначення торців трубок. Повздовжні прорізи на трубках орієнтовані донизу задля унеможливлення потрапляння та накопичення дощової води та сприяють кращому охолодженню елементів.

4. Кріплення батареї до багажника велосипеда здійснюється за допомогою двох стрічкових сталевих хомутів з гвинтом.

5. На рисунку 5 зображена електрична, принципово-монтажна схема третьої батареї.

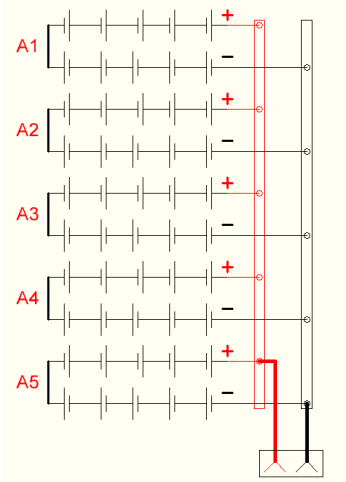


Рисунок 5 – Схема електрична, принципово-монтажна власної батареї

Досвід експлуатації

1. Вже перше завантаження елементів в збірки показало те, що наявні у автора елементи типу 18650 не можуть бути безпосередньо застосовані. Конструкція елементів не забезпечує електричного контакту між «+» та «-» полюсами послідовно набраних елементів, оскільки цьому заважає їх зовнішня ізоляція. Довелося нанести на «+» полюси елементів шар олова, товщій за ізоляцію (рис. 6)

Рисунок 6 – Шар олова на «+» полюсі елемента

Рисунок 7 – Два Li-ion елемента з'єднані послідовно з олов'яною напайкою

Під постійним тиском пружин та дією тряски олов'яні точки почали розклепуватись (площа контакту збільшилась, питомий тиск на поверхнях зменшився), а на їх поверхні утворюватися високоомні плівки, ймовірно з оксиду олова (рис 6). Це проявилось у більш помітному просіданню напруги батареї під час розгону, в той час коли елементи мали ще значний заряд. Проблема вирішувалась тимчасово зачищенням олов'яних поверхонь. В подальшому ця

вада була усунена шляхом використання елементів з привареними стрічковими виводами. Такі елементи пропонуються виробниками (рис 8) або можуть бути модернізовані звичайні елементи в домашніх умовах із використанням портативного зварювального пристрою для точкової зварки (рис. 9).

Рисунок 8 – Елемент з привареними стрічковими виводами

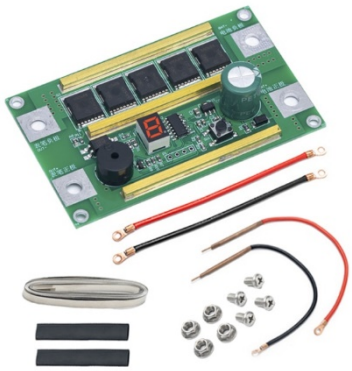


Рисунок 9 – Портативний зварювальний пристрій для точкової зварки

За допомогою портативного зварювального пристрою були приварені металічні стрічки до «+» полюсів елементів, після чого, описані в пункті 1 проблеми зникли. Завдяки наявності радіального люфту елементів в трубках порядку 1 мм та впливу тряски відбувається самоочищення контактних з'єднань між елементами.

2. Завантаження елементів в збірки та закривання передньої кришки виявилось легким та зручним.

3. Вивантаження елементів виявилося не зовсім зручним, оскільки касета закріплена на багажнику велосипеда в горизонтальному положенні. Доводилось піднімати передню частину велосипеда для того, щоб витрусити елементи з трубок. Для цієї операції бажано було мати помічника, щоб упередити падіння елементів на тверді поверхні, їх пошкодження та розгерметизацію. Вказану ваду було виправлено шляхом свердління додаткових отворів у передній кришці батареї на рівні кожної напівзбірки. Виштовхування елементів з трубок відбувається скловолоконним прутком діаметром 3 мм.

Після виправлення виявлених вад та проведення ходових випробувань батареї протягом двох місяців додаткових недоліків не виявили. Поведінка батареї була наступна:

- Рівномірне, пропорційне до пробігу зменшення рівня заряду батареї на індикаторі велосипеда, просідання напруги спостерігалося тільки при надрізкому розгоні велосипеда.
- Максимальна відстань поїздки на повному заряді батареї не змінилася після багаторазових циклів розряд/заряд, що свідчить про незмінну ємність АБ.
- Стабільна струмовіддача на всіх елементах (контактні з'єднання виявилися надійними, всі елементи були під'єднанні до електричного кола батареї).
- При зарядці різниця залишкових напруг на елементах варіювалася в межах 10%, що дорівнює 0,05 В і є дуже малою в порівнянні з робочим діапазоном.
- За два місяці експлуатації не було виявлено елементів з ознаками розгерметизації; кількість елементів, що потребували заміни дорівнювала нулю.
- Вивантаження елементів за допомогою стрижня виявилось легким та зручним.
- На вивантаження, зарядку та укомплектування батареї елементами витрачалося мінімум часу.

3. Економічний аналіз доцільності інвестицій у власну Li-ion батарею

Витрати на виготовлення, укомплектування та експлуатацію власної Li-ion батареї рахували за такими пунктами:

- Матеріали для корпуса батареї (більшість були взяті із підручних засобів, на інше (ПВХ труба, герметик, фарба) було витрачено близька 200 грн).
- Li-ion акумулятори «18650». Орієнтувалися на надійних виробників – Samsung, LiitoKala (ліцензія Samsung). При закупівлі акумуляторів від 50 одиниць і більше вартість одного елемента склала 2$ = 57₴ (закупівлю проводили на торгівельному майданчику AliExpress)
- Універсальні зарядні пристрої «MIBOXER C8» у кількості 3 одиниць. (Вартість одного 25$ = 675₴). Корпус зарядної станції зробили із підручних матеріалів.

Таблиця 1 – Калькуляція витрат на матеріали та компоненти третьої батареї

Деталі корпусу, грн	Акумулятори «18650», грн	ЗП «MIBOXER C8», грн	Всього, грн
200	2850	2025	5 075

Ознайомилися з асортиментом комплектних Li-ion батарей 36 В, 15А*год та зарядних пристроїв перевірених виробників, наприклад, Samsung. АБ оснащенні балансувальними BMS платами. Батареї знаходяться в жорсткому корпусі, захищені від попадання вологи, мають кріплення для фіксації на рамі велосипеда. У комплекті є зарядний пристрій. Вартість таких комплектів починається від 6500 грн. Проте варто зауважити, що трапляються випадки

(згідно оглядових відео на ресурсі YouTube) укомплектування батарей елементами, які не містять жодного маркування та з ємністю й струмовіддачею суттєво нижчою від заявленої. Тобто існує значний ризик придбати «кота в мішку».

Пропонуються також спрощені моделі тягових батарей. Вони не оснащенні жорстким корпусом та кріпленням. Збірки елементів запаковані в одношарову плівкову ізоляцію, здебільшого елементи не мають маркування та даних про виробника. Відповідно, застосування таких батарей в якості тягових для електровелосипедів вимагає додаткового оснащення. Вартість таких батарей при заявленій ємності 15 А*год та номінальній напрузі 36 В починається від 5000 грн.

Висновки.

✓ У роботі висвітлено шлях винаходу оригінальної конструкції тягової Li-ion батареї на базі елементів габариту «18650» для портативного електротранспорту, зокрема електровелосипеда. Концепція батареї та прийоми експлуатації практично унеможливлюють завдання шкоди її елементам через відхилення параметрів розряду, заряду від рекомендованих виробником.

✓ Дослідна експлуатація батареї підтвердила заощадливе використання ресурсу елементів, недопущення їх передчасного виходу з ладу.

✓ Практично підтверджено високу надійність батареї в дорожніх умовах: стабільність контактних з’єднань, захищеність елементів від забруднення вологою та пилом, прийнятні умови охолодження елементів.

✓ Зручний та швидкий процес розбирання батареї, вивантаження й завантаження елементів, а також можливість швидкого підзаряду батареї без розбору підтверджують її високі експлуатаційні характеристики.

✓ Надвисокий рівень пожежної безпеки батареї через ізольованість елементів один від одного та міцність оболонки. Застосування трубчастої касети унеможливлює коротке замикання між елементами та коротке замикання внаслідок витоку електроліту.

✓ Концепція трубчастих носіїв елементів наштовхнула автора на ідею створення «рознесеної» АБ з метою вивільнення багажника велосипеда для перевезення корисного вантажу. Вільний простір між площиною заднього колеса та стійками багажника може вмістити таку перспективну батарею. На думку автора, ідея гідна опрацювання з точки зору комерційного виробництва, чому будуть присвячені подальші вишукування.

✓ Отримані результати цілком задовільнили автора вишукувань, адже заощадження ресурсу елементів зумовлює значне зменшення питомої вартості проїзду на портативному електротранспорті та робить його більш популярним.

Література:

1. Татарчук Т.В., Середенко К.А., Олексенко О.С. Портативний електротранспорт. – Eurasian scientific discussions. Proceedings of the 13th International scientific and practical conference. Barca Academy Publishing. Barcelona, Spain. 2023. Pp. 182-190. URL: https://sci-conf.com.ua/xiii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-eurasian-scientific-discussions-22-24-01-2023-

barselona-ispaniya-arhiv/.

2. Tatarchuk T.V., Seredenko K. A., Oleksenko O. S. Design of Li-Ion batteries for portable electric transport // European Journal of Technical and Natural Sciences. 2023. №2. URL: https://ppublishing.org/archive/publication/583-design-of-li-ion-batteries-for-portable-electr (Preprint)

3. Вуллакотт Е. Що буде зі старими акумуляторами від електромобілів [Електронний ресурс] / Емма Вуллакотт. – Режим доступу до ресурсу: https://www.bbc. com/ukrainian/features-56927625.

4. Розвиток електротранспорту [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://mybro.com.ua/news/istoriya-razvitiya-elektrotransporta.html.

5. Загальна характеристика електровелосипедів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://velobarnaul.ru/articles/theory/obshchaya_kharakteristika_ elektrovelosipedov/.

6. Акумуляторні батареї [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://bit.ly/3HzoCsV.

7. Батареї для електровелосипедів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.kryptobike.ru/elektrovelosipedy/78-ustrojstvo-akkumulyatora-elektrovelosipeda-li-ion-akkumulyator.

8. Плати BMS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www. voltbikes.ru/blog/vybor-platy-bms/.

9. Універсальний зарядний пристрій "Miboxer C8" [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://bestbattery.com.ua/chargers/li_ion_charger/miboxer_ chargers/miboxer_c8.

Abstract. *During the work, the designs of traction batteries for portable electric transport were considered and analyzed. Serious flaws have been revealed that battery manufacturers carefully hide. The inability of balancing BMS boards to prevent long-term effects of overcurrent on elements has been theoretically proven. The next task of our research was the design and manufacture of the first Li-ion battery, which in its design was similar to factory analogues. During the operation of the battery, the inability of the BMS board to regulate the charge current was practically observed. After analyzing the shortcomings of the first Li-ion battery prototype, they concluded that it was hopeless. The production of the second Li-ion battery, taking into account the shortcomings of the previous prototype, and its operation did not meet the expectations of the authors. And she also pointed out her hopelessness.*

Keywords: *Li-ion batteries, balancing BMS boards, overcurrents, service life*

Стаття підготовлена в рамках Програми науково-дослідного фізико-технічного гуртка на базі кафедри фізики НУ «Запорізька політехніка»

Науковий керівник: к.т.н., доцент Татарчук Т.В.

Статья отправлена: 11.03.2023 г.

© Татарчук Т.В., Середенко К.А., Олексенко О.С.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-071
DOI: 10.30888/2663-5712.2023-18-01-071

UDC 66.041:666.92:628.511.4

EFFICIENCY OF LOW-CALORIFIC FUEL USE IN COUNTERFLOW LIME KILNS

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОКАЛОРІЙНОГО ПАЛИВА В ПРОТИТОЧНИХ ВАПНЯНО-ВИПАЛЮВАЛЬНИХ ПЕЧАХ

Foris S.N. / Форись С.М.
c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.
ORCID: 0000-0001-7104-640X
Pererva V.Y. / Перерва В.Я.
c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.
ORCID: 0000-0003-0665-6812X
Usenko A.Y. / Усенко А.Ю.
c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.
ORCID: 0000-0001-7467-6220
Forys O.M. / Форись О.М.
postgraduate/аспірант.
Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, str. Lazaryana, 2
Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2

Abstract. *Highly expensive energy carriers require revision of the existing engineering approaches in heating industrial furnaces. The paper presents the results of research into the performance of a shaft kiln for lime-stone burning, which was fired with mixtures of natural gas and a fuel gas of a low calorific value. Based on studying various schemes of fuel distribution between the burners, the optimal operation mode of the kiln with reduced consumption of natural gas by 30% was identified.*

Key words*: limestone, low-calorific fuel, kilns, natural gas, optimal operation mode.*

Problem statement. Lime production is an energy-intensive process. A significant part of lime is produced in shaft kilns, which is explained by the simplicity of the kiln design, low capital costs and high thermal efficiency of such units.

As a rule, enterprises use expensive natural gas in lime kilns. On average, the specific consumption of natural gas per tonne of active lime is 200-220 kg of fuel equivalent. The share of fuel in the cost of lime is about 50-60% [1-4].

Relevance of the research. The issue of reducing the consumption of purchased fuel at enterprises by means of their own energy resources is relevant. One of the possible solutions to the problem is to switch the units to partial or full heating with low-calorific gas (blast furnace gas, biogas, generator gas).

For example, according to expert estimates [1], it is technically possible to fire furnaces with a natural-blast mixture with a calorific value of about 10 MJ/m^3. Specific savings of natural gas are about 25 kg of fuel equivalent per tonne of lime. A further increase in the share of blast furnace gas will lead to an increase in heat losses with effluent gases. However, the issue of replacing natural gas requires a deeper study, as the change in fuel type will inevitably affect the gas-dynamic operation mode and performance of the furnace.

The paper sets the task of a calculation and theoretical study of the possibility of replacing natural gas with blast furnace gas in lime kilns and evaluates the efficiency of such a measure.

Research methods. The object of study was a shaft counterflow furnace [2]. The working height of the furnace is 18 m, the diameter of the shaft is 4.3 m, and there are peripheral burners and a central burner. The scheme of the studied furnace is shown in Fig. 1.

The kiln structure consists of a vertical cylindrical shaft. Limestone is loaded from above by a skip hoist, while lime is discharged at the base of the kiln. The gas moves in counterflow with respect to the material. The furnace working space consists of three technological zones: a limestone heating zone, a burning zone, and a lime cooling zone where air is heated. Fuel is supplied through two tiers of side burners and a central burner (core). Part of the flue gas exiting the kiln is recirculated to the central burner.

The applied condition for replacing natural gas was the equivalent heat output by the furnace burners. Meanwhile, the capacity of the existing burners was considered as a technical limitation for the maximum blast furnace gas consumption.

The influence of blast furnace gas on the operation of a lime kiln was studied using a mathematical model of the unit. The mathematical model considers gas dynamics and heat exchange in a counterflow lime kiln with central and peripheral gaseous fuel supply [3-4].

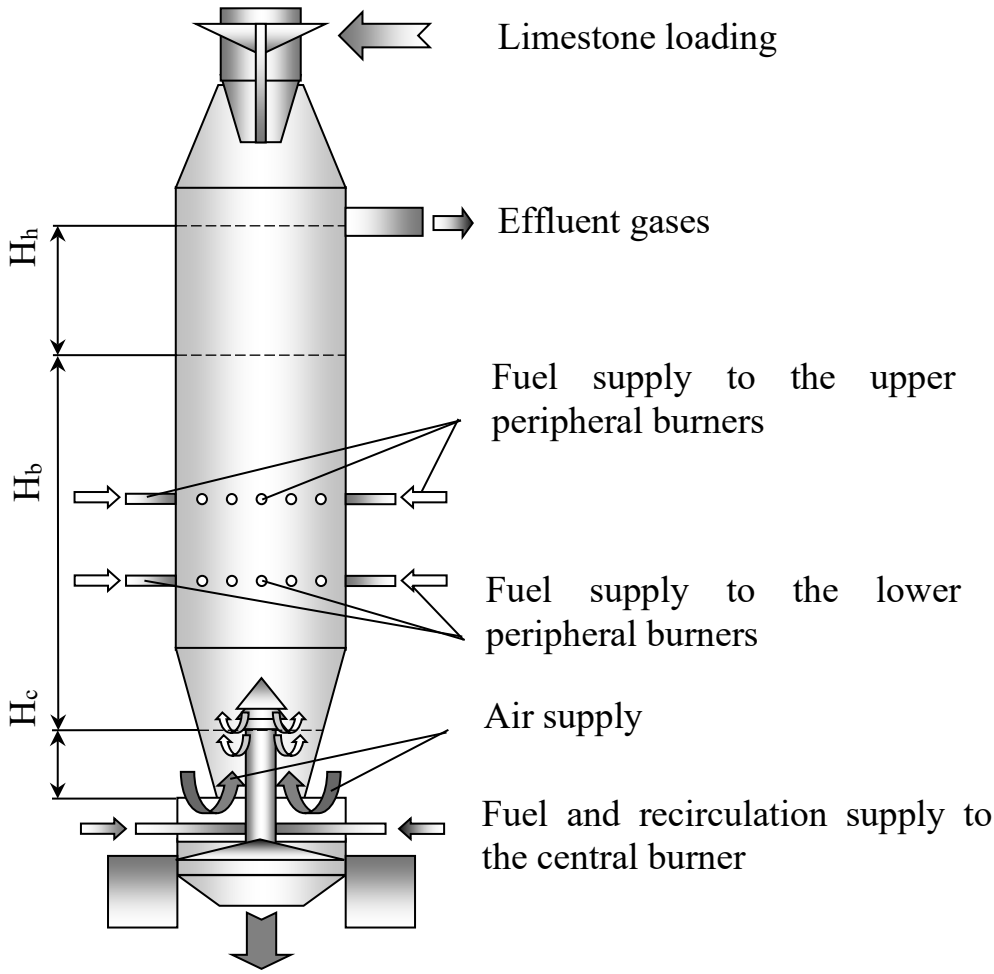


Figure 1 – Process flowchart of the lime kiln using gaseous fuel.
H_{heat} – height of the limestone heating zone, H_{burn} – height of the burning zone, H_{cool} – height of the cooling zone.

Analysis of the research results. According to the estimates, the maximum permissible volume share of blast furnace gas in the natural-blast furnace mixture is about r_{bg} = 0.8 (Fig. 2). Meanwhile, the calorific value of such a mixture is 9.4 MJ/m^3 . The optimal mode of operation of the natural gas furnace was adopted as the base: total natural gas consumption of 1100 m^3 /h; air flow to the central burner of 1000 m^3 /h; recirculation flow of 750 m^3 /h; air flow to the bottom of the furnace of 9500 m^3 /h; limestone consumption of 314 t/h; limestone burning rate of 85% [3].

The results of the study of the blast furnace gas influence on the furnace operation are shown in Figs. 2-4. According to the data obtained, depending on the supply of blast furnace gas to the central or peripheral burners, the furnace behaves differently. Thus, ceteris paribus, an increase in blast furnace gas consumption (r_{bg} = 0÷0.8) to the central burner leads to a slight deterioration in furnace performance. The temperature of the gases in the central zone drops (Fig. 4) and this contributes to a deterioration in the quality of limestone burning (Fig. 3)

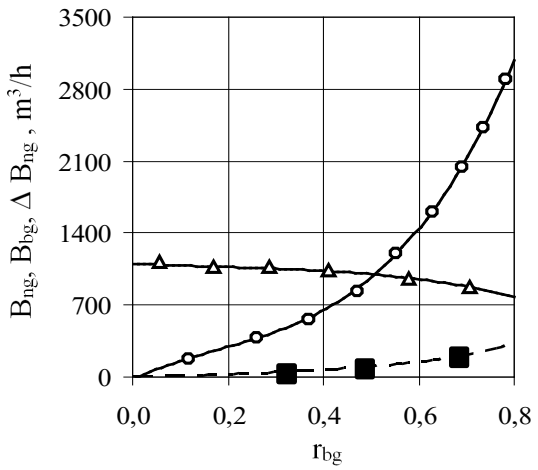


Figure 2. Dependence of the fuel consumption on the share of blast furnace gas

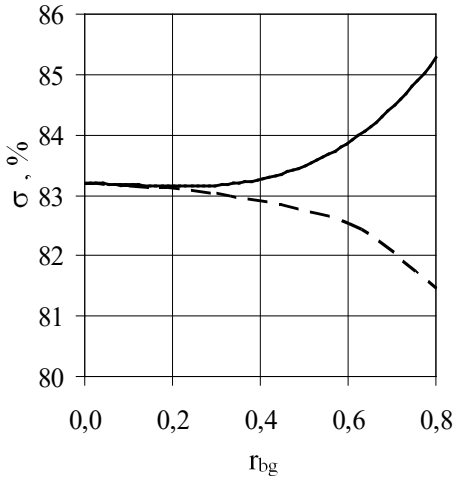


Figure 3. Changes in the degree of lime-stone burning vs the share of blast furnace gas

Consumption of natural gas B_{ng}
Consumption of blast furnace gas B_{bg}
Reduction of the natural gas consumption ΔB_{ng}
Share of blast furnace gas (peripheral burners)
Share of natural gas (Central burner)

In this case, the chemical underburning of the fuel is reduced, but heat losses with the effluent gases increase. When blast furnace gas (r_{bg} = 0 ÷0.8) is supplied to the peripheral burners, the temperature near the furnace walls in the bed decreases in a similar way. However, the operation of the side burners is characterised by the presence of an excess of oxygen.

On the other hand, an increase in the flow rate of the natural-blast mixture at the periphery turbulises the wall region, thereby improving mixing conditions. In the end, both factors have a positive effect on the operation of the kiln and contribute to an increase in the degree of the material burning (Fig. 2).

In addition, high-temperature zones are localised in the area of the peripheral burners. Overheating during the limestone burning process leads to a decrease in lime activity. The lime gets sintered and not activated. Therefore, the supply of blast furnace gas softens the firing and increases the yield of active lime. The optimum temperature

for limestone burning is 1100°C. The sintering temperature on the surface is 1200°C. During sintering, an inactive part is formed on the surface of the material, which, when crushed, reduces the overall quality of the lime.

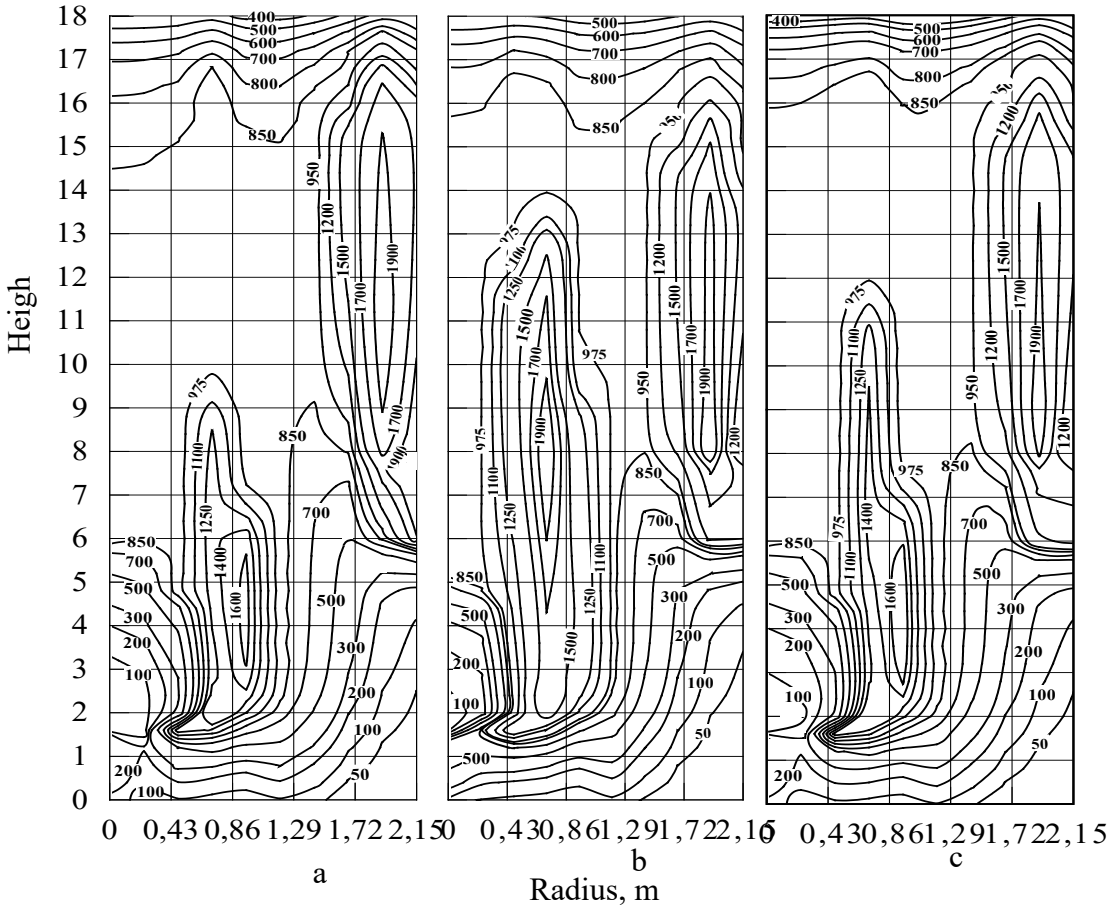


Figure 4. Temperature in the furnace volume when blast furnace gas is supplied
a) central burner (r_{bg} = 0,8);
b) peripheral burner (r_{bg} = 0,8);
c) furnace (r_{bg} = 0,8).

Thus, the ambiguous effect of blast furnace gas consumption on furnace operation leads to an interesting result from a practical point of view: when the furnace is heated with a natural-blast mixture in the range of calorific value of 9.4 ÷ 33.5 MJ/m^3 , the main parameters of furnace operation (the structure of the heat balance of the furnace and the quality of the product) practically do not change.

This conclusion is explained by the fact that the shaft furnace does not have a developed volume of working space like reheating furnaces and boiler units. In a fixed bed, the main heat transfer from gases to the material surface is carried out by convection. Therefore, when replacing natural gas with low-calorific fuels, there is no effect of a sharp drop in the radiation component of heat transfer.

An assessment of the economic performance of this energy-saving measure showed that when heating the furnace with a natural-blast mixture with a calorific value of 9.4 MJ/m^3, the estimated hourly natural gas savings in absolute units are about 322 m^3 /h (Fig. 2).

Conclusions. Based on the results of the study of the impact of blast furnace gas on the operation of the furnace, it is shown that the lime quality deteriorates when blast

furnace gas is supplied to the central burner and improves when the gas supplied to the peripheral burners. The joint supply of blast furnace gas in the calorific value range of the natural-blast furnace mixture of 9.4 ÷ 35 MJ/m^3 allows preserving the furnace performance. At the same time, the blast furnace gas replacement ratio is close to 100%. The proposed mode of heating the furnace with a capacity of 200 tonnes per day with a natural-blast furnace mixture reduces consumption of natural gas by 30%.

List of references

1. Gubinsky, M.V., Fedorov, S.S., Foris, S.N., Agadzhanyan, A.V. Efficiency of the use of blast furnace gas in a countercurrent lime kiln (2011) Metallurgical and Mining Industry, 3 (3), pp. 133-137.

2. Fedorov S.S., Gubinskii M.V., Foris' S.N. Mathematical Simulation of the Structural Properties of Packed and Fluidised Beds / Journal of Engineering Physics and Thermophysics - May 2016, Volume 89, pp 627-635.

3. Foris S.M. Mathematical modelling of mine lime kilns / S.M. Foris, S.S. Fedorov, M.V. Gubinsky // System technologies. Regional inter-university collection of scientific works. - 2008. - Vol. 2. - P. 98 - 104.

4. Forys S.N. Development and implementation of rational modes of operation of mine lime-quartz kilns / Forys S.N., Fedorov S.S., Fedorov O.G. // Metallurgical Heat Engineering. Collection of scientific papers of the National Metallurgical Academy of Ukraine. - Dnipro: PPGrekO.S., 2007. - P.278-287.

Abstract. *Highly expensive energy carriers require revision of the existing engineering approaches in heating of industrial furnaces.*

The paper presents the results of research into the performance of a shaft kiln for lime-stone burning, which was fired with mixtures of natural gas and a fuel gas of a low calorific value. On the basis of studying various schemes of fuel distribution between the burners, the optimal operation mode of the kiln with reduced consumption of natural gas by 30% was identified.

The lime quality indicators increase when the blast furnace gas is supplied to the central burner and improve when supplied to the peripheral burners.

The joint supply of blast furnace gas in the calorific value section of the natural blast furnace mixture 9.4 ÷ 35 MJ/m3 allows keeping the performance of the furnace unchanged. At the same time, the coefficient of replacing natural gas with blast furnace gas is close to unity

The proposed mode of heating the furnace with a capacity of 200 t/day with a natural blast furnace mixture provides 30% natural gas savings.

Key words*: limestone, low-calorific fuel, kilns, natural gas, optimal operation mode.*

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-076
DOI: 10.30888/2663-5712.2023-18-01-076

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF 3D CONSTRUCTION AND ITS IMPACT ON THE ENVIRONMENTAL

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ 3D БУДІВНИЦТВА ТА ЙОГО ВПЛИВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Kiryk K. / Кірик К.Р.
student / студент
Zhuravska N. / Журавська Н.Є.
c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.
Stefanovych P. / Стефанович П.І.
lecturer / викладач
Kyiv National University of Construction and Architecture / КНУБА

Анотація. *В даній науковій роботі представлено тему розвитку передових технологій зведення будинків за допомогою 3Д-друку. Позитивні й негативні чинники традиційного будівництва. Перехід на еко-будівництво світових лідерів. Потреби змін методики будівництва в Україні. Майбутні перспективи розвитку архітектурної форми за допомогою 3Д-технологій. Позитивний вплив на довкілля 3Д-будівництва.*

Ключові слова: *3Д-друк, технології, збереження довкілля, будівництво, еко розвиток, архітектура, 3Д-принтери.*

Вступ

Актуальність. У сучасному світі технології розвиваються з кожним роком з великою швидкістю. За останні кілька десятиліть проектування та зведення екологічних будівель набули популярності. Однією з останніх і найбільш перспективних інновацій [1], на наш погляд, в галузі будівництва є друкування будинків на 3D-принтерах.

Це революційна технологія, яка дозволяє створювати будівлі швидко, ефективно та знижувати витрати на будівництво. Крім того, друк будинків на 3D-принтерах відкриває нові дизайнерські можливості та допомагає зменшити вплив будівництва на довкілля. Відомо, що вплив будівництва на довкілля є, як правило, шкідливим, оскільки ця галузь є одним з найбільших споживачів енергії та ресурсів, яка забруднює навколишнє середовище. Цій напрямок включає в себе багато складових, що стосується не лише експлуатації будівель, але й їхньої побудови, демонтажу та інше.

Розглянуто детальна технологія друку будинків на 3D-принтерах, висвітлено переваги та недоліки цього методу будівництва, а також проаналізовано можливості використання цієї технології в різних галузях будівництва нашої країни зі змінами, які можуть відбутися з початком експлуатації 3Д-будинків в Україні.

Прогноз вчених про розвиток демографічної ситуації в найближчі 20 років вказує на бурхливе зростання населення планети. Це може стати серйозним випробуванням для урядів багатьох країн в забезпеченні підростаючих поколінь комфортними умовами життя, в першу чергу житлом. Так, на основі даних, наведених ООН, через 15 років середньодобова потреба людства в новому житлі перевищить 100 тис. одиниць, і до 2030 року приблизно 4 млрд. осіб з малозабезпечених верств населення (з доходом менше $ 3 тис. на рік) буде мати гостру потребу в житлі.

Майбутня загроза – як це відбувалося не раз, – заявляють оптимісти, буде відвернена за допомогою інноваційних технологій в будівельній галузі. Найбільш вірогідним шляхом вирішення наростаючої проблеми – стверджують фахівці – стане застосування 3D технологій: будівельних принтерів. Саме це рішення, на їхню думку, дозволить задовольнити швидко зростаючу потребу широких верств населення і забезпечити тих, хто гостро потребують, житлом.

Оптимізм обґрунтований підтвердженнями з різних джерел: у порівнянні з традиційними технологіями використання 3D принтерів при зведенні будинків та споруд дозволить економити на затратах до 80 %, а час будівництва скоротити на 60…70 %. Головні переваги будівельних принтерів – мінімальні (в порівнянні з традиційними способами виконання робіт) терміни і ефективність логістичних операцій. Як недоліки: неможливість впровадження 3D технологій в комплексний процес будівництва, реконструкції та ремонту висока вартість сучасних моделей тривимірних будівельних принтерів [1-7].

Розділ 1. Історія відкриття 3Д-будівництва

Історія розвитку друкування будинків на 3D-принтері почалася в 2012 році, коли компанія Contour Crafting отримала державний грант від НАСА на дослідження технології друкування будівель. У той час компанія розробляла пристрій, який міг друкувати будівлі в масштабі 1:1.

У 2013 році китайська компанія WinSun випустила перші комерційні будинки, збудовані за допомогою 3D-друкування. Ці будинки виготовлялися з відходів будівельних матеріалів, що знижувало вартість будівництва. За одну добу компанія могла випускати до десяти будинків.

У 2014 році голландська компанія DUS Architects відкрила першу в світі студію з друкування будинків на 3D-принтері. Ця студія виготовила кілька експериментальних будинків, включаючи мініатюрну версію Амстердамського каналу та пристрій, який можна використовувати як гостьовий будинок або кімнату для дітей.

У наступні роки з'явилися нові технології та матеріали для друкування будинків на 3D-принтері, такі як друкування з бетону та композитних матеріалів, а також більш точні пристрої, які можуть створювати більш складні форми. У 2019 році китайська компанія Winsun встановила рекорд, випустивши 10 будинків за 24 години за допомогою 3D-друкування. В цілому, розвиток технології друкування будинків на 3D-принтері є активним і динамічне розвивається в сучасному світі.

На сьогодні 3D-принтер для будівництва являє собою обладнання, яке дозволяє створювати малі архітектурні форми та елементи споруджень для подальшої їх збірки на місці, чи дозволяють друкувати цілу будівлю на будівельному майданчику (рис. 1) [3].

Рисунок 1. 3D-принтер для будівництва

Розділ 2. Досвід 3Д-будівництва світових країн-лідерів

Світові науковці передбачають можливість екологічної кризи внаслідок стрімкого зростання населення, а разом з ним і потреб суспільства. Тож, об’єднавшись з архітектурними бюро й залучившись підтримкою влади, стали активно розвивати ідею 3Д-будівництва на теренах своїх країн.

У серпні минулого року компанія WinSun (Китай) офіційно заявила про наймасштабніший на сьогоднішній день проект житлового будівництва з використанням 3D-технологій. В компанії запевняють, що китайські будівельні принтери протягом п'яти років «надрукують» півтора мільйона житлових будинків в Саудівській Аравії.

Компанія WASP (Італія) розробила і випробувала найбільший, на даний період, будівельний принтер. Агрегат – металева конструкція заввишки 12 м, шириною 6 м, в центральній частині якої встановлено «друкуючий» екструдер – пристрій, який змішує і завдає пластичну масу, шар за шаром зводячи каркас будівлі (рис. 2). У недавньому минулому за допомогою унікального принтера вдалося «надрукувати» невелике приміщення, яке використовується як укриття. В даний час розробники найбільшого 3D-принтера планують його застосовувати лише при будівництві найпростіших будівель, таких, наприклад, як будинки для мігрантів або людей, які постраждали від стихійного лиха [4].

В ОАЕ (Дубай) за допомогою принтера завершено будівництво офісної будівлі, де не тільки каркас, а й оздоблення інтер'єру виконано із застосуванням 3D-технологій (рис. 3). Період будівництва склав 17 днів, а вартість становить $ 140 тисяч. У новій будівлі розміститься компанія, яка його «надрукувала», що, на думку адміністрації, буде одним із символів майбутнього Дубая [7].

Під керівництвом вчених Технічного університету Ейндховена (Нідерланди) розроблений тривимірний будівельний принтер, здатний «друкувати» деталі розміром з горошину. Фінансування проекту 3DCP здійснюється десятьма компаніями і становить 650 тис. євро.

Рисунок 2. Зведення каркас будівлі

Рисунок 3. Оздоблення інтер'єру виконано із застосуванням 3D-технологій

Розробники стверджують, що унікальність принтера в тому, що, завдяки поворотній друкуючій голівці, можна створювати об'єкти будь-якої форми, обмежуючись лише габаритами: 11 × 5 × 4 м. Протягом 2017 року розробники 3DCP планують приділити увагу демонстрації свого дітища і роботі з будівельниками з метою найбільш ефективного його практичного застосування.

Архітектурною компанією WATG Urban Architecture (США) розроблено проект першої в світі споруди спеціальної форми, яка в найбільшій мірі, на думку авторів, підходить для застосування будівельного принтера. Обрис будівлі представлено архітекторами у вигляді сфери з хвилеподібним дахом, в якому гармонійно поєднуються високі технології і навколишня природа. Приступити до «друкування» будинку майбутнього планується в 2017 році в місті Чаттануга, штат Теннессі.

Розроблені сміливі і плідні кроки в розробках і практичному застосуванні технології 3D-друку в Швейцарія, Данія, Японія [4].

Розділ 3. Передумови і причини стрімкого розвитку 3Д-будівництва з поглядів екології

Перша спроба друку житлового будинку була здійснена на засадах наукового інтересу, яка відразу ж принесла корисний результат у різні сфери життя людей. Тепер розвиток друкування будинків на 3D-принтерах набув багато обґрунтованих передумов. Перш за все – це є швидкість проектування й будівництва. 3D-друк дозволяє створювати будівлі швидше, ніж традиційні методи будівництва. Такі будинки можуть бути надруковані за кілька днів або навіть годин, залежно від розміру і складності будівлі. Це може допомогти вирішити проблему з недостатнім житловим фондом у багатьох країнах, а також зі складною проблемою демографічної кризи й кризи ресурсів там, де наявні методи будівництва не можуть швидко задовольнити попит на житло.

Не менш важливим є економія витрат: 3D-друк дозволяє скоротити витрати на будівництво, оскільки менше праці і матеріалів потрібно для створення будинку. Також це дозволяє знизити витрати на транспортування будівельних матеріалів. Відкритими стають нові дизайнерські можливості: друк будинків на 3D-принтері дозволяє створювати будівлі зі складними геометричними формами й поєднаннями у первинній природі, які було б складно або неможливо втілити в життя за допомогою традиційних методів будівництва[8].

Екологічність як така: друк будинків на 3D-принтері може допомогти зменшити вплив будівництва на навколишнє середовище, оскільки він використовує менше матеріалів, а також може використовувати вторинні матеріали, такі як пластикові відходи, тощо [6]. Щоб матеріал можна було класифікувати як екологічно чистий, він повинен відповідати таким вимогам: технологія виробництва (і видобутку сировини) повинна бути максимально ефективна, з мінімальним викидом забруднюючих речовин і використанням природних компонентів, запаси яких представлені в природі в достатній кількості.

Під час експлуатації будівельний або оздоблювальний матеріал також не повинен продукувати шкідливі викиди і надавати нейтральний або здоровий вплив на мікроклімат приміщення. Будівля при цьому має відрізнятися енергоефективністю і витрачати мінімальні ресурси на обігрів і обслуговування. Довговічність будівельних виробів повинна відрізнятися великою тривалістю. Причому після завершення терміну експлуатації повинна бути передбачена можливість вторинної переробки або безпечної нешкідливої утилізації матеріалу.

