



International periodic scientific journal

ONLINE

www.sworldjournal.com

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

Indexed in
INDEXCOPERNICUS
(ICV: 87)
GOOGLESCHOLAR

SWorld Journal

Issue №24
Part 1
March 2024

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

UDC 08
LBC 94

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

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

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

The International Scientific Periodical Journal "SWorldJournal" has gained considerable recognition among domestic and foreign researchers and scholars. Today, the journal publishes authors from 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: 10.30888/2663-5712.2024-24-00

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

Copyright
© Authors, scientific texts 2024



УДК 621.791

NEW TECHNOLOGICAL PROCESSES OF RESTORATION OF PARTS BY FUSION WITH THE USE OF MODIFICATION WITH IMPURITIES OF NATURAL ORIGIN

НОВІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЗВАРЮВАННЯМ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДИФІКУВАННЯ ДОМІШКАМИ ПРИРОДНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Tihonov O.V. / Тіхонов О.В.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., проф.

ORCID: 0000-0001-7209-8375

Rybalko I.M. / Рибалко І.М.

d.t.s., as.prof. / д.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-3663-019X

State Biotechnological University, Kharkiv, Alchevskikh street, 44, 61002

Державний біотехнологічний університет, Харків, вул. Алчевських, 44, 61002

Анотація. У машинобудуванні одним із основних конструкційних матеріалів є сірий чавун, з нього виготовляють дорогі базові деталі дизелів та різних механізмів, від якості ремонту яких залежить довговічність вузла чи агрегату загалом. Основними причинами відмов чавунних деталей є значні статичні та циклічні напруження, корозійно-ерозійний знос, абразивний знос, робота деталей в умовах зношування та циклічних навантажень. Розробка технології відновлення відповідних чавунних деталей зварюванням або наплавленням – одне з актуальних завдань ремонтної практики.

Правильний вибір хімічного складу присадного матеріалу, створення необхідних умов для кристалізації зварювальної ванни та подальшого охолодження з'єднання є важливими факторами в управлінні процесом формування структури наплавленого металу та зон сплавлення та термічного впливу чавуну при заварюванні дефектів.

Ключові слова: чавун, дефекти, тріщини, нанопорошок глини, зварювання, мікротвердість, хімічний склад, розподіл компонентів.

Вступ.

Корпусні деталі із сірого чавуну є базовими виробами у машинобудуванні. Узагальнені вимоги до якості і способу виробництва, які визначають їхню надійну роботу та відносно низьку собівартість.

Основними видами пошкоджуваності деталей з сірого чавуну при експлуатації є тріщини, відколи, викришування, задири, обломи шпильок, зрізи і змінання з'єднань, а також руйнування посадкових місць отворів.

Розробка технології відновлення відповідних чавунних деталей зварюванням або наплавленням – одне з актуальних завдань ремонтної практики. Це завдання в цілому для зварювання і наплавлення не тільки дуже складне, але часто важке за необхідності забезпечення високоякісного зварного з'єднання на рівні міцності основного металу. Чавун має погану технологічну зварюваність, обумовлену тим, що метали як наплавлений, так і навколошовної зони має схильність до утворення гартових непластичних структур і тріщин внаслідок великих швидкостей охолодження, теплових та усадкових напружень. Його низька міцність і практично повна відсутність пластичності сприяють утворенню тріщин при зварюванні та наплавленні як у наплавленому, так і в основному металі [1-8].



Метою роботи – є розробка технології підвищення якості зварювання чавунних деталей з введенням домішок природного походження.

Для вирішення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання: запропонувати технологію подрібнення домішок до нанорозмірного стану; розробити технологію введення домішки у наплавлений матеріал; дослідити розподіл компонентів в наплавленому матеріалі та вплив на зносостійкість; провести апробації.

Основний текст

Глина в природньому стані – це в'язка субстанція завжди з певною вологістю, кольором, та завжди з різним хімічним складом [9-11].

Проба з Куп'янського родовища (рис. 1) представляла собою глину, яка була темно-білого кольору, гігроскопічна, нагадувала крейду. При розтиранні була як добре подрібнений порошок або пудра, не відчувались часточки кварцу. Це були три проби приблизно по 30-40 гр. кожна, взяті з різних шарів гори та поміщені в різні ємкості.