Екологічне будівництво — це принцип зведення та експлуатація будівель для зниження споживання ресурсів від проектування до їх знесення. Енергоефективні об'єкти споруджуються з екологічно чистих матеріалів, що мають гарні показники енергозбереження та використовують альтернативні джерела енергії. У першу чергу — сонячну енергію, енергію повітря і ґрунту.

Безпечні та екологічно чисті споруди поліпшують стан навколишнього середовища. частка всієї енергії, що використовує людство, йде на підтримання потрібної температури всередині будівель та на їх освітлення. Це ілюструє те, наскільки важливо Україні рухатися у вказаному напрямі. Країна зробила перші кроки у цьому напрямі орієнтовно через 20 років після держав ЄС. Потроху зростає кількість компаній, що працюють у цьому сегменті. Влада робить поодинокі кроки в напрямі енергоефективності? Це може бути запорукою швидкого введення розвитку 3D-друку. Наприклад, президент підписав закон про "зелений" тариф, який дозволяє встановлювати домашні сонячні електростанції на земельних ділянках…, та впровадження технологій, які можуть скоротити витрати на будівництво. Це дасть змогу зекономити на електриці і навіть отримати прибуток за продажи її надлишку [8].

Розділ 4. Позитивний та негативний вплив 3Д-будівництва на довкілля

3D-друк бетонних конструкцій може мати як позитивний, так і негативний вплив на довкілля, залежно від різних факторів.

Позитивні аспекти: енергоефективність (3D-друк може зменшити використання енергії та витрати матеріалів порівняно з традиційним будівництвом. Це може призвести до зменшення викидів в атмосферу та забруднення довкілля); мінімізація відходів (3D-друк дозволяє точно відтворювати форми та розміри бетонних конструкцій, що може зменшити відходи та забруднення, пов'язані з обрізкою та обробкою матеріалів); місцеве виробництво (3D-друк може дозволити місцевому населенню виробляти власні будівельні конструкції без необхідності транспортування матеріалів з віддалених місць. Це може зменшити викиди в атмосферу та екологічний вплив транспорту).

Негативні аспекти: використання енергії (3D-друк вимагає енергії для роботи друкарки, а також для обробки та вирівнювання поверхні друкування. Це може призвести до викидів парникових газів та інших забруднюючих речовин); використання матеріалів (3D-друк бетонних конструкцій вимагає використання значної кількості матеріалу, що може призвести до забруднення довкілля та експлуатації природних ресурсів) (схема 1); вплив на ландшафт (3D-друк може впливати на ландшафт, особливо якщо будівництво здійснюється в природно охоронних зонах).

Розділ 5. Будівництво в Україні і його вплив на довкілля

На сьогодні в Україні існує й застосовується безліч методів зведення житлової й громадської архітектури. Відповідно до цього сучасне будівництво в Україні має значний вплив на довкілля. Перш за все, будівництво споживає велику кількість ресурсів, включаючи деревину, метал та інші матеріали.

Схема 1. Наслідки забруднення довкілля та експлуатації природних ресурсів

Це призводить до зменшення лісових насаджень та інших екосистем, що може вплинути на біорізноманіття регіону [8]. Крім того, будівництво в Україні часто супроводжується забрудненням повітря та води. Будівельні матеріали та речовини, які використовуються під час будівництва, можуть містити шкідливі речовини, які потрапляють в атмосферу та ґрунт (табл. 1). Це може призвести до забруднення ґрунту та води в околицях будівельного майданчика.

Техногенний тиск на геологічне середовище може набути катастрофічного швидкого характеру, а по мірках геологічного часу – вибухового характеру. Внаслідок такої діяльності виникають несприятливі зміни екологічних умов життєдіяльності людини. Геологічне середовище є головним накопичувачем забруднюючих речовин (радіонуклідів, важких металів, токсичних органічних сполук тощо), які надходять з твердими та рідкими відходами, з повітряними викидами виробничої діяльності, в тому числі, будівництва. Видобуток корисних копалин, створення інженерних споруд і потужних промислових комплексів призвели до незворотних змін у геологічному середовищі з порушенням динаміки природних та виникненням небезпечних техногенних процесів. Через обмеженість територій у містах, людина все більше будує та потім використовує підземний простір, як приклади, метро, переходи, тунелі, сховища тощо. Геологічне середовище міст — це складна природно-технічна система з потужним техногенним навантаженням.

Якщо розглядати всі процеси, що відбуваються в геологічному середовищі міст у їх взаємозв'язку, то екологічний стан геологічного середовища можна охарактеризувати як такий, що погіршується. Вирішення питань для всіх напрямків будівництва для збалансованого використання, менеджменту та охорони геологічного середовища потребує здійснення комплексу стратегічних заходів екологічного, господарського і будівельного спрямування, а саме:

– Під час розвитку та реконструкції міст і міських агломерацій повсюдно впроваджувати екологічне планування, з впровадженням інноваційних технологій. Це дозволить оперативне отримувати і обробляти інформацію про стан геологічного середовища, прогнозувати техногенні зміни; забезпечить природоохоронне управління господарством, що орієнтоване не тільки на отримання економічного ефекту, а й на перспективний стан природних систем, зокрема, геологічного середовища.

– Запровадження моніторингу геологічного середовища на території міст і, особливо, в промислово-будівельних і транспортних зонах, з використанням комп'ютерних систем для побудови імовірнісних прогнозних моделей геологічних природних та інженерно-геологічних процесів аж до постійно діючих моделей геологічного середовища; створення банку даних за станом природного, в тому числі геологічного, середовища. Це дозволить правильно обґрунтувати та оцінити ефективність заходів щодо інженерного захисту територій та запобігти негативним процесам.

– Інженерний захист територій міст та міських агломерацій є найважливішим заходом захисту та збалансованого використання геологічного середовища в тих регіонах, де особливо активно розвиваються небезпечні процеси, що супроводжуються значними збитками негативними явищами. Під час будівництва на таких місцевостях слід передбачити оптимальне поєднання будівельних заходів та заходів з поліпшення властивостей ґрунтів основ та фундаментів, стабілізації стійкості природних схилів, штучних укосів, карстоутворюючих процесів та для чистого виробництва, в тому числі, на будівництві, що може призвести до зниження забруднення повітря, особливо в міських районах ефективне впровадження друкування будинків на 3D-принтерах тощо.

– Змінити технічну частину системи: перехід до ресурсозберігаючого виробництва з безвідходними і маловідходними технологіями; впровадження у виробництво ефективних очисних споруд, які вводяться в дію при першочерговому будівництві; відділення промислових зон від сельбищних; озеленення міст в цілому і промислових підприємств зокрема тощо [2].

Досліджено, що в Україні, за даними Міністерства екології та природних ресурсів України, забруднення повітря зменшилося на 12 % в 2020 році порівняно з 2019 роком, що може бути пов'язано зі зменшенням виробництва та економічної активності через пандемію COVID-19. На сьогодні порівняння стану забруднення повітря на території нашої країни є недоречним, адже досі тривають тяжкі бойові дії, які унеможливлюють контроль забруднення довкілля.

Крім того, будівництво може призвести до зниження якості повітря, особливо в міських районах, через збільшення обсягу транспорту та використання машин на будівельних майданчиках (схема 2) [1]. Друкування будинків на 3D-принтерах є новітнім технологічним рішенням у будівельній галузі, яке потенційно може забезпечити більш ефективне використання матеріалів та знизити витрати на будівництво [1, 8].

Таблиця 1 - Вміст шкідливих речовин, які використовуються під час будівництва

Речовини, які виділяються під час будівництва			
Назва	Хімічна формула	Джерело виділення	Вплив
Вуглекислий газ	CO_2	При використанні бензину, дизельного палива	Є однією з причин глобального потепління
Оксиди азоту	NO_x	При спалюванні палива у будівельній техніці	Спричинюють проблеми з диханням та важкі захворювання
Сірні діоксиди	SO_2	При використанні теплових електростанцій та інших виробництвах	Є причиною кислотних дощів
Важкі метали	Pb, Hg, CdO	При виробництві та обробці будівельних матеріалів	Спричиняють захворювання різного ступеня тяжкості
Пил		При руйнування будівельних матеріалів, які містять цемент і азбест	Викликають проблеми з легенями

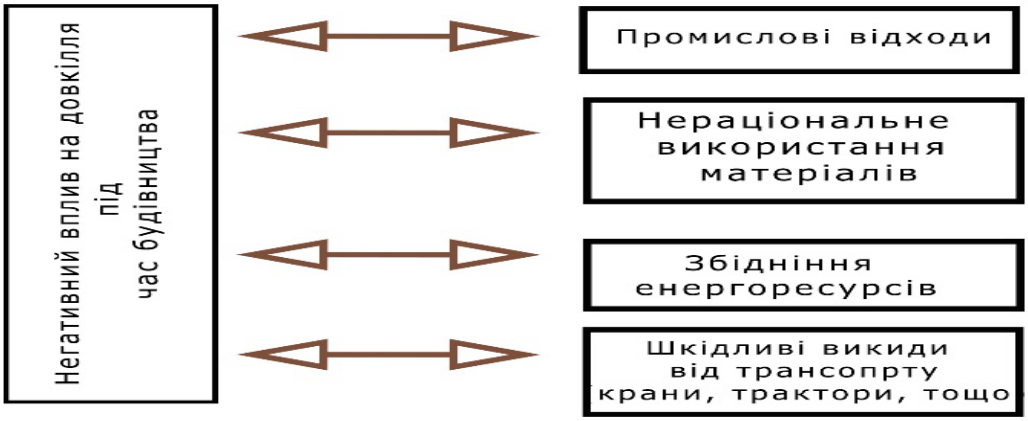


Схема 2. Наслідки будівництва на довкілля

Розділ 6. Перспективи розвитку 3Д-будівництва в Україні

На сьогоднішній день, українські компанії активно займаються розробкою та впровадженням 3D-друкування будинків. Наприклад, в Києві вже було побудовано будинок на 3D-принтері (рис. 4) [5], а також запущено декілька проектів з використанням цієї технології в інших містах України. Така технологія будівництва стане номер один у відбудові України після перемоги й зможе швидко забезпечити житлом переселенців і людей, які втратили житло під час війни. Переваги друкування будинків на 3D-принтерах в Україні полягають у наступному: зниження вартості будівництва через економію матеріалів та зниження витрат на робочу силу; зменшення часу будівництва за рахунок швидкого та автоматизованого процесу друкування; висока якість будівельних конструкцій та можливість їх індивідуалізації; зменшення впливу будівництва на навколишнє середовище; зменшення електроенергії, яка потрібна під час будівництва. Деякі дослідження показують, що будівництво середньостатистичної багатоповерхівки в Україні може споживати від 1000…

5000 кВт-год електроенергії на квадратний метр залежно від технологій та інших факторів (наприклад, будівництво одного 20-поверхового житлового будинку в Китаї вимагало близько 3 мільйонів кВт-год електроенергії).

Компанії, які спеціалізуються на 3Д-будівництві й розробці нових еко-технологій надали дані, що друкування будинку на 3Д-принтерів маже вимагати від 50…500 кВт-год електроенергії на один квадратний метр, що є значно менше, за витрати від час традиційного будівництва. Однак, на сьогоднішній день, друкування будинків на 3D-принтерах ще не є широко поширеною практикою в Україні. Одним із факторів, що обмежує розвиток цієї технології в Україні, є відсутність належного регулювання в галузі будівництва, оцінка та аналіз еколого-економічних характеристик. Також, відносно висока вартість обладнання (таб. 2) та потреба в кваліфікованих спеціалістах, що володіють необхідними навичками [2].

Таблиця 2. - Вартість обладнання

Порівняння ціни зведення середньостатистичного приватного житлового будинку	
При 3Д-друкуванні	100.000…200.000 $
При традиційному будівництві	50.000…150.000 $

Рисунок 4. Будинок з 3D-принтеру в Києві

Висновок. Таким чином, за наведеною інформацією про перспективи розвитку 3Д-будівництва та його вплив на довкілля, а також про використання нових технологій в українському будівництві можна стверджувати, що 3Д-друк може знизити витрати на будівництво та скоротити час виконання проектів – також заплановане для детального подальшого дослідження.

Також зазначається, що 3Д-будівництво може бути більш екологічно чистим за рахунок використання меншої кількості будівельних матеріалів та зменшення кількості відходів, тобто, будівництво може нести й екологічну функцію запобігання глобальних проблем довкілля. Варто враховувати виклики, які можуть виникнути при впровадженні 3Д-будівництва, такі як нестабільність ринку технологій, висока вартість обладнання та потреба у спеціальному

навчанні для фахівців у цій галузі. Це значний потенціал у майбутньому України та може стати перспективним напрямком розвитку будівництва. Однак, щоб ця технологія стала більш популярною, заплановано в подальшому розв'язати деякі технічні та економічні питання, а також врахувати вплив 3Д-будівництва на довкілля та провести контроль за еколого-економічними характеристиками та якістю будівництва.

Список джерел

1. Проблеми та перспективи розвитку підприємств будівельної галузі. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://snku.krok.edu.ua/index.php/vcheni-zapiski-universitetu-krok/article/view/302 (Дата звернення 26.01.2023).

2. Сучасні механізми розвитку інновацій в будівельній галузі. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://visnykj.wunu.edu.ua/index.php/htneu/article/viewFile/1128/1231 (Дата звернення 26.01.2023).

3. Розвиток та впровадження инноваційних технологій 3d-друку у будівництві. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/344822499_ROZVITOK_TA_VPROVADZENNA_INNOVACIJNIH_TEHNOLOGIJ_3D-DRUKU_U_BUDIVNICTVI (Дата звернення 26.01.2023).

4. Архітектурне проектування громадських будівель і споруд. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://vlp.com.ua/node/10479 (Дата звернення 26.01.2023).

5. Build master class 2020. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://dspace.nau.edu.ua/bitstream/NAU/44725/2/bmc-2020_%20programm.pdf (Дата звернення 26.01.2023).

6. Объемні моделі Інтернет-видання 3Ddevice. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.epochtimes.com.ua/ru/novosti-kompaniy/3d-printery-3d-pechat-ot-magazina-3ddevicecomua-123545 (Дата звернення 26.01.2023).

7. Екологічно безпечне будівництво. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zeusceramica.com/news/view/ecodesign (Дата звернення 26.01.2023).

8. Зведення екологічних будівель. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.epravda.com.ua/columns/2019/11/25/654086/ (Дата звернення 26.01.2023).

Annotation. *In this scientific work, the topic of development of advanced technologies for the construction of buildings with the help of 3D printing is highlighted. Positive and negative factors of traditional construction. Transition to eco-construction of world leaders. The need for changes in construction methods in Ukraine. Future prospects for the development of architectural form with the help of 3D technologies. Positive impact on the environment of 3D construction.*

Keywords: *3D printing, technologies, environmental protection, construction, eco-development, architecture, 3D printers.*

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-077
DOI: 10.30888/2663-5712.2023-18-01-077

УДК 339.72

ECONOMIC CHARACTERISTICS OF THE CRYPTORY MARKET

ЕКОНОМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРИПТОРИНКУ

Ohinok S.V. / Огінок С. В.
Ph.D., as. prof. / кандидат економічних наук, доцент
ORCID: https:0000-0001-5462-5362
Yanko K.V./ Янко К. В.
Student / Студентка - магістр 1 року навчання
ORCID: https:0000-0002-4401-221X
Lviv PolitechnicNational University
Національний університет«Львівська політехніка»

Анотація. *Криптовалюти є цифровими або віртуальними валютами, які використовують технологію блокчейн для забезпечення безпеки транзакцій та контролю емісії. Криптовалюти та біткоїн, зокрема, неухильно почали вливатися у роботу традиційної фінансової системи. Адже найбільший вплив блокчейн та цифрові валюти мають на економічну сферу, доцільно буде розглянути економічну характеристику крипторинку. Метою статті є проведення економічної характеристики крипторинку, на основі провідних криптовалют за трьома показниками: total supply, maximum supply та circulating supply. Устатті проаналізовано історію становлення та сучасний стан провідих криптовалют. Крім того, криптовалюти можуть мати велике значення для розвитку економіки та фінансової системи в цілому. Розглянуто важливість обсягу криптовалют та їх волатильності. Досліджено чинники впливу на криптовалюти та їх ліквідність. Проаналізовано коливання та темпи росту найбільш відомих криптовалют.*

Ключові слова: *криптовалюти, крипторинок, волатильність, BTC, ETH.*

Вступ.

Науковий розгляд криптовалюти розпочалося досить недавно, але є дослідники, які зробили свій внесок у розвиток криптовалют та особливостей їх функціонування. Серед них: Е. Андроулакі, Х. Бірмен, Е. Брігхем, Є.Галушка, Б. Засадний, Н. Дорош. Капкун, Д.М. Гражек, Н. Коуртоіс, Г. Максвел, А. Герваїс, О. Галицький, О. Мороз, Е. Молчанова, Ю. Солодковський та багато інших. Однак, тема криптовалют також має свої проблеми та виклики, такі як висока волатильність, недостатня регуляція та ризики безпеки. Тому, дослідженнч криптовалют є складним та багатогранним, і вимагає багато уваги.

Однією з найважливіших характеристик криптовалют виступає їх обсяг, тобто якою частиною певною криптовалюти торгували. Оскільки обсяг говорить про те, як легко можна придбати/продати цей криптоактив. Чим більший обсяг валюти, тим простіше торгувати нею. Криптоактив, який є на обмінному рахунку, коштує 10000 доларів. Але об'єм цього активу, як правило, становить 100 доларів. Це означає, що людина не зможе продати свою валюту та повернути ці 10000 доларів негайно. Їй доведеться створити ордер на продаж і довго чекати, поки цей ордер не виконається. Низький об'єм валюти означає її низьку ліквідність, а низька ліквідність – важкість продажу валюти.

Основний текст.

Топ-5 криптовалют за показником добового обсягу операцій виглядає наступним чином: Bitcoin, Ethereum, Litecoin, EOS [1]. Але важливо також

враховувати і обсяги операцій кожної окремої біржі, адже на одній біржі BTC може торгуватися більше, а на іншій – менше, або, наприклад, на одній біржі в парі з доларом, а на іншій – з Ethereumом. Тому якщо розглянути топ 5 пар за показником добового обсягу операцій на найбільшій українській біржі KUNA, то результат буде наступний: BTC/UAH (216 171 дол. США), BTC/USDT (100 042 дол. США), ETH/UAH (47 163 дол. США), ETH/BTC (38 937 дол. США), LTC/UAH 24 429 дол. США) [2,3]

Обсяги операцій з криптовалютами завжди відбуваються в рамках загальних розмірів їх ринків. Тому наступну економічну характеристику криптоактивів описують одразу три показники: total supply, maximum supply та circulating supply. Кожна криптовалюта має ці три показники, саме вони і описують розмір ринку кожного криптоактиву. Кількість токенів в обігу (circulating supply) – це кількість монет або токенів, які були випущені в обіг. Іншими словами, це приблизна кількість монет, яка в даний час знаходиться в обороті і поширюється на ринку. Загальна пропозиція (total supply) – це загальна кількість монет, які вже знаходяться в обігу + нові «видобуті» монети, яких ще немає на ринку. Загальна пропозиція – це загальна кількість монет, які існують в даний час, але не всі вони знаходяться в обігу. Максимальна пропозиція (maximum supply) – це максимальна кількість монет, яка коли-небудь буде існувати у криптовалюти.

Є також таке поняття як безмежна пропозиція (infinite supply), але воно характерно лише для деяких монет, що мають нескінчений запас. Найяскравішим прикладом тут виступає Ethereum. Це означає, що у Ethereum немає максимального рівня, тобто максимальна пропозиція цієї монети рівна нескінченності. [4].

Максимальну пропозицію розглянемо на прикладі біткоїн. За прогнозами у 2140 р. BTC досягне своєї максимальної пропозиції, винагорода за блок зменшується кожні 4 роки. До 2032 року буде видобуто 99% біткоїнів(вна идобуток останнього відсотка піде 100 р.) Адже, майнери не продовжуватимуть майнінг, якщо винагорода буде занадто маленькою[5]. Розглянемо показники усіх трьох видів пропозиції у найпопулярніших криптовалют.

Таблиця 1 - Показники пропозиції найпопулярніших валют

Назва валюти	Total supply	Circulating supply	Maximum supply
Bitcoin	$157 350 771 925 (18 374 250 BTC)	18 374 250 BTC	21 000 000 BTC
Ethereum	$20 605 305 576 (2 408 589 BTC = 110 881 067 ETH)	110 881 067 ETH	-
Litecoin	$2 677 592 866 (313 037 BTC = 64 704 406 LTC)	64 704 406 LTC	84 000 000 LTC

Складено авторами на основі [6, 7, 8]

Іншою економічною характеристикою криптовалют виступає їх волатильність. Цифрові монети, на відміну від звичних нам грошей, не мають державного захисту, їх ціна схильна до різких і стрімких стрибків. Постійна зміна вартості монет багатьом подобається, адже на спекуляціях можна непогано заробити. Як і у випадку «класичних» валют, ціна на криптовалюти встановлюється на основі плаваючого валютного курсу, який визначається під час прямих торгів на криптовалютних біржах. Але на попит на криптовалюти зазвичай найбільше впливають події у сфері державного регулювання та у сфері блокчейну зокрема. Щоб проаналізувати коливання та темпи росту найбільш відомих криптовалют – краще розпочати з найпершої валюти. Початковою відміткою курсу BTC можна вважати 1 долар за 1309,3 біткоїни (курс 5.10.2009 р. на біржі NewLibertyStandard) У той час витрати на майнінг продажу «монет», не окуповувався а популярність і увага до нової валюти знаходилися в зародковому стані.

Незважаючи на маленький курс, вже через рік після створення біткоїну в 2010 році з'являється перша біржа Dwdollar, на якій можна було купувати і продавати BTC (ціна один біткоїна 0.008дол .США), до середини 2010 курс виріс майже в 10 разів: 1 BTC = 0.08 дол. США. До кінця року біткоїн виріс в ціні ще сильніше і торгувався по 50 центів за одну монету.

2011 рік у певному сенсі став історичним для першої криптовалюти роком. У лютому 1 BTC коштував вже 1дол.США, а вже в травні за 1 біткоїн дають 9дол.США. Однак, після цього пішов обвал курсу до 2 доларів за «монету». При цьому така поведінка валюти супроводжувалася хвилею зломів та хакерських атак з викраденням біткоїнів. І вже в 2017 р зафіксовано різке зростання популярності біткоїну і, відповідно, курсу. Початок року – 1000 дол. США, літо - 1 BTC = 3000 дол. США, вересень - 5000 дол. США. 11 грудня біткоїн зростає з 5700 дол. США до 19 000 дол. США за кілька годин. Менше ніж за тиждень, 16 грудня курс перевалює за 20 000 дол. США. Експерти пояснювали такий стрибок декількома причинами: Японія визнала біткоїн платіжним засобом; активізація ICO; Китай відновлює вихідні транзакції BTC з криптовалютних бірж; багато людей починають інвестувати в біткоїни; зростає складність майнінгу, відповідно, зростає вартість «видобутку» нових монет; США дозволяють торгувати ф'ючерсами на BTC.

В 2018 році курс біткоїну падає. Серед причин падіння з черговим хардфорком та висловлюваннями одного з творців першої криптовалюти про те, що це ненадійний актив. У 2019-2020 рр. курс коливався в межах від 3500-13900 дол. США (червень 2019 року). Станом на 10 травня 2020 року курс біткоїну становить 9500 дол. США [9].

Друга за обсягами криптовалюта Ethereum також зазнає досить різких цінових коливань. Прийнято вважати, що ефір дуже залежить від біткоїну. Але в листопаді 2019 року аналітики платформи Screw провели дослідження та довели, що ETH не завжди точно повторює рух цін BTC. Спостереження показало, що у п'яти із 14 випадків ціна ETH повторила поведінку BTC – тоді як у чотирьох випадках кореляція була негативною [59]. Хибним буде стверджувати, що Ethereum є залежним від біткоїну. ETH – це повністю незалежна криптовалюта,

що мала відмінні від BTC періоди найвищих та найнижчих відміток. Приміром, найвищий показник ціни BTC був встановлений у 2017 р., тоді як ETH свою найвищу межу перетнув у 2018 р. Ціна Ethereum залежить від світових подій, що мають вплив на блокчейн-базу Ethereum, як, наприклад, розквіт ICO чи навпаки їх занепад.

Темпи зростання Ethereum були значно швидшими аніж біткоїну. По-перше, це пояснюється тим, що у Ethereum вже був приклад для наслідування. BTC слугував першовідкривачем для всіх наступних криптовалют, та прийняв всі удари критики та недовіри з боку спільноти. По-друге, до винаходу Ethereum біткоїн займав монополістичну позицію. Люди не мали змоги порівняти біткоїн з іншими платформами. Але з появою блокчейну Ethereum, який виявився значно швидшим та дешевшим (вартість на транзакції в мережі Ethereum до сьогоднішнього дня залишаються нижчими ніж у біткоїну), користувачі отримали змогу порівняти дві системи та обрати найкращу. По-третє, темпи зростання ETH пояснюються тим, що її засновник Віталій Бутерін мав на меті не просто створити чергову криптовалюту, а прийшов до висновку, що технологія блокчейну може використовуватися значно ширше, не тільки в криптоактивах. Саме можливість створення смарт-контрактів принесла популярність блокчейну Ethereum. І тому лише за два роки свого існування ціна на ETH зросла від 0 до 1423 доларів США за монету. В той час як біткоїн своєї найвищої відмітки досяг лише через 8 років після своєї першої транзакції.

Висновки.

Криптовалюти ають декілька екномічних характеристик:

1) децентралізація – не мають централізованого управління,
2) анонімність – здійснення операцій без розкриття особистої інформації,
3) глобальність – фінансовий інструмент, що дозволяє здійснювати транзакції між будь-якими куточками світу,
4) низькі комісії на здійснення операцій
5) висока волатильність – можливість заробити великі кошти за короткий час, але це і ризиковість також.

Література

1. Adam Hayes, Investopedia, 10 Important Cryptocurrencies Other Than Bitcoin – URL: https://www.investopedia.com/tech/most-important-cryptocurrencies-other-than-bitcoin/

2. Raynor de Best, Statista, Litecoin (LTC) price per day from April 2013 to February 10, 2022 – URL: https://www.statista.com/statistics/807160/litecoin-price-monthly/

3. Raynor de Best, Statista, Ethereum (ETH) price per day from August 2015 to February 10, 2022 – URL: https://www.statista.com/statistics/806453/price-of-ethereum/

4. Total supply vs. Circulating and Max supply [Cited 2020, 22 Mar.]. – Available from: https://www.binance.vision/glossary/total-supply

5. What Happens to Bitcoin After All 21 Million Are Mined? [Cited 2020, 25 Mar.]. – Available from: https://www.investopedia.com/tech/what-happens-bitcoin-

after-21-million-mined/

6. Bitcoin (BTC) – CoinMarketCap [Cited 2020, 5 May]. – Available from: https://coinmarketcap.com/currencies/bitcoin/

7. Ethereum (ETH) – CoinMarketCap [Cited 2020, 5 May]. – Available from: https://coinmarketcap.com/currencies/ethereum/

8. Litecoin (LTC) – CoinMarketCap [Cited 2020, 5 May]. – Available from: https://coinmarketcap.com/currencies/litecoin/

9. BTC/USD Crypto Chart [Cited 2020, 22 Jan.]. – Available from: https://www.tradingview.com/symbols/BTCUSD/?exchange=COINBASE

References.

1. Hayes, A. (2020). 10 Important Cryptocurrencies Other Than Bitcoin. Investopedia. Retrieved from https://www.investopedia.com/tech/most-important-cryptocurrencies-other-than-bitcoin/

2. de Best, R. (2022, February 10). Litecoin (LTC) price per day from April 2013 to February 10, 2022. Statista. Retrieved from https://www.statista.com/statistics/807160/litecoin-price-monthly/

3. de Best, R. (2022, February 10). Ethereum (ETH) price per day from August 2015 to February 10, 2022. Statista. Retrieved from https://www.statista.com/statistics/806453/price-of-ethereum/

4. Total supply vs. Circulating and Max supply. (n.d.). Binance Academy. Retrieved March 22, 2020, from https://www.binance.vision/glossary/total-supply

5. Tsygankova, A. (2020, March 25). What Happens to Bitcoin After All 21 Million Are Mined? Investopedia. Retrieved from https://www.investopedia.com/tech/what-happens-bitcoin-after-21-million-mined/

6. Bitcoin (BTC) – CoinMarketCap. (2021). CoinMarketCap. Retrieved May 5, 2020, from https://coinmarketcap.com/currencies/bitcoin/

7. Ethereum (ETH) – CoinMarketCap. (2021). CoinMarketCap. Retrieved May 5, 2020, from https://coinmarketcap.com/currencies/ethereum/

8. Litecoin (LTC) – CoinMarketCap. (2021). CoinMarketCap. Retrieved May 5, 2020, from https://coinmarketcap.com/currencies/litecoin/

9. BTC/USD Crypto Chart. (2021). TradingView. Retrieved January 22, 2020, from https://www.tradingview.com/symbols/BTCUSD/?exchange=COINBASE

Abstract. *Cryptocurrencies are digital or virtual currencies that use blockchain technology to secure transactions and control issuance. Cryptocurrencies and Bitcoin, in particular, have steadily begun to flow into the work of the traditional financial system. Since blockchain and digital currencies have the most significant impact on the economic sphere, it will be appropriate to consider the economic characteristics of the crypto market. The article aims to conduct an economic characterization of the crypto market based on the leading cryptocurrencies according to three indicators: total supply, maximum supply, and circulating supply. The article analyzes the top cryptocurrencies' development history and current state. In addition, cryptocurrencies can be important for developing the economy and the financial system. They considered the importance of the volume of cryptocurrencies and their volatility. Factors influencing cryptocurrencies and their liquidity have been studied. Fluctuations and growth rates of the most famous cryptocurrencies are analyzed.*

Key words: *cryptocurrencies, crypto market, volatility, BTC, ETH.*

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-030
DOI: 10.30888/2663-5712.2023-18-01-030

УДК 681.527:2:622.24

AUTOMATIC FREQUENCY REGULATION OF THE SPEED OF THE ASYNCHRONOUS MOTOR OF THE ELECTRIC DRILL

АВТОМАТИЧНЕ ЧАСТОТНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ЕЛЕКТРОБУРА

Shavranskyi M.V. / Шавранський М.В.
ORCID: 0000-0001-6636-1069
Kuchmystenko O.V. / Кучмистенко О.В.
ORCID: 0000-0002-0457-7611
Mateik H./ Матеїк Г.Д.
0000-0003-0286-389X
Zvarych H. / Зварич Г.Г.
ORCID: 0000-0002-7866-542X
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 структурна схема частотного регулювання швидкості зануреного приводу електробура, яка, на відміну від існуючих, передбачає застосування інвертора струму і живлення його за системою "один провід - труба". Наведені переваги запропонованого методу частотного регулювання швидкості асинхронного двигуна електробура.*

Ключові слова: *електробур, частотне регулювання, асинхронний двигун, оптимальна швидкість.*

Вступ

Синтез ефективних систем автоматичного частотного регулювання швидкості асинхронних двигунів електробурів є актуальною науково-практичною задачею, у зв'язку з інтенсивним впровадженням в нафтогазовидобувній галузі комп'ютерно-інтегрованих технологій буріння похило-спрямованих свердловин.

Проте, аналіз літературних джерел [1÷5 та ін.] показує недостатній об'єм проведених досліджень в напрямку створення ефективних методів і систем автоматизованого частотного регулювання швидкості асинхронних двигунів електробурів.

Тому метою даної статті є розроблення функціональної і структурної схем системи автоматичного частотного регулювання швидкості асинхронного двигуна електробура, використання якої дає змогу здійснювати процес поглиблення похило-спрямованих свердловин з оптимальними параметрами режиму буріння, зокрема з оптимальною швидкістю двигуна електробура.

Основний текст

Створення оптимальної системи частотного регулювання для двигуна електробура пов'язано з задовільненням основних умов технології буріння свердловин глибиною до 5-7 тис.м. Вимоги до цих систем із врахуванням розробок відомих світових фірм можна сформулювати наступним чином:

- перетворювач частоти повинен мати систему керування, що забезпечує роздільне регулювання частоти та напруги для стійкої роботи двигуна по всій глибині свердловини з врахуванням фізико-механічних властивостей гірських порід та довжини струмопроводу;
- система керування перетворюючою установкою повинна автоматично забезпечувати необхідну швидкість обертання долота і кратність найбільшого моменту двигуна, тобто потрібну перевантажувальну здатність машини на глибині свердловини до 5 - 7 тис. м ;
- тиристорний перетворювач частоти має володіти надійним захистом всієї системи, включаючи струмопровід.

Результати аналізу показали, що розробити і створити керований занурений двигун електробуру при живленні його від частотного перетворювача можна за двома напрямами [2] :

- встановленням на поверхні наземного перетворювача частоти, побудованого на тиристорах, і живленням занурювального двигуна по системі струмопроводу "два проводи - труба";
- встановленням на поверхні керованого випрямляча на тиристорах і зануреного інвертора з регулюванням вихідної напруги і частоти. При цьому живлення зануреного електродвигуна напругою 1500-2000 В можна здійснити, використовуючи струмопровід "один провід - труба".

Вперше питанню створення зануреного автономного інвертора була присвячена робота Г.В.Аранчия та ін [2]. Автори розглядають загальні питання створення оптимальної системи живлення двигуна електробура і висувають основні вимоги до такої системи: необхідність передачі потужності з поверхні до електробуру по системі "один провід - труба" і забезпечення можливості регулювання частоти в межах від 50 до 15 Гц для серійних електробурів.

Існують різні типові схеми автономних інверторів за способом генерування реактивної енергії та принципу комутації струмів у вентилях і фазах. Нами проведено аналіз наступних схем : схеми паралельного інвертора; автономного інвертора за схемою двійна зірка з зрівнюючою котушкою і комутуючими конденсаторами; схеми автономних інверторів з відсікаючими вентилями і з додатковими керуючими вентилями.

На основі результатів глибокого аналізу і експериментальних досліджень рекомендована для живлення занурених двигунів електробурів схема автономного інвертора в зануреному виконанні з некерованими відсікаючими вентилями (рисунок 1).

Схема має досить просту будову, нескладну систему керування вентилями та ряд інших переваг. При розробці системи автоматичного керування швидкістю двигуна електробура необхідно враховувати механічну характеристику долота і можливі динамічні зусилля, що виникають в процесі розбурювання гірської породи при заглибленні свердловини.

При дослідженні тиристорного перетворювача частоти для керування електробуром і виявлення показників якості системи автоматичного регулювання швидкістю асинхронного зануреного двигуна в найбільш тяжких умовах роботи досліди проводилися на електроприводі з тяговим навантаженням

[2,4]. Така система близька до режимів роботи електробуру і має більшу надійність при усіх можливих статичних і динамічних режимах буріння.

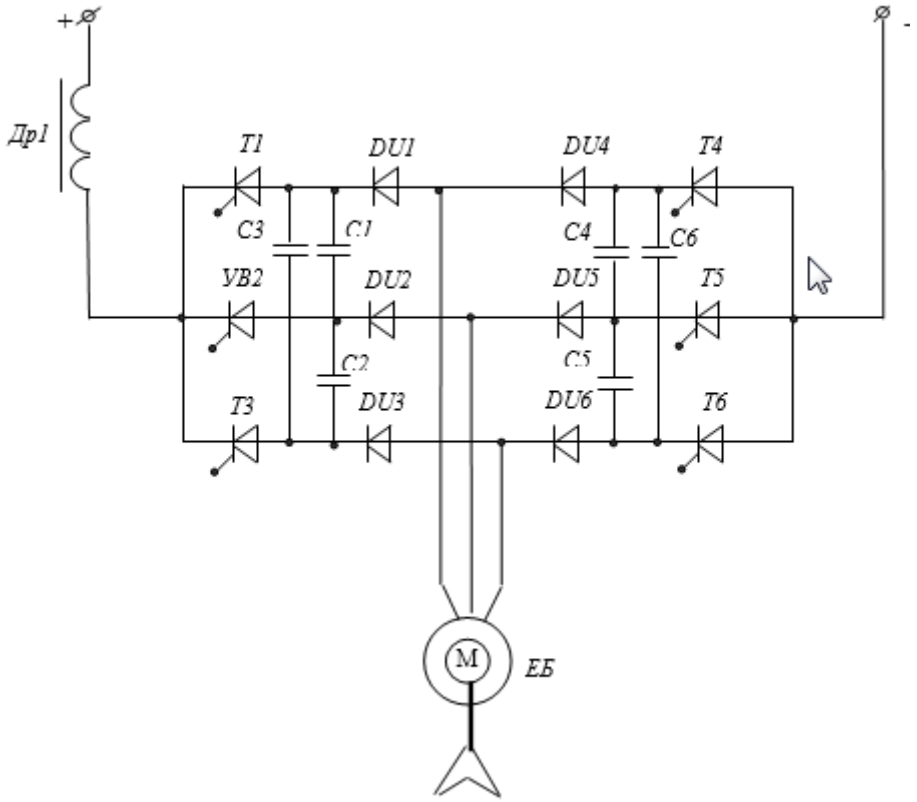


Рисунок 1 – Схема зануреного автономного інвертора

Джерело: [1]

Розроблена і випробувана система, що забезпечує постійну потужність *P* на валі асинхронного двигуна при переході з однієї швидкості на іншу. Така система дає змогу дослідити як статичні режими роботи, так і динамічні при зміни обертового моменту на валі, забезпечуючи при цьому реальні умови динамічних переходів з однієї швидкості на іншу..

На рис. 2 подана схема, що пропонується для частотного керування асинхронного двигуна і автоматизації регулювання швидкості асинхронного двигуна. Вона складається з керованого випрямляча (зі схемою керування), зібраного з тиристорних перетворювачів, трифазного паралельного інвертора напруги (зі схемою керування) з обмежуючим комутуючими ємностями і асинхронного двигуна *M*.

При зміні моменту на валі *M* змінюється струм асинхронного двигуна $I_д$. Ця зміна струму через трансформатор струму ТА та випрямляч DU подається в обмотку керування підсилювача П2, від якого через фільтр і дільник R_1, R_3 живиться задаючий генератор схеми керування інвертора, визначаючий вихідну частоту перетворювача. Обмотки керування і зміщення підсилювача включені так, що при збільшенні моменту на валі асинхронного двигуна напруга на виході підсилювача зменшується, а отже й частота задаючого генератора зменшується обернено пропорційно струму асинхронного двигуна *M*. Відповідно зменшується частота f_i вихідної напруги інвертора. При зменшенні моменту на валі асинхронного двигуна *M* частота вихідної напруги зростає.

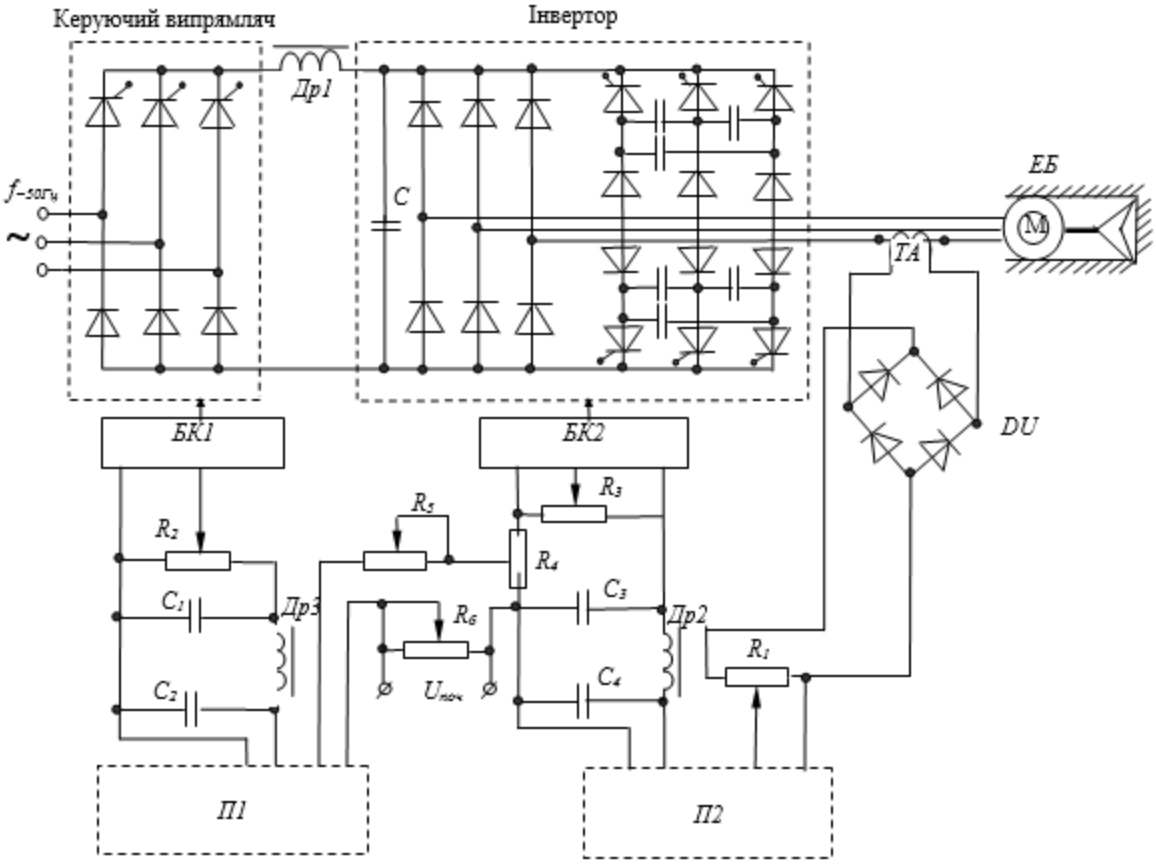


Рисунок 2 - Схема частотного керування асинхронним двигуном електробура

Джерело: [1]

У відповідності зі зміною частоти f_i необхідно змінювати і напругу U_i (за допомогою керуючого випрямляча, керування яким здійснюється через систему з підсилювачем *T1*) на затискачах асинхронного двигуна за заданим законом при P = const, тобто $\frac{U}{f}$ = const. де U - напруга на затискачах асинхронного двигуна у відносних одиницях; . f - частота напруги на затискачах M у відносних одиницях.

Для забезпечення цього закону необхідно змінювати кут регулювання тиристорів α шляхом зміни напруги на опорі R_2 в залежності від частоти за певним законом. Враховуючи, що вихідна характеристика регульованого випрямляча і характеристики підсилювачів є нелінійними, важко отримати аналітичну залежність струму керування від напруги на випрямлячі. Тому цю залежність отримують експериментально. Перевага даної схеми підтримання P = const - її простота, недолік - неможливість підтримання потужності на валі при регулюванні швидкості в широких межах. На рис. 3 подана структурна схема системи автоматичного регулювання швидкості двигуна електробура.

Для вдосконалення зануреного електроприводу електробура пропонується в схемі (рисунок 2) використати занурений автономний інвертор (рисунок 1). Враховуючи те, що на даний час не існує зануреного інвертора (струму або напруги), який випускає промисловість в Україні чи за кордоном, тому

пропонується структурна схема автоматичного частотного регулювання швидкістю зануреного електроприводу зі зворотнім зв'язком за швидкістю.

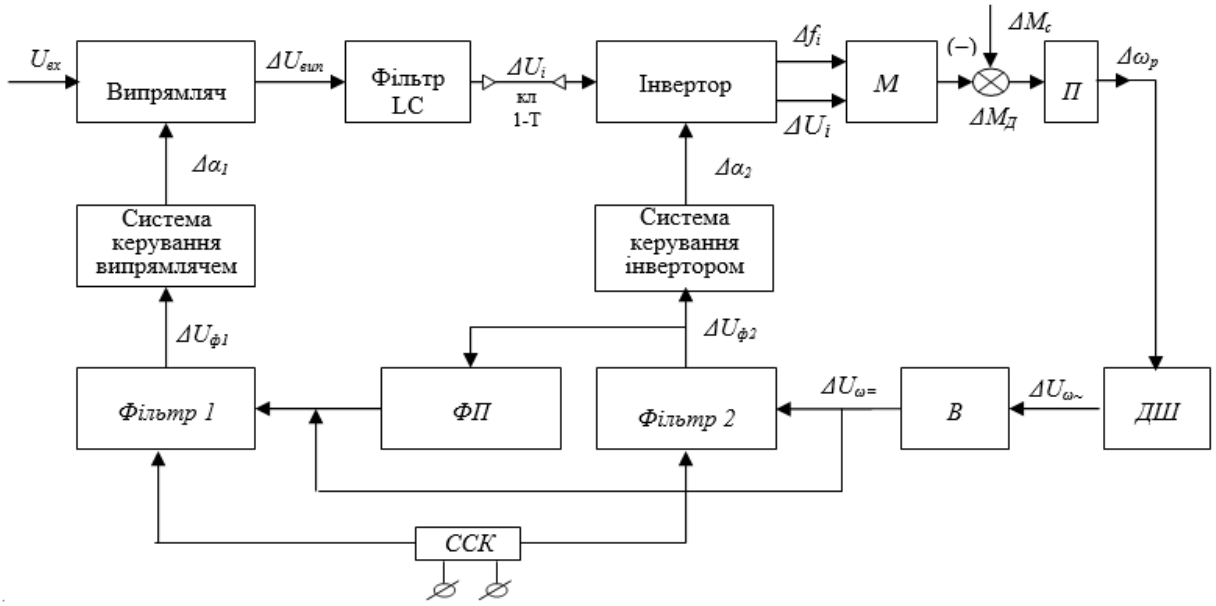


Рисунок 3 - Структурна схема автоматичного частотного регулювання швидкості асинхронного двигуна електробура зі зворотнім зв'язком за швидкістю

Джерело: [3]

Структурна схема (рисунок 3) передбачає застосування керуючого високовольтного випрямляча, на вхід якого подається напруга змінного струму $U_{вх}$. На виході випрямляча отримуємо напругу постійного струму $\Delta U_{вип}$, що може змінюватися у широкому діапазоні. Після фільтра *LC* постійна напруга ΔU_i по системі струмопідводу "один провід - труба" 1-Т подається на занурений інвертор. Занурений інвертор, через занурений контактор, подає живлення до статора зануреного двигуна електробура ΔU_i зі змінною частотою Δf_i. Системи керування випрямлячем і інвертором через фільтри 1 і 2 та через блок синхронного керування відповідно зв'язані з керуючими електродами тиристорів. Зміна кута відкриття тиристора $\Delta\alpha_1$ дозволяє змінювати величину вхідної напруги, а інвертора $\Delta\alpha_2$ - величину вихідної частоти Δf_i. Отже, на вхід зануреного електродвигуна подається регульована змінна напруга $U_\sim$ і частота Δf_i. На виході електродвигуна маємо потрібний крутний момент $\Delta M_д$.

Для створення системи автоматичного частотного регулювання швидкості зануреного двигуна електробура бажане використання зворотніх зв'язків додатного зворотнього зв'язку за струмом і від'ємного - за швидкістю [3]. В структурній схемі (рисунок 3) пропонується зворотній зв'язок за швидкістю, для чого використовується давач швидкості ДШ, який отримує сигнал від перетворювача П, що знаходиться на валі зануреного двигуна. Від давача швидкості ДШ через випрямляч В сигнал, пропорційний поточному значенню швидкості, подається на вхід фільтрів 2 і 1 та на системи керування випрямлячем і інвертором. Останні змінюють кути керування тиристорами $\Delta\alpha_1$ та $\Delta\alpha_2$, і, відповідно, напругу і частоту.

Висновок.

Отже, запропоновано структурну схему частотного регулювання швидкості зануреного приводу електробура, яка на відміну від існуючих, передбачає застосування зануреного інвертора напруги і живлення його за системою "один провід - труба", що дозволить збільшити надійність струмопідводу в порівнянні з системою "два проводи - труба", і зменшити втрати електричної енергії, особливо при бурінні свердловин глибиною більше 3000 м.

Література:

1 Семенцова А.О. Автоматизований електропривід в нафтогазовій промисловості. Навч.посібник. – Івано- Франківськ: "Факел". - 2001. - 174 с.

2 Alread W., Buorque S., Mannering V.,m Chapmen C., Castel B. Drilling automation / Oilfield Revieu. 2012. № 2. P. 18-27.

3. Горбійчук М.І. Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин / М.І.Горбійчук, Г.Н.Семенцов. – Івано-Франківськ: Нова Зоря, 2003. – 493 с.

4. Pirovolou D. Drilling automation: An automatic trajectory-control system / JPT. Desember 2011. P. 84-87. Режим доступу: http://dx.doi.org/10.2118/1211-0084-JPT.

Abstract. *The work considers the structural diagram of the frequency regulation of the speed of the submerged drive of an electric drill, which, unlike the existing ones, involves the use of a current inverter and its power supply according to the "one wire - pipe" system. The advantages of the proposed method of frequency control of the speed of an asynchronous motor of an electric drill are given.*

Key words: *electric drill, frequency control, asynchronous motor, optimal speed.*

Статья відправлена: 14.03.20232 г.

© Шавранський М.В., Кучмистенко О.В,, Матеїк Г.Д., Зварич Г.Г.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-045
DOI: 10.30888/2663-5712.2023-18-01-045

UDC 355.58.0001:351.862.001

GENERAL APPROACHES TO THE ASSESSMENT OF THREATS TO CRITICAL INFRASTRUCTURE USING THE METHOD OF EXPERT ASSESSMENT

Valerii Popel
Head of the Department of Scientific and Technical Expertise of the State Research Institute of Cyber Security Technologies, Zaliznyaka 3, Kyiv, Ukraine
ORCID id: 0000-0001-5544-3544
Murasov Rustam Kamilovich
candidate of technical sciences, doctoral student
National University of Defense of Ukraine named after Ivan Chernyakhivskyi, 28 Povitroflotsky prospect, Kyiv, Ukraine
ORCID: 0000-0003-0800-2062
Nazar Zaika
Specialist of the Technical Information Protection Department of the State Research Institute of Cyber Security Technologies, Zaliznyaka 3, Kyiv, Ukraine
ORCID id: 0000-0002-5791-8926
Chumachenko Serhii Mykolayovych
doctor of technical sciences, professor of the department of information technologies, artificial intelligence and cyber security
National University of Food Technologies, 68 Volodymyrska Street, Kyiv, Ukraine
ORCID: 0000-0002-8894-4262
Ihor Oleksandrovych Savchenko
graduate student of the department of information technologies, artificial intelligence and cyber security
National University of Food Technologies, 68 Volodymyrska Street, Kyiv, Ukraine
ORCID: 0000-0002-5798-7104

Abstract: *in the article, the authors analyzed publications on the use of various expert methods for assessing the threats and risks of emergency situations of various nature at critical state infrastructure facilities in the conditions of the armed aggression of the Russian Federation against Ukraine.*

In order to analytically assess threats to critical infrastructure in the modern conditions of the Russian-Ukrainian war, the possibility of using the expert assessment method was considered, and appropriate recommendations and conclusions were made regarding its possibilities and feasibility of application. With the use of the computer software application developed by the authors in the Python program, practical calculations were made with scientifically based conclusions about threats. This software application developed a procedure for prioritizing critical infrastructure objects according to their level of danger, probability and consequences of damage.

Based on the results of the software application, it can be concluded that the application of the expert assessment procedure allows the analysis of threats to critical infrastructure in conditions of a priori uncertainty, the probabilistic nature of warfare and the stochasticity of missile and drone strikes.

The software application allows you to form a prioritized list of possible threats, to carry out the procedure of excluding non-priority threats from consideration in order to optimally distribute the available forces and means to minimize possible negative consequences from emergency situations of natural, man-made and military-man-made origin.

Keywords: *critical infrastructure, threats, missile-drone strikes, expert assessment, Python, assessment procedure, risk minimization, emergencies, civil protection.*

Introduction. In a war, critical infrastructure is a fundamental component of national security. Its failure or significant disruption of functioning will have large-scale destructive consequences of regional or national importance. The enemy has focused its missile and drone attacks precisely on critical infrastructure facilities (CIFs). First of all, it aims to achieve such a destructive level of its strikes in order to create an ecological, technogenic, and humanitarian catastrophe under the conditions of using conventional weapons and limiting the use of nuclear weapons.

Therefore, the problem of assessing threats to critical infrastructure in order to prevent and prevent emergency situations of military and man-made origin, and in the event of their occurrence - to minimize their consequences and to eliminate them promptly, is a relevant issue today.

Methods. To date, there are a number of mathematical approaches for expert assessment of possible threats and risks in the field of critical infrastructure. In the countries of the European Union, a systematic approach based on the assessment of threats and risks using several criteria is being actively implemented [1 - 5].

It is known that the methods of expert evaluations are based on the mobilization of professional experience and intuition of experts. Such methods of threat and risk assessment use the formal theory of decision-making under conditions of uncertainty [3]. In the event of an emergency situation (ES), the central figure and the subject of decision-making is the person making the decision (the person making the decision PMD) [5]. It can be either one person or a group of people who work out a collective solution, usually, the PMD is a manager or a governing body that formulates the problem, plays a decisive role in choosing a solution to the problem, and is responsible for the decision made. At the same time, experts and consultants are responsible for the validity of the recommendations they prepare for PMD. The final decision is always made by the PMD, in accordance with its own system of preferences, and also bears full responsibility for its choice and its consequences [6, 7].

There are several methods of assessing critical infrastructure threats:

1. Expert assessment method: In this method, several experts assess the threats and their probability based on their experience and knowledge.

2. Risk analysis methods: such as loss analysis, probability and impact analysis, Monte Carlo method, etc.

3. Mathematical modeling methods: This method creates a mathematical model that helps in threat assessment and risk analysis.

4. Machine learning techniques: such as artificial intelligence, deep learning, and data-driven machine learning.

The use of mixed methods can also be useful in critical infrastructure threat assessment.

However, in conditions of uncertainty, complexity and heterogeneity of systems (critical infrastructure), it is advisable to use the method of expert assessment. Leading scientific institutions in the field of energy security also widely use this method [1].

The expert assessment method is a threat assessment method where a group of experts uses their knowledge and experience to assess threats.

Advantages:

• Leverage expertise: Experts can more accurately assess threats by leveraging

their experience and expertise.

• Advanced threat assessment: Experts can better assess complex threats that are difficult to assess using automated methods.

• Considering the human factor: specialists take into account the influence of the human factor on threats.

Disadvantages:

• Human error: Experts can make mistakes in threat assessment that can affect the accuracy of the results.

• Lack of objectivity: experts may have a conflict of interest or limited knowledge and experience in this field.

The use of expert threat assessment is currently relevant because:

1. Information for analysis and payments is incomplete, part of it is missing;
2. A certain amount of information is of a qualitative nature;
3. The complexity of the task and limited opportunities do not allow collecting and summarizing all the necessary information;
4. Inadequacy of the mathematical apparatus for analyzing and processing information;
5. Several possible options for neutralizing the threat are not considered due to resource and technical limitations;
6. Factors of a different nature, which cannot be predicted, but which have a significant impact on the safety of critical infrastructure.

Expert assessment of threats to critical infrastructure consists in their prioritization by risk (consequences, cumulative destructive effects) with the determination of the most dangerous and the separation of those that have an insignificant and acceptable destructive effect. The main goal of such prioritization is the optimal use of available forces and means to protect critical infrastructure objects and neutralize the most significant and most likely threats.

Separate threats and cumulative destructive consequences of the implementation of which can be insignificant with a high probability, or significant, but unlikely.

Expert assessment using a qualitative method involves establishing the level of each formulated threat in a way of combining its consequences and the probabilities of their occurrence, defined in terms of significance.

For the purposes of such a study, it is often considered that all constituent parts of the control object, which can be affected by the threat h from the list of identified threats h = 1...k, are maximally vulnerable, that is, in the notation of the formula

$$\sum_{j=1}^{m} V_j L_j = 1, \quad (1)$$

V_j - vulnerability j from the list of vulnerabilities of the control object j = 1…m;

L_j - probability of implementation of the vulnerability j.

The destructive consequence of the implementation of the threat is

$$C_t = \sum_{i=1}^{n} C_i \, L_i. \quad (2)$$

C_i - negative consequence of the realization of the threat from the set of possible consequences i = 1…n;

L_i - the probability of the occurrence of the consequence and the realization of the threat.

Taking this into account, the prioritization of threats Rt is carried out according to a simplified version, comparing the products of the averaged expert estimates of the total probability Lt and the cumulative destructive consequences Ct of the implementation of each threat from the predetermined list $t = 1 \ldots k$.

$$R_t = L_t C_t. \quad (3)$$

It is appropriate to establish the following definitions of the scale of significance and the gradation of the measurement of significance (in points):

• for general probabilities: "low" (1), "relatively low" (2), "medium" (3), "relatively high" (4), "high" (5);

• for cumulative negative consequences: "minor" (1), "insignificant" (2), "moderate" (3), "significant" (4), "catastrophic" (5).

Similar scales are used in impact matrices (Relative Impact) for risk assessment (National Risk Assessment) in EU member states [2]. Separate attention is paid to threats for which the maximum spread of expert assessments of consequences and/or probabilities (controversial) is recorded. In such cases, the wording of the threat and/or its description needs clarification and/or additional clarification by the coordinator (moderator).

The threat is removed from the register if the average arithmetical assessment of cumulative negative consequences or total probability exceeds 2 points.

In order to increase objectivity, experts should not have access to information about the evaluations made by other evaluation participants.

An example of prioritization for assessing threats to critical infrastructure is a corresponding list formed by the Delphi method with the involvement of 10 experts.

Prioritization was performed according to the level of threats [3, 4], which was defined as the product of expert assessments of its cumulative negative consequences and the overall probability of implementation. Removal of the threat from the register was carried out if the average arithmetic expert assessment of the consequences of the probability exceeded 2 points.

The assessment of threats to critical infrastructure is given in Table 1.

The results of the assessment of threats to critical infrastructure were formed as a result of the program, which works according to a certain algorithm. First, the limits of the parameters of the examination object are described. After that, input data is generated that comprehensively describes each threat to critical infrastructure. They are entered in the register and represent a description of the threat with a set of expert assessments. The next stage is the removal from the list of the registry, which have insignificant cumulative negative consequences or are unlikely, as well as the prioritization of threats according to their consequences and probability. Based on the generated data, the system forms conclusions that provide an opportunity to adjust expert assessments, that is, dominant judgments are formed and assessments are reduced. The process of adjusting the registry, prioritization, forming conclusions, and adjusting the scores continues until consensus is reached among the threat experts or until the adjustment of the scores stops making changes to the prioritization. After the final decisions are made, the process of announcing the results takes place, which is the completion of the threat assessment by the expert assessment method.

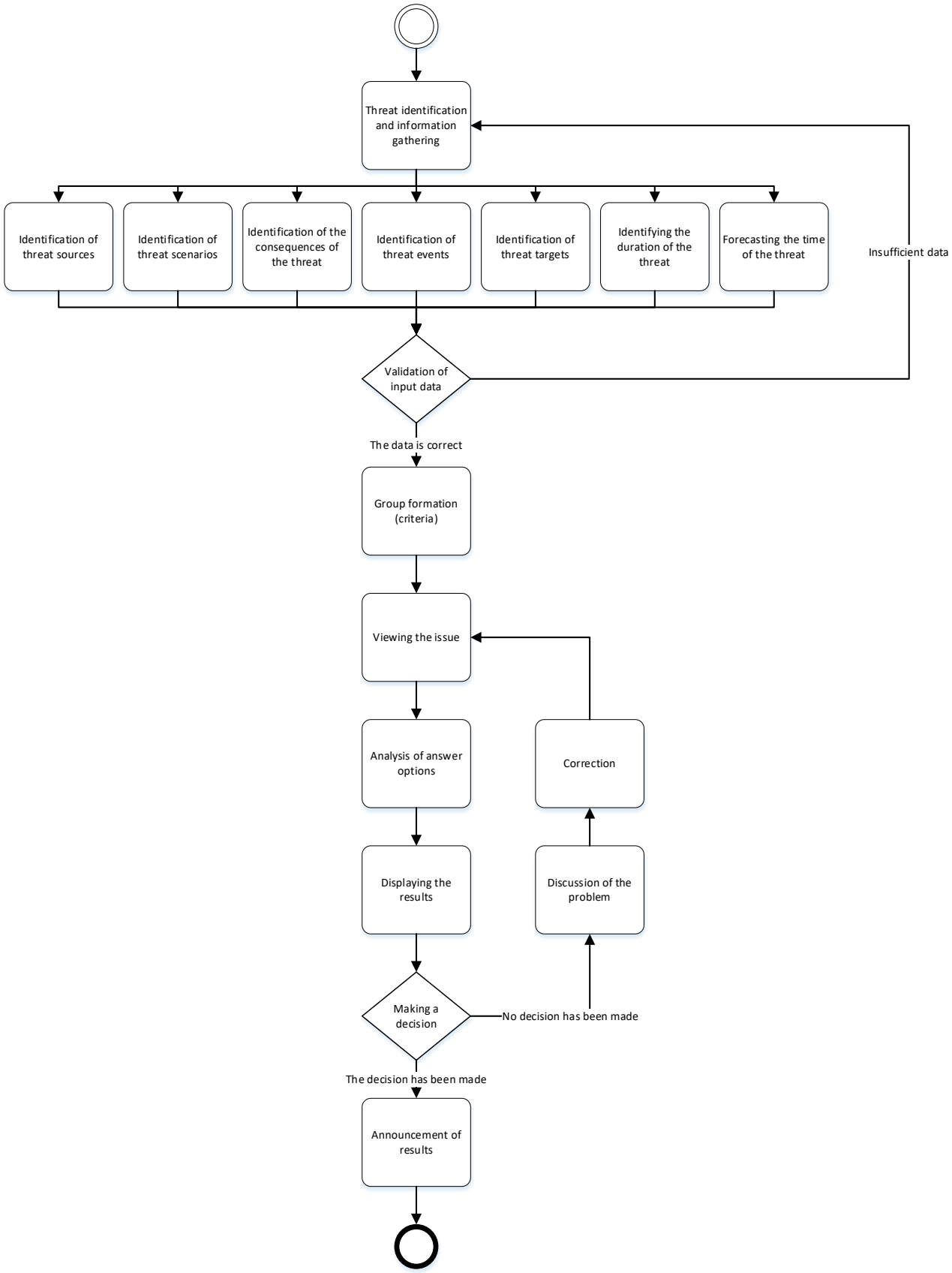


Figure 1. Block diagram of threat detection by the method of expert evaluation

Table 1. Assessment of threats to critical infrastructure

№	*Threat to critical infrastructure*	*level*	*Probability*	*Consequences*
1.	Missile and drone strikes	**20,5**	5	4,1
	Loss of controlled energy consumption	**17,6**	4,4	4
	Cyber attacks	**15**	5	3
	Technical malfunction	**14,35**	4,1	3,5
	Accidents at adjacent facilities	**13,86**	3,3	4,2
	Natural disasters	**13,2**	3	4,4
	Terrorist attacks	**12,3**	3	4,1
	Availability of reservation of critical objects	**12,3**	3	4,1
	Absence of a system of strategic planning and coordination	**12**	3	4
	Insufficient power supply	**10**	4	2,5
	Lack of fuel reserves	**10**	2	5
	Protection of potentially dangerous objects of critical infrastructure	**10**	2	5
13.	Depreciation of fixed assets, increase in accident rate	**9**	3	3
14.	Lack of energy reserves	**9**	2	4,5
	Artificial natural disasters	**8,8**	2,2	4
	Technical overload of objects	**8**	4	2
	Unclear demarcation of powers and responsibilities	**6**	2	3
	Loss of qualified technical personnel	**5**	1	5
	Inability to respond to a crisis	**5**	1	5
20.	Blocking of necessary supplies	**5**	1	5

The results. The results of the assessment of threats to critical infrastructure indicate the following.

None of the pre-formulated threats to energy security received an average arithmetical assessment of cumulative negative consequences or a total probability lower than 2. Therefore, the threats were not removed from the register.

The first five threats include: missile and drone strikes, loss of controlled energy consumption, cyber attacks, technical malfunctions, accidents at adjacent facilities. It is on these threats, according to the obtained results, that it is advisable to concentrate forces and means to prevent their implementation.

Conclusion. The results obtained should not be given undue weight or ascribed accuracy greater than the data and methods used.

Thus, using the method of expert assessments, a practical assessment of threats to critical infrastructure was carried out with prioritization of threats, which will allow to focus efforts on the most dangerous threats and prevent significant losses of critical infrastructure. It is shown that the application of the method of expert evaluations makes it possible to evaluate the threats of complex systems in conditions of uncertainty in order to find optimal solutions for the given categories. This article will be useful for civil protection experts and specialists in the prevention and localization

of emergency situations and the investigation of the causes of emergency situations in critical infrastructure.

Reference

1. Assessment of threats to energy security, analytical report https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2022.11

2. Risk assessment methodologies for critical infrastructure protection. Part II: A new approach. URL: http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC96623/lbna27332enn.pdf

3. Kachynskyi A. B. Safety, threats and risk [Text] : scientific concepts and mathematical methods / A. B. Kachynskyi. - K.: 2003. - 472 p.

4. Storesund, K., Reitan, N., Schostrom, J., Rod, B., Guay, F., Almeida, R. and Theoharidou, M., New Methodologies for Critical Infrastructure Resilience Analysis, In: ESREL 2018, 17-21 June 2018, Trondheim, Norway, Safety and Security - Secure Societies in a Changing World: Proceedings of ESREL 2018, 17-21 June 2018, Trondheim, Norway, 2018, ISBN 978-0-8153 -8682-7, p. 1221-1229, JRC109960.

5. Modeling the threat of emergency situations at critical infrastructure facilities using the method of system dynamics, No. 3 (2022): Tavriysk scientific bulletin. Series: Technical Sciences, (3), 88-99. https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.10, Murasov R.K., Nevolnichenko A.I., Chumachenko S.M., Mykhaylova A.V., Pyrikov O.V. .

6. Shapovalova O.O. Development of a software application for the implementation of the method of analysis of hierarchies / O.O. Shapovalova, R.V. Burmenskyi // Information processing systems. – 2017. – No. 3(149). - pp. 45-48. https://doi.org/10.30748/soi.2017.149.09.

7. A probabilistic method of forecasting emergency events at potentially dangerous objects of critical infrastructure, NUOU, Kyiv, scientific journal "Modern information technologies in the sphere of security and defense", No. 2(44), 2022, p.60-64-122, Murasov R.K., Kurtseitov T.L., Melnyk Y.V.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-054
DOI: 10.30888/2663-5712.2023-18-01-054

УДК 004.415.2.043

TECHNOLOGY OF CREATING RELIABLE PROGRAMS

ТЕХНОЛОГІЯ СТВОРЕННЯ НАДІЙНИХ ПРОГРАМ

Holub S.V. / Голуб С.В.
d.t.s., prof. / д.т.н., проф.
ORCID: 0000-0002-5523-6120
Salapatov V.I. / Салапатов В.І.
c.t.s., as. prof. / к.т.н., доц.
ORCID: 0000-0001-7567-637X
Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Shevchenko 460, 18006
Черкаський державний технологічний университет, м. Черкаси, Шевченка 460, 18006

Abstract. *This work deal with the creation of program models with the help of their description by means of temporal logic. As a result, a program model is created in the form of a non-deterministic finite automatons. Using this model, you can create programs in any procedural programming language.*

Key words: *Kripke structure, program models, predicates, database, primitive-monitor, primitive-protocol.*

The problem of creating reliable error-free programs is still quite important and relevant. This is especially important for management systems in aviation, military affairs, financial and banking affairs and many other areas. Errors in control programs can lead to accidents and disasters, as well as other irreversible processes. The main source of errors in programs is the lack of handling of possible branches in programs, as a result of which programs performed unexpected actions. It is almost impossible to prove the correctness of the programs, especially when it comes to parallel programs. As you know, the scientific research of Floyd and Hoare [1], as well as Robin Clark [2] in this direction did not find practical application. Therefore, it is expedient to create program models and prove the correctness of these models. The correctness of the models is proved by the correspondence of the models to their description. Recently, a similar technique has been used by the Model Checking technology [3], which involves the creation and subsequent verification of models. But even when building a model using the MOLEL CHECKING technology [3], the model must be verified using a special verifier program. It is more natural to describe the model directly using predicates, as groups of algorithmists used to do in terms of first-order logic. This article is devoted to the description of models of programs using predicates and creation of these models based on the description.

The method of describing models of program is based on a mathematical model in the form of a Kripke structure [3]. As already mentioned, of all the technologies for creating reliable programs, the most successful is the MOLEL CHECKING technology, which is now implemented in industrial operation. This model has the following appearance.

$$M = (S, S_0, R, AP, L)$$

S – is the set of states of the model,
S_0 – is the set of initial states of the model,
R = S x S – is the complete relationship between S, that is, transitions from one state

to another, which may be possible,
AP - is a finite set of predicates,
L = 2^{AP} – is a marking function, where each state defines a set of true possible combinations of predicates.

The main elements of describing models are predicates, which describe individual actions of algorithms under certain conditions. The main elements of describing models are predicates, which describe individual actions of algorithms under certain conditions. In this regard, a full description of the algorithm using predicates is more appropriate. In the future, such a description is transformed into a computer representation, which creates a model according to the description. At the same time, the model will be created exactly according to the description and therefore it does not need further verification. It is convenient to present predicates separately in the form of a logical part and a meaningful part, which should be highlighted in curly brackets for the logic and in square brackets for the meaningful part. The most convenient internal representation of models in memory is a representation in the form of a database, which consists of a description of all predicates and the relationships between them [4] and is presented in Fig. 1. Such a representation will graphically correspond to the block diagram of the algorithm of program. Both the model and the block diagram of the algorithm of program will be fully consistent with the previous description and will actually show the correct block diagram of the program. When describing models, all possible ramifications are taken into account as fully as possible, so software models are created complete and accurate. According to the obtained model, it is much easier to create a reliable program without errors, because if the models are correctly described, the model itself will be correct too.

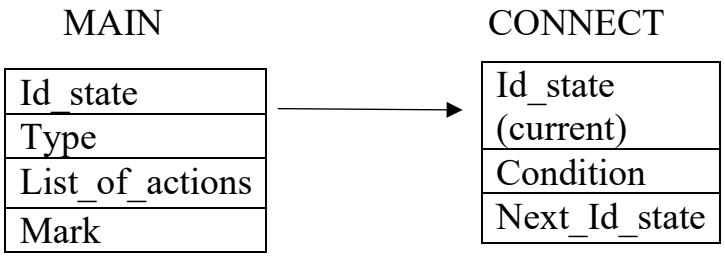


Fig. 1. The structure of the program model database

It should be noted that the proposed technology, like MOLEL CHECKING, involves the description of parallel programs. At the same time, in case of transformation of all meaningful and conditional parts of the predicates of the program model into any imperative programming language. At the same time, it is possible to convert all meaningful and conditional parts of predicates of the program model into any imperative programming language. In our case, only the following temporary operators are used from temporal logic: *pUq* and *Nr*, where *p* is a predicate that will be true until (*U*) predicate *q* becomes true, and next (*N*) predicate *r* should be.

Such a graph will be verified in advance, as it will fully correspond to the description and will actually represent the block diagram of the program. According to the obtained model, it is much easier to create a reliable program without errors. As already mentioned, the main source of errors is that not all possible branches can be

taken into account and implemented according to traditional technology. When describing the models, such branches are taken into account as fully as possible, therefore, the program models are created complete and accurate. Let's list the operations on predicates that will be used in the description.

That is p, ¬ p, p | q, p & q, pUq, Nr. List the operations on the predicates that will be used in the description. In our case, the usual logic is extended due to operations U and N, which was already discussed above. All program blocks can be implemented with the help of temporal operators: linear, branched and all types of cycles. Linear blocks represent assignment, input, output operators, as well as various functions that are most often used for a certain class of tasks. Using this logic, branching can be described by the following statement pUq, where p is a predicate before branching and q is a predicate with a direct branching condition. In the case of branching, such as the predicate DO CASE q – this set of branches can be represented as pU(q1 | q2 | q3 |…| *otherwise*). Otherwise, the *otherwise* keyword indicates a transition if no conditions are met. Loops can also be implemented using regular predicates that will be executed if the condition of such predicates is true, and the execution of part of the predicate will be executed in the loop while the loop condition is true. As soon as the loop condition becomes false, the loop terminates.

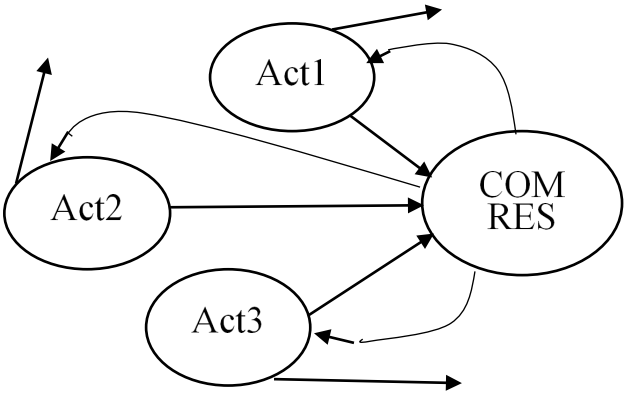


Fig. 2. The structure of the program model database

If the monitor functions for capturing shared resources and their subsequent release are built into the execution states of Act 1, Act 2 and Act 3, then such states can be represented as shown in Figure 3, where each of these states has access to the shared resource Com and to semaphore variable Sem. Data of type Com and Sem must be public for all states Act1, Act2, Act3. Figure 3 shows a conditional display of states that will be served by the monitor.

The reserved words *true* define unconditional execution, and *actions* indicate actions in parallel branches. A primitive *protocol* that defines the parallel the parallel actions in parallel branches. A primitive *protocol* that defines the parallel execution of individual branches of the program, using temporal logic operators, can be represented as ({busy=false} [actions 1] & {busy=false} [actions 2] &{busy=false} [busy=false] &.. | wait) {busy=true} [joint actions]. Graphically it looks as it shown in figure 4.

The technology for creating reliable programs MODEL CHECKING is the most successful technology and is now implemented in industrial operation. This model has the following appearance.

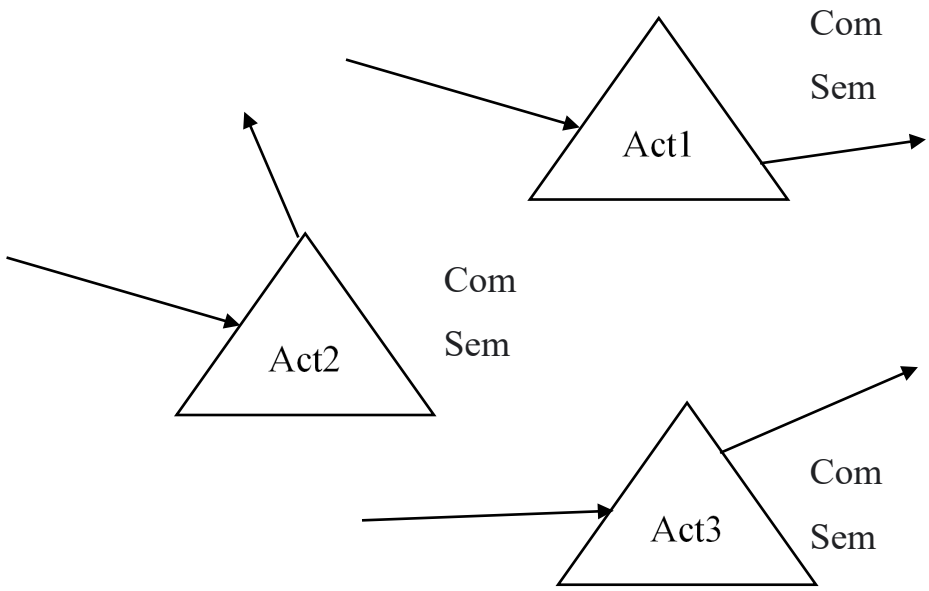


Fig. 3. Designation of monitor states for parallel program branches

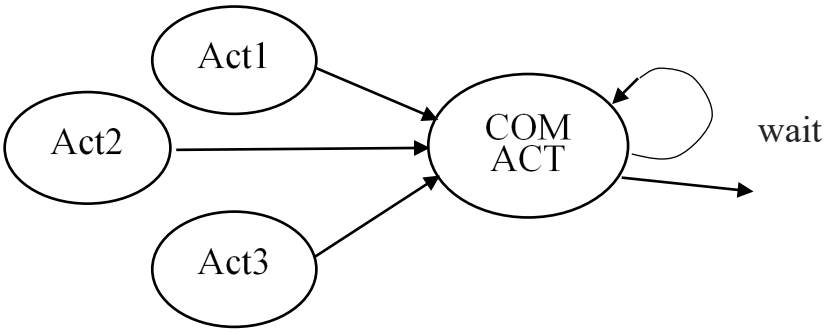


Fig. 4. Graphic display of the protocol

Currently, this technology is being introduced into the educational process of the Cherkasy State University of Technology, work is underway to transform the description of software models into programs in the target programming language. Developments in this direction will make it possible to significantly increase the reliability of programs and, with the correct description of their models, get closer to error-free programs.

References.

1. C. Hoare. Communicating sequential processes. Prentice Hall International. ISBN 978-0-13-153271-7. 238 p. 2015.

2. Robin Milner: A Calculus of Communicating Systems, Springer Verlag, ISBN 0-387-10235-3. 171 p. 1980.

3. Doron A. Peled, Michael Wooldridge. Model Checking and Artificial Intelligence: 5th International Workshop, MoChArt 2008, Patras, Greece, July 21, 2008. ISBN10 364200430X, ISBN13 9783642004308.

4. Салапатов В.І. Порядок опису і обробки графа автоматної моделі програми. ISSN 1028-9763. Математичні машини і системи. 2021. № 3. С.121-125.

Анотація. *У цій роботі йдеться про створення програмних моделей за допомогою їх опису засобами темпоральної логіки. У результаті створюється програмна модель у вигляді недетермінованого скінченного автомату. Використовуючи цю модель, можна створювати програми на будь-якій процедурній мові програмування.*

Ключові слова*: структура Крипке, програмні моделі, предикати, база даних, примітив-монітор, примітив-протокол.*

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-009
DOI: 10.30888/2663-5712.2023-18-01-009

УДК 331.5

ADAPTATION OF STATE POLICY ON ISSUES OF POPULATION LONGEVITY TO WARTIME CONDITIONS

АДАПТАЦІЯ ДЕРЖАВНОЇ ПОЛІТИКИ З ПИТАНЬ ДОВГОЛІТТЯ НАСЕЛЕННЯ ДО УМОВ ВОЄННОГО ЧАСУ

Marova S.F./ Марова С.Ф.
d. publ. adm.. prof./ д. держ. упр., проф.
ORCID: 0000-0002-7887-4934
Donetsk State University of Internal Affairs, Kropyvnytskyi, Velyka Perspektyvna, 1,25015
Донецький державний університет внутрішніх справ,
Кропивницький, В. Перспективна, 1,25015
Khaletska A.A. / Халецька А.А.
d. publ. adm.. prof./ д. держ. упр., проф.
ORCID: 0000-0003-0190-3167
National University Kyiv-Mohyla Academy, Kyiv, H. Skovorody, 2, 04070
Національний університет «Києво-Могилянська академія», Київ, Г. Сковороди, 2, 04070
Pavlenko O.P. / Павленко О.П.
d.e.s., prof. / д.е.н., проф.
ORCID: 0000-0002-5493-5798
Odessa State Environmental University, Odessa, Lvivska, 15, 65016
Одесский державний екологічнийуниверситет, Одеса, Львівська, 15, 65016

Анотація. *В статті розглядається старіння населення та соціалізація осіб похилого віку як частина завдань публічної влади серед кола питань що стосується гуманізації суспільного життя. Показано, що старіння населення сьогодні притаманне практично всім країнам світу, в т.ч. Україні. Розглянуто типи й фактори, що впливають на формування трендів демографічного розвитку. Зроблено акцент на впливі воєнних дій на демографічні зміни як додатковий чинник цього розвитку. Доведено, що в довоєнний період старіння населення було в центрі уваги органів публічної влади. Одним з головних державних документів в цьому напрямі названо Стратегію державної політики з питань здорового та активного довголіття населення.Визначено додаткові проблеми для осіб похилого віку, пов'язаних зі зміною соціально-політичного стану в країні. Проаналізовано можливість адаптації положень Стратегії до умов воєнного часу. Перелічено основні напрями функціонування органів публічної влади задля підтримки осіб похилого віку під час воєнних дій.*

Ключові слова: *старіння населення; демографічні показники; завдання публічної влади; вплив на умови життєдіяльності; адаптація до умов воєнного стану.*

Гуманізація суспільного життя у демократичних країнах світу здійснюється шляхом спрямування зусиль публічної влади на широке коло проблем, пов'язаних із соціальним забезпеченням певних груп населення, організацією охорони здоров'я, модернізацією освіти, створення відкритого інклюзивного середовища тощо. Ці питання виступають пріоритетом державної політики, предметом сумісної роботи органів публічної влади, місцевого самоврядування та громадських організацій, міжнародного співробітництва.

Серед широкого кола проблем слід виділити старіння населення, яке само по собі охоплює цілу низку соціальних питань, оскільки стосується не лише поліпшення комфортного проживання й самопочуття певної групи населення, але й значною мірою впливає на загальну суспільну ситуацію й економічний

розвиток держави.

Сьогодні старіння населення притаманне практично всім країнам світу. Якщо розглядати довоєнні дослідження українських і світових науковців, можна зазначити, що в різних країнах в залежності від стану економічного розвитку виділяють різні типи старіння. По-перше, це старіння в економічно розвинених країнах, де частка людей похилого віку підвищується за рахунок збільшення тривалості життя в результаті його високої якості, якісного медичного обслуговування, якісного харчування і, як результат, зменшення смертності в старших вікових групах. Тобто, відбувається старіння «зверху». Серед європейських країн лідерами в цьому процесі є Ісландія та Італія – тут середня тривалість життя становить близько 83 років.

В інших країнах, до яких, на жаль, належить і Україна, відбувається старіння «знизу», що є результатом впливу багатьох факторів: зменшення народжуваності дітей, більш високих показників дитячої смертності, високого рівня захворюваності, медичного обслуговування недостатньо високої якості, невисокого матеріального рівня населення, що пояснює недостатню якість харчування, питної води тощо. Згідно з даними Організації економічного співробітництва та розвитку (OECD), Польща та Україна мають найнижчі показники тривалості життя у порівнянні із іншими європейськими країнами.

На жаль, після початку повномасштабного вторгнення РФ і розгортання активних бойових дій до перелічених аспектів збільшення кількості людей похилого віку додався ще один: загибель великої частини людей працездатного віку. На тлі соціально-політичної ситуації, що склалася, зростає частка людей 60+. Взагалі, в умовах воєнного стану перерозподіл співвідношення вікових груп населення України триває постійно. Додатковими факторами такого перерозподілу є й зміна тенденцій народжуваності, й зменшення витрат на охорону здоров’я (що також пояснюється вимогами воєнного часу), й вимушена міграція, виїзд за кордон як молодих жінок з дітьми, так і людей пенсійного віку. На 01.01.2023 р. населення України мало наступний поділ за віком: відсоток людей молодше 15 років складав 13,7; у віці 15 – 65 років – 70,8; старше 64 – 15,5 [1].

Довоєнні дослідження свідчать: важливими наслідками старіння населення, незалежно від його типу, є зміни в економічній (скорочення обсягів робочої сили; збільшення рівня навантаження на населення працездатного віку за рахунок зростання пенсійних та соціальних видатків для осіб літнього віку; низькі доходи; обмежені можливості зайнятості людей похилого віку тощо), культурно-освітній (недоступність освітніх та культурних послуг), соціальній (складнощі в організації системи захисту, обмеженість соціальних зв’язків), політичній (неможливість реалізації політичних прав та свобод) сферах.

Велике коло питань, пов’язаних зі старінням, стосується психологічних проблем осіб, що в результаті досягнення певного віку опинилися за межами звичного активного способу життя, відчули самотність, «непотрібність» для суспільства. Деякі автори [2] навіть визначають цей процес як «соціальну відторгненість», що різко впливає на якість життя цієї категорії населення.

Умови воєнного часу вимагають від органів публічної влади, незалежно від складності соціально-політичної ситуації, розробляти й впроваджувати соціально-демографічні програми, які мають створювати можливості для ефективного використання трудового, соціального і культурного потенціалу населення не тільки працездатного, але й пенсійного віку. Врахування в таких програмах соціально-економічних характеристик, можливостей і схильностей людей похилого віку, їх професійної придатності дасть змогу активізувати соціальну, економічну, психологічну складову життя людей третього віку, допоможе одночасно вирішувати як питання їх виживання країни в умовах війни, так і багато проблем старіння.

Актуальність питання старіння підтверджується наявністю великої кількості робіт, присвячених вивченню економічних, психологічних, соціальних аспектів «срібної економіки». Можна виділити роботи вітчизняних авторів: О.В. Степанової [3] І.В. Пономаренко [4], А. Жуковської [5], О. Крентовської [6] та закордонних науковців: Galloway H., Martin D., Reid M. [7], Avramescu Costin [8] тощо.

В той же час вирішення питань зміни демографічних показників та вплив цих змін на соціальні та економічні сторони життя країни в умовах воєнного стану ще не вивчено. Тому темою статті є вивчення можливостей застосування людей похилого віку з метою підтримки економіки країни в стані війни і запобігання їх вимушеної «відчуженості».

Як ми зазначали вище, вікова структура населення світу змінюється доволі швидко. За прогнозами ООН к 2050 року в світі буде налічуватися біля 3,2 млн осіб старше 90 років, тоді як на сьогодні їх кількість складає дещо більше 300 тис [9]. Причому, згідно зі шкалою ООН, якщо частка людей у віці вище 65 років становить більше 7 %, населення вважається старим. Оскільки в Україні цей відсоток перевищує 15 %, населення країни оцінюють як дуже і дуже старе. І, як свідчать статистичні дані, з кожним роком відсоток людей похилого віку збільшується, що обумовлює й зростання навантаження на осіб працездатного віку (рисунок 1).

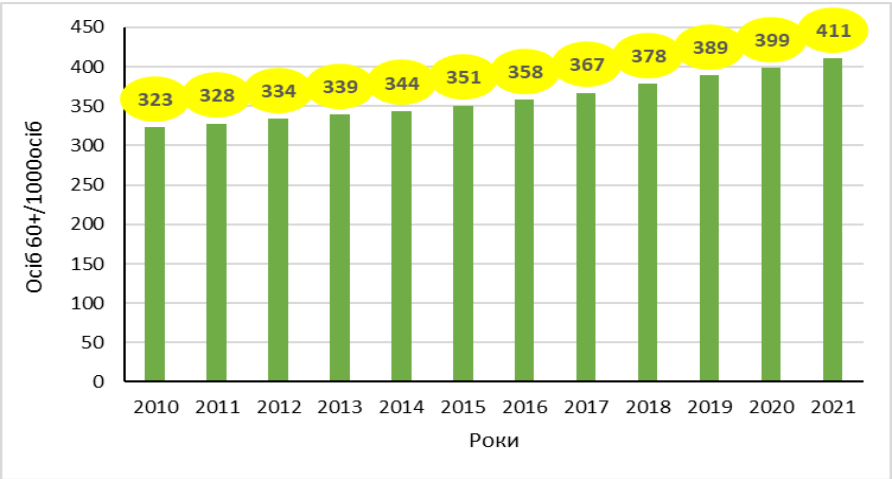


Рисунок 1 - Динаміка зміни демографічного навантаження на населення у віці 16–59 років *

За даними: [10]

Згідно з довоєнними національними демографічними прогнозами, до 2025 року частка осіб віком понад 60 років становитиме 25% загальної кількості населення, віком 65 років і старших – 18,4 %, до 2030 року – понад 26% і понад 20 % відповідно. Враховуючи наведені прогнозні дані та той факт, що країна вже зараз входить до 30 найстаріших країн світу за часткою осіб віком 60+, було прийнято рішення приєднатися до міжнародних угод щодо проблем старіння. 26.09.2018 Кабінетом Міністрів України затверджено план заходів з реалізації Стратегії державної політики з питань здорового та активного довголіття населення на період до 2022 року, в якому названі пріоритетні напрями захисту прав громадян похилого віку.

Після початку повномасштабного вторгнення російських військ на територію України, були зрушені всі плани економічного та соціального розвитку країни. Лише за першу половину 2022 р. (з 23.02 по 3.06) кількість внутрішньо переміщених осіб, зареєстрованих та отримавших відповідну довідку в Мінсоцполітики склала понад 2,7 млн. За даними Агентства ООН у справах біженців [11], станом на 9.07.2022 р. у країнах Європи перебувають понад 4,9 млн осіб, які покинули Україну через війну. Крім того, згідно з даними уряду України, станом на 26.05.22 з тимчасово окупованих територій було депортовано в РФ майже 1,4 млн громадян України, з яких 230 тис. дітей. Крім того, за даними Єврокомісії на 06.11.22 р. на фронті загинуло біля 100 тис. осіб. Все це змінює демографічний розподіл населення України за віком та загострює практично всі проблеми, пов’язані зі старінням.

Це ставить перед органами публічної влади завдання адаптувати прийняті раніше рішення до умов воєнного часу з урахуванням триваючих економічних, соціальних та демографічних змін.

Протягом війни ворог планомірно намагається знищити об’єкти промислової, енергетичної, логістичної інфраструктури, заклади освіти, охорони здоров’я, що ускладнює, а іноді й унеможливлює роботу підприємств і організацій майже всіх галузей економіки по території України. В цей час в якості основних проблем життя більшості населення, включаючи й осіб похилого віку, можна назвати:

- зниження життєвого рівня (як з точки зору матеріального забезпечення, так і якості життя взагалі);
- вимушений переїзд до інших міст і навіть країн;
- відсутність житла;
- обмеження доступу до медичних, профілактичних та реабілітаційних послуг;
- обмеження можливостей та зменшення обсягів соціальної допомоги;
- психологічні проблеми: призупинення звичних комунікаційних зав’язків з рідними, друзями тощо.

Враховуючи, що ризик подальшого погіршення стану внаслідок продовження бойових дій є досить реальним, органи публічної влади мусять розробляти заходи щодо зниження негативного впливу цих чинників.

Незважаючи на значний спад економічних показників у східних і південних областях, які зазнають найбільшого воєнного впливу, економічна активність в

регіонах, у яких не проходили бойові дії, поступово налагоджується. Економічний розвиток на цих територіях потребує людських ресурсів, велика частка яких задіяна на фронті. В цьому випадку можна говорити о залученні людей похилого віку, тобто використанні можливостей «срібної економіки». Частково це було б виконанням запланованих в Стратегії державної політики з питань здорового та активного довголіття населення напрямів захисту громадян похилого віку. Ми проаналізували можливість їх виконання в умовах воєнного стану. Результати наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Адаптація заходів Стратегії державної політики з питань здорового та активного довголіття населення до умов воєнного часу

Заходи	Можли-вість	Прояв
1. Поліпшення умов для самореалізації та участі громадян похилого віку в процесах розвитку суспільства	+	Участь у волонтерському русі, виготовлення їжі, теплих речей для військових, відкриття власного бізнесу (особливо в побутовій, ремонтній сфері) робота з ВПО, з дітьми, що зазнали психологічного та фізичного впливу в результаті бойових дій та внутрішньої міграції
2. Сприяння збереженню їхнього здоров'я та забезпеченню благополуччя	-/+	Держава продовжує опікуватися здоров'ям людей 60+, але основні сили спрямовані на роботу з військовими
3. Створення середовища, сприятливого для активного життя	-	В умовах воєнного часу, на наш погляд, це завдання мусять взяти на себе самі люди похилого віку
4. Стимулювання про-довження трудової діяльності та забезпечення гнучкого режиму робочого часу для працівників похилого віку, сприяння їх волонтерській діяльності	+	Саме в цій час трудовий досвід та професіоналізм може стати у нагоді; в умовах, коли молоді люди задіяні на обороні країни, особи пенсійного вику можуть бути задіяні для відновлення зруйнованих та побудові нових об'єктів економіки
5. Формування політики навчання протягом життя з метою залучення громадян похилого віку до участі в освітніх процесах, розширення можливостей оволодіння новими професійними та загальноосвітніми навичками	+/-	Якщо в довоєнний час країна пропонувала велику кількість можливостей продовження освіти для людей похилого віку (Університети третього віку, мовні, комп'ютерні курси тощо), то в умовах воєнного часу доцільно було б організовувати, в основному, навчання людей робочим професіям, проводити підвищення кваліфікації спеціалістів у вже опанованій професії, в якій людина має певний досвід практичної роботи
6. Посилення адресності програм соціальної допомоги для соціально вразливих громадян похилого віку тощо	+	Ця функція держави залишається незмінною, хоча в результаті великого масштабу внутрішньої та зовнішньої міграції знаходити осіб, які потребують першочергової допомоги й опіки, достатньо складно. І тут знов-таки є можливість для самореалізації, коли особи похилого віку беруть на себе частину обов'язків соціальної служби держави

Авторская разработка

Проведений аналіз свідчить, що зміни вікової структури населення в бік збільшення частки людей пенсійного віку в довоєнний період відносили до основних чинників, що негативно впливають на трудовий потенціал внаслідок скорочення робочої сили та дефіциту кваліфікованих кадрів. При цьому складалася ситуація, коли, з одного боку, країна відчувала брак кадрів, з іншого - збільшення чисельності людей старшого вику обумовлювало зростання попиту на певну групу товарів та послуг, необхідних для цієї вікової категорії.

За умови воєнного часу країна потребує залучення кваліфікованих фахівців, використання їх навичок для відновлення та розбудови економіки. Це дозволить вирішувати не лише економічні та соціальні питання, але й дасть змогу людям 60+ відчувати себе потрібними родині, країні, не бути «викинутими на околицю життя».

Безумовно, продовження трудового шляху осіб пенсійного віку вимагає врахування вікових фізіологічних та психологічних змін у організації робочого місця й робочого часу. В роботі [12] авторка розглядає різноманітні вікові ризики робочого місця, визначає необхідність адаптації робочих місць відповідно до рівня працездатності та фізіологічних потреб осіб похилого віку та визначає види діяльності, придатні до роботи у похилому віці. Крім того, щорічне зростання обсягів інформації вимагає від працівників постійного оновлення набутих знань, що також є додатковим навантаженням на працівників, особливо в літньому віці. Саме про це йдеться у п.6 Стратегії державної політики з питань здорового та активного довголіття населення.

Зазвичай в умовах мирного часу функціонування органів публічної влади мусить здійснюватися за наступними основними напрямами:

- робота по вивченню міжнародного досвіду, міжнародного законодавства в частині забезпечення здорового та активного довголіття населення; опрацювання українського законодавства в цій сфері та адаптація його до вимог Європейського Союзу (враховуючи європейську спрямованість розвитку України);
- заходи щодо розвитку соціального обслуговування й соціальної допомоги особам похилого віку згідно з вимогами адресності такої допомоги;
- створення відповідних структур на державному та місцевих рівнях як центрів управління (включаючи обов’язкову функцію контролю) за роботою по створенню середовища, сприятливого для активного життя;
- співпраця органів публічної влади з бізнес-структурами та громадськими організаціями для організації підтримки «срібного покоління».

На нашу думку, в умовах воєнного часу основний акцент в роботі має припадати саме на співпрацю з бізнесом, оскільки цей напрям здатен забезпечити активізацію економічного, психологічного й соціального життя осіб 60+. На сьогодні 47% компаній продовжують виробляти продукцію й послуги. Відновлення й підтримка бізнесу триває й на рівні держави. Одним з проявів цього є створення Національної ради з відновлення України, в рамках якої працюватиме більше 20 робочих груп, представники Європейської Бізнес Асоціації. Співпраця бізнесу і державних структур навіть в умовах воєнного часу може забезпечити як лише зростання економічних показників, так і виконання

завдань державної політики щодо питань активного довголіття населення.

Литература:

1. Населення України / United National Department of Economic and Social Affairs: Population Division/countrymeters.info.

2. Соціальна та гуманітарна політика: Навчальний посібник / Укладачі В.С. Толуб'як, А.Ю.Жуковська, А.А.Халецька, Л.С.Мосора. Тернопіль. ЗУНУ, СМП «ТАЙП», 2021. – 474 с.

3. Степанова О. В. Економіка довголіття: нові виклики для рівності та фіскальної стійкості. Механізми реконструктивного економічного розвитку та соціальні критерії їх ефективності. Монографчний збірник. Київ, 2017. С. 190–222.

4. Пономаренко І.В. Дослідження впливу старіння населення на чисельність та структуру економічно активного населення в Україні та країнах Європи/ Електронний журнал «Ефективна економіка» №1, 2013.

5. Жуковська А. «Срібна економіка» як ресурс інклюзивного розвитку національної економіки. *Вісник Тернопільського національного економічного університету.* 2020. Вип. 3. С. 37–53. DOI: https://doi.org/10.35774/visnyk2020.03.037.

6. Крентовська О. Глобальна соціальна політика і міжнародне співробітництво щодо питань старіння населення//Науковий вісник «Демократичне врядування», 2009.- Вип.4// http://www.lvivacademy.com/vidavnitstvo_1/visnik4/fail/+Krentovska.pdf.

7. Galloway H., Martin D., Reid M. The Longevity Economy. How People Over 50 Are Driving Economic and Social Value in the US. September 2016. URL: https:// d2rpq8wtqka5kg.cloudfront.net/343483/open20160913045000.pdf.

8. Avramescu Costin. Importance of Silver Economy. URL : http://ippase.utgjiu.ro/wpcontent/uploads/2018/09/07_Costin_Avramescu_IMPOrtance_of_silver_ Economy.pdf Avramescu Costin. Importance of Silver Economy. URL : http://ippase.utgjiu.ro/wpcontent/uploads/2018/09/07_Costin_Avramescu_IMPOrtance_of_silver Economy.pdf.

9. Стареющая планета: число пенсионеров угрожает мировой экономике// https://www.rbc.ru/economics/23/08/2013/57040e499a794761c0ce0f23.

10. Населення України 2020. Державна служба статистики України // http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ_new1/2021/dem_2020.pdf.

11. Refugees from Ukraine recorded across Europe. /https://data.unhcr.org/en/situations/Ukraine.

12. Кірнос, І.О. Продовження роботи у похилому віці: стратегії адаптації робочих місць / Інна Олександрівна Кірнос // Вісник соціально-економічних досліджень:зб.наук.праць; за ред.М.І.Звєрякова (голов.ред) та ін. (ISSN 2313-4596). – Одеса: Одеський національний економічний університет. – 2018. – Вип.2. - № 65.

Abstract. *The article examines the aging of the population and the socialization of the elderly as part of the tasks of public authorities among the range of issues related to the humanization of public life. It is shown that the aging of the population today is characteristic of almost all countries of the world, including Ukraine. The types and factors affecting the formation of trends in demographic development are considered. Emphasis is placed on the impact of military operations on demographic changes as an additional factor in this development. It has been proven that in the pre-war period the aging of the population was in the center of attention of public authorities. One of the main state documents in this direction is called the State Policy Strategy on Healthy and Active Longevity of the Population. Additional problems for the elderly associated with the change in the socio-political situation in the country have been identified. The possibility of adapting the provisions of the Strategy to wartime conditions was analyzed. The main areas of functioning of public authorities to support the elderly during military operations are listed.*

Key words: *population aging; demographic indicators; tasks of public authorities; impact on living conditions; adaptation to the conditions of martial law.*

Стаття відправлена: 25.02.2023 р.

© Марова С.Ф., Халецька А.А., Павленко О.П.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-020
DOI: 10.30888/2663-5712.2023-18-01-020

УДК 519.7

MATHEMATICAL ANALYSIS OF ENTERPRISE RISKS

МАТЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПІДПРИЄМНИЦЬКИХ РИЗИКІВ

Mormul M. F. / Мормуль М. Ф.
c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.
ORCID: 0000-0002-8036-3236
University of Customs and Finance
Dnipro, str. Volodymyr Vernadsky 2/4, 49000
Університет митної справи та фінансів
Дніпро, вул. Володимира Вернадського2/4, 49000
Shchytov D. M. / Щитов Д. М.
c.e.s., as.prof. / к.ек.н.
ORCID: 0000-0003-4306-8016
Dnipro Faculty of Management and Business of Kyiv University of Culture
Dnipro, str. Mykhailo Hrushevskyi 9, 49000
Дніпровський факультет менеджменту та бізнесу Київського університету культури
Дніпро, вул. Михайла Грушевського 9, 49000
Shchytov O. M. / Щитов О. М.
c.ph.-m.s., as.prof. / к.ф.-м.н., доц.
ORCID: 0000-0002-1435-2918
Lyceum No. 100
Dnipro square Uspenska 1, 49000
ліцей № 100
Дніпро, пл. Успенська 1, 49000
Romanchuk L. A. / Романчук Л. А.
c.ph.s., as.prof. / к.ф.н., доц.
ORCID: 0000-0001-5759-0126
the firm «Shchytov D.»
Dnipro, Ave. Lesi Ukrainky 37, 3, 49101
Фірма «Щитов Д.»
Дніпро, пр. Лесі Українки 37, 3, 49101
Chupilko T. A. / Чупілко Т. А.
c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.
ORCID: 0000-0002-3469-3154
University of Customs and Finance
Dnipro, str. Volodymyr Vernadsky 2/4, 49000
Університет митної справи та фінансів
Дніпро, вул. Володимира Вернадського2/4, 49000

Анотація. *Нині в країні і світі спостерігається вкрай нестабільна економічна ситуація з високою мірою невизначеності через воєнний стан і бойові дії на території України. Така ситуація може серйозно погрожувати її безпеці, тому за таких умов роль процесу управління ризиками вкрай важлива. У цій статті представлений статистичний метод аналізу і оцінки ризиків бізнес-процесів на ІТ-підприємствах, оскільки управління ризиками - одне з найважливіших завдань, рішення якого - ключовий момент в успішному функціонуванні господарюючого суб'єкта. Для будь-якого підприємства важливо оцінювати і аналізувати ризики до їх появи. У статті представлена послідовність дій при аналізі і оцінці ризиків. Розглядається методика використання статистичного методу для кількісного та якісного аналізу ризиків бізнес-процесів, представлений приклад реалізації методики для ІТ-компанії.*

Ключові слова*: аналіз ризиків, мінімізація ризику, аналіз бізнес-процеса, оцінка ризику,*

IT-компанії.

Вступ.

Ризик – об'єктивно-суб'єктивна категорія, пов'язана з подоланням невизначеності, випадковості, конфліктності в ситуації неминучого вибору, що відображає ступінь досягнення суб'єктом очікуваного результату. Для довільного бізнесу важливо не просто обійти ризик взагалі, а передбачити можливі випадки і прийняти найкраще рішення за допомогою комплексу критеріїв, що відповідають основним інтересам підприємця. За класичною теорією ризик ототожнювали із середнім значенням втрат та збитків, які можуть статися в результаті реалізації рішення. У неокласичній теорії ризику ризик визначається як відхилення від запланованих фінансових результатів, від цілі. У сучасній інтерпретації ризик – це не втрати, яких можна зазнати під час реалізації господарського рішення, а небезпека відхилення від мети, заради якої приймалось рішення. Тобто сьогодні ризик визначається не стільки втратами, скільки відсутністю значних позитивних економічних результатів, і є фінансовою категорією, пов'язаною зі зміною фінансових результатів процесу прийняття рішень [2; 4; 6; 7; 9; 10].

У роботах [1; 2] розглядається еволюція поглядів на феномен ризику, сутність ризику як економічної категорії, основні властивості та функції ризику, вплив суб'єктивних факторів на вибір ризику. У роботах [3; 5] розглянуті загальні принципи класифікації ризиків (безризикова зона, зона мінімального ризику, зона малого ризику, зона допустимого ризику, зона критичного ризику, зона катастрофічного ризику), основні види господарських ризиків: політичний, соціальний, екологічний, адміністративно-законодавчі ризики, виробничі (технічні ризики, безпосередньо виробничі, транспортні, реалізаційні (маркетингові та комерційні ризики), фінансові (ризики, пов'язані з купівельною спроможністю грошей, інвестиційний ризик, ризики незабезпечення господарської діяльності необхідним фінансуванням, ризики непередбачених витрат і перевищення кошторису витрат на виробництво), ризики зовнішньоекономічної діяльності. А у роботах [4; 6; 7; 9; 10] – методи аналізу та оцінки ризиків. Ризик можна поділити на два типи: динамічний та статичний. *Динамічний ризик* залежить від зовнішніх умов, наприклад, змінення вартості власного капіталу внаслідок змінення зовнішніх умов (коливання курсу валют тощо). Це можливо внаслідок економічних та політичних змін. *Статичний ризик* можливий внаслідок дій самої фірми. До чинників статичного ризику відносяться: рівень кваліфікації персоналу, прийняття раціональних рішень фірмою, рівень технічного забезпечення фірми тощо.

Існують об'єктивні та суб'єктивні фактори, які впливають на ступінь ризику. Об'єктивні чинники залежать від зовнішнього середовища, а суб'єктивні – від самої фірми. При дослідженні ризику необхідно зробити наступну послідовність дій: 1) виділити об'єктивні та суб'єктивні фактори, що впливають на конкретний вид ризику; 2) зробити аналіз виявлених факторів; 3) оцінити можливість того або іншого проекту з урахуванням різних видів ризику; 4) встановити допустиму верхню межу рівня ризику; 5) забезпечити заходи зниження ризику.

Застосовують як якісний, так і кількісний аналіз ризику. Якісний ризик має на меті визначити чинники й зони ризику та провести ідентифікацію можливих ризиків. При якісному аналізі характерними є два аспекти [3; 11]: І аспект пов'язаний з необхідністю порівнювати очікувані позитивні результати (сприятливі) результати із можливими несприятливими наслідками; ІІ аспект пов'язаний з виявленням впливу рішень, які приймаються в умовах невизначеності та конфліктності, на інтереси суб'єктів господарювання. Основними критеріями розмежування виступають: прибуток, виручка, власні кошти підприємства, втрати, коефіцієнт ризику, коефіцієнт варіації, коефіцієнт можливих втрат. Іноді в межах зони допустимого ризику виокремлюють достатньо допустиму зону та зону підвищеного ризику. Наведемо характеристику основних зон ризику при здійсненні господарських операцій.

1. У безризиковій зоні відсутні будь-які втрати під час здійснення господарських операцій.

2. У зонах мінімального та малого ризику можлива величина втрат менше розміру очікуваного прибутку.

3. У зоні допустимого ризику можлива величина втрат не перевищує розміру очікуваного прибутку. У найгіршому випадку – втрата всього прибутку, за сприятливого збігу обставин – незначний розмір втрат, що припадає на одну ризиковану ситуацію.

4. У зоні критичного ризику можливий розмір втрат перевищує прибуток, але не є більшим за виручку.

5. Зона катастрофічного ризику найбільш небезпечна; можливі втрати перевищують виручку та можуть досягти величини, що дорівнює майну підприємства [1].

Розглядають два основних параметри оцінювання ступеня ризику: ймовірність появи втрат (ймовірність реалізації ризику) – чим вона вища, тим більший ризик; величину втрат (розмір можливого збитку) – чим вона більше, тим більший ризик. Ступінь ризикованості залежить від розмірів підприємства, кількості працівників, величини активів, частки ринку збуту, обсягів продукції.

У процесі підприємницької діяльності ймовірні такі втрати, як фінансові, матеріальні, соціальні, морально-психологічні, збутові, екологічні, втрати часу. Для кожного виду втрат вихідну оцінку їх величини та ймовірності їх виникнення необхідно здійснювати за визначений час. У цілому треба враховувати тільки випадкові втрати, що не піддаються прямому розрахунку та безпосередньому прогнозуванню (якщо втрати можна заздалегідь передбачити, то їх слід розглядати не як збитки, а як неминучі витрати й включати в розрахункову калькуляцію). Залежно від виду підприємницької діяльності доцільно розрізняти втрати від здійснення виробничої, комерційної та фінансової діяльності [2; 10; 11; 12].

Оскільки ризик є економічною категорією, на його ступінь можна впливати через формування та реалізацію стратегії, через створення механізму управління ризиками – *ризик-менеджменту*, який передбачає розробку стратегічних і тактичних рішень та включає наступні етапи: оцінку господарської ситуації на підприємстві та виникнення ризиків; кількісний та якісний аналіз; регулювання

ступеня ризику (вибір напрямів і методів регулювання, їх реалізацію); оцінку отриманих результатів та їх коригування [13].

Основними методами регулювання ступеня ризику виступають:

1) уникнення ризику (відмова від ненадійних партнерів, постачальників; відмова від прийняття ризикованих проектів, рішень);

2) компенсація ризику (стратегічне планування діяльності; прогнозування зовнішньої економічної ситуації; моніторинг соціально-економічного та правового середовища; активний цілеспрямований маркетинг);

3) збереження ризику (відмова від будь-яких дій, спрямованих на компенсацію збитку (без фінансування); створення спеціальних резервних фондів у натуральній або грошовій формі (фондів самострахування або фондів ризику); залучення зовнішніх джерел (отримання кредитів та позик, державних дотацій для компенсації збитків та відновлення виробництва);

4) передача ризику (страхування; через укладання договорів факторингу, поручительства; через укладання біржових угод (хеджування));

5) зниження ризику (диверсифікація; здобуття додаткової інформації; лімітування) [4-10].

Задачею дослідження ризику є застосування методів якісного та кількісного аналізу ступеня ризику, зокрема використання системи показників на базі статистичного методу та практичне застосування комплексної кількісної оцінки ризику з визначенням типу ризику з метою прийняття найбільш обґрунтованих управлінських рішень. Що вкрай актуально в умовах нестабільності через воєнний стан, бо саме від вирішення цих задач в значній мірі залежить економічна безпека країни.

Постановка питання.

Припустимо, задано m стратегій та n станів природи. Задана матриця прибутковості (збитків) $A=(a_{ij})_{m\times n}$, де a_{ij} − прибуток (втрати) від реалізації i-ї стратегії при j-му стані природи, q_j − ймовірність настання j-го стану природи, $j=1,...,n;\ \sum_{i=1}^{n} q_j = 1.$

Необхідно: 1) розрахувати оцінки ризику діяльності IT-компанії, яка розглядає інвестиції у проекти гейм-індустрії, та розробити програму на MS Excel; 2) дослідити ефективність кожної стратегії, реалізації кожної яких залежить від станів зовнішньоекономічних умов; 3) дослідити ризикованість кожної стратегії на основі показників варіації; 4) зробити інтервальну оцінку ефективності кожної стратегії та визначити тип ризику кожної з них; 5) зробити висновок, у яку стратегію (проект) доцільно інвестувати IT-компанії та чому.

Теоретичне обгрунтування.

Система показників кількісної оцінки ризику на базі статистичного методу включає показники варіації, які складаються з абсолютних величин (математичного сподівання ефективності, дисперсії, середнього квадратичного відхилення, семіваріації, семіквадратичного відхилення, сподіваної величини сприятливих та несприятливих відхилень відносно запланованого значення

економічного показника, середнього лінійного відхилення, коефіцієнта асиметрії, коефіцієнта ексцесу, розмаху варіації) та відносних (ймовірності виникнення збитків або недоотримання доходів порівняно з прогнозованим варіантом, квадратичного коефіцієнта варіації, коефіцієнта ризику, коефіцієнта семіваріації, лінійного коефіцієнта варіації, коефіцієнта сподіваних збитків, коефіцієнта варіації асиметрії, коефіцієнта варіації ексцесу, коефіцієнта осциляції, коефіцієнта відносного ризику).

Крім того, робиться *інтервальна оцінка* ефективності кожної стратегії, знаходиться розмах варіації та визначається тип ризику кожної стратегії.

Для кількісної оцінки ризику необхідно визначити всі можливі наслідки окремої події (стратегії) та ймовірності їх настання. Абсолютна величина ризиків характеризується розміром прогнозованих (можливих) втрат (збитків) у матеріально-речовинному чи вартісному вираженні. Розглянемо обчислення системи показників кількісної оцінки ризику суб'єкта господарювання, діяльність якого характеризується найбільш важливим показником – прибутком (збитками).

I. Розглянемо кількісну оцінку ризикованості стратегій на основі показників варіації, що складаються з абсолютних і відносних величин [2; 3; 4; 6].

Абсолютні показники.

1. За математичним сподіванням ефективності (найімовірнішою величиною прибутку або втрат) $M_i = \sum_{j=1}^{n} a_{ij} \cdot q_j$ *i*-ї стратегії, $i = \overline{1,m}.$ Чим більше (менше) цей показник, тим більш ефективна відповідна *i*-а стратегія.

2. За дисперсією $D_i = \sum_{j=1}^{n} (a_{ij} - M_i)^2 \cdot q_j$ або $D_i = \sum_{j=1}^{n} a_{ij}^2 \cdot q_j - M_i^2, \quad i = \overline{1,m}.$ Дисперсія – середнє зважене з квадратів відхилень значень прибутку (втрат) a_{ij} від математичного сподівання ефективності *i*-ї стратегії M_i, і характеризує розсіювання значень прибутку (збитків) a_{ij}, що відповідає *i*-й стратегії відносно M_i цієї стратегії, $i = \overline{1,m}, \ j = \overline{1,n}$. Чим більше дисперсія, тим більший є ризик, що притаманний відповідній стратегії.

3. За середнім квадратичним відхиленням $\sigma_i = \sqrt{D_i}, \quad i = \overline{1,m}.$ Середнє квадратичне відхилення показує розсіювання значень прибутку (збитків) a_{ij}, що відповідає *i*-й стратегії відносно математичного сподівання ефективності M_i цієї стратегії, $i = \overline{1,m}, \ j = \overline{1,n}$, і має ту ж одиницю виміру, що і прибуток (збитки). Чим менше цей показник, тим надійнішою є стратегія.

4. За семіваріацією $SV_i = \sum_{j=1}^{n} \alpha_j \cdot q_j \cdot (a_{ij} - M_i)^2$, де α_j – індикатор відхилення від порогових значень $M_i, \ i = \overline{1,m}, \ j = \overline{1,n},$ де M_i – математичне сподівання ефективності *i*-ї стратегії. При розрахунках додатної семіваріації SV_i^+

приймають $\alpha_j = 1$, якщо $a_{ij} > M_i$, і $\alpha_j = 0$, якщо $a_{ij} \le M_i$, $i = \overline{1,m}$, $j = \overline{1,n}$. Додатна семіваріація SV_i^+ характеризує дисперсію тих значень прибутку (збитків) a_{ij}, які більші від математичного сподівання ефективності *i*-ї стратегії M_i, $i = \overline{1,m}$, $j = \overline{1,n}$. Тобто, чим більше додатна семіваріація, тим більшим є очікуваний від реалізації відповідної стратегії прибуток (збитки). При розрахунках від'ємної семіваріації SV_i^- навпаки – $\alpha_j = 1$, якщо $a_{ij} \le M_i$, і $\alpha_j = 0$, якщо $a_{ij} > M_i$, $i = \overline{1,m}$, $j = \overline{1,n}$. Від'ємна семіваріація SV_i^- характеризує дисперсію тих значень прибутку (збитків) a_{ij}, які не більші від математичного сподівання ефективності *i*-ї стратегії M_i, $i = \overline{1,m}$, $j = \overline{1,n}$. Тобто, чим менша від'ємна семіваріація, тим менші прогнозовані зменшення прибутку (збитків) від реалізації відповідної стратегії.

5. За семіквадратичним відхиленням $SSV_i = \sqrt{SV_i}$. Очевидно, що розраховуються додатне і від'ємне семіквадратичні відхилення: SSV_i^+ і SSV_i^-: $SSV_i^+ = \sqrt{SV_i^+}$, $SSV_i^- = \sqrt{SV_i^-}$, $i = \overline{1,m}$. Додатне семіквадратичне відхилення SSV_i^+ характеризує середнє квадратичне відхилення тих значень прибутку (збитків) a_{ij}, які більші від математичного сподівання ефективності *i*-ї стратегії M_i, $i = \overline{1,m}$, $j = \overline{1,n}$. Або кажуть, що додатне семіквадратичне відхилення характеризує відхилення абсолютної величини очікуваного прибутку (збитків) (можливе збільшення прибутку або збільшення збитку). Тобто, чим більше додатне семіквадратичне відхилення, тим більшим може виявитись абсолютне значення фактичного очікуваного прибутку (збитків) при реалізації відповідної стратегії. Від'ємне семіквадратичне відхилення SSV_i^- характеризує середнє квадратичне відхилення тих значень прибутку (збитків) a_{ij}, які не більші від математичного сподівання ефективності *i*-ї стратегії M_i, $i = \overline{1,m}$, $j = \overline{1,n}$. Чим менше від'ємне семіквадратичне відхилення, тим менші прогнозовані зменшення прибутку (збитків) від реалізації відповідної стратегії.

6. За сподіваною величиною сприятливих та несприятливих відхилень відносно запланованого значення економічного показника Z або відносно математичного сподівання ефективності ($Z = M_i$) (умовними математичними сподіваннями щодо відхилень) $V_{Zi} = \sum_{j=1}^{n} \alpha_j \cdot q_j \cdot (a_{ij} - Z)$, де α_j – індикатор відхилення від порогових значень Z, $i = \overline{1,m}$, $j = \overline{1,n}$. При розрахунках додатного умовного математичного сподівання щодо відхилень V_{Zi}^+ приймають $\alpha_j = 1$, якщо $a_{ij} > Z$, і $\alpha_j = 0$, якщо $a_{ij} \le Z$, $i = \overline{1,m}$, $j = \overline{1,n}$. Чим більше V_{Zi}^+, тим

більшим є очікуваний прибуток (втрати) для матриці прибутку (збитків) від реалізації відповідної стратегії. При розрахунках від'ємного умовного математичного сподівання щодо відхилень V_{Zi}^{-} навпаки – $\alpha_j = 1$, якщо $a_{ij} \le Z$, і $\alpha_j = 0$, якщо $a_{ij} > Z$, $i = \overline{1,m}$, $j = \overline{1,n}$. Чим менше $\left|V_{Zi}^{-}\right|$, тим менші прогнозовані зменшення прибутку (збитків) для матриці прибутків (збитків) від реалізації відповідної стратегії.

7. За середнім лінійним відхиленням $d_i = \sum_{j=1}^{n} \left|a_{ij} - M_i\right| \cdot q_j$, $i = \overline{1,m}$. Чим менше середнє лінійне відхилення, тим більш надійнішою є відповідна стратегія.

8. За коефіцієнтом асиметрії $As_i = \frac{1}{\sigma_i^3} \sum_{j=1}^{n} (a_{ij} - M_i)^3 \cdot q_j$, $i = \overline{1,m}$. Якщо коефіцієнт асиметрії дорівнює нулю, то графік функції щільності ймовірностей випадкової величини є симетричним відносно її сподіваної величини. Якщо $As_i > 0$ ($As_i < 0$), то асиметрія є правосторонньою (лівосторонньою). Якщо $\left|As_i\right| < 0{,}1$, то розподіл майже симетричний; якщо $0{,}1 \le \left|As_i\right| < 0{,}3$, то асиметрія є незначною; якщо $0{,}3 \le \left|As_i\right| < 0{,}5$, то асиметрія є помірною; якщо $0{,}5 \le \left|As_i\right|$, то асиметрія є значною. Чим більше значення коефіцієнта асиметрії для матриці прибутків (збитків), тим менший (більший) ризик відповідної стратегії.

9. За коефіцієнтом ексцесу $Ex_i = \frac{1}{\sigma_i^4} \sum_{j=1}^{n} (a_{ij} - M_i)^4 \cdot q_j - 3$, $i = \overline{1,m}$. Якщо $Ex_i \ge 0$ ($Ex_i < 0$), то розподіл вважається гостроверхим (плосковерхим). Чим більше значення коефіцієнта ексцесу (концентрація значень показника ефективності поблизу його сподіваного значення) для матриці прибутків (збитків), тим більш надійна відповідна стратегія.

10. За розмахом варіації $R_i = \max_j a_{ij} - \min_j a_{ij}$, $i = \overline{1,m}$. Чим більше розмах варіації, тим більший ризик притаманний відповідній стратегії.

Відносні показники.

11. За квадратичним коефіцієнтом варіації $V_{\sigma i} = \frac{\sigma_i}{M_i}$, $i = \overline{1,m}$. Чим менше значення квадратичного коефіцієнту варіації для матриці прибутків, тим краще співвідношення між ризиком та ефективністю стратегії.

12. За коефіцієнтом ризику $K_{Ri} = \frac{SSV_i^{-}}{SSV_i^{+}}$, $i = \overline{1,m}$. Цей коефіцієнт для матриці прибутків (збитків) показує, у скільки разів можливе зменшення прибутку (збитків) може перевищити можливе збільшення прибутку (збитків). Чим менший (більший) коефіцієнт ризику K_{Ri}, тим меншим є ризик вибору стратегії відповідно для матриці прибутків (збитків).

13. За коефіцієнтом семіваріації $K_{Si} = \frac{SSV_i^-}{M_i}$ або $K_{Si} = \frac{SSV_i^+}{M_i}$ $i = \overline{1,m}.$ Коефіцієнт семіваріації відповідає відношенню від'ємної семіваріації (для матриці прибутків) або додатної семіваріації (для матриці збитків), які враховують лише негативні відхилення від сподіваної величини, до сподіваної величини. Чим менший коефіцієнт семіваріації, тим менш ризикована стратегія.

14. За лінійним коефіцієнтом варіації $V_{di} = \frac{d_i}{M_i}$, $i = \overline{1,m}.$ Чим менше значення лінійного коефіцієнту варіації для матриці прибутків, тим краще співвідношення між ризиком та ефективністю стратегії.

15. За коефіцієнтом сподіваних збитків $K_{Zi} = \frac{\left|V_{Zi}^-\right|}{V_{Zi}^+ + \left|V_{Zi}^-\right|}$ – для матриці прибутків або $K_{Zi} = \frac{V_{Zi}^+}{V_{Zi}^+ + \left|V_{Zi}^-\right|}$ – для матриці збитків, $i = \overline{1,m}.$ Цей коефіцієнт показує відношення обсягу сподіваних збитків до суми сподіваних прибутків та сподіваних збитків. $K_{Zi} \in [0;1]$, причому якщо $K_{Zi} = 0$, то відсутні сподівані додаткові збитки; якщо $K_{Zi} = 1$, то відсутні сподівані додаткові прибутки.

16. За коефіцієнтом варіації асиметрії $VAs_i = \frac{lAs_i}{M_i}$, $i = \overline{1,m}$, де $lAs_i = \begin{cases} 1/(As_i + 1), & As_i > 0; \\ 1 - As_i, & As_i \le 0. \end{cases}$ Чим менше цей коефіцієнт, тим менш (більш) ризикована стратегія відповідно для матриці прибутків та матриці збитків.

17. За коефіцієнтом варіації ексцесу $VEx_i = \frac{lEx_i}{M_i}$, $i = \overline{1,m}$, де $lEx_i = \begin{cases} 1/(Ex_i + 1), & Ex_i > 0; \\ 1 - Ex_i, & Ex_i \le 0. \end{cases}$ Чим менше цей коефіцієнт, тим менш ризикована стратегія для матриці прибутків.

18. За коефіцієнтом осциляції $V_{Ri} = \frac{R_i}{M_i}$, $i = \overline{1,m}.$ Чим менший цей коефіцієнт, тим менш ризикована відповідна стратегії для матриці прибутків.

19. За коефіцієнтом відносного ризику – відношення розміру збитків до конкретної бази залежно від специфіки та виду оцінюваного ризику.

II. Розглянемо інтервальну оцінку ефективності стратегій та визначення типу ризику кожної з них. Для інтервальної оцінки розраховують граничну *i*-ту похибку Δ_i, яка є абсолютним показником оцінки ризику.

$\Delta_i = \frac{t_\gamma \cdot \sigma_i}{\sqrt{n}}$, якщо $n > 30$, і $\Delta_i = \frac{t_\gamma \cdot s_i}{\sqrt{n}}$, якщо $n \le 30$, де σ_i – середнє

квадратичне відхилення, s_i – виправлене середнє квадратичне відхилення: $s_i = \sigma_i \cdot \sqrt{\frac{n}{n-1}}$, $i = \overline{1,m}$. $t_\gamma = t(\alpha = 1-\gamma, \nu = n-1)$ знаходиться за таблицею критичних точок розподілу Стьюдента для двосторонньої критичної області залежно від надійності γ та обсягу вибірки n, α – рівень значущості, ν – число степенів вільності. γ – надійність того, що фактичний прибуток (збитки) буде знаходитись у відповідному надійному інтервалі.

Гранична похибка свідчить, як гранично із заданою надійністю може змінюватись ефективність кожної стратегії. Чим меншою є гранична похибка (граничне відхилення), тим безпечнішою і надійнішою є стратегія. Додавши та віднявши граничну похибку Δ_i до (від) математичного сподівання ефективності i-ї стратегії M_i, отримаємо граничні межі, в яких буде коливатися фактичний прибуток (збитки) по кожній стратегії: $a_i^{\max} = M_i + \Delta_i$, $a_i^{\min} = M_i - \Delta_i$, $i = \overline{1,m}$. У випадку, коли $a_i^{\min}$ приймає від'ємне значення, замість очікуваного прибутку (збитку) маємо обсяг утрат (прибуток). Чим менше значення граничної похибки (граничного відхилення), тим безпечніша й надійніша стратегія. Для оцінки ризику використовують розмах варіації, що розраховується на основі граничних меж $a_i^{\min}$ та $a_i^{\max}$: $R_i^v = a_i^{\max} - a_i^{\min}$, $i = \overline{1,m}$. Чим більший розмах варіації, тим більш ризикованою є стратегія.

Розглянемо визначення *типу ризику*. Один з методів визначення типу (рівня, зони) ризику ґрунтується на оцінці коефіцієнта можливих втрат від реалізації стратегії, як відношення мінімального значення ефективності i-ї стратегії $a_i^{\min}$ до математичного сподівання ефективності i-ї стратегії M_i: $K_{vi} = \frac{a_i^{\min}}{M_i}$, $i = \overline{1,m}$.

Якщо $K_{vi} \geq 0,9$, то ризик мінімальний; якщо $0,75 \leq K_{vi} < 0,9$, то ризик малий; якщо $0 \leq K_{vi} < 0,75$, то ризик допустимий; якщо $-0,3 \leq K_{vi} < 0$, то вважають, що ризик критичний (виправданий); а якщо ж $K_{vi} < -0,3$, то ризик оцінюють як катастрофічний (неприйнятний), $i = \overline{1,m}$.

Другий метод визначення типу ризику ґрунтується на величині квадратичного та лінійного коефіцієнтів варіації згідно наступної шкали: [0; 0,1) – мінімальний ризик; [0,1; 0,25) – малий ризик; [0,25; 0,5) – допустимий ризик; [0,5; 0,75) – критичний ризик; [0,75; 1] – катастрофічний ризик.

Типи ризику також отримують таким чином:

а) для безризикової зони: $H = 0$;

б) для зони мінімального ризику $Вт < Пр$, $H \in (0; 0,1]$;

в) для зони малого ризику $Вт < Пр$, $H \in (0,1; 0,25]$;

г) для зони допустимого риску: $Вт \leq Пр$, $H \in (0,25; 0,5]$;

д) для зони критичного ризику: $Вт > Пр$, $Вт \leq Вр$, $H \in (0,5; 0,75]$;

е) для зони катастрофічного ризику: $Вт > Вр$, $Вт \le Вк$, $Н \in (0,75;1]$,

де *Пр* – прибуток, *Вр* – виручка, *Вт* – втрати, *Вк* – власні кошти підприємства, *Н* – коефіцієнт ризику (відношення можливих утрат до розміру власних коштів підприємства).

Оцінювання господарського ризику передбачає необхідність побудови *кривої ризику* – кривої розподілу ймовірностей виникнення певного рівня втрат/прибутку (це складна задача, тому часто оцінюють ризик за кількісними показниками). Процес побудови кривої ризику включає такі етапи: 1) встановлення зон ризику, в рамках яких утрати не перевищують визначеного рівня; 2) визначення залежності утрат від їх рівня; 3) побудова типової кривої розподілу ймовірностей одержання певного рівня прибутку; 4) побудова кривої ризику на основі кривої ймовірностей отримання певного рівня прибутку та зон ризику. Для кількісного визначення ступеня ризику на підприємстві практичного застосування набули такі методи, як [4; 6; 7; 9; 10]: статистичний, метод експертних оцінок, аналітико-розрахунковий метод, нормативний метод, метод аналізу доцільності витрат, метод аналогів, метод "дерева" рішень, рейтинговий метод.

Прийняття рішень за невизначеності, конфліктності і зумовленого ними ризику ґрунтується найчастіше на концепції теорії корисності та статистичних рішень теорії гри. Використовуються методи теорії нечітких множин і теорії нечіткої логіки при комплексному оцінюванні ризиків, а також нейронних мереж, теорії хаосу, теорії катастроф тощо. Застосовуються наступні методи кількісного оцінювання ризиків інвестиційних проектів: метод коригування норми дисконту, аналіз чутливості, метод сценаріїв, метод "дерева" рішень, імітаційне моделювання. Кількісна оцінка ризиків і факторів, які їх зумовлюють, може бути здійснена на основі аналізу варіабельності прибутку. До спеціальних методів оцінювання ризику відносяться: процедура оцінювання агрегованого ризику діяльності підприємства на основі даних фінансової звітності, методи оцінювання фінансово-інвестиційних ризиків.

Практична реалізація методики оцінки ризику.

Розглянемо реалізацію наведеної методики оцінки ризику на базі статистичного методу. IT-компанія розглядає інвестиції в проекти гейм-індустрії, аналізуючи бізнес-плани цих проектів. Альтернативні варіанти вкладень задано певними стратегіями. Стани зовнішньоекономічних умов (наприклад, соціально-економічний стан держави або соціально-економічні показники), які впливатимуть на показники ефективності кожної *i*-ї стратегії, мають певні ймовірності настання q_j $(i=\overline{1,m},\ j=\overline{1,n})$. Прибутки (виграші) a_{ij} за реалізації кожної стратегії A_i та ймовірності станів зовнішньоекономічних умов B_j наведено в таблиці 1 (в млн. гр. од.) $(i=\overline{1,m},\ j=\overline{1,n},\ m=6,\ n=5)$.

Використовуючи вище наведені формули обчислення абсолютних та відносних показників, отримуємо таблиці показників (табл. 2 – 4).

Таблиця 1 - Прибутки при реалізації стратегій за станом зовнішньоекономічних умов

A_i \ B_j	Прибуток за станом зовнішньоекономічних умов				
	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5
A_1	21	19	16	12	10
A_2	17	20	18	17	8
A_3	22	15	13	19	12
A_4	19	16	14	20	10
A_5	18	22	17	14	8
A_6	23	17	14	16	11
q_j	0,14	0,28	0,15	0,18	0,25

Авторська розробка.

Таблиця 2 - Абсолютні показники

M_i	D_i	σ_i	SV_i^+	SV_i^-	SSV_i^+	SSV_i^-	V_{zi}^+	V_{zi}^-	d_i	As_i	Ex_i	R_i
15,320	17,438	4,176	8,378	9,060	2,894	3,010	1,928	-1,928	3,855	-0,063	-1,661	11
15,740	21,332	4,619	6,356	14,977	2,521	3,870	1,935	-1,935	3,870	-0,933	-0,842	12
15,650	**12,168**	**3,488**	7,665	**4,502**	2,769	**2,122**	1,492	-1,492	2,984	**0,650**	-1,040	**10**
15,340	13,304	3,648	5,906	7,398	2,430	2,720	1,536	-1,536	3,072	-0,273	-1,295	**10**
15,750	27,448	5,239	**11,881**	15,567	**3,447**	3,945	**2,253**	-2,253	4,505	-0,327	-1,244	14
15,710	13,906	3,729	7,921	5,985	2,814	2,446	1,434	**-1,434**	**2,868**	0,539	**2,614**	12

Авторська розробка.

Таблиця 3 - Відносні показники

$V_{\sigma i}$	K_{Ri}	K_{Si}	V_{di}	K_{zi}	VAs_i	VEx_i	V_{Ri}
0,2726	1,0399	0,1965	0,2516	0,5000	0,0694	0,1737	0,7180
0,2934	1,5351	0,2459	0,2459	0,5000	0,1228	0,1170	0,7624
0,2229	**0,7664**	**0,1356**	0,1907	0,5000	**0,0387**	0,1304	**0,6390**
0,2378	1,1192	0,1773	0,2003	0,5000	0,0830	0,1496	0,6519
0,3326	1,1447	0,2505	0,2860	0,5000	0,0843	0,1425	0,8889
0,2374	0,8692	0,1557	**0,1826**	0,5000	0,0413	**0,0176**	0,7638

Авторська розробка.

Таблиця 4 - Інтервальна оцінка

$t_{0,99}$	S_i	Δ_i	$a_i^{\min}$	$a_i^{\max}$	R_i^v	K_{vi}	Тип ризику
4,6041	4,6687	9,6130	5,7070	24,9330	19,2259	0,3725	допустимий
4,6041	5,1639	10,6325	5,1075	26,3725	21,2649	0,3245	допустимий
4,6041	**3,8999**	**8,0300**	**7,6200**	23,6800	**16,0600**	**0,4869**	**допустимий**
4,6041	4,0781	8,3968	6,9432	23,7368	16,7935	0,4526	допустимий
4,6041	5,8574	12,0605	3,6895	**27,8105**	24,1210	0,2343	допустимий
4,6041	4,1692	8,5845	7,1255	24,2945	17,1690	0,4536	допустимий

Авторська розробка.

Значення $Z = M_i$. В таблицях 2 – 4 виділені значення показників, яким відповідають кращі стратегії. За математичним сподіванням трохи

ефективнішою є стратегія A_5. Що стосується ризику, то значно краща стратегія A_3, а потім A_6 і A_5. Інші стратегії – більш ризиковані. За другим методом визначення типу ризику за квадратичним коефіцієнтом варіації стратегії A_3, A_4, A_6 відповідають малому ризику, а стратегії A_1, A_2, A_5 – допустимому ризику; згідно лінійного коефіцієнта варіації стратегії A_2, A_3, A_4, A_6 відповідають малому ризику, а стратегії A_1, A_5 – допустимому ризику.

IT-компанії рекомендується робити інвестиції у третій проект.

Наведена методика оцінки ризиків ефективно була реалізована за допомогою табличного процесора MS Excel. Початковими даними є статистичні дані, які відповідають стратегіям інвестування, бізнес-плану тощо. Комп'ютерна реалізація наведеної методики дає можливість проводити кількісний аналіз ризику – обчислювати абсолютні та відносні показники ризику та якісний аналіз – отримувати інтервальну оцінку ефективності стратегії та тип ризику, який розраховується для більшої надійності за різними методами.

Висновки.

Були висвітлені задачі та методи аналізу ризику, наведені характеристика зон ризику та методи регулювання ступеня ризику при підприємницькій діяльності. Проведена систематизація системи показників кількісної оцінки підприємницьких ризиків на базі статистичного методу, які складаються з абсолютних та відносних величин варіації. Наведена методика побудови інтервальної оцінки ефективності кожної стратегії та визначення типу ризику кожної з них за різними методами.

Наведено приклад результатів роботи програми на MS Excel при оцінці ризику діяльності IT-компанії, яка розглядає інвестиції у проекти гейм-індустрії, реалізуючи бізнес-план цих проектів. За даними розрахунків показників *досліджено*: ефективність та ризикованість кожної стратегії на основі використання системи абсолютних та відносних статистичних показників варіації. Зроблена інтервальна оцінка ефективності кожної стратегії та визначено тип ризику кожної з них за різними методами. Робиться висновок про доцільність інвестування IT-компанії в дану стратегію (проект). Наведена методика та її комп'ютерна реалізація може бути адаптована, зокрема, під потреби митної служби та в інформаційних технологіях за рахунок вибору абсолютних та відносних показників або використання цих показників та методики багатокритеріального аналізу альтернатив, що дає можливість визначити ризики, які виникають у митній справі та інформаційних технологіях. Керуючись отриманими результатами, за вказаною методикою можливо оцінювати та керувати ризиками з метою прийняття ефективних управлінських рішень у різних сферах діяльності.

Жоден з абсолютних і відносних статистичних показників окремо не є тією об'єктивною вичерпною характеристикою, яка може свідчити про ризикованість рішення. Вони повинні використовуватись системно, оскільки взаємопов'язані та взаємодоповнюючі і враховувати конкретну специфіку задачі, важливість

статистичних показників, систему ризиків підприємства. Необхідна подальша розбудова концепції системи кількісних показників ступеня ризику, яка б давала змогу адекватно відобразити його багатогранність та неоднозначність, побудова та адекватне використання економіко-математичних методів і моделей ризику, створення програмних комплексів оцінювання, аналізу та управління ризиком для прийняття ефективних управлінських рішень у різних сферах соціально-економічної та інформаційно-технічної діяльності.

Література:

1. Савченко С. Сутність ризику як економічної категорії Електронний ресурс. Режим доступу: http://www.spilnota.net.ua/ua/article/id-3496. Дата звернення: 10.09.2022.

2. Музалевский А. Управление риском. – М.: РГГМУ, 2020. – 56 с.

3. Регин Ю., Бабушкин А. Рискология в 2-х чч. Ч. 1. – М.: ООО «Издательство ЮРАЙТ», 2020. – 255 с.

4. Эйвазов И. Методы анализа и оценки рисков предприятий малого и среднего бизнеса // «Вестник Московского университета им. С. Ю. Витте». – 2020. – № 3(34). – С.81-87.

5. Адаменко А. А., Петров Д. В., Маркелов В. В. Классификация факторов риска предпринимательской деятельности // ЕГИ. – 2020. – № 2 (28). – С. 10-15.

6. Артамонов Н. А., Кургинян Д. Г., Содиков А. Х. Анализ методов управления финансовым риском // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». – 2019. – № 2. – С. 330-334.

7. Гужин А. А., Ежкова В. Г. Риск-менеджмент и методы управления рисками // Инновации и инвестиции. – 2017. – № 2. – С. 185-189.

8. Киселева И. А. Риск-менеджмент в бизнесе // Проблемы современной науки и образования. – 2017. – № 13 (95). – С.62-65.

9. Методические основы анализа и оценки предпринимательских рисков, их учета и раскрытия информации в составе бухгалтерской отчетности: монография / И. А. Зуева, В. В. Гребеник, В. И. Корнейчук, А. С. Жидков. – М.: изд. «МУ им. С.Ю. Витте», 2018. – 214 с.

10. Наточеева Н. Н., Гуриева Л. К., Кузнецова В. И. Оценка финансовых рисков в организации // Научен вектор на Балканите. – 2020. – № 1 (7). – С. 92-97.

11. Сургаева В. Е. Оценка финансовых рисков коммерческой организации // Journal of Economy and Business. – 2020. – Vol. 5-3. – С. 211-215.

12. Малков С. Ю., Максимов А. А. О рисках информационного общества // Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности: труды 1-й Международной конференции (8-9 февраля 2018 г., Москва). – М.: ИПМ им. М. В. Келдыша, 2018. – С. 129-135.

13. Чорній В., Гринчук Д. Застосування ризик-менеджменту у конкурентоспроможності підприємства // Бізнес, інновації, менеджмент: проблеми та перспективи: Збірник тез доповідей ІІ Міжнародної науково-практичної конференції м. Київ, 22 квітня 2021 року. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – С.120-121.

Abstract. *Nowadays in the country and world, there is an extremely unstable economic situation with a high measure of vagueness through martial law and battle operating on the territory of Ukraine. Such a situation can gravely threaten its safety, that is why the role of the process of management risks is extremely important in such conditions. In the current article, the statistical method of analysis and estimation of risks of business processes is presented on IT- enterprises, as a management risks - one of the major tasks, a decision of that is a key moment in the successful functioning of managing subject. For any enterprise, it is important to estimate and analyse risks to their appearance. The sequence of actions in risk analysis and estimation of risks is presented in the paper. The methodology of applying of statistical method for the quantitative and qualitative analysis of risks of business processes is considered in the paper, as well as it is presented an example of the realization of methodology for IT-company.*

Keywords*: analysis of risks, minimization of risk, analysis of the business process, risk estimation, IT-companies.*

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-078
DOI: 10.30888/2663-5712.2023-18-01-078

УДК 332.02

WAYS TO REDUCE THE ENVIRONMENTAL RISKS OF THE BLACK SEA REGION IN CONDITIONS OF TURBULENCE

ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ПРИЧОРНОМОРСЬКОГО РЕГІОНУ В УМОВАХ ТУРБУЛЕНТНОСТІ

Pavlenko O.P. / Павленко О.П.
d.e.s., prof. / д.е.н., проф.
ORCID: 0000-0002-5493-5798
Rozmaryna A.L. / Розмарина А.Л.
c.e.s., assoc.prof. / к.е.н., доц.
ORCID: 0000-0001-6463-3841
Hou Bo / Хоу БО
ORCID: 0009-0001-9804-4145
Pavlenko A.V. / Павленко А.В.
ORCID: 0009-0005-3379-469X
Odessa State Environmental University, Odessa, Lvivska, 15, 65016
Одесский державний екологічний университет, Одесса, Львівська, 15, 65016

Анотація: *Тема зниження екологічних ризиків у Причорноморському регіоні в умовах турбулентності є дуже актуальною, оскільки екологічні проблеми стали одними з найважливіших питань сучасної глобальної агенди. Метою даної статті є дослідження теоретичних та практичних питань щодо шляхів зниження екологічних ризиків Причорноморського регіону в умовах турбулентності. У статті проаналізовано існуючі підходи до сутності поняття «турбулентність». Визначено основні причини екологічних ризиків та надано оцінку рівня екологічних ризиків у Причорноморському регіоні в умовах турбулентності. Розроблено практичні рекомендації щодо зменшення екологічних ризиків та підвищення сталості екологічної системи регіону.*

Ключові слова: *екологічні ризики, турбулентність, регіон, соціальні події, екологічна безпека, сталий розвиток, екологічне страхування.*

Вступ.

Причорноморський регіон є одним з найбільш забруднених територій в світі, тому тема зниження екологічних ризиків у Причорноморському регіоні в умовах турбулентності є вельми актуальною, оскільки екологічні проблеми стали одними з найважливіших питань сучасної глобальної агенди.

Отже дана стаття спрямована на вивчення екологічних ризиків в Причорноморському регіоні в умовах турбулентності та на пошук ефективних заходів для зменшення цих ризиків. Вона має на меті розкриття причин та наслідків екологічних проблем у регіоні, визначення можливих шляхів їх розв'язання та розробку ефективних екологічних політик та стратегій управління ризиками.

Дослідженню питань сталого розвитку присвятили свої праці такі науковці, як К. Бистряков, В. Голян, С. Дорогунцов, Л. Мельник, О. Павленко, М. Хвесик та ін. Особливості економічної турбулентності досліджено у наукових розробках І. Дем’янчука, К. Дорошкевича, М. Колісніка, М. Скрипник, О. Павлової та ін. Нині потребують удосконалення методологічні та прикладні питання щодо дослідження підвищення стійкості регіональних екологічних систем в умовах глобальної турбулентності.

Метою даної роботи є дослідження теоретичних і прикладних питань шляхів зниження екологічних ризиків Причорноморського регіону в умовах турбулентності, розроблення практичних рекомендацій для органів влади та громадськості, які допоможуть зменшити екологічні ризики та підвищити стійкість екологічної системи регіону.

У відповідності до встановленої мети основними задачами наукового дослідження були:

1. Аналіз літературних джерел та досліджень, які вивчають проблему екологічних ризиків в Причорноморському регіоні в умовах турбулентності.
2. Визначення основних причин екологічних ризиків у Причорноморському регіоні, які пов'язані з турбулентністю соціальних подій, таких як політична нестабільність, військовий стан, економічні кризи, природні катастрофи тощо.
3. Оцінка рівня екологічних ризиків у Причорноморському регіоні в умовах турбулентності, з урахуванням показників забруднення повітря, води та грунтів, стану екосистем регіону, а також потенційних ризиків, пов'язаних з військовими діями, транспортом, забудовою території тощо.
4. Вивчення практик зменшення екологічних ризиків в інших регіонах світу, які можуть бути застосовані у Причорноморському регіоні, з урахуванням його специфіки та особливостей.
5. Вивчення основних факторів, що впливають на збільшення екологічних ризиків в Причорноморському регіоні, таких як природні катаклізми, нестабільність економічної ситуації та соціально-політична ситуація, рівень забруднення довкілля тощо.
6. Визначення наслідків екологічних катастроф, що відбувалися в Причорноморському регіоні, та їх вплив на економіку, соціальну сферу та довкілля регіону.
7. Встановлення зв'язків між турбулентністю соціальних подій та екологічними ризиками в Причорноморському регіоні.
8. Розроблення рекомендацій для політиків, урядових органів, дослідників та громадськості з питань запобігання екологічним катастрофам та зменшення екологічних ризиків в Причорноморському регіоні в умовах турбулентності.

В якості основних методів дослідження використані: статистичний та економіко-екологічний аналіз, методи узагальнення, вибірки, формально-логічний, системно-структурного аналізу.

Об'єктом дослідження екологічних ризиків в умовах турбулентності є екологічна система Причорноморського регіону.

Предметом дослідження статті є вивчення впливу турбулентності на екологічні ризики в Причорноморському регіоні та шляхи їх зменшення.

Виклад основного матеріалу.

Турбулентність - це термін, що використовується для опису непередбачуваного та хаотичного руху рідини або газу. Це поняття може бути застосоване і до соціальних подій, де воно описує непередбачувані зміни в соціальному середовищі, які можуть бути спричинені різними факторами, такими як зміни в економіці, політиці, культурі, технологіях, демографії та інших соціальних факторах [1, 2].

Турбулентність соціальних подій може мати різні наслідки для суспільства, включаючи соціальні конфлікти, війни, зміну політичних режимів, економічні кризи, демографічні зміни та інші події. Водночас, турбулентність може також стимулювати розвиток та інновації, які можуть допомогти суспільству адаптуватися до змін.

Таким чином, поняття турбулентності соціальних подій може допомогти вивчати та розуміти процеси змін в суспільстві та їх наслідки. Воно може бути корисним для соціологів, політологів, економістів та інших науковців, що займаються вивченням соціальних процесів.

Турбулентність є характерною рисою Причорноморського регіону, через яку він піддається впливу багатьох екологічних чинників. Екологічні ризики в цьому регіоні можуть бути спричинені різними факторами, такими як забруднення повітря та води, втрата біорізноманіття, зміни клімату, надмірне використання ресурсів, незаконна забудова та інші антропогенні дії.

Крім того, турбулентність може бути пов’язана з політичною нестабільністю, економічною кризою, соціальними конфліктами, змінами в законодавстві, природними катастрофами та іншими факторами.

Аналіз літературних джерел та досліджень, що вивчають проблему екологічних ризиків в Причорноморському регіоні в умовах турбулентності, дає змогу зрозуміти, що ця проблема є важливою та актуальною.

Зокрема, у дослідженні «Системне управління еколого-орієнтованим розвитком нефінансового сектору економіки» автори дослідили вплив турбулентності на стан довкілля та визначили, що турбулентні процеси можуть призвести до посилення екологічних ризиків в регіоні, а також встановили зв'язок між забрудненням повітря та води та здоров'ям населення [3].

У роботах [4, 5] з'ясовано, що екологічні ризики можуть призвести до збільшення рівня захворюваності населення регіону та погіршення якості життя, а також досліджено вплив повеней, зсувів, землетрусів та інших природних катастроф на екосистеми та здоров'я населення.

Дослідження проведені організаціями, такими як Європейське агентство з охорони довкілля, показують, що Причорноморський регіон має високий рівень забруднення повітря та води, що призводить до погіршення якості життя людей та впливає на екосистеми регіону. Також, згідно з дослідженнями, рівень забруднення довкілля в регіоні погіршується через не систематичність контролю за забрудненням [6].

Отже, аналіз літературних джерел та досліджень показує, що проблема екологічних ризиків в Причорноморському регіоні вже тривалий час досліджується багатьма науковцями та потребує подальших досліджень з урахуванням сучасних реалій турбулентності середовища.

Дійсно, в умовах турбулентності в Причорноморському регіоні збільшуються екологічні ризики, які можуть мати серйозний вплив на природне середовище та здоров'я населення. Для того, щоб розібратися у причинах зростання екологічних ризиків, необхідно вивчити основні фактори, що на них впливають.

Основною причиною екологічних проблем у регіоні є людська діяльність,

така як промисловість, транспорт, туризм та інші види діяльності. При цьому турбулентність середовища, яка є характерною рисою Причорноморського регіону, може підвищувати ризики забруднення, ерозії та інших видів екологічних проблем.

Крім того, природні катаклізми, такі як землетруси, повені, урагани та інші стихійні лиха, також можуть призвести до значного забруднення довкілля та виникнення екологічних криз. Наприклад, під час повеней може відбуватися змивання шкідливих речовин з промислових підприємств та міських вулиць у річки та море, що призводить до забруднення водних ресурсів та загибелі риби та інших водних організмів.

У Причорноморському регіоні сталися декілька серйозних екологічних катастроф, наслідки яких відчуваються досі. Один з найбільш відомих прикладів - це катастрофа на Чорнобильській АЕС у 1986 році. Радіоактивні викиди забруднили значну частину Причорноморського регіону, що призвело до збільшення радіаційного рівня в довкіллі та харчових продуктах.

Іншим важливим прикладом є накопичення важких металів та інших шкідливих речовин у річках та морях, що призводить до забруднення водних ресурсів та впливає на здоров'я людей та тварин.

Екологічні катастрофи також мають серйозний вплив на економіку та соціальну сферу Причорноморського регіону. Наприклад, забруднення моря може призвести до зменшення рибного промислу, що є важливою галуззю для багатьох країн регіону. Крім того, екологічні катастрофи можуть мати негативний вплив на туризм та інші галузі економіки, які пов'язані з використанням довкілля.

Особлива загроза довкіллю Причорноморського регіону виникла з початку бойових дій на території України. За результатами оцінки фахівців, найбільшої шкоди, що завдано навколишньому природному середовищу, зазнали водні ресурси (39,9 млрд. грн.), коли внаслідок атаки ворожих дронів 16 жовтня 2022 року у Миколаєві було пошкоджено ємності ТОВ "ЕВЕРІ" з рослинною олією, яка забруднила акваторію Бузького лиману.

Значної шкоди, на суму 23,1 млрд. грн., завдано атмосферному повітрю. Найбільші з цієї суми: 5,7 млрд грн – шкода, завдана внаслідок пожеж на земельних ділянках об’єктів природно-заповідного фонду - Національного природного парку «Білобережжя Святослава» та Регіонального ландшафтного парку «Кінбурнська коса»; 9,9 млрд гривень – шкода завдана атмосферному повітрю внаслідок пожеж на землях Василівського та Кінбурнського лісництв [7].

Військові дії також перешкоджають екологічному моніторингу Чорного моря та Причорноморського регіону. Наслідки війни для прибережних і морських екосистем включають хімічне та акустичне забруднення, фізичне пошкодження природних оселищ, занепад природоохоронної діяльності, пошкодження та руйнування прибережних населених пунктів.

Загалом, наслідки екологічних катастроф в Причорноморському регіоні мають серйозний вплив на життя та добробут місцевого населення, економіку та довкілля регіону. Для запобігання подібним катастрофам необхідно проводити

належний моніторинг стану довкілля та вчасно реагувати на можливі загрози.

У світовій практиці одним з перспективних фінансових механізмів запобігання екологічним ризикам є страхування екологічних ризиків.

У США і ряді європейських країн страхування екологічних ризиків було введено в 1960-х роках. Це було зроблено на громадських засадах у рамках загального страхування відповідальності підприємств. Винятком стало страхування екологічно небезпечної транспортної діяльності та радіоактивних джерел забруднення, які були визначені як самостійне страхування [8].

В останні роки в європейських країнах удосконалюється правова основа екологічного страхування, встановлюються обов'язкові системи страхування екологічних ризиків і вводиться механізм спільної відповідальності за шкоду, заподіяну забрудненням природного середовища. У багатьох країнах існує тенденція переходу від страхування екологічних ризиків в рамках загального страхування відповідальності до покриття всіх ризиків забруднення тільки в рамках екологічного страхування.

У 2010 році через вибух плавучої бурової платформи Deepwater Horizon в Мексиканську затоку вилилося 800 млн л нафти. Збитки склали 54 млрд. долл., більшу частину яких компенсував страховик. І таких прикладів існує досить багато, тому екологічне страхування останнім часом набуває актуальності у світовому масштабі. Це зумовлено тим, що страхування екологічних ризиків є запорукою ефективного фінансового захисту від несприятливих наслідків аварійного забруднення навколишнього середовища, а також стимулює превентивні заходи, спрямовані на запобігання екологічних аварій та катастроф [9].

Що стосується України, то окремого Закону щодо екологічного страхування в Україні немає, але посилання на це поняття міститься у законах України «Про охорону навколишнього середовища», «Про страхування» та ін. У 2015 році був розроблений законопроект «Про обов'язкове страхування відповідальності суб'єктів господарювання, діяльність яких становить підвищену екологічну небезпеку», але він не був прийнятий.

У 2021 році на базі Комітету Верховної Ради України з питань екологічної політики та природокористування було створено робочу групу з питань запобігання і відшкодування екологічної шкоди, до складу якої були залучені представники органів державної влади, громадських організацій, міжнародні партнери Екологічного Комітету. До основних завдань групи належало: обґрунтування дієвих механізмів запобігання наслідкам екологічних збитків; встановлення вимог до видів і форм фінансових гарантів їх ліквідації; розроблення основних правових положень, щодо запровадження страхування екологічних ризиків [9].

У відповідності до рішення Ради національної безпеки і оборони України від 23 березня 2021 року «Про виклики і загрози національній безпеці України в екологічній сфері та першочергові заходи щодо їх нейтралізації», введеного в дію Указом Президента України від 23 березня 2021 року N 111/2021, серед першочергових завдань в екологічній сфері було визначено розробку проекту закону щодо екологічного страхування [10].

Згідно з розробленим проектом запроваджується обов'язковість страхування цивільної відповідальності за шкоду, заподіяну внаслідок порушення законодавства про охорону навколишнього природного середовища.

Проте у проекті акту відсутні положення, що стосуються зобов'язань України у сфері європейської інтеграції; прав та свобод, гарантованих Конвенцією про захист прав людини і основоположних свобод тощо. Проект акту було надіслано до Національного агентства з питань запобігання корупції для визначення необхідності проведення антикорупційної експертизи.

Отже певні кроки на шляху запровадження екологічного страхування в Україні відбуваються і це є запорукою того, що згодом цей механізм буде працювати. Екологічне страхування може стати важливим інструментом державної екологічної політики, що дозволить управляти екологічними ризиками з мінімумом необхідних витрат.

Висновки.

На основі проведеного аналізу літературних джерел та досліджень проблеми екологічних ризиків в Причорноморському регіоні в умовах турбулентності можуть бути запропоновані наступні рекомендації:

1. Проведення систематичного моніторингу стану довкілля та виявлення можливих екологічних ризиків, залучення громадськості та наукових установ до процесу моніторингу.
2. Розробка та реалізація ефективних механізмів реагування на екологічні катастрофи, включаючи плани евакуації населення, управління водними ресурсами, виконання екологічних нормативів та стандартів, страхування екологічних ризиків.
3. Забезпечення фінансової підтримки досліджень з питань екологічних ризиків та виконання екологічних стандартів.
4. Збільшення рівня свідомості населення щодо екологічних проблем та впровадження освітніх програм з питань екології в школах та вищих навчальних закладах.
5. Встановлення строгих правил і регуляцій для підприємств, які здійснюють діяльність в екологічно чутливих галузях, з метою зменшення викидів шкідливих речовин та забезпечення безпеки довкілля.
6. Запровадження системи страхування екологічних ризиків як ефективного фінансового та превентивного механізму з метою забезпечення сталого розвитку Причорноморського регіону.
7. Підвищення ефективності міжнародної співпраці з питань екологічної безпеки в Причорноморському регіоні, включаючи обмін досвідом та технологіями.

Таким чином, для забезпечення стійкості соціально-економічного розвитку регіону важливо забезпечити баланс між економічним розвитком та охороною довкілля з урахуванням турбулентності середовища. Необхідно розробити та впровадити програми та стратегії сталого розвитку, які б забезпечували економічний розвиток Причорноморського регіону при збереженні природних ресурсів та охороні довкілля.

Отже, продовження вивчення зв'язку між турбулентністю соціальних подій та екологічними ризиками допоможе зрозуміти більше про динаміку змін у регіоні та розробити ефективні стратегії зменшення ризиків з метою забезпечення стійкого розвитку регіону.

Література

1. Бурбан О.В., Кривов'язюк І.В. Вплив турбулентності зовнішнього середовища на прийняття інвестиційних рішень. Причорноморські економічні студії. 2018. Випуск 17. С.29-33

2. Євдоченко О.О. Турбулентність глобального економічного середовища: теоретичні аспекти і практичний прояв. URL: https://ir.kneu.edu.ua/bitstream/handle/2010/5535/112-119.pdf?sequence=1

3. Системне управління еколого-орієнтованим розвитком нефінансового сектору економіки: монографія / за заг. ред.. О.П. Павленко, А.Л. Розмарина. Миколаїв: ФОП Швець В.М.2022. 120 с.

4. Хилько М. І. Екологічна безпека України: навч. посібник. К., 2017. 267 с.

5. Основи стійкого розвитку: навч. посібник / за заг. ред. д.е.н., проф. Л.Г. Мельника. Суми: ВТД «Університетська книга», 2005. 654 с.

6. Європейське агентство з охорони довкілля. Офіційний сайт: https://www.eionet.europa.eu/gemet/uk/concept/2997

7. Екологічний бюлетень щодо війни в Україні. URL: http://surl.li/

8. Розмарина А.Л. Проблеми розвитку екологічного страхування // Вісник ОДЕКУ: Наук. Журнал. Вип.3. Одеса: Вид.»ТЕС», 2009. С.55-62.

9. Екологічне страхування: світовий досвід та перспективи в Україні. URL: http://surl.li/gmdsu

10. Указ Президента України від 23 березня 2021 року N 111/2021 «Про виклики і загрози національній безпеці України в екологічній сфері та першочергові заходи щодо їх нейтралізації». URL: https://www.president.gov.ua/documents/1112021-37505

Abstract.

Introduction. *The topic of reducing environmental risks in the Black Sea region in turbulent conditions is very relevant, as environmental problems have become one of the most important issues of our time. The purpose of this article is to research theoretical and practical issues regarding ways to reduce environmental risks in the Black Sea region in turbulent conditions. The object of research is the ecological system of the Black Sea region, and the subject of research is the impact of turbulence on environmental risks in this region.*

Presenting main material. *The essence of the concept of "turbulence" is analyzed. The main causes of environmental risks are identified. An assessment of the level of environmental risks in the Black Sea region in the conditions of turbulence is provided. Practical recommendations for reducing environmental risks and increasing the sustainability of the region's ecological system have been developed.*

Conclusions. *It is proposed to provide financial support for research on environmental risks and the implementation of environmental standards. The system of environmental risk insurance was introduced as an effective financial and preventive mechanism in order to ensure the sustainable development of the Black Sea region.*

Key words*: environmental risks, turbulence, region, social events, environmental safety, sustainable development, environmental insurance.*

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-014
DOI: 10.30888/2663-5712.2023-18-01-014

УДК 621.4: 629.113.01

REDUCING THE ERROR OF MEASURING FUEL CONSUMPTION OF A TRANSPORT ENGINE WITH A HEAT FLOWMETER

УМЕНЬШЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА ТРАНСПОРТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ТЕПЛОВЫМ РАСХОДОМЕРОМ

Ilchenko A.V. / Ільченко А.В.
c.t.s., as. prof / к.т.н., доц.
State University «Zhytomyr Polytechnic», Zhytomyr, Chudnivska, 103, 10005

Аннотация. *В работе предложено новое конструктивное решение теплового расходомера жидких топлив для двигателей внутреннего сгорания транспортных средств с расширенным диапазоном измерений расхода и уменьшенной погрешностью измерения. Оно заключается в использовании последовательно установленных на одной оси трубок с определенным соотношением диаметров. Для данного расходомера сформулировано условие выбора наиболее информативного осевого теплового потока топлива в трубке теплового расходомера: для анализа температур принимается трубка теплового расходомера, где зарегистрирована максимальная суммарная разница температур между всеми соседними термопреобразователями трубки.*

Ключевые слова: *транспортный двигатель, двигатель внутреннего сгорания, расход топлива, передача тепла, тепловой поток, тепловой расходомер, термопреобразователь, нагревательный элемент.*

Введение

Сегодня на транспорте в качестве основных (транспортных) двигателей еще широко используются двигатели внутреннего сгорания (ДВС). Расход топлива ДВС – это комплексный показатель технического состояния не только самого двигателя, но и всего транспортного средства. Можно утверждать, что его измерение является необходимой составляющей поддержания надлежащего технического состояния транспортного средства в процессе эксплуатации. Такие измерения необходимы для регистрации неисправностей в реальном времени и их можно считать неотъемлемой частью процесса общей диагностики транспортных средств.

Измерение расхода топлива необходимо не только для учета и также может быть использовано для планирования маршрутов движения транспортных средств, контроля их работы на маршруте, снижения себестоимости процесса перевозок и т.п.

Средства измерения расхода топлива, используемые на транспортных средствах сегодня, считать расходомерами можно только условно поскольку они дают относительную картину расхода топлива. Работа таких расходомеров основана на принципе отсчета времени открытого состояния форсунок (инжекторов) системы питания ДВС. Специалистов в эксплуатации больше интересует абсолютный расход топлива (за определенный период, на определенном маршруте, определенным водителем и т.п.). Абсолютный расход топлива может существенно отличаться от измеренного существующими средствами, например, вследствие засорения отверстий форсунок, появления на них нагара, отложений, снижения давления (производительности) в системе питания ДВС и т.п.

Поэтому наиболее перспективными для использования на транспорте считаются тепловые расходомеры, имеющие много преимуществ в сравнении с существующими. Основные из них: точность измерений не зависит от положения расходомера относительно продольной оси автомобиля и линии горизонта, на нее не влияют вибрации, ударные нагрузки, давление и пульсации топлива на входе в расходомер [1-3]. В качестве основного недостатка следует отметить, что тепловые расходомеры не всегда способны охватить весь возможный диапазон расхода топлива данным конкретным ДВС на всех скоростных и нагрузочных режимах его работы (имеют относительно узкий диапазон измерения расхода). Также обращает на себя внимание тот факт, что данные расходомеры имеют непостоянную погрешность измерения на разных скоростях потока топлива (разных режимах работы ДВС) и этот факт говорит о необходимости их усовершенствования [4, 5].

Цель работы.

Разработать конструкцию теплового расходомера жидких топлив для ДВС транспортных средств с расширенным диапазоном измерения расходов, что также позволит уменьшить погрешность их измерения.

Тепловой расходомер (рисунок 1) состоит из трубки 1, по которой протекает топливо, нагревательного элемента 2 и термопреобразователей 3. Трубка может иметь разные по величине наружный и внутренний диаметры (толщину стенки) и может быть изготовлена из разных материалов, что несомненно будет влиять на процесс отвода тепла от топлива, расход которого измеряется. Следует подчеркнуть, что трубка должна иметь пропускную способность (внутренний диаметр), обеспечивающую максимально возможный расход топлива конкретного ДВС на всех скоростных и нагрузочных режимах его работы. Также внутренний диаметр трубки не может быть меньше определенной величины, то есть иметь недостаточную пропускную способность. Толщина стенки трубки расходомера и ее материал должны обеспечивать необходимую прочность, то есть трубка должна выдерживать определенное давление в системе питания двигателя без разрушения и/или потери герметичности.

Рисунок 1 - Тепловой расходомер: ***1*** *- трубка;* ***2*** *- нагревательный элемент;* ***3*** *- термопреобразователи*

Авторская разработка

Нагревательный элемент 2 до определенной температуры подогревает топливо, движущееся в трубке с разными скоростями. Он может иметь разную геометрическую форму, но как правило симметричную относительно оси трубки 1. Если нагревательный элемент 2 изготавливается из проволоки, то он чаще имеет форму спирали, соосной с осью трубки. При этом нагревательный элемент 2 может иметь разные по величине наружные диаметры.

Нагревательный элемент 2 также может устанавливаться на наружную поверхность трубки 1, что меняет распределение температур в топливе и требует отдельных исследований. В предствленной работе рассматривается установка нагревательного элемента 2 в потоке топлива (внутри трубки 1 расходомера).

Термопреобразователи 3, расположенные вдоль оси трубки 1 расходомера, регистрируют температуры топлива вдоль оси трубки 1 на определенных расстояниях от нагревательного элемента 2, на основе распределения указанных температур рассчитывается скорость движения топлива и, соответственно, его объемный расход, мм^3/с:

$$Q = VS \tag{1}$$

где V - скорость потока топлива, мм/с;

S - площадь сечения трубки, мм^2.

Количество термопреобразователей 3, расстояние между ними и от нагревательного элемента 2 до первого термопреобразователя 3 зависит от диапазона скоростей топлива в трубке 1 расходомера. Этот диапазон может быть достаточно большим – от нуля в режиме принудительного холостого хода ДВС (двигатель не потребляет топлива) до максимальной скорости, соответствующей максимальному мгновенному расходу топлива данного конкретного ДВС. Из (1) нетрудно установить, что для мгновенного расхода топлива от 5 до 250 л/ч (0,05…0,25 м^3/ч) скорость движения топлива в трубках диаметрами 0,01…0,1 м будет составлять 6,37…3184,71 м/ч (1,769…884,6 мм/с).

Нетрудно сделать вывод, что при такой большой разнице скоростей процесс переноса тепла как в радиальном, так и в осевом направлениях в трубке 1 теплового расходомера будет существенно отличаться, что не всегда позволит с достаточной точностью определить скорость потока топлива (расход топлива) [6, 7]. Если, например, в процессе увеличения расхода (скорости топлива в трубке) будет для определенной скорости термопреобразователями зарегистрирована практически одинаковая температура (или мало отличающаяся от температуры, зарегистрированная одним и последующим термопреобразователями), это может означать, что скорость потока (расход) достигла значения, выше которой она не может быть определена. Таким образом, для уменьшения погрешности измерения расхода топлива на данном конкретном скоростном и нагрузочном режимах работы ДВС важна регистрация температур двух соседних термопреобразователей с большей разницей.

С учетом вышеприведенного считается необходимым в процессе измерения влиять на скорость потока топлива. Это можно сделать использованием другого диаметра трубки теплового расходомера. Относительно внутреннего диаметра трубки также существует ограничение – ее минимальная пропускная способность связана с максимально возможным расходом топлива данного

конкретного ДВС. Таким образом, тепловой расходомер (рисунок 1) имеет ограничение по диапазону измерения расхода топлива двигателем транспортного средства.

Для расширения диапазона измерения расхода топлив ДВС (уменьшение погрешности измерений) предлагается использование многоступенчатого расходомера (рисунок 2). Он состоит из нескольких трубок 1 разных диаметров, количество которых зависит от диапазона измеряемого расхода топлива. В данном случае рассматривается четыре последовательно установленных трубки 1. Трубки 1 соединены соосно конусами 2. Величина конусности выбирается таким образом, чтобы завихрение потока топлива на всех скоростях его протекания через все трубки 1 было минимальным или полностью исключалось. Данный факт также требует дополнительных исследований.

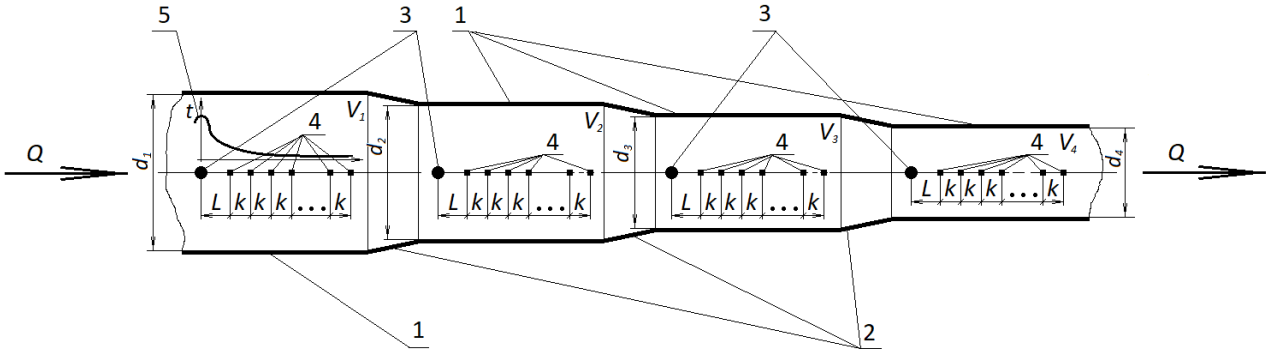


Рисунок 2 - Схема многоступенчатого теплового расходомера:
1 *- трубка;* ***2*** *- конус;* ***3*** *- нагревательный элемент;* ***4*** *- термопреобразователь;* ***5*** *- температура вдоль оси трубки, °С;* ***Q*** *- объемный расход топлива, мм³/с;* ***d_1–d_4*** *- диаметры трубок;* ***V_1-V_4*** *- скорости топлива вдоль осей трубок, мм/с;* ***L*** *- расстояние от нагревательного элемента до первого термопреобразователя, мм;* ***k*** *- расстояния между термопреобразователями, мм*

Авторская разработка

Наличие трубок 1 различных диаметров d_1-d_4 позволяет изменять скорость протекающего через трубки 1 топлива и влиять на интенсивность его нагревания в широком диапазоне скоростей (расходов), что создает большую регистрируемую разницу температур топлива в потоке между соседними термопреобразоателями 4.

Диаметры трубок d_1-d_4 выбирают на основе следующих соображений. Если принять во внимание закон непрерывности потока жидкости и принять, например, что $d_4=d_3/2=d_2/4=d_1/8$, не трудно установить, что скорость V_1 в четыре раза меньше скорости V_2, в 16 раз меньше скорости V_3 и в 64 раза меньше скорости V_4. При следующем соотношении диаметров $d_4=d_3/3=d_2/9=d_1/27$ скорость потока на выходе из расходомера увеличивается в 729 раз. Таким образом можно считать, что выбором количества трубок теплового расходомера и соотношением их диаметров можно охватить практически весь возможный диапазон расхода топлива транспортного ДВС любой мощности. Необходимо подчеркнуть, что количество трубок 1 и соотношения их диаметров должно быть

подобрано под каждый ДВС, а точнее – под максимально возможный его расход топлива, и дальнейшее расширение диапазона измерения расходов (выбором количества трубок и их диаметров) необходимо считать необоснованным, поскольку приведет к увеличению погрешности измерений расходов на некоторых режимах работы ДВС.

Также нетрудно прийти к выводу, если трубки теплового расходомера установлены последовательно с уменьшением диаметров, то отношение скоростей потока топлива в них V_4 к V_1 равно:

$$\frac{V_i}{V_{i+1}} = \left(\frac{d_{i+1}}{d_i}\right)^2 , \qquad (2)$$

где i – порядковый номер трубки теплового расходомера в направлении движения топлива.

По оси теплового расходомера установлены нагревательные элементы 3 (рисунок 2), на расстоянии L от которых расположен первый термопреобразователь 4. Расстояние от него до следующего термопреобразователя и между следующими равно k. Количество термопреобразователей выбирается таким образом, чтобы в процессе измерения расхода топлива Q можно было по их показаниям воспроизвести распределение температур 5 по оси каждой трубки 1. Очевидно, что для конкретного значения расхода топлива его скорость движения вдоль оси трубки (V_1, V_2, V_3, V_4) будет тем выше, чем больше расход топлива и/или меньший диаметр трубки (d_1, d_2, d_3, d_4).

С увеличением скорости потока топлива в трубке 1 расходомера разница в показаниях соседних термопреобразователей бедет уменьшаться и они будут регистрировать все более одинаковую температуру. После определенного значения скорости (быстрый теплоперенос) показания термопреобразователей 4 не будут существенно отличаться и они будут близки к температуре топлива возле нагревательного элемента 3. Уменьшение разности поканий между соседними термопреобразователями 4 повышает погрешность определения скорости топлива (расхода топлива). В таком случае необходимо уменьшить скорость топлива, что можно на данном расходе достичь применением трубок 1 большего диаметра. И наоборот, с уменьшением скорости движения топлива замедляется теплоперенос и термопреобразователи 4 могут не зарегистрировать повышение температуры потока. Это также приведет к увеличению погрешности измерения расхода топлива. В данном случае необходимо увеличить скорость топлива, что в предлагаемой конструкции расходомера наблюдается в трубках 1 меньшего диаметра. Таким образом, не только расширяется диапазон измерения расхода топлива, но и уменьшается погрешность измерения расхода жидких топлив тепловым расходомером.

Для получения распределения температур в потоке топлива максимальной информативности (с наибольшей разницей регистрируемой температури между соседними термопреобразователями 4), то есть для уменьшения погрешности измерения расхода топлив, нужно для анализа температур (и определения скоростей потока) брать именно ту трубку 1 расходомера, где это распределение

приближается к виду 5 (рисунок 2), то есть выполняется условие:

$$\sum_{y=1}^{x}(|t_y - t_{y+1}|) \rightarrow max, \quad (3)$$

где x - количество термопреобразователей в трубке 1 теплового расходомера;

t - температура, зарегистрированная термопреобразователем;

y - порядковый номер термопреобразователя в потоке топлива, y=1…x-1.

В (3) используется знак модуля поскольку расход топлива ДВС транспортного средства на разных режимах может изменяться как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения, а для дальнейшего анализа распределения температур необходимо учитывать трубку с максимальной разницей измеренных температур между всеми соседними термопреобразователями в трубке.

При этом необходима проверка потока топлива в трубках на турбулентность, наличие которой будет способствовать выравниванию температурного поля. Это в основном зависит от скорости потока и наявности в конструкции расходомера елементов, способствующих завихрению потока топлива. Такая турбулентность может быть непостоянной на разных скоростях движения (расхода) топлива и вносить непостоянную погрешность в процесс измерения температур (скоростей потока).

Выводы.

Предложена конструкция многоступенчатого теплового расходомера жидких топлив для ДВС транспортных средств с расширенным диапазоном измерения расхода и уменьшенной погрешностью измерения. Она предполагает использовать последовательно соосно установленные трубки расходомера с определенным соотношением диаметров. Выбор количества трубок и их диаметров позволяет изменять скорость потока топлива через расходомер для одного и того же расхода. При этом нагревательные элементы трубок обеспечивают предварительно выбираемую начальную температуру топлива, зависящую от предполагаемых величин расходов.

Сформулировано условие выбора наиболее информативного осевого теплового потока топлива в трубках многоступенчатого теплового расходомера: для анализа температур (скоростей, расхода) принимается та трубка теплового расходомера, где зарегистрирована максимальная суммарная разница температур, измеренная между всеми соседними термопреобразователями трубки.

Литература:

1. Korobiichuk I., Ilchenko A. Optimal Design Parameters of Thermal Flowmeter for Fuel Flow Measurement. Sensors 2022, 22, 8882., 2022. https://doi.org/10.3390/s22228882.

2. Korobiichuk, I. Calorimetric flow meter of motor fuel with inlet temperature regulation Korobiichuk, I., Bezvesilna, O., Ilchenko, A., ...Nowicki, M., Szewczyk, R. 2017 4th International Conference on Control, Decision and Information Technologies, CoDIT 2017, 2017, 2017-January, p. 975–979.

3. Korobiichuk, I. Thermoanemometric flowmeter of biofuels for motor transport / Korobiichuk, I., Bezvesilna, O., Ilchenko, A., Trostenyuk, Y. // Advances in

Intelligent Systems and Computing, 2017, 519, p. 443–448.

4. Bezvesilna, O. Heat transfer in the thermo-anemometric flowmeter for biofuels / Bezvesilna, O., Kamiński, M., Ilchenko, A. // Advances in Intelligent Systems and Computing, 2017, 550, p. 505–511.

5. Безвесільна О.М. Методи вимірювання витрат рідини та конструкції витратомірів / О.М. Безвесільна, А.В. Ільченко, А.Г. Ткачук, С.О. Пархоменко // Вісник Інженерної академії України, 2013, Випуск 3-4, - с. 216-222.

6. Ільченко, А.В. Зміна радіального теплового потоку термоанемометричного витратоміра біопалив двигуна внутрішнього згорання [Текст] / А. В. Ільченко, О. М. Безвесільна, Ю. В. Тростенюк // Вісник НТУ. – 2013. – № 28. – с. 186-191.

7. Korobiichuk, I. A mathematical model of the thermo-anemometric flowmeter / Korobiichuk, I., Bezvesilna, O., Ilchenko, A., ...Nowicki, M., Szewczyk, R. // Sensors (Switzerland), 2015, 15(9), p. 22899–22913.

Abstract. *The paper proposes a new design solution for a thermal flowmeter for liquid fuels for internal combustion engines of vehicles with an extended range of flow measurements and a reduced measurement error. It consists in the use of tubes installed in series on the same axis with a certain ratio of diameters. For this flowmeter, the condition for choosing the most informative axial heat flow of fuel in the tube of the heat flowmeter is formulated: for temperature analysis, the tube of the heat flowmeter is taken, where the maximum total temperature difference between all adjacent thermal converters of the tube is recorded.*

Key words: *transport engine, internal combustion engine, fuel consumption, heat transfer, heat flow, heat flow meter, heat converter, heating element.*

Статтю відправлено: 20.03.2023 р.

© Ільченко А.В.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-031
DOI: 10.30888/2663-5712.2023-18-01-031

УДК 656.078.1

FORECASTING OF OPERATIONAL OF AUTO ROADS CHARACTERISTICS

ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Yareshchenko N.V. / Ярещенко Н.В.
c.t.c., as.prof. / к.т.н., доц.
ORCID: 0000-0002-0778-1474
Kharkiv National Automobile Road University,
Kharkiv, Yaroslava Mudrogo 25, 61002
Харківський національний автомобільно дорожній університет,
Харків, Ярослава Мудрого 25, 61002

Анотація. *В роботі розглядаються проблеми та прогнози щодо розвитку транспортної системи України з точки зору націленості України на міжнародне співтовариство та інтеграцію до Європейської спільноти. Найважливішою метою проектування автомобільних доріг є обґрунтування розрахункових характеристик: інтенсивності, швидкості руху та навантажень на дорожній одяг. Запропонована модель прогнозування розрахункових характеристик, модель розвитку транспортної системи на організаційному рівні дозволить використовувати інформаційну мову моделювання.*

Ключові слова: *транспортна система, прогнозування, автомобільна дорога, математична модель, еволюція, автомобіль.*

Вступ.

Найважливішою метою проектування автомобільних доріг є обґрунтування розрахункових характеристик: інтенсивності, швидкості руху та навантажень на дорожній одяг. Помилки в призначенні цих характеристик залишаються на десятиріччя, викликаючи неусуненні втрати автомобільного транспорту.

На протязі декількох десятиріч науковці і практичні працівники займалися питаннями визначення перспективного обсягу вантажоперевезень та інтенсивності дорожнього руху.

Запропоновані різними авторами прямі методи прогнозування розрахункових характеристик ґрунтуються на схемі екстраполяції, котра включає вивчення рядів у часі, створених з упорядкованих у часі наборів змін розрахункових характеристик.

Характеристики транспортної системи безперервно змінюються. Тому зі збільшенням періоду упорядження прогнозу різко падає його надійність. Внаслідок цього існуючи методи стають практично непридатними і стає потреба в розробці моделей довгострокового прогнозування розрахункових характеристик транспортної системи.

Основний текст

В практиці прогнозування експлуатаційних характеристик автомобільних доріг широко використовуються екстраполяційні, системно-структурні та асоціативні методи.

До групи екстраполяційних методів входять методи найменших квадратів, експоненційного згладжування, імовірнісного моделювання та адаптивного згладжування. До групи системно-структурних методів відносяться методи

функціонально - ієрархічного моделювання, матричний метод, мережевого моделювання. Асоціативні методи включають методи імітаційного моделювання

Основним інструментом усіх методів прогнозування є схема екстраполяції, яка включає вивчення тимчасових рядів, складених із упорядкованих в часі наборів вимірювань експлуатаційних характеристик. Стосовно до прогнозування, наприклад, швидкостей руху тимчасовий ряд може бути представлений в такому вигляді:

$$V_t = x_t \pm e_t, \tag{1.1}$$

де V_t – швидкість руху;

x_t - детермінована невипадкова компонента процесу (тренд);

e_t- стохастична випадкова компонента процесу.

В практиці прогнозування в якості моделі тренда використовують лінійну, квадратичну, ступеневу, показну, експоненційну, логістичну функції, кубічні сплайни і т.і. Вибір функції в кожному конкретному випадку здійснюється по ряду критеріїв, наприклад по дісперсії, кореляційному співвідношенню та інше. Оцінка постійних коефіцієнтів моделі здійснюється по методу найменших квадратів. В результаті виходить жорстко фіксована модель тренда, яка не дозволяє получати надійний прогноз на великий період попередження.

Тому дані моделі використовуються головним чином для короткострокового прогнозування на конкретних дорогах чи в конкретних умовах.

Прикладом таких моделей можуть бути моделі Бареля, який аналізував ступень кореляції часу зі швидкостями переможців у гонках “Індіана поліс 500”. Для опису зв’язку швидкості з часом Барель використовує напів логарифмічну функцію.

Аналогічна модель Фелнера В., який використовував для опису ті ж зв’язки подвійної логарифмічної моделі.

До числа екстраполяційних можна віднести і модель Д.Пуарьє, який запропонував для опису тих же процесів використовувати кубічні сплайни у формі

$$V_i = S(n) + \varepsilon_i, \tag{1.2}$$

де ε_i - незалежні та нормально розподілені члени обурення з нульовим математичним очікуванням і постійною дисперсією;

n - номер року, в якому проходили гонки, рівний календарному року мінус 1910 рік;

$$S(n)=\begin{cases} 74{,}09 + 1{,}994n - 0{,}05058n^2 + 0{,}001204n^3, & 1 \le n \le 7{,}5 \\ 74{,}41 + 1{,}867n - 0{,}03356n^2 + 0{,}0004480n^3, & 7{,}5 \le n \le 33{,}5 \\ 86.03 + 0{,}8260n - 0{,}002501n^2 + 0{,}0001389n^3, & 33{,}5 \le n \le 61 \end{cases} \tag{1.3}$$

Варто зауважити, що екстраполяція в принципі придатна для процесів, які мають високу ступень інерційності, для високо агрегатованих показників. Швидкість руху не є таким показником, що може призвести до великих похибок.

Тому використання метода екстраполяції для прогнозування швидкостей руху не отримало широкого поширення.

Складності з аналізом причин зміни швидкостей руху змусили дослідників використовувати математичні методи прогнозування.

Пошук факторів, які впливають на швидкість руху, дозволили встановити, що найважливішим з них є інтенсивність руху. Тому перші математичні моделі - це однофакторні регресійні моделі зв'язку швидкості з інтенсивністю руху [1].

$$\overline{V} = tV_в - k_a aN, \quad (1.4)$$

де $\overline{V}$ - середня швидкість руху транспортного потоку;

$V_в$ - швидкість вільного руху в еталонних умовах;

N - інтенсивність руху;

τ - коефіцієнт впливу елементів дороги;

α - коефіцієнт впливу складу потоку;

k_a- коефіцієнт впливу розмітки, кривих у плані, поздовжніх уклонів та інтенсивності руху.

Аналогічна модель І.А.Романенко, який запропонував для визначення суспільно необхідну швидкість руху.

$$V_{сн} = 5N^{0,294},` \quad (1.5)$$

де $V_{сн}$ - суспільно необхідна швидкість.

І.А.Романенко припускав, що середня швидкість розрахункового автомобіля в сучасних дорожніх умовах може змінюватися в межах від 5 до 150 км/год. Ці межі і обумовили граничні величини вихідних даних для розрахунку необхідної швидкості сполучення. Іншими словами, надана формула справедлива лише для умов, де середня конструктивна швидкість руху автомобілів не перевищує 150 км/год. Зі зміною цих швидкостей формула (1.5) буде непридатною.

Використання формул (1.4) та (1.5) для прогнозування швидкостей руху потребує попереднього знаходження прогнозних оцінок інтенсивності руху. Тому спочатку прогнозується інтенсивність руху (наприклад, методом екстраполяції), а потім знаходиться прогнозна оцінка швидкості при прогнозній оцінці інтенсивності руху.

З урахуванням залежностей, виявлених у ході дослідження, прогнозування розподілу "пікових" періодів в умовах високої інтенсивності дорожнього руху була розроблена субмодель UTPS ROAD, яка дозволяла прогнозувати для кожної ланки дорожньо - вуличної мережі пікову інтенсивність руху.

Подальші дослідження призвели до побудови багатофакторних регресійних моделей, які враховують вплив не тільки інтенсивності руху, а й всю різноманітність факторів, які формують дорожні умови. Однак, метод прогнозування швидкостей руху залишився незмінним. Спочатку прогнозувалася інтенсивність руху, а потім для цієї інтенсивності розраховувалася швидкість на основі рівнянь багатофакторної регресії.

Прикладом багатофакторних регресійних моделей є моделі І.С.Садикова , А.В.Кацаі, Д.І.Раснянського.

$$\overline{V} = \log K + 3,16B - 0,21i - 0,023N - 0,13p - 71, \quad (1.6)$$

де $\overline{V}$ - середня швидкість руху, км/год;

K - кількість деформацій дорожнього покриття, %;

B - ширина проїзної частини, м;

i – повздовжній ухил, %;

N - інтенсивність руху, авт/год;

p - відсоток легкових автомобілів.

Аналогічна модель була отримана у США [2]

$$\overline{V} = 39{,}34 + 0{,}0267x_1 + 0{,}1396x_2 + 0{,}8125x_3 + 0{,}1126x_4 + 0{,}0007x_5 + 0{,}6444x_6 - 0{,}5451x_7 - 0{,}0082x_8, \quad (1.7)$$

де $\overline{V}$ - середня швидкість, миль/г;

x_1 - кількість автомобілів інших штатів, %;

x_2 - кількість вантажних автомобілів з причепом, %;

x_3 - кривизна траси, градуси;

x_4 - ухил, %;

x_5 – мінімальна відстань, видимості;

x_6 - ширина проїзної частини, фути;

x_7 - кількість пунктів обслуговування на одну милю;

x_8 - сумарна інтенсивність руху, авт/год.

Використання багатофакторної моделі дозволило аналітично оцінити потреби забезпечення в перевезенні по магістральним та по місцевим дорогам. При цьому планування дорожніх робіт виконується на основі даних як короткострокових, так і перспективних планів економічного розвитку.

Подальше вдосконалення регресійних моделей відбувалося з урахуванням погодно-кліматичних факторів. Так, одна з перших регресивних моделей, яка ураховує погодно-кліматичні фактори, надана у вигляді:

$$\overline{V}_i = b_0 + \sum_{i=1}^{9} b_i x_i, \quad (1.8)$$

де $\overline{V}_i$ - середня швидкість руху i-того автомобіля;

b_0 - постійна;

$b_1,..., b_9$ - множники факторів;

x_1 - інтенсивність руху, авт/год;

x_2 - доля легкових автомобілів у потоці, % ;

x_3 - індекс погодно-кліматичних умов;

x_4 - доля автомобілів, які їдуть у колоні, % ;

x_5 - сумарна кривизна дороги;

x_6 - доля ділянок з видимістю зустрічного автомобіля < 460 м, % ;

x_7 - мінімальна довжина видимості на ділянці, м;

x_8 - доля довжини траси в населених пунктах, % ;

x_9 - кількість перехресть.

В подальшому дослідженні В.А.Суспіцина, А.П.Васильєва, В.П.Раснікова та інших дозволили повернутися до однофакторної регресійної моделі зв'язку швидкості з інтенсивністю руху у формі

$$V = k_{сг} V_р - 3\sigma_v - \beta\gamma N, \quad (1.9)$$

де $k_{сг}$ - середньо сезонний коефіцієнт забезпеченості розрахункової швидкості,

який ураховує тривалість дій і наслідки метеорологічних явищ та їх поєднань на стан поверхні дороги і режим руху транспортного потоку;

V_p - розрахункова швидкість руху;

σ_v - середньоквадратичне відхилення швидкості вільного транспортного потоку;

β - доля вантажних автомобілів в транспортному потоці, долі од.;

γ - коефіцієнт впливу інтенсивності руху

Коефіцієнт впливу погодно-кліматичних умов розраховується по формулі

$$k_{сг} = \int_X k_{рс}(x) A_т P(x) dx, \quad (1.10)$$

де $k_{рс}(x)$ - приватні коефіцієнти забезпечення розрахункової швидкості при дії різних метеорологічних факторів x_i;

$A_т$- лінійний оператор тривалості дії та наслідків (T) метеорологічних факторів, дорівнює

$$T = t_1 + t_2,$$

де t_1 – тривалість дії;

t_2– тривалість наслідків;

$P(x)$ - ймовірність дії фактора.

В однофакторних та багатофакторних регресійних моделях прогноз інтенсивності руху здійснюється за допомогою екстраполяційних моделей.

При цьому для короткострокового прогнозування використовуються три моделі:

- при прогнозуванні до 5 років

$$N_t = N_0(1+Pt), \quad (1.11)$$

де N_0 - річна середньодобова інтенсивність руху за початковий рік, яка визначається за даними обліку руху, авт/доб.;

P - середні темпи росту інтенсивності руху за останні 10-15 років;

t - порядковий номер розрахункового року;

- при прогнозуванні на термін більш 3 років

$$N_t = N_0 (1 + P/100)^{n-1}, \quad (1.12)$$

де n - число років, на які прогнозується інтенсивність;

- при прогнозуванні до 5 років

$$N_t = N_0 q^{n-1}, \quad (1.13)$$

де q - коефіцієнт щорічного росту інтенсивності руху, який визначається за даними обліку її за останні 10 - 15 років

При середньостроковому прогнозуванні до 15 років використовується екстраполяційна модель виду

$$N_t = at^2/(b+t^2), \quad (1.14)$$

де a, b - коефіцієнти, встановлювані по даним обліку інтенсивності за останні 10 - 15 років;

t - порядковий номер року, на який прогнозують N_t.

При довгостроковому прогнозуванні > 15 років використовуються:

- екстраполяційна модель виду (1.12) з перевіркою по рівнянню (1.14);
- метод експертних оцінок;
- методи, які засновані на аналізі вантажних та пасажирських перевозок у

районі пролягання дороги.

Найменш надійним є довгостроковий прогноз, що зв'язано з кількома причинами.

По-перше, моделі типа (1.14) мають жорстку задану структуру. Характер моделі в довгострокових відрізках часу може змінюватися.

По-друге, в регресійних моделях недостатньо ураховуються особисті тенденції розвитку фактора-функції факторів-аргументів.

По - третє, в цих моделях передбачається рівноцінність вихідної інформації, початкових значень інтенсивності рухуN_0.

В реальній же практиці поведінка процесу в більшій ступені визначається пізніми спостереженнями (дисконтування при визначенні коефіцієнтів моделі). Під дисконтуванням розуміють зменшення цінності більш ранньої інформації.

В випадку визначення коефіцієнтів моделі по методу найменших квадратів дисконтування здійснюється шляхом введення деяких вагових коефіцієнтів $b_i < 1$ в модель тренда. Постійні коефіцієнти моделі (її параметри) визначаються з умови

$$S = \sum_{i=1}^{n} \beta_i (y_i - y_i)^2 \rightarrow \min \qquad (1.15)$$

Вагові коефіцієнти b_i задаються раніше в числовій формі чи в виді функціональної залежності. Ця залежність вибирається дослідником довільно.

В випадку вирівнювання даних які спостерігаються по методу ковзної середньої передбачається, що вага спостережень по глибині минулого зменшується відповідно до експоненти.

Зважування схожої інформації дає позитивні результати при середньострокових прогнозах. Для довгострокових прогнозів цього виявляється недостатньо.

Прогнозування швидкостей руху, засновано на розробці математичних моделей руху окремих автомобілів і транспортного потоку (Безбородова Г.Б., Гаврилов Е.В., Гредескул А.Б., Ренте А., Сильянов В.В., Філіпов В.В. є недостатнім для довгострокового прогнозування. Дані моделі є моделями функціонування, а не розвитку транспортної системи.

Підвищити точність довгострокових прогнозів можливо, якщо використовувати так звані функції з гнучкою структурою, форма якої може змінюватися і автоматично пристосовуватися до досліджуваного процесу. Функція з гнучкою структурою вказує не тільки залежність одного фактора від другого, а й особисту тенденцію розвитку кожного фактора. Функція з гнучкою структурою була запропонована Н.К.Куликовим і має вигляд

$$F(x) = A_0 + \sum_{j=1}^{n} a_j \delta_j (x - x_0)/D, \qquad (1.16)$$

де n - деякі фіксовані натуральні числа;

x_0 - початкове значення фактора-аргументу на розглянутому інтервалі часу;

$A_0, A_1, \ldots, A_n$ - постійні дійсні параметри;

D - визначник Ван-дер-Мора k-го порядку;

$\delta_j(x-x_0)$ - функція, яка отримана із визначника шляхом заміни строки j на

відповідні функції.

$$\varphi(x_1\text{-}x_0) = [\exp r_v(x\text{-}x_0) - 1]/r_v,\ v = 1,2, \dots ,n. \quad (1.17)$$

Вихід із цієї ситуації був запропонований А.А.Френкелем. В його роботі був розглянутий метод розкладання головної тенденції показника, що досліджується на його складники, які зв'язані зі зміною впливу в часі визначальних факторів. Основний сенс його методики зводиться до наступного. Передбачається,що вплив основних факторів на досліджуваний показник не залишається постійним у часі, а якимось чином змінюється. Таким чином, задача зводиться до визначення значень, які змінюються коефіцієнтів регресії багатофакторної моделі, тож замість статичної залежності $V = f(x_i)$ пропонується знайти динамічну модель.

$$V_t = f[a_0(t), a_1(t), \dots , x_1(t), x_2(t), \dots]. \quad (1.18)$$

Найбільш продуктивним виявився так званий метод еволюційно-ймовірнісного прогнозування, запропонований Е.В.Гавриловим. Згідно з цим методом формується ймовірнісна модель еволюції системи людина - технічний засіб - дорожнє середовище. Потім на основі цієї моделі оцінюються не показники стану компонентів системи, а ймовірності переходів стану компонентів із фактичного стану в заданий.

При достатній кількості інформації ймовірнісна модель дає надійний довгостроковий прогноз. Крім цього, ця модель відрізняється простотою та наочністю [3].

$$\delta m(d^2x_i/dt^2) = P_{ei} + \lambda_i\gamma_i(V_i - V_{ні}), \quad (1.19)$$

де $V_{ні}$ - норма швидкості руху для i-того мотиву діяльності людини;

γ_i - жорсткість цільової установки людини на рух зі швидкістю $V_{ні}$.

Висновки.

На основі аналізу історії розвитку автомобільного транспорту описано існуючи методи прогнозування експлуатаційних характеристик. Основне місце займають екстраполяційні. У практиці прогнозування як моделі тренду використовують лінійну, квадратичну, ступеневу, показникову, екпоненційну, логічну функцію та кубічні сплайни. Прикладами таких моделей можуть бути моделі У.Барзеля, В.Фелнера, Д.Пуарьє. Дані моделі мають жорстко фіксовані тренди, не дозволяють аналізувати причини зміни швидкостей руху, мають низьку надійність прогнозу зі збільшенням періоду упередження.

Дані моделі є моделями функціювання,а не розвитку транспортної системи і тому не можуть використовуватися для довгострокового прогнозування. Запропонована модель прогнозування розрахункових характеристик, модель розвитку системи "людина - автомобіль - середовище руху" на організаційному рівні дозволить використовувати інформаційну мову моделювання.

Література:

1. Тридід О.М. , Азаренкова Г.М., Мішина С.В., Борисенко І.І. Логістика. Навч. посіб. — К.: Знання, 2008. — 566 с.

2. Ukrlogist. [Електронний ресурс]: Проблемы транспортной логистики: Практический опыт украинских предприятий / Савченко Л. — Режим доступу: http://www.ukrlogist.com/article/transport-i-jekspedirovanie/452.

3. Ярещенко Н.В. Еволюція конструктивних швидкостей автомобілів. Вестник. ХГАДТУ. Сб. научных трудов. В. 15-16. Харьков 2001, с. 18-21.

Abstract. *In the article determines the problems and projections concerning the development of transport logistics from the point of view of Ukraine's aim to international collaboration and integration into the European community. The article describes the necessity of the prognosis and mathematical model of system "man-automobile-outer world" evolution is suggested.*

This article suggests to model the evolution system at the organizational stage that allows to use the language the models. For give a qualitative estimation of system "man-automobile-outer world" when they are "closed" it is offered to use the law of preservation of entropy.

The work describes the prognostication of social necessary velocity of the system "man-automobile-outer world".

Key words: *transport system, forecasting, highways, mathematical model, evolution, automobile.*

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-035
DOI: 10.30888/2663-5712.2023-18-01-035

УДК 625.768.5

AUTOMATION OF THE ROAD MARKINGS DETECTION PROCESS

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИЯВЛЕННЯ ДОРОЖНЬОЇ РОЗМІТКИ

Smolianiuk R.V. / Смолянюк Р.В.
k.t .s ., as.prof. / к.т.н., доц.
ORCID: 0000-0001-7087-7834
Smolianiuk N.V. / Смолянюк Н.В.
k.t .s ., as.prof. / к.т.н., доц.
ORCID: 0000-0003-4254-8990
Kharkiv National Automobile and Highway University,
Kharkiv, Yaroslava Mudrogo St. 25, 61002
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
Харків, Ярослава Мудрого, 25, 61002

Анотація. *Відео діагностика автомобільних доріг набуває все більшої популярності у всьому світі. Зображення покриття дороги, дорожніх знаків, елементів облаштування автомобільної дороги, отримані з пересувних діагностичних лабораторій дозволяють отримувати актуальну інформацію, необхідну для управління станом автомобільних доріг. Сучасний рівень комп'ютерних технологій дозволяє оперувати великими об'ємами даних, створювати бази даних, що містять зображення всіх елементів автомобільної дороги. Але до цього часу обробка зображень поверхні дороги для виявлення дефектів і пошкоджень покриття, а також дорожньої розмітки, потребує значної людської праці. В роботі розглянуть можливий шлях для автоматизації процесу пошуку дорожньої розмітки на зображеннях поверхні дороги, отриманих ходовими дорожніми лабораторіями.*

Ключові слова: *відео діагностика, обробка зображення, ходові лабораторії, дорожня розмітка.*

Вступ.

На сьогодні, як і багато років тому, одними з основних засобів організації дорожнього руху залишається дорожня розмітка. Вона істотно підвищує безпеку дорожнього руху. В сучасному світі дорожня розмітка грає ще більшу роль через те, що електронні асистенти та автомобільні автопілоти використовують дорожню розмітку для орієнтації в просторі. В деяких таких системах дорожня розмітка є основним елементом, і за її відсутності або низької якості системи не працюють взагалі. Оскільки розмітка розташовується безпосередньо на проїзній частині, вона постійно піддається впливу руху автомобілів і кліматичних факторів. В умовах інтенсивного дорожнього руху фарба, що використовується для дорожньої розмітки, зношується за 3-6 місяців, сучасні полімерні матеріали – за кілька років. Тому питання контролю наявності і якості дорожньої розмітки набуває ще більшої актуальності. Оскільки мережа автомобільних доріг є значною і постійно збільшується, основним інструментом для контролю дорожньої розмітки є пересувні дорожні лабораторії.

Огляд технологій отримання зображення

Пересувні дорожні лабораторії пройшли значний шлях від простих аналогових камер, що встановлюються на даху автомобіля до складних систем, що використовують промислові камери високої розподільчої здатності із спеціальними об'єктивами, засоби реєстрації пройденого шляху, системи позиціонування GPS і ряд інших систем. Перші системи (рисунок 1) уявляли

собою одну або декілька аналогових камер під управлінням портативного комп'ютера.

Рисунок 1 - Система відео діагностики фірми «ROMDAS»

Джерело: [1]

Отриманий запис використовувався для оцінки стану покриття, при чому різні ділянки дороги могли одночасно продивлятися декілька експертів, що суттєво збільшувало обсяг обстеження. Перші портативні камери та відеомагнітофони коштували досить дорого, тому не набули широкого розповсюдження, до того ж їхня розподільна здатність була досить низькою, що погіршувало якість отримуваних даних. З розвитком перш за все технічних засобів ситуація дещо змінилася. Сьогодні існує можливість використовувати відеокамери високої розподільчої здатності, цифрові камери, що суттєво змінило сам підхід до відео діагностики. Практично всі сучасні пересувні лабораторії для діагностики стану автомобільних доріг мають в своєму складі відео системи (рисунок 2).

Рисунок 2 - Пересувна лабораторія фірми «Dynatest»

Джерело: [2]

У ХНАДУ була розроблена власна система відео діагностики автомобільних доріг (рисунок 3).

Рисунок 3 - Пересувні лабораторії розробки ХНАДУ з системами відео діагностики

Авторська розробка

Остання модифікація системи «ОКО-2» отримала сучасну лінійну промислову камеру Basler racer raL4096-24gm виробництва фірми «Basler», здатну працювати із швидкістю 26 кГц. Такі характеристики дозволяють ходовій лабораторії рухатися фактично зі швидкістю транспортного потоку, не створюючи перешкод.

Головним недоліком «ОКО-2», як і більшості аналогічних систем, є велика кількість людської праці під час обробки отриманих зображень. Питання автоматичної ідентифікації об’єктів, які розташовуються на покриті дороги (дорожня розмітка, дефекти покриття, каналізаційні ліки і ін.) досі однозначно не вирішено, і кожен виробник розробляє власні алгоритми обробки зображень для полегшення роботи оператора. В цій статті запропоновано підхід до автоматичної ідентифікації елементів дорожньої розмітки на покритті доріг.

Основні алгоритми для пошуку дорожньої розмітки

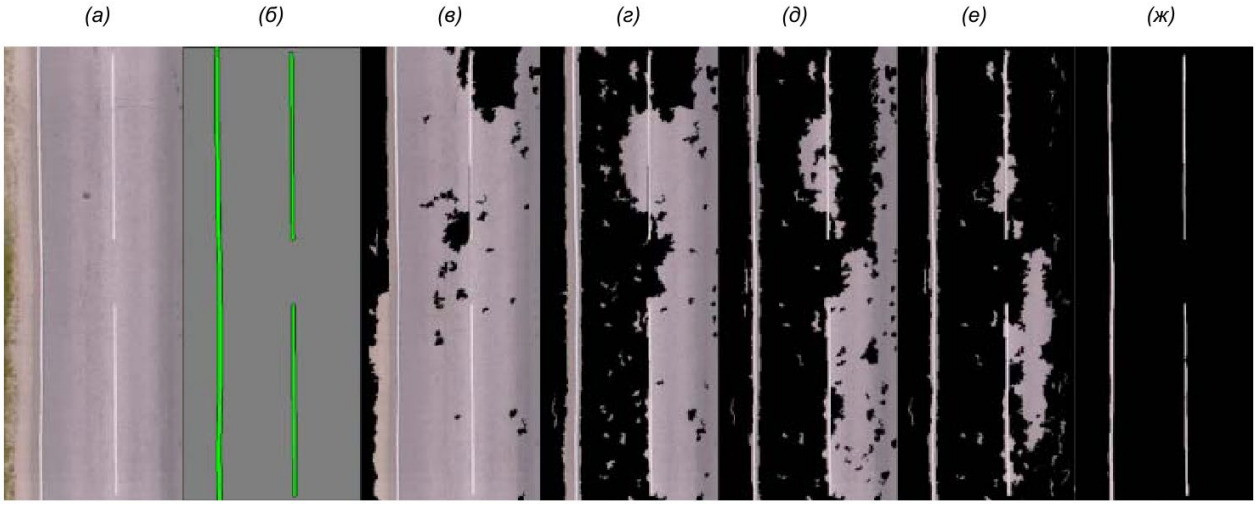
У нашій роботі для виявлення дорожньої розмітки пропонується використовувати машинне навчання. Ідея цього підходу була взята з робіт [3] та [4]. Виявлення розмітки формулюється як завдання класифікації суперпікселів зображення або сегментів. Ми використовуємо такий підхід із двох причин: по-перше, тільки сегменти можуть надати просторову інформацію, таку як орієнтація сегмента, подовження, площу, дуже суттєву для класифікації; по-друге, це дуже прискорює роботу системи.

На відміну від наведених вище робіт, запропонований у роботі підхід заснований на використанні каскаду пересегментації. Сама ідея каскадів запозичена з роботи [5]. Найзагальніша схема роботи каскаду така: є каскад класифікаторів, кожен наступний з яких «складніший» за попередній («складність» класифікатору визначається залежно від специфіки даних або програми). Масив вхідних даних проходить через ці класифікатори по черзі; кожен класифікатор відсіює ті дані, які точно не належать шуканому класу, дані, що залишилися передаються наступному, більш «складному» класифікатору, для уточнення та ін. Кожен класифікатор «натренований» так, щоб максимізувати кількість вірних виявлень на кожному шарі каскаду (на кожній ітерації проходу даних через каскад). Це дозволяє «складним» класифікаторам сфокусуватися лише на спірних районах, що збільшує швидкість роботи системи загалом.

Стосовно системи, що пропонується, схема роботи каскадів наступна. З кожним класифікатором пов'язані параметри пересегментації, на якій цей

класифікатор був натренований. Класифікатор є більш «складним», якщо його пересегментація більш детальна, має менший масштаб суперпікселів.

На вході каскаду подається зображення-розгортка дорожнього покриття. Воно сегментується з параметрами першого класифікатора, після чого отримані сегменти класифікуються так, щоб відсоток вірних виявлень був близький до 100 %, тобто класифікатор відкинув лише ті сегменти, в котрих він «упевнений», що у них розмітки немає. Потім відкинуті сегменти зафарбовуються на вихідному зображенні чорним кольором, що дає прискорення роботи наступної пересегментації. Далі це зображення переходять на новий шар, де вони знову сегментується, але вже з меншим масштабом, і повторюється описана процедура. Так відбувається до останнього шару, на якому класифікатор вже «натренований» не на вірне виявлення всієї розмітки, на шкоду мінімізації хибних виявлень, а на стандартну класифікацію зображення. Пересегментація, що відповідає останньому шару каскаду, досить докладна для обліку різноманітних деталей на зображенні, і більшість дорожнього покриття та сторонніх об'єктів зафарбовано. Це до того ж зближує кількість сегментів розмітки та дороги, вирішуючи, проблему незбалансованості класів, суттєво погіршуючи якість роботи будь-якої системи, призначеної знайти малий клас за великого розміру нецільового класу.



(а) – початкове розгорнуте зображення, (б) – вручну розмічене зображення, (в) – результат роботи 1-го шару каскаду, (г) – результат роботи 3-го шару каскаду, (д) – результат роботи 5-го шару каскаду, (е) – результат роботи 7-го шару каскаду, (ж) – остаточний результат роботи алгоритму

Рисунок 4 – Приклад роботи каскадного методу виявлення дорожньої розмітки

Джерело: [8]

Процес тренування такого каскаду вимагає суттєвої уваги. Як класифікатори можна використовувати Gentle AdaBoost [6] з деревом глибини 3 як базовий класифікатора, як один із найкращих на сьогодні класифікаторів [7]. Однак, тренування AdaBoost сфокусована на мінімізації загальної помилки, а не максимізації вірних виявлень, нехай і з серйозним збільшенням числа помилкових виявлень. Простим виходом із положення є зміна порога для виходів

AdaBoost. Зазвичай виходи вище 0 відносяться до об'єктів одного класу, нижче – іншого. Знижуючи поріг, ми збільшуємо число помилкових спрацьовувань, збільшуючи при цьому кількість вірних виявлень. Таким чином, для тренування каскаду необхідно вибрати два важливі параметра: кількість шарів каскаду та поріг для AdaBoost на кожному шарі. Хоча оптимальний вибір цих параметрів представляє велику труднощі [8], існує проста схема їхнього отримання, дає непогані результати.

Алгоритм налаштування каскаду класифікаторів:

- вибираємо мінімальний прийнятний рівень вірних виявлень на одному шарі – d;
- вибираємо цільове значення рівня хибних виявлень після проходження каскаду F_{target};
- вибираємо початкові параметри пересегментації
- $F_0 = 1,0,\ D_0 = 1,0,\ i = 0$;
- Поки що $F_i > F_{target}$
  a) $i = i + 1$
  b) сегментуємо тренувальний набір зображень, отримуємо P – набір даних для сегментів розмітки, N - набір даних для сторонніх сегментів;
  c) використовуючи P та N, тренуємо класифікатор AdaBoost;
  d) для даної сегментації та натренованого класифікатора робимо оцінку на контрольному наборі, обчислюємо F_i, D_i;
  e) Знижуємо поріг AdaBoost, поки D_i стане не менше d (це впливає і на F_i);
  f) зменшуємо масштаб пересегментації;
- сегментуємо тренувальний набір зображень з фінальними параметрами пересегментації;
- тренуємо останній шар каскаду з порогом, що дорівнює 0.

Залишається лише вибрати мінімальний прийнятний рівень вірних виявлень та цільове значення рівня хибних спрацьовувань. Вони вибираються емпірично з наступного принципу (1).

$$D = \Pi_{i=1}^{n} d_i, \quad (1)$$

де D – результуючий рівень вірних виявлень всього каскадного класифікатора;
d_i – відповідні рівні кожного шару.

Джерело: [8]

Отже, щоб отримати 90 % вірних виявлень, каскаду із десяти шарів достатньо мати на кожному шарі мати рівень вірних спрацьовувань, рівний 0,99 (оскільки 0,9 приблизно дорівнює 0,9910). Цільове значення рівня помилкових виявлень вибирається з такого ж співвідношення, але враховуючи, що рівні хибних виявлень ми не знаємо наперед, і вони знаходяться приблизно між 0,7-0,8 на першій ітерації та цільовим F_{target}, плавно зменшуючись.

Експериментальні дослідження

В якості вихідних даних для виконання досліджень були використані результати обстежень автомобільних доріг, отримані системою «ОКО-2». Розподільча здатність зображень складає: ширина – 4096 пікселів, висота – 10000 пікселів (на кожну ділянку дороги довжиною 10 м). Приклад таких зображень наведений на рисунку 5.

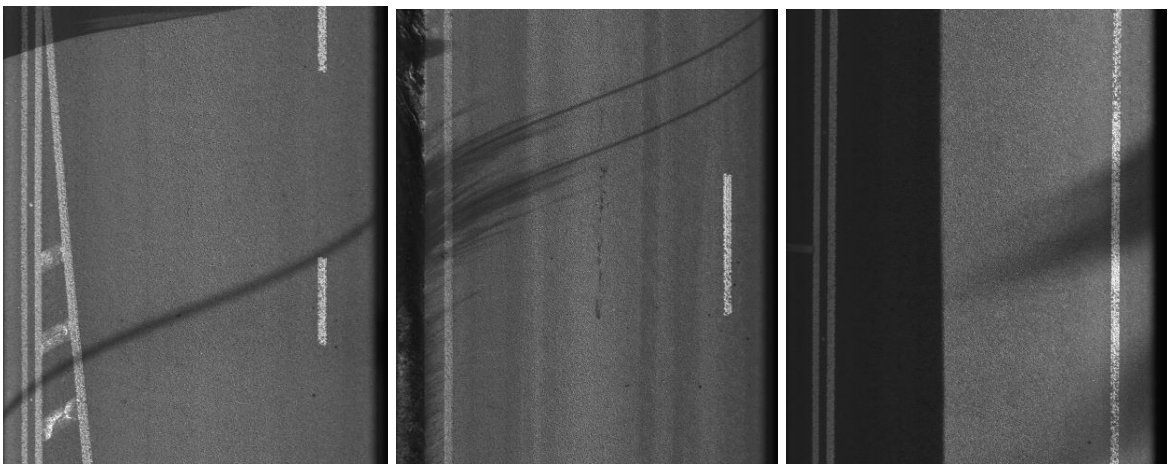


Рисунок 5 – Зображення автомобільної дороги Слов'янськ - Донецьк – Маріуполь на ділянці км 5+000 – км 10+305

Авторська розробка

Для отримання оцінок якості роботи системи та підрахунку помилок було вручну проведено розмітку цих зображень так, щоб одним кольором вказувалися ділянки, що відносяться до розмітки, а іншим – що відносяться до дороги та стороннім об'єктам. Набір був поділений на три рівні частини: набір для навчання класифікаторів в кожному шарі каскаду, набір для контролю числа вірних і помилкових виявлень при тренуванні каскаду та набір для оцінки якості роботи каскаду після його отримання. У кожен із наборів увійшли зображення з різними якістю освітлення, рівнем шуму та якістю розмітки.

Для тренування каскадного класифікатора було використано алгоритм, описаний у попередній частині, де мінімальний рівень вірних виявлень був обраний як 0,99, а цільовий рівень хибних спрацьовувань – 0,15. Натренований каскад складався з 9 шарів. Оцінки кількості вірних та хибних виявлень були отримані з допомогою підрахунку вірно та невірно визначених пікселів на зображенні. У результаті каскад класифікаторів на тестовому наборі дав 92 % вірних виявлень та 0,07 % хибних виявлень (рисунок 6).

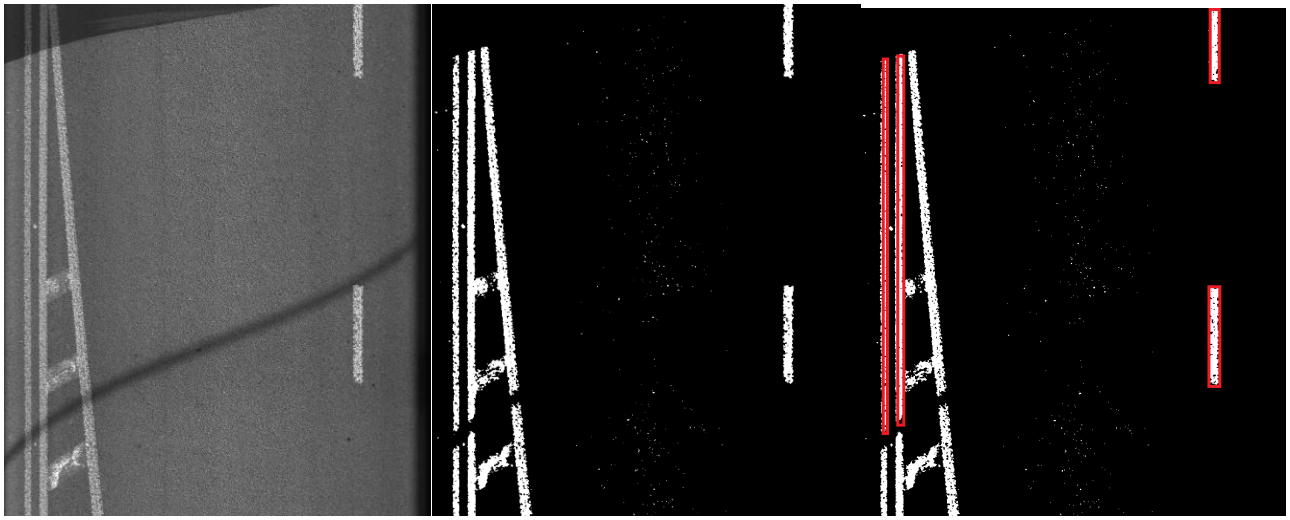


Рисунок 6 – Процес виявлення елементів розмітки

Авторська розробка

Для порівняння було реалізовано ще два простіші алгоритми виявлення дорожньої розмітки. Перший алгоритм включає одну пересегментацію і класифікацію отриманих сегментів за допомогою машинного навчання. Другий алгоритм складається з кількох пересегментацій різного масштабу. Для кожної пересегментації за допомогою класифікації AdaBoost з деревом глибини 3 як базовий класифікатор та перетворення Платта [9] обчислюються ймовірності приналежності пікселів зображення класу розмітки, потім обчислюється середня ймовірність, яка визначає клас пікселя.

Цей метод дозволяє оминати дефекти однієї сегментації, коли надто дрібний масштаб суперпікселів тягне за собою чутливість до шуму, а занадто великий масштаб суперпікселів призводить до втрати багатьох деталей. Усі алгоритми використовують для сегментації зображення метод, запропонований в [10]. Підсумкові результати порівняння показані в таблиці 1.

Як видно з таблиці 1, при вдало підібраній сегментації, проста класифікація дає більший рівень вірних виявлень, ніж класифікація з кількома пересегментаціями. Однак остання дає вдвічі менший рівень хибних виявлень. Цей рівень не може досягти і каскадний алгоритм, який виявився найкращим за рівнем вірних виявлень.

Таблиця 1 – Результати порівняння різних алгоритмів

	Вірні виявлення	Хибні виявлення
Каскадна класифікація	92,0 %	0,07 %
Класифікація однієї сегментації	89,5 %	0,09 %
Класифікація декількох сегментацій	88 %	0,04 %

Авторська розробка

Висновки.

У статті розглянуті підходи до автоматизації процесу виявлення дорожньої розмітки на зображеннях, що отримуються ходовими дорожніми лабораторіями на прикладі зображень з системи «ОКО-2». Жоден з підходів не гарантує стовідсотковий результат. Для реалізації в програмному забезпеченні можна рекомендувати лише метод з мінімальними хибними виявленнями, оскільки в інших випадках підвищується ступінь участі людини, яка повинна буде їх ідентифікувати і виправити.

Література:

1. ROMDAS. Road Survey Equipment Manufacturer. URL: https://www.linkedin.com/company/romdas/about/ (дата звернення 10.10.2022 р.)

2. Company Dynatest A/S. Multi Functional Vehicle. URL: https://www.airport-suppliers.com/product/multi-functional-vehicle/ (дата звернення 10.10.2022 р.)

3. Richard Hartley , Andrew Zisserman, “Multiple view geometry in computer vision”, Cambridge University Press, New York, NY, 2001.

4. L.Yang, P.Meer, D.J.Foran "Multiple class segmentation using a unified framework over Mean-Shift patches" In Proc. of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.1-8, 2007.

5. P.Viola, M.J.Jones "Robust real-time face detection" In Proc. of International Journal of Computer Vision 57(2), pp.137-154, 2004.

6. J. Friedman and T. Hastie and R. Tibshirani, "Additive logistic regression: A statistical vie on boosting" Stanford university technical report.

7. R.Caruana, A.Niculescu-Mizil "An empirical comparison of supervised learning algorithms" In Proc. of the 23rd International Conference on Machine Learning,pp.161-168, 2006.

8. S.C.Brubaker, M.D.Mullin, J.M.Rehg "Towards optimal training of cascaded detectors" In. Proc. of European Conference on Computer Vision, pp.325-337, 2006.

9. A.Niculescu-Mizil, R.Caruana "Obtaining calibrated probabilities from boosting" In Proc. of 21st Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, pp.413-420, 2005.

10. P.F.Felzenszwalb, D.P.Huttenlocher "Efficient graph-based image segmentation" In. Proc. of International Journal of Computer Vision, Volume 59, Number 2, September 2004.

Abstract. *Video diagnostics of highways is gaining more and more popularity all over the world. The images of the road surface, road signs, and elements of the road arrangement, obtained from mobile diagnostic laboratories, allow to receive up-to-date information necessary for the management of the condition of the roads. The modern level of computer technology allows you to operate with large volumes of data, create databases containing images of all elements of the highway. But until now, the processing of images of the road surface to detect defects and damage to the pavement, as well as road markings, requires considerable human effort. The work will consider a possible way to automate the process of searching for road markings on images of the road surface obtained by road laboratories..*

Key words: *video diagnostics, image processing, road laboratories, road markings.*

Стаття відправлена: 15.03.2023 р.

© Смолянюк Р.В., Смолянюк Н.В.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-048
DOI: 10.30888/2663-5712.2023-18-01-048

УДК 631.48: 631.434

INFLUENCE OF STRUCTURE FORMATION PROCESSES ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF LAYERS FROM LARGE DESTRUCTIVE SOILS REINFORCED WITH CEMENT

ВПЛИВ ПРОЦЕСІВ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ШАРІВ З ВЕЛИКОУЛАМКОВИХ ҐРУНТІВ, ЗМІЦНЕНИХ ЦЕМЕНТОМ

Siedov A.V. / Сєдов А.В.
k.t .s ., as.prof. /к.т.н., доц.
ORCID: 0000-0002-7879-6614
Fomenko O.O. / Фоменко О.О.
assistens / асистент
Kharkiv National Automobile and Highway University,
Kharkiv, str. 25 Yaroslav Mudryho Street, 61002
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
м. Харків, вул. Ярослава Мудрого 25, 61002

Анотація. *В роботі розглядається питання використання місцевих маломіцних кам'яних матеріалів, зміцнених неорганічним в'яжучим, при будівництві дорожнього одягу. Конструктивний шар з зміцненого матеріалу, завдяки його монолітності і міцності працює в пружній стадії, що забезпечує більшу надійність роботи дорожнього одягу в цілому.*

Для влаштування дорожніх основ і покриттів можна застосовувати всі види і різновиди великоуламкових, піщаних і глинистих ґрунтів. Великоуламкові ґрунти являють собою шматки, що утворилися в результаті руйнування скельних порід, з розмірами частинок більше 2 мм. Властивості матеріалу залежать від структури укріпленого ґрунту і, головним чином, ґрунтової зони контакту.

Процеси змочування та адсорбції залежать від адсорбційних та електроповерхневих властивостей ґрунту та в'яжучого, що зумовлюють особливості ґрунтової зони контакту та структури укріпленого ґрунту.

Ключові слова: *великоуламкові ґрунти, цемент, адгезійний контакт, адсорбція, електроповерхневі властивості, гетерогенні системи.*

Вступ При конструюванні і будівництві шарів дорожнього одягу необхідно максимально використовувати місцеві маломіцні кам'яні матеріали, зміцнені неорганічним в'яжучим (цемент, вапно, активні золи та ін.).

Нескельними ґрунтами вважаються великоуламкові, піщані і глинисті ґрунти. Великоуламкові ґрунти (щебінь, гравій, галька) являють собою шматки, що утворилися в результаті руйнування скельних порід, з розмірами частинок більше 2 мм. Вони поступаються по міцності скельним ґрунтам. Якщо великоуламкові ґрунти не схильні до дії ґрунтових вод, вони також є надійною основою. Для укріплення цементом застосовують усі види природних дисперсних ґрунтів, в тому числі з відносною деформацією здимання до 0,07 згідно з ДСТУ Б В.2.1-2 [1].

Під зміцненням ґрунтів розуміють комплекс заходів, спрямованих на створення, по суті, нових будівельних матеріалів з новими фізико-механічними властивостями в порівнянні з властивостями вихідних ґрунтів. З огляду на, що зміцнений ґрунт є матеріальною систему, в якій її складові частини – ґрунтові зерна і зв’язуючи речовини зберігають свою хімічну індивідуальність, а процеси

фізико-хімічної взаємодії протікають головним чином на границях розділу фаз.

Основний текст. При обробці ґрунту цементом процеси гідратації, а також інші хімічні реакції будуть посилюватися або уповільнюватись в залежності від хімічного та мінерального складів цементу, природи ґрунту та його фізико-хімічного стану в момент обробки (рисунок 1) [2, 3].

Властивості матеріалу залежать від структури укріпленого ґрунту і, головним чином, ґрунтової зони контакту (ГЗК).

Найбільш активною частиною цементоґрунтової суміші, яка забезпечує створення нової структури укріпленого ґрунту, є цемент. На міцність та морозостійкість цементоґрунту впливає не тільки марка цементу, але і його мінеральний склад. При зміцненні ґрунтів цементами однакових марок, але різного мінерального складу будуть отримані цементоґрунти з різними властивостями. В результаті взаємодії цементу з водою, з присутніми в ґрунті солями та частково з дрібнодисперсною частиною ґрунту, в зміцненому ґрунті виникає нова водостійка кристалізаційна структура. Процеси змочування та адсорбції є первинними при формуванні адгезійних контактів та ГЗК, між мінеральними складовими ґрунту (МСГ) та гідратами, що утворюються при використанні портландцементу [3].

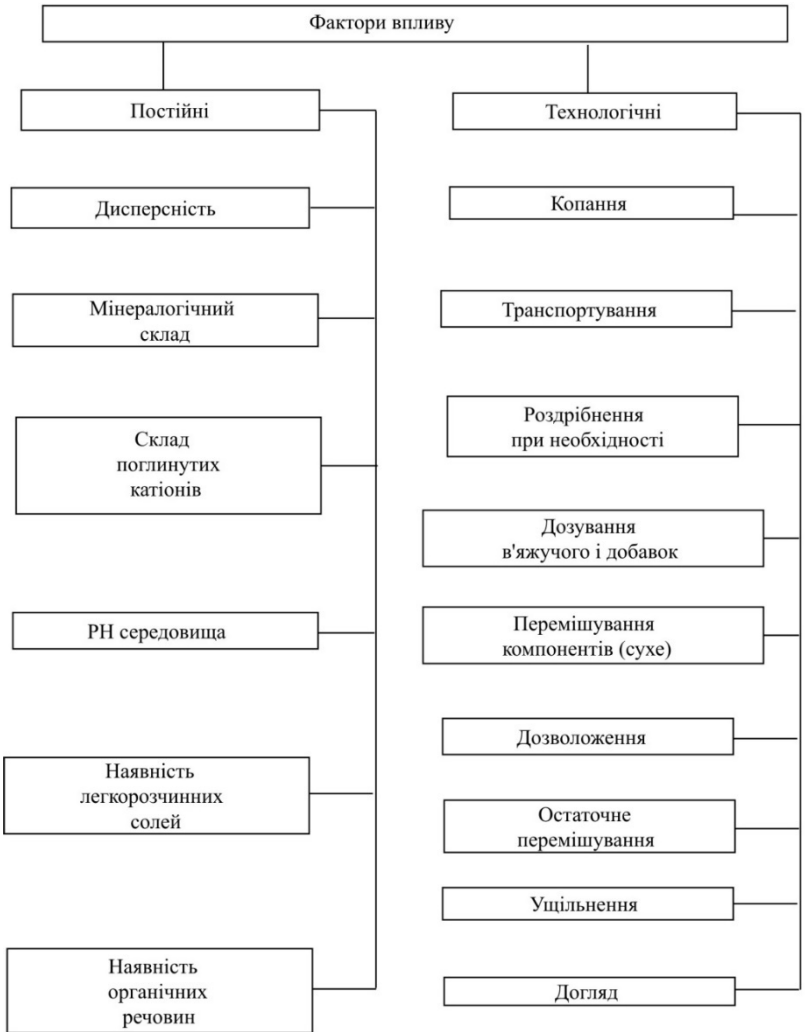


Рисунок 1 – Фактори що впливають на зміцнення грунтів

Джерело: [3]

Вони залежать від адсорбційних та електроповерхневих властивостей МСГ та в'яжучого, що зумовлюють особливості ГЗК та структури укріпленого ґрунту.

Розщеплення зв'язків $\equiv Si - \overline{O} - Si \equiv$ (рисунок 2) в процесі утворення МСГ та подальших механічних впливів на ґрунт (механічна активація) супроводжується гідроксилюванням мінеральної поверхні, сорбцією потенціаловизначальних іонів H^+ и OH^-. Катіони, що надходять у ґрунт з рідкою фазою при зміцненні ґрунтів цементом, беруть участь в іонному обміні з протонами H^+. Крім того, вони можуть компенсувати негативний заряд мінеральної поверхні.

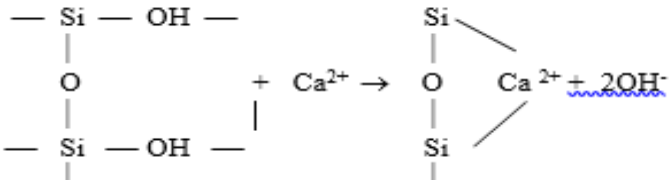


Рисунок 2– Взаємодія кварцу (силікатів) з $Ca(OH)_2$ у рідкій фазі при зміцненні ґрунтів мінеральними в'яжучими

Джерело: [2]

Тверді частинки гетерогенних систем, що беруть участь у контактоутворенні цементних матеріалів, характеризуються різними на кілька порядків величинами питомої поверхні від десятків (мінеральні зерна грунту) до тисяч (пилуваті частинки) і десятків тисяч (глинисті частинки) квадратних сантиметрів на грам. Загальна площа поверхні МСГ складається із зовнішньої та внутрішньої – визначається різною будовою кристалічної решітки МСГ, яка зростає в напрямку: алюмосилікатне скло зол і шлаків – кварц – польові шпати – амфіболи – (піроксен, меліліт) – карбонати – слюди – гідроокиси заліза – глинисті мінерали. Тому по відношенню до рідкої фази ці мінерали поводяться по-різному, зумовлюючи протікання конкуруючих процесів адсорбції та «поверхневого осмосу» [2]. Перші 4-8 діб усі мінерали виявляють максимальну адсорбційну здатність, після чого, для деяких із них, вона згасає по-різному (рисунок 3).

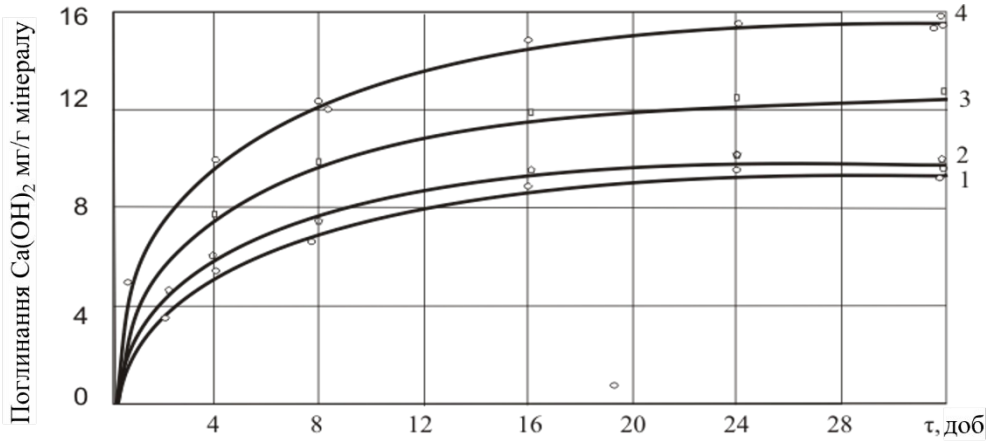


Рисунок 3 – Кінетика зв'язування гідрату окису кальцію дисперсними мінералами: *1* – *кварц*, *2* – *кальцит*, *3* – *мікроклін*, *4* – *каолініт*

Джерело: [2]

Результати досліджень показників міцності та кінетики структуроутворення великоуламкових ґрунтів з різною концентрацією цементу наведені на рисунку 4.

Аналіз результатів досліджень вказує на те, що при збільшенні вмісту цементу у складі сумішей показники їх міцності зростають.

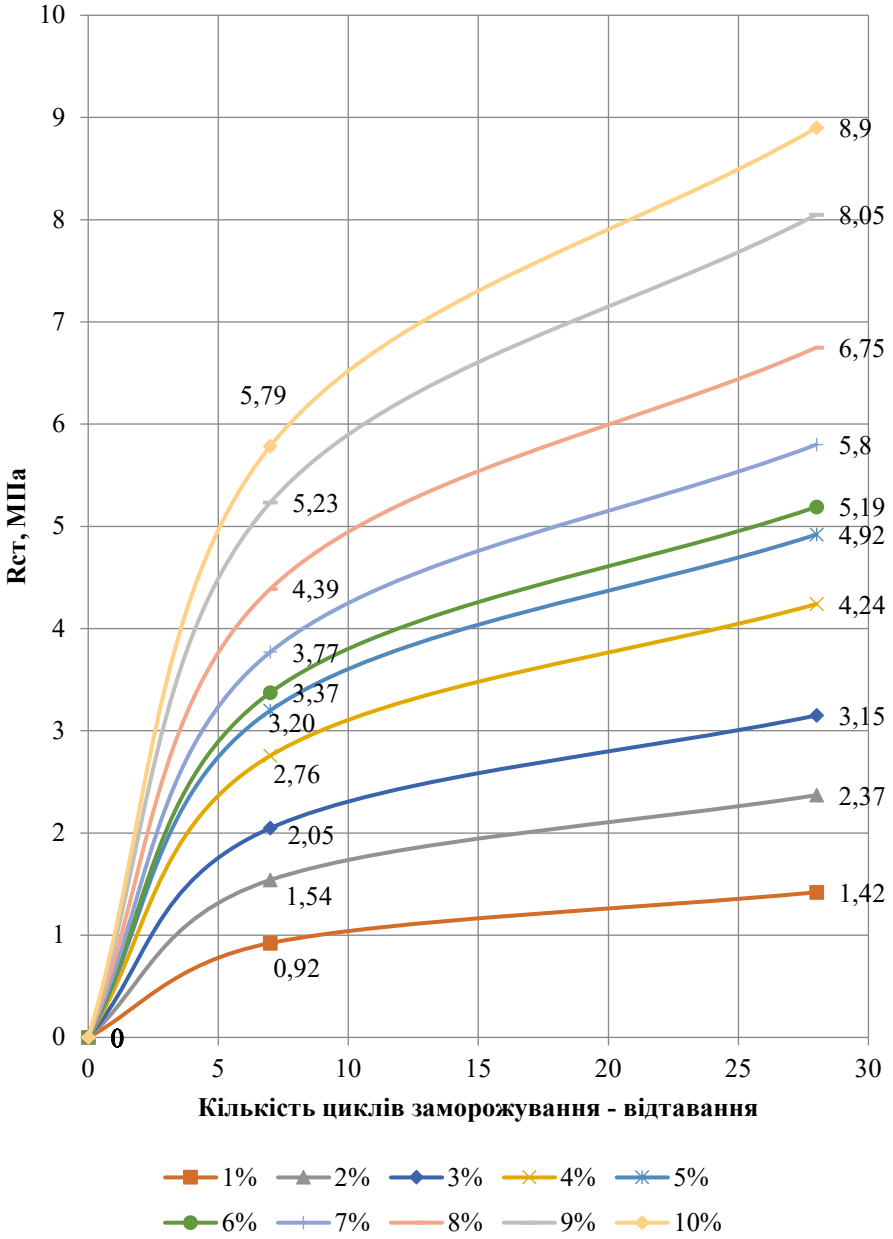


Рисунок 4 – Кінетика структуроутворення суміші, укріпленою цементом, за показником границі міцності при стиску

Авторська розробка

Не меншою мірою, ніж адсорбція, відповідальна за характер процесів контактоутворення в укріпленому ґрунті та щільну ГЗК, електрична природа поверхні мінералів ґрунту та гідратів, яка залежить від їх кристалічної природи і проявляється в рідкій фазі неорганічних в'яжучих [3, 4].

Для основного мінералу піщаних ґрунтів – кварцу характерна присутність на поверхні гідроксильних груп та адсорбованої води. При контакті з водою

відбувається часткова дисоціація гідроксильних груп із втратою водню та придбанням негативного заряду за рахунок легкого руйнування зв'язків *O-H* з енергією розриву 4,35 еВ порівняно з с *Si-O* (7,20 еВ) [2].

Глинисті мінерали – каолініт (галуазит, дикіт), монтморилоніт (бейделіт, нонтроніт), гідрослюди (гідробіотит, гідромусковіт, глауконіт) відносяться до силікатів, основу яких становлять тетраедричні кремнійкиснева та октаедрична Al^{3+} або Mg^{2+}- O^{6+}- OH^{-} сітки (рисунок 5) [4, 5].

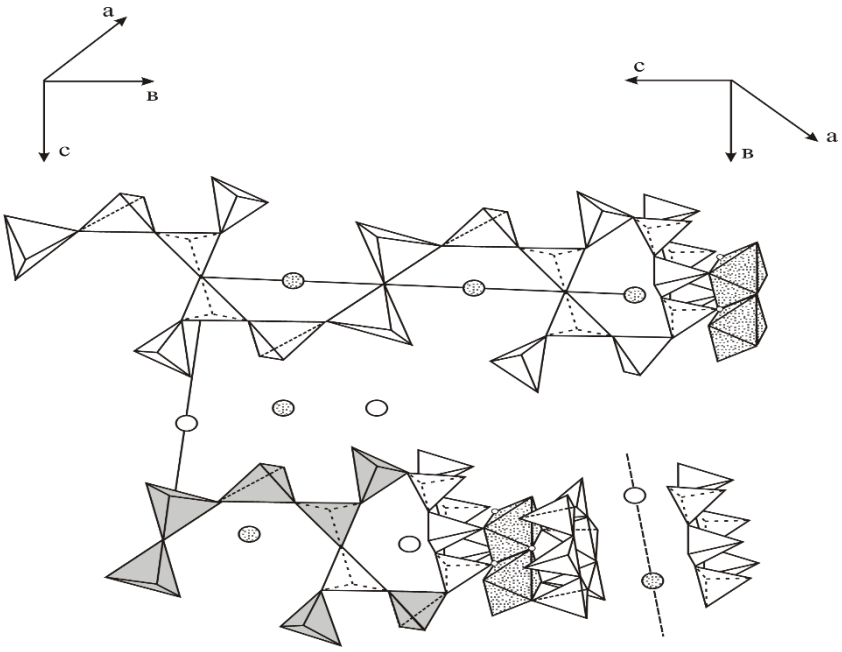


Рисунок 5 – Тетраедричні кремнійкиснева та октаедрична Al^{3+} або Mg^{2+}- O^{6+}- OH^{-} сітки силікатів

Джерело: [2]

У них катіони Mg^{2+}, Fe^{3+}, Al^{3+} не повністю справляються зі своєю роллю компенсаторів. Обмінні катіони Na^{+} и Ca^{2+} також не усувають дисбаланс і можуть змінити негативний заряд. Тільки на бічних сколах глин спостерігається позитивний заряд [2]. Ковалентність зв'язку Fe^{3+} – O^{6+} и Al^{3+}– O^{6+} складає 44,7 % и 40,7 %, відповідно тоді як у гідроксильній групі – 66,05 %. Отже, міцність зв'язку в перших випадках в 1,5 рази більша, ніж міцність зв'язку в гідроксильній групі, що свідчить про велику можливість прояву позитивного заряду розглянутих гідроксидів.

Для гідратів цементного каменю сумарний знак та величина заряду визначаються інтегральним розподілом електричних зарядів поверхні клінкерних реліктів та гідратів. Вони залежать від мінерального складу в'яжучого, хімізму води замішування, умов та тривалості гідратації [5].

На стадії формування коагуляційної структури гідратованого цементу, переважна кількість гідроалюмінату і гідросульфоалюмінату кальцію зумовлює утворення сумарного позитивного заряду гідратів. Подальше збільшення кількості гідросилікатів кальцію на стадії утворення кристалізаційної структури сприяє зменшенню заряду з наступною зміною на негативний, що підтверджено численними дослідженнями [2].

Висновки.

На основі проведеного аналізу, можна зробити висновок, що процеси змочування та адсорбції залежать від адсорбційних та електроповерхневих властивостей ґрунту та в'яжучого, що зумовлюють особливості ГЗК та структури укріпленого ґрунту. Через однаковий негативний заряд поверхні мінералів ґрунту і гідратів не досягається повністю реалізованого зміцнення ґрунтів неорганічними матеріалами. В даному випадку найбільш ефективним слід вважати кероване контактоутворення [2], засноване на використанні розчинів електролітів для попередньої активації ґрунтів, що передує зміцненню.

Література:

1. ДСТУ Б В.2.1-2-96 Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Класифікація. [Чинний від 1996-11-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 1996. 51 с.

2. Ольгинский О.Г. Оценка и регулирование структуры зоны контакта цементного камня с минеральными заполнителями. Дисс. докт. техн. наук. Харьков, 1994. 397 с.

3. Зміцнення і стабілізація грунтів стабілізація грунтів. URL: https://jak.koshachek.com/articles/zmicnennja-i-stabilizacija-gruntiv-stabilizacija.html (дата звернення: 19.03.2023).

4. Борзяк О. С. Регулювання контактних взаємодій для підвищення стійкості в умовах експлуатації матеріалів на основі мінеральних в’яжучих : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.23.05. Харків, 2021. 415 с.

5. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них: монография в 3 т. / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, Л.В. Трикоз и др. Под ред. А.Н. Плугина. Т. 1: Коллоидная химия и физико-химическая механика цементных бетонов. К.: Наукова думка. 2011. 331 с.

Abstract. *The work examines the issue of using local low-strength stone materials, strengthened with inorganic binders, in the construction of road clothing. The structural layer made of reinforced material, due to its monolithicity and strength, works in an elastic stage, which ensures greater reliability of road clothing as a whole.*

All types and varieties of coarse, sandy and clayey soils can be used for the construction of road bases and coatings. Large-clastic soils are pieces formed as a result of the destruction of rocks, with particle sizes larger than 2 mm. The properties of the material depend on the structure of the reinforced soil and, mainly, the soil contact zone.

The processes of wetting and adsorption depend on the adsorption and electrosurface properties of the soil and the binder, which determine the characteristics of the soil contact zone and the structure of the reinforced soil.

Key words: *coarse-grained soils, cement, adhesive contact, adsorption, electrosurface properties, heterogeneous systems.*

Стаття надіслана: 19.03.2023 р.

© Сєдов А.В., Фоменко О.О.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-011
DOI: 10.30888/2663-5712.2023-18-01-011

UDC 517.53

SOME EXAMPLE APPLICATIONS OF COMPLEX NUMBERS

ДЕЯКІ ПРИКЛАДИ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПЛЕКСНИХ ЧИСЕЛ

Hryshko O.M. / Гришко О.М.
senior lecturer / ст.викладач
Varyvoda V.O. / Варивода В.О.
teaching assistant / асистент
National Aviation University, Kyiv, Lubomyr Huzar Avenue,1, 03058
Національний авіаційний університет, Київ, проспект Любомира Гузара, 1, 03058

Abstract. *The article is devoted to the application of complex numbers. The article explains the reasons for extending the set of real numbers to the set of complex numbers and describes their typical features. Although created in a purely theoretical mathematical way, complex numbers gradually found wide application in various fields. This article demonstrates the advantages of applying the theory of complex variables in some scientific and technical fields.*

Key words: *Complex numbers, forms a complex number, the theory of functions of a complex variable.*

Introduction.

Complex numbers are widely used across different branches of mathematics as well as among other sciences, including the elasticity theory, electrical engineering, fluid dynamics, aerodynamics, etc. Learning complex numbers expands the usual conception of numbers and number operations. As a result, it benefits abstract thinking development for students from the technical field.

Main part.

Introduction to the theory of functions of a complex variable is advisable to start with an overview of already known sets of numbers (N, Z, Q, R). Then the introduction can be continued with a cause analysis of the gradual extension of those sets [1].

I. In the process of counting, a set of natural numbers N arose, on which only the operations of addition and multiplication are closed. To perform the operation of subtraction of natural numbers, the set N is expanded, the number zero and negative integers are entered – this is the set of integers Z, on which the operation of division is not closed.

II. To perform the operation of dividing integers, the set of integers Z is expanded by introducing rational numbers Q (division by zero does not make sense).

III. There are incommensurable segments: if the length of one of such segments is taken as a unit of measurement, then the other of them, measured by this unit, is not expressed by a rational number. For example, the diagonal of a square and its side, taken as a unit of length, are incommensurable. Measuring incommensurable quantities, calculating such operations as root extraction, calculating logarithms, solving algebraic equations leads to further expansion of numbers, introduction of irrational numbers. In analysis, an irrational number is a non-periodic infinite decimal fraction.

The sets of rational and irrational numbers form the set of real numbers R.

According to the authors, the following characteristic features of real numbers

should be highlighted:

- real numbers are one-dimensional;
- each number is represented by a point on the numerical axis;
- model only one property – quantity;
- assume comparison operations; subject to regulation;
- the square of any number is a non-negative value.

IV. The expansion of the set of real numbers to the set of complex numbers was due to the internal logic of the development of mathematics, namely the algebraic need to extract the square root of a negative number $\sqrt{-a}$, $(a > 0)$.

Complex numbers, as numbers of a new nature, were discovered in the XVIth century by the Italian scientist D. Cardano while searching for formulas for the roots of a cubic equation. Later, during the XVIIth - XIXth centuries, problems of complex numbers were dealt with by R. Bombelli (Italy), R. Descartes (France), L. Euler (Russia), K. Wessel (Denmark), R. Argand (France). The very term "complex numbers" was introduced by KF Gauss in 1831.

A complex number is a type number

$$z = a + bi, \tag{1}$$

where a and b are real numbers;

i – is the so-called imaginary unit determined from the condition $i = \sqrt{-1}$, $(i^2 = -1)$.

The numbers a and b are called the real and imaginary parts of the complex number z, respectively, and are denoted by $a = \operatorname{Re} z$; $b = \operatorname{Im} z$. If a complex number has a real component $a = 0$, then the number $z = bi$ is called purely imaginary; if $b = 0$, then the complex number $z = a$ is called pure real. Thus, real numbers are a subset of the set of complex numbers C.

The sets of numbers extension can be illustrated by the Euler diagram (Figure 1).

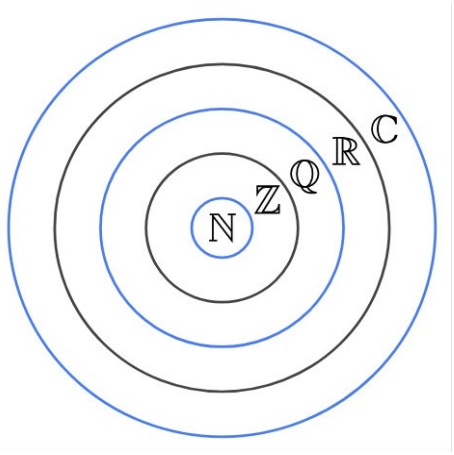


Figure 1 – Sets of numbers

Source: [2]

A complex number $z = a + bi$ is represented on the xOy plane by a point K with coordinates $(a;\ b)$ or by a vector $\overrightarrow{OK}$ whose length is $r = |OK|$ (the modulus $|z|$ of the complex number z), where $|z| = r = \sqrt{a^2 + b^2}$, and the angle φ between the positive

direction of the Ox axis and the vector $\overrightarrow{OK}$ (the argument of the complex number z); at the same time, due to the ambiguity of the definition of the angle with an accuracy of up to $2\pi n$ $(n \in Z)$, the argument is usually chosen within the limits $-\pi < \varphi \le \pi$ (the so-called main value of the argument) and is denoted by $\arg z$. It is obvious that

$a = r\cos\varphi,\ \ b = r\sin\varphi$, therefore from (1):

$$z = r\cos\varphi + i\,r\sin\varphi = r(\cos\varphi + i\sin\varphi). \quad (2)$$

After Euler's derivation of the formula in 1748

$$e^{i\varphi} = \cos\varphi + i\sin\varphi, \quad (3)$$

which connected the exponent function with trigonometric ones, the entry of the complex number (2) implies reformatting:

$$z = r\cos\varphi + i\,r\sin\varphi = re^{i\varphi}. \quad (4)$$

Thus, complex numbers are presented in different forms of writing (table 1), which expands the possibilities of their practical application beyond the algebraic problem of obtaining the square root of a negative number.

Table 1 – forms of recording a complex number

Writing a complex number	Whole complex number	Purely imaginary	Purely valid
Algebraic form (1)	$z = a + bi$ ($z = \mathrm{Re}\,z + i \cdot \mathrm{Im}\,z$)	$z = bi$	$z = a$
Organized pair of numbers	$z = (a;\ b)$	$z = (0;\ b)$	$z = (a;\ 0)$
Trigonometric form (2)	$z = r(\cos\varphi + i\sin\varphi)$	$z = \lvert b\rvert i\sin\varphi$	$z = \lvert a\rvert\cos\varphi$
Exponential form (4)	$z = re^{i\varphi}$	$z = \lvert b\rvert e^{i\varphi}$	$z = \lvert a\rvert e^{i\varphi}$

Author's development

Let us note the features of complex numbers that are different from real numbers:

- complex numbers have two components, that is, they are two-dimensional;
- each number is represented by a point on the coordinate plane;
- model vector quantities on the plane;
- “more or less” operations are not defined on them;
- assume a root from any number.

Therefore, the introduction of complex numbers is a fundamentally new level of generalization of numbers with a new geometric interpretation of the concept of number.

We will demonstrate some advantages of applied application of complex numbers on examples from various scientific fields.

1. Definition of regions (in the topological sense) on the complex plane [3].

1.1. Since the equation of a circle of radius ρ with the center at a point z_0 has the form $|z - z_0| = \rho$, then inequalities

$$\rho_1 < |z - z_0| < \rho_2,\ (0 < \rho_1 < \rho_2)$$

will set a ring with an inner radius ρ_1 and an outer radius ρ_2.

1.2. Since the ray emanating from the point z_0 at an angle φ has the equation $\arg(z - z_0) = \varphi$, then inequalities

$$\varphi_1 < \arg(z - z_0) < \varphi_2 , \quad \varphi_2 < \arg(z - z_0) < \varphi_1 + 2\pi , \quad (0 \le \varphi_1 < \varphi_2 < 2\pi)$$

will determine the angles formed by two rays starting at point z_0.

1.3. Strips bounded by a pair of parallel lines can be determined by the following inequalities:

$$c_1 < \operatorname{Re} z < c_2 , \ (0 < c_1 < c_2, \ c_1, c_2 \in R) \text{ – vertical stripes;}$$

$$c_1 < \operatorname{Im} z < c_2 , \ (0 < c_1 < c_2, \ c_1, c_2 \in R) \text{ – horizontal stripes.}$$

2. Calculation of trigonometric sums.

2.1. In problems of optics about the diffraction grating [4] sums of the form appear

$$S_n(t) = \sin \omega t + \sin(\omega t + \varphi) + \ldots + \sin(\omega t + n\varphi) . \tag{5}$$

Let's use the indicative form of recording complex numbers and formula (3):

$$\operatorname{Im}(e^{i\varphi}) = \sin \varphi ,$$

$$S_n(t) = \operatorname{Im}(e^{i\omega t}) + \operatorname{Im}(e^{i(\omega t+\varphi)}) + \ldots + \operatorname{Im}(e^{i(\omega t+n\varphi)}) =$$

$$= \operatorname{Im}(e^{i\omega t} + e^{i(\omega t+\varphi)} + \ldots + e^{i(\omega t+n\varphi)}) .$$

According to the formula for the sum of members of a geometric progression:

$$e^{i\omega t} + e^{i(\omega t+\varphi)} + \ldots + e^{i(\omega t+n\varphi)} = \frac{e^{i(n+1)\varphi} - 1}{e^{i\varphi} - 1} e^{i\omega t} .$$

Therefore,

$$S_n(t) = \operatorname{Im}\left(\frac{e^{i(n+1)\varphi} - 1}{e^{i\varphi} - 1} e^{i\omega t}\right) . \tag{6}$$

2.2. Let's calculate, in particular, the amount.

$$A_n = \sum_{k=1}^{n} \sin k\varphi . \tag{7}$$

It is obvious that A_n is equal to the sum (5) at $t = 0$:

$$A_n = S_n(0).$$

Applying (3), (4), we isolate the imaginary part in (6) at $t = 0$:

$$\operatorname{Im}\left(\frac{e^{i(n+1)\varphi} - 1}{e^{i\varphi} - 1} e^{i\cdot 0}\right) = \operatorname{Im}\left(\frac{e^{\frac{i(n+1)\varphi}{2}} \left(e^{\frac{i(n+1)\varphi}{2}} - e^{\frac{-i(n+1)\varphi}{2}}\right)}{e^{\frac{i\varphi}{2}} \left(e^{\frac{i\varphi}{2}} - e^{\frac{-i\varphi}{2}}\right)}\right) = \operatorname{Im}\left(e^{\frac{in\varphi}{2}}\right) \cdot \frac{2i \sin \frac{(n+1)\varphi}{2}}{2i \sin \frac{\varphi}{2}} ;$$

where $A_n = \dfrac{\sin \frac{n\varphi}{2} \cdot \sin \frac{(n+1)\varphi}{2}}{\sin \frac{\varphi}{2}}$.

3. The theory of functions of a complex variable is used when finding solutions of linear differential equations with constant coefficients. Differential equations of this type often appear in mathematical modeling [11] in the theory of oscillations of a material point in the environment [6], the theory of automatic control [7], processes in electrical engineering [8], economic processes [9], etc.

Consider, for example, the equation of the dependence of the current strength $I(t)$ of a closed circuit with the specified coefficient of self-induction L, resistance R, electromotive force $E = E_0 \sin \omega t$:

$$\frac{dI}{dt} + \alpha I = \frac{E_0}{L} \sin \omega t, \ \alpha = \frac{R}{L}.$$

When solving this linear inhomogeneous differential equation by the Bernoulli method, it will be necessary to calculate the integral

$$B = \int e^{\alpha t} \sin \omega t dt.$$

Since $e^{\alpha t} \sin \omega t = \mathrm{Im}(e^{\alpha t} e^{i\omega t})$, then $B = \mathrm{Im} \int e^{(\alpha + i\omega)t} dt$, from which is obtained [10]:

$$B = \frac{e^{\alpha t}}{\omega^2 + \alpha^2}(-\omega \cos \omega t + \alpha \sin \omega t) + C.$$

4. Modeling of images when displaying plane points [2].

4.1. Parallel transfer, which translates point $z_1 = (a_1;\ b_1)$ to point $z_2 = (a_2;\ b_2)$:

$$z \to z + (z_2 - z_1) = z + ((a_1 + a_2) + i(b_1 + b_2)).$$

4.2. Rotation around the origin by an angle α:

$$z \to e^{\alpha t}.z = (\cos \alpha + i \sin \alpha).z.$$

4.3. Axial symmetry:

$z \to \mathrm{Re}\, z - i \cdot \mathrm{Im}\, z = \bar{z}$ (symmetry relative to the axis Ox),

$z \to i \cdot \mathrm{Im}\, z - \mathrm{Re}\, z$ (symmetry relative to the axis Oy).

Conclusion.

Thus, according to the authors, when studying complex numbers, one should:

- ✓ find out the reasons for the expansion of numerical sets to the set of complex numbers;
- ✓ describe the possibilities of presenting a complex number in different forms of writing (algebraic, ordered by a pair of real numbers, trigonometric, exponential) and transition from one form to another;
- ✓ establish characteristic features of complex numbers;
- ✓ give specific examples of some applied applications in which one or another form of writing a complex number is used, in particular, the advantage of the index form of writing a complex number is demonstrated (short number writing, convenience in multiplication, division and exponentiation, the possibility of applying the Euler formula (3)).

Consequently, although created in a purely theoretical mathematical way, complex numbers gradually found wide application in various fields (aerodynamics, electromagnetic waves theory, geodesy, electrical engineering, signal processing, mathematical economic models, theory of relativity, etc).

Література:

1. Блудова Т.В., Щекань Н.П. Коротко про розвиток числа // “Вчені записки” – збірник наукових праць: друковане періодичне видання. - Київ: Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана, 2010. - Вип. 12. - С.277-282.

2. https://www.houseofmath.com/uk/encyclopedia

3. Курінний Г.Ч. Комплексні числа: навч.-метод.посібник з алгебри.- Х.: ХНУ ім.В.Н.Каразіна, 2015.-36 с.

4. Конончук Г.Л., Прокопець В.М., Стукаленко В.В. Вступ до фур'є-оптики.- К.: ВПЦ «Київський університет», 2010.– 320 с.

5. Олійник О.П., Тупко Н.П., Гришко О.М., Варивода В.О. Вища математика: навч.посібник: у 2 ч.- Ч.1.-К.: НАУ, 2021.-216 с.

6. Бригінець В.П., Подласов С.О. Коливання і хвилі: навч.посібник: навч.посібник. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021.

7. Штіфзон О.Й., Новіков П.В., Бунь В.П. Теорія автоматичного управління: навч.посібник [ел.ресурс]: навч.посібник. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 144 с.

8. Зайцев Р.В., Дроздова, Г.А., Кудій Д.М. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Теорія електричних кіл". Частина 2. – Х.: НТУ "ХПІ", 2019. – 54 с.

9. Петрик М.Р., Петрик О.Ю., Бойко І.В. Математичне моделювання в науково-технічних дослідженнях: курс лекцій.- Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім.І.Полюя, 2019.- 92 с.

10. О. Гришко, В. Гураль. Наочність при викладанні теми "Комплексні числа" студентам нематематичних спеціальностей. Матеріали конференцій МЦНД, травень 2020, с. 49-51, https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/mcnd/article/view/3042.

11. В.О. Варивода, О.М. Гришко. Елементи математичного моделювання при вивченні розділу «Диференціальні рівняння» у курсі вищої математики числа // Сімнадцята міжнародна наукова конференція ім. Михайла Кравчука: міжнародна конф., 19–20 травня 2016 р.: К., НТУУ«КПІ», 2016.– Т. 3. – С. 198-201.

References

1. Bludova T.V., Shchekan N.P. Briefly about the development of numbers // "Scientific notes" - a collection of scientific works: a printed periodical. - Kyiv: Vadym Hetman Kyiv National University of Economics, 2010. - Vol. 12. - P.277-282.

2. https://www.houseofmath.com/uk/encyclopedia

3. Kurinnyi H.Ch. Complex numbers: a teaching-methodical manual on algebra. - Kh.: KhNU named after V.N. Karazin, 2015.-36 p.

4. Kononchuk G.L., Prokopets V.M., Stukalenko V.V. Introduction to Fourier optics. - K.: VPC "Kyiv University", 2010. – 320 p.

5. Oliynyk O.P., Tupko N.P., Hryshko O.M., Varyvoda V.O. Higher mathematics: study guide: in 2 hours - Part 1.-K.: NAU, 2021.-216 p.

6. Bryginets V.P., Podlasov S.O. Oscillations and waves: tutorial: tutorial. - K.: KPI named after Igor Sikorskyi, 2021.

7. Shtifzon O.Y., Novikov P.V., Bun V.P. Theory of automatic control: study guide [electronic resource]: study guide. - K.: KPI named after Igor Sikorskyi, 2020. – 144 p.

8. Zaitsev R.V., Drozdova, G.A., Kudiy D.M. Methodical instructions for laboratory works in the discipline "Theory of electric circuits". Part 2. – Kh.: NTU "KhPI", 2019. – 54 p.

9. Petryk M.R., Petryk O.Yu., Boyko I.V. Mathematical modeling in scientific and technical research: a course of lectures. - Ternopil: Ternopil National Technical University named after I. Polyuy, 2019. - 92 p.

10. O. Hryshko, V. Gural. Clarity when teaching the topic "Complex numbers" to students of non-mathematical specialties. Proceedings of the ICND conferences, May 2020, p. 49-51, https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/mcnd/article/view/3042.

11. V.O. Varyvoda, O.M. Grishko Elements of mathematical modeling when studying the section "Differential equations" in the course of higher mathematics of numbers // The Seventeenth International Scientific Conference named after Mykhailo Kravchuk: international conference, May 19–20, 2016: K., NTUU "KPI", 2016. - Vol. 3. - pp. 198-201.

Анотація. *Дана стаття присвячена окремим прикладним застосуванням теорії функції комплексної змінної.*

У статті з'ясовані причини розширення числових множин: так операція віднімання привела до появи від'ємних чисел, операція ділення – раціональних чисел, добування кореня – ірраціональних чисел. Всі ці множини входять у множину комплексних чисел, в якій виконується операція добування кореня із будь-якого числа.

Комплексні числа завдяки таким принципово новим характеристикам поняття числа як двокомпонентність, геометрична інтерпретація точкою або вектором на площині, можливість переходу від однієї форми запису комплексного числа (алгебраїчної, впорядкованою парою дійсних чисел, тригонометричної, експоненціальної) до іншої, отримали широке застосування у різних науково технічних галузях, зокрема, в аеродинаміці, теорії електромагнітних хвиль, геодезії, електротехніці, теорії сигналів, математико-економічному моделюванню, теорії відносності та ін.

Ключові слова: *комплексні числа, форми запису комплексного числа, теорія функції комплексної змінної.*

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-047
DOI: 10.30888/2663-5712.2023-18-01-047

УДК 53:504.054

MODERN POWER SOURCES: ON THE WAY TO ENVIRONMENTAL SAFETY

СУЧАСНІ ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ: НА ШЛЯХУ ДО ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Pylypchuk A.S. / Пилипчук А.С.
Student / студент
Chursanova M.V. / Чуранова М.В.
PhD, as.prof. / к.ф-м.н, доцент
ORCID: 0000-0001-6977-7473
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Beresteiskyi prospekt (Peremohy), 37, 03056
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Берестейський проспект (Перемоги), 37, 03056

Анотація. *В даній роботі представлено огляд сучасних автономних джерел електроенергії. Без сумніву, батарейки та акумулятори змінили наше життя на краще, але ціною комфорту є забруднення та негативний вплив на довкілля. Не існує адекватної безпечної заміни цим джерелам живлення, а їх переробка теж не позбавлена шкідливих побічних ефектів, тому єдиним рішенням є перехід на їх екологічні модифікації. Одними з найбільш перспективних напрямків є біорозкладні батареї, такі як полімер-паперові чи текстильні, які, до того ж, можуть мати значно більшу ємність, ніж традиційні батареї. Але для їх масового впровадження потрібне як переобладнання промисловості, так і усвідомлення суспільством необхідності інновацій в сфері електроживлення.*

Ключові слова: *батарейки, акумулятори, вплив на довкілля, біорозкладні батареї*

Сучасний світ безповоротно залежить від електроенергії, і навіть тимчасові її відключення несуть важкі наслідки для функціонування як промисловості, так і побуту. Тому невід'ємними є автономні джерела живлення, які здатні накопичувати та зберігати електроенергію та надавати її підключеним пристроям – тобто, батарейки та акумулятори. Їх застосування можна знайти практично в будь-якій сфері життя, враховуючи теперішню тенденцію до автоматизації всього, від космічних зондів та супутників до розумних перстнів. Із розвитком людської цивілізації потреба у джерелах електроживлення стрімко зростає. Однак, водночас все більш актуальною стає проблема їх переробки та шкоди для довкілля, про що і буде йти мова у даній роботі.

На сьогодні існує багато різновидів акумуляторів та батарей, де звичайним є використання електрохімічних запасів енергії, серед яких найпоширенішими є літій-іонні акумулятори. Чимало наукових робіт присвячено дослідженню методів виготовлення та властивостей електродів та електролітів для хімічних елементів живлення, зважаючи на їх фізико-хімічні характеристики, електрохімічну стабільність, електропровідність, енергоємність, температурну стабільність тощо [1, 2]. Наприклад, для дронів використовуються літій-полімерні (Li-Po) акумулятори. Як видно з назви, електролітом слугує літій-іонний полімер, який має високу щільність енергії та є легким, що є критично важливим у цій галузі. Але до недоліків відносять малий термін служби та його собівартість [3]. Тому не існує «ідеального універсального» акумулятора, який підійде для всіх потреб людства.

Виробництво батарей та акумуляторів потребує використання багатьох шкідливих речовин, таких як свинець, кадмій та нікель. Цими важкими металами одна викинута батарейка здатна забруднити двадцять квадратних метрів ґрунту та 400 літрів води. А у випадку спалювання хімічних елементів живлення разом зі сміттям діоксини, що виділяються, можуть переміщатися на кілометри. Є приклад статистики що може виразити шкоду, яку завдають батарейки. Один пристрій може призвести до втрати двох дерев, кількох тисяч дощових черв'яків, які збагачують ґрунт, а також знищити кілька сімей їжаків та кротів. Незважаючи на те, що батарейки складають лише 0,25% від усіх відходів, на них припадає більше 50% токсичних металів у смітті [4].

Що ж до шкоди для людини, то луги, які входять до складу хімічних елементів, здатні зіпсувати слизові оболонки і шкіру, кадмій завдає істотної шкоди ниркам і легеням. Свинець взагалі «рекордсмен» за кількістю неприємностей, які він може доставити: від нього гинуть клітини крові, він вражає печінку і нирки, завдає непоправної шкоди нервовій системі і кістковим тканинам. Ртуть негативно впливає на органи дихання, а цинк і нікель пошкоджують головний мозок. Всі ці отруйні елементи накопичуються в людському організмі, приводячи навіть до репродуктивних і онкологічних захворювань. Особливу шкоду використані батарейки наносять дітям. Адже саме діти активно пізнають світ, причому, частіше за все вони роблять це, пробуючи предмети на смак.

Альтернативні методи живлення, такі як використання сонячних батарей, водневих та електричних систем, стають все більш популярними в сучасному світі. Ці методи є екологічно чистими та енергоефективними, і можуть зменшити залежність від традиційних джерел енергії, таких як нафта та вугілля. Однак, існують питання з проблемами зберігання та транспортування водню, а також високі вартості встановлення сонячних батарей та електричних систем. Крім того, залишається відкритим питання утилізації сонячних батарей, адже скло і фотоелектронні панелі теж завдають шкоду навколишньому середовищу [5]. Проте зазначені альтернативні методи живлення не є компактними (за винятком сонячних батарей, але тоді їх енергоефективність дуже маленька), отже не можуть бути конкурентами акумуляторам і батарейкам.

Для переробки батарейок та акумуляторів існує декілька методів, таких як, наприклад, гідрометалургія, яка використовує розчинні речовини для виділення металів. Цей метод дозволяє повторно використовувати метали та інші корисні матеріали, що містяться в їх нутрощах. Іншим методом є пірометалургія, яка використовує високу температуру для виділення металів. Обидва методи мають свої переваги та недоліки, і вибір методу залежить від типу матеріалів, що переробляються. Ці методи хоч і дозволяють мінімізувати викид шкідливих речовин у довкілля, але не виключають їх повністю, адже, наприклад, під час гідрометалургії чи пірометалургії виділяються отруйні пари.

Розвиток нанотехнологій відкрив дорогу для покоління новітніх матеріалів, що можуть бути використані для акумулювання електричної енергії. Одним з найбільш перспективних напрямків є біорозкладні батареї, наприклад полімер-паперові чи текстильні [6, 7]. Екологічні батареї виготовляються з екологічних

матеріалів, таких як целюлоза або крохмаль, і здатні розкладатися природним шляхом. При цьому, вони можуть мати значно більшу ємність, ніж традиційні батареї, і бути економічно вигіднішими у виробництві. Також, з'явилися такі екологічні батареї, як літій-залізо-фосфатні ($LiFePO_4$), натрій-іонні [8] та марганцеві діоксидні батареї (MnO_2). Ці матеріали є безпечними, тому вони стають дедалі популярнішими у виробництві елементів живлення. Але, звісно, їх недоліком є висока ціна та небажання заводів, які до цього випускали неекологічні батареї та акумулятори, міняти обладнання.

Одним з головних чинників, що впливає на споживачів при виборі батарейок та акумуляторів, є їхні технічні характеристики. Реклама та маркетинг можуть зосередитися на цих характеристиках, таких як ємність, тривалість життя та інші параметри, які впливають на виконання функцій елемента живлення. В основному, саме вони розміщені на лицьовій частині упаковки та в центрі реклами. Все ж, особливо в бідних країнах та в СНД люди мало цікавляться екологічністю їх елементів живлення і віддають перевагу дешевизні та технічним параметрам, чим маркетологи активно користуються.

Міжнародні організації відіграють важливу роль у регулюванні виробництва та використання батарейок та акумуляторів. Наприклад, Європейський союз встановив директиви щодо використання шкідливих речовин у виробництві, обмеження вмісту свинцю в акумуляторах та програми збору та переробки використаних батарейок та акумуляторів. Організація Об'єднаних Націй також займається проблемами електронного сміття та пропагує безпечну утилізацію відходів електронної техніки, у тому числі батарейок та акумуляторів. В Україні діє закон «Про хімічні джерела струму», який передбачає накладення штрафу на посадових осіб, що порушили порядок обліку придбання та експлуатації хімічних джерел струму або порядок обліку обсягів накопичення відпрацьованих хімічних джерел струму та передачі їх на утилізацію [9].

Отже, шкоду батарейок та акумуляторів тяжко переоцінити, але все ж, на щастя, зберігається тенденція до екологізації цих продуктів. Сподіваємось, що в найближчому майбутньому ця проблема перестане бути актуальною і залишиться тільки на сторінках підручників з історії.

Література:

1. Потапенко, О. В., Діамант, В. А., Глоба, Н. І., & Присяжний, В. Д. Фізико-хімічні характеристики електролітів для літієвих акумуляторів на основі біс (оксалато) борату літію // Доповіді Національної академії наук України, 2009, – № 10. – С. 150–154. http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/18864/25-Potapenko.pdf?sequence=1

2. Kuksenko, S. P., Kaleniuk, H. O., Tarasenko, Y. O., & Kartel, M. T. Вплив електролітної добавки триметилсилілізоціанату на властивості електрода з нанокремнієм для літій-іонних акумуляторів // Хімія, фізика та технологія поверхні, 2021. – № 12(1), – С. 67–78. DOI: https://doi.org/10.15407/hftp12.01.067 http://www.cpts.com.ua/index.php/cpts/article/view/580

3. PLESCA, V., & PAȚURCĂ, S. V. Experimental System for Charging and Testing Batteries Specific to Multirotor Drones // The Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati. Fascicle IX, Metallurgy and Materials Science, 2020. – № 43(4). – Pp. 5-12. DOI: https://doi.org/10.35219/mms.2020.4.01 Available from: https://www.gup.ugal.ro/ugaljournals/index.php/mms/article/view/4030

4. Тимохіна А., Тютько С. М. Батарейки: загроза для навколишнього середовища // Веб-сайт Національного фармацевтичного університету, 2021 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://college.nuph.edu.ua/wp-content/uploads/2021/04/Тимохіна-А.-Керівник-Тютько-С.-М.-БАТАРЕЙКИ-ЗАГРОЗА-ДЛЯ-НАВКОЛИШНЬОГО-СЕРЕДОВИЩА.pdf

5. . Шкідливість сонячних батарей: екологічні аспекти // Solar Garden, 2021 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.solargarden.com.ua/shkidlyvist-sonyachnyh-batarej-ekologichni-aspekty/

6. Gustav Nyström, Aamir Razaq, Maria Strømme, Leif Nyholm, and Albert Mihranyan. Ultrafast All-Polymer Paper-Based Batteries // Nano Lett, 2009. – Vol. 9, – No. 10, – Pp. 3635–3639. https://doi.org/10.1021/nl901852h

7. Abu-Thabit, N.Y., Makhlouf, A.S.H. Smart Textile Supercapacitors Coated with Conducting Polymers for Energy Storage Applications // In: Hosseini, M., Makhlouf, A. (eds) Industrial Applications for Intelligent Polymers and Coatings. Springer, Cham, 2016. – Pp. 437–477. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26893-4_21

8. Arnaud Delubac. What is the environmental impact of a battery? // Greenly, 2022 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://greenly.earth/en-us/blog/ecology-news/carbon-footprint-battery

9. ЗАКОН УКРАЇНИ Про хімічні джерела струму // Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2006. – № 33. – С. 279. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3503-15#Text

Abstract. *The article presents a review of modern autonomous power sources. It is difficult to overestimate the role of batteries and accumulators in our era. They have become the basis for many innovations and products, such as smartphones and other electronic devices. Without a doubt, batteries and accumulators have changed our lives for the better, but the price of comfort is pollution and negative impact on the environment. Humanity is also a part of nature, so these consequences have impact on us as well. There is no adequate safe replacement for batteries and accumulators, and their processing is also not free from harmful side effects, so the only solution is to switch to their ecological modifications. One of the most promising areas is biodegradable recyclable batteries, such as polymer-paper or textile batteries, which, moreover, can have a much larger capacitance than the traditional ones. But for their mass introduction, the retool of industry, as well as society's awareness of the need for innovations in the field of power supply, is necessary. Nowadays, products and technologies that have been tested according to various environmental standards and norms have become very popular, especially in developed countries. This is attested by the active development of startups and young companies that develop safe energy carriers. So, progress does not stand still and we are sure that the time will come when "dirty" power sources will be just history as radium clocks are now.*

Key words: *batteries, accumulators, environmental impact, biodegradable batteries*

Стаття відправлена: 19.03.2023 р. © Пилипчук А.С., Чурсанова М.В.

CONTENTS

Innovative engineering, technology and industry

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-002 3
CHILDREN'S MENU OF HOSPITALITY INDUSTRY INSTITUTIONS: WAYS OF EXPANDING THE RANGE OF FISH DISHES
Ditrikh I.V., Shtoma Y.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-006 13
IDENTIFICATION OF DEPOSITS IN TURBINE CONDENSERS ACCORDING TO STEAM TURBINE PLANT WORK PARAMETERS
Kochmarskii V.Z.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-013 20
ALGORITHM OF CALCULATION THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF AN ADVANCED JET WELL INSTALLATION
Yakymechko Y. Y.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-024 33
ANALYSIS OF QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF EMISSIONS OF "GREENHOUSE AND THERMAL" GASES DEPENDING ON THE TYPE OF FUEL
Sheleshey T.V., Bednarska I. S., Kutsa A.V.
Tsyhanov K.O., Olymenko I.O., Apostol Ye.A.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-037 39
RESEARCH OF THE APPLICATION OF COMPOSITE MATERIAL IN METAL CONSTRUCTION OF WORKING EQUIPMENT OF THE SCRAPER
Spilnyk M., Dakhno O., Uzhelovskyi A.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-044 49
SIMULATION OF WORK MODES AND CHARACTERISTICS OF A WIND ENERGY INSTALLATION.
Sorokin M., Huzenko V.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-063 54
DETERMINATION OF HEAT ENERGY LOSSES BY UNDERGROUND HEAT PIPELINES TAKING INTO ACCOUNT SOIL MOISTURE
Vashchyshak I. R., Tsykh V.S.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-064 62
INCREASING THE LIFETIME OF LI-ION BATTERIES AS PART OF SELF-MANUFACTURED TRACTION BATTERIES FOR PORTABLE ELECTRIC VEHICLES
Tatarchuk T. V., Seredenko K. A., Oleksenko O. S.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-071 72
EFFICIENCY OF LOW-CALORIFIC FUEL USE IN COUNTERFLOW LIME KILNS
Foris S.N., Pererva V.Y., Usenko A.Y., Forys O.M.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-076 77
PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF 3D CONSTRUCTION AND ITS IMPACT ON THE ENVIRONMENTAL
Kiryk K., Zhuravska N., Stefanovych P.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-077 88
ECONOMIC CHARACTERISTICS OF THE CRYPTORY MARKET
Ohinok S.V., Yanko K.V.

Computer science, cybernetics and automatics

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-030 93
AUTOMATIC FREQUENCY REGULATION OF THE SPEED OF THE ASYNCHRONOUS MOTOR OF THE ELECTRIC DRILL
Shavranskyi M.V., Kuchmystenko O.V., Mateik H., Zvarych H.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-045 99
GENERAL APPROACHES TO THE ASSESSMENT OF THREATS TO CRITICAL INFRASTRUCTURE USING THE METHOD OF EXPERT ASSESSMENT
Popel V., Murasov R.K., Nazar Zaika
Chumachenko S.M., Savchenko I.O.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-054 106
TECHNOLOGY OF CREATING RELIABLE PROGRAMS
Holub S.V., Salapatov V.I.

Security systems in the modern world

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-009 111
ADAPTATION OF STATE POLICY ON ISSUES OF POPULATION LONGEVITY TO WARTIME CONDITIONS
Marova S.F., Khaletska A.A., Pavlenko O.P.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-020 119
MATHEMATICAL ANALYSIS OF ENTERPRISE RISKS
Mormul M. F., Shchytov D. M., Shchytov O. M.
Romanchuk L.A., Chupilko T.A.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-078 133
WAYS TO REDUCE THE ENVIRONMENTAL RISKS OF THE BLACK SEA REGION IN CONDITIONS OF TURBULENCE
Pavlenko O.P., Rozmaryna A.L., Hou Bo, Pavlenko A.V.

Development of transport and transportation systems

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-014 140
REDUCING THE ERROR OF MEASURING FUEL CONSUMPTION OF A TRANSPORT ENGINE WITH A HEAT FLOWMETER
Ilchenko A.V.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-031 147
FORECASTING OF OPERATIONAL OF AUTO ROADS CHARACTERISTICS
Yareshchenko N.V.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-035 155
AUTOMATION OF THE ROAD MARKINGS DETECTION PROCESS
Smolianiuk R.V., Smolianiuk N.V.

Architecture and construction

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-048 163
INFLUENCE OF STRUCTURE FORMATION PROCESSES ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF LAYERS FROM LARGE DESTRUCTIVE SOILS REINFORCED WITH CEMENT
Siedov A.V., Fomenko O.O.

Physics and mathematics

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-011 169
SOME EXAMPLE APPLICATIONS OF COMPLEX NUMBERS
Hryshko O.M., Varyvoda V.O.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj18-01-047 176
MODERN POWER SOURCES: ON THE WAY TO ENVIRONMENTAL SAFETY
Pylypchuk A.S., Chursanova M.V.

Scientific publication

International periodic scientific journal

ScientificWorldJournal

Issue №18
Part 1
March 2023

Indexed in
INDEXCOPERNICUS
high impact factor (ICV: 89.14)

Articles published in the author's edition

Academy of Economics named after D.A. Tsenov
Bulgaria jointly with SWorld

Signed: March 30, 2023

e-mail: editor@sworldjournal.com
site: www.sworldjournal.com

www.sworldjournal.com

ISSN 2663-5712

www.sworldjournal.com