Глина розмілюється до нанорозмірів у кульовому млині, який складається з: барабану, в який засипані кульки діаметром 8мм; електродвигуна; зуборемінної передачі; підставок та з'єднувальної пластини. Барабан складається з: циліндра, заглушки з підшипником та кришки. Оберти барабана склали 125 об/хв.

Подрібнений порошок глини розмішували з клеєм марки ПВА у пропорції 2 грама порошку та 2 грама клею та ретельно перемішували. Після чого, отриману емульсію зразу наносили тонким шаром на електроди. На 1 електрод приблизно витрачалося 1,6 грамів емульсії.



Рисунок 1 - Глина з Куп'янського родовища

Перед нанесенням на електроди підготовленого порошку з подрібненої глини, електроди попередньо були поміщені в піч з температурою 180°C на 1,5 години, після чого висушували на повітрі протягом 24 годин. Після нанесення емульсії порошку глини й клею на електрод його висушували на повітрі протягом 24 годин, а потім в печі при температурі 180°C 4 години.

Зварювання проводили за допомогою ручного електродугового апарату марки ПАТОН ВДИ-200 Р з такими параметрами зварювання: напруга 20 В; сила струму 90 А.

Електрод марка ЦЧ-4 ТМ МОНОЛИТ, має такий хімічний склад: Mn 0,50-2,5 %, Si 0,1-0,8%, С не більше 0,25 %, Р не більше 0,07 %, S не більше 0,04 %, ...



V 8,5-10,5%

Зварювальні валики виконані у вигляді смуг шириною 12-15 мм, та довжиною приблизно 30-35 мм., матеріал, на який виконували зварювання – чавун СЧ18-36 рис. 2.

За результатами аналізу хімічного складу видно, що в глині з Куп'янського родовища (табл. 1) присутня висока концентрація кальцію – 56,455%. Тому глина з даного родовища має високу гігроскопічність, а також схильність до формування грудочок. Заварку дефектів проводили електродом ЦЧ-4 Ø3,0мм з накладенням коротких валиків довжиною 20-30 мм. Рекомендовано проводити охолодження кожного валика до 60°C та проковуванням зони наприкінці відновлення легким деформуванням молотком при $t = 400^{\circ}\text{C}$.



а

б

Рисунок 2 – Зразки чавуну з наплавленими валиками.

а – перетин зварного валика; б – від с верху. Ліворуч – наплавлення електродом. Праворуч – наплавлення електродом з обмазкою глиною

Таблиця 1– Хімічний склад глини з Куп'янського родовища, %

Загальний склад глини	Na	Mg	Al	K	Ca	Fe	Si	P	S	Cl
	5,225	1,129	6,551	0,623	56,455	0,341	19,2	8,5	1,0-1,5	7,0
Частка модифікатора, що вводитьься, 6%	0,31	0,07	0,39	0,04	3,39	0,21	1,15	0,51	0,09	0,42

Проведено мікрорентгеноспектральний аналіз наплавлених зразків електродом та з додатковим введенням подрібненого порошку глини Куп'янського родовища у вигляді обмазки. На рис. 3 та 4 представлена мікроструктура наплавлення та перехідної зони з термоелектронною емісією з розподілом основних компонентів в покритті.

Проаналізувавши результати розподілу компонентів по перерізу наплавлення (табл. 2, рис. 5), можна відмітити наступне. Збільшується концентрація кисню в наплавленому шарі до 5,83% при модифікуванні з 3,14% в порівнянні без додаткового введення глини [11]. З'являються сліди кальцію, концентрація по перетину становить 0,04-0,05%. В перехідній зоні збільшується вміст алюмінію в 2 рази в порівнянні з простим нанесенням покриття електродом. Виявлено підвищення вмісту кремнію в наплавленні, концентрація становить 1,85% в порівнянні без введення глини – 1,37%. Також підвищується вміст марганцю, з 0,66-0,81% до 0,97-0,99% при модифікуванні.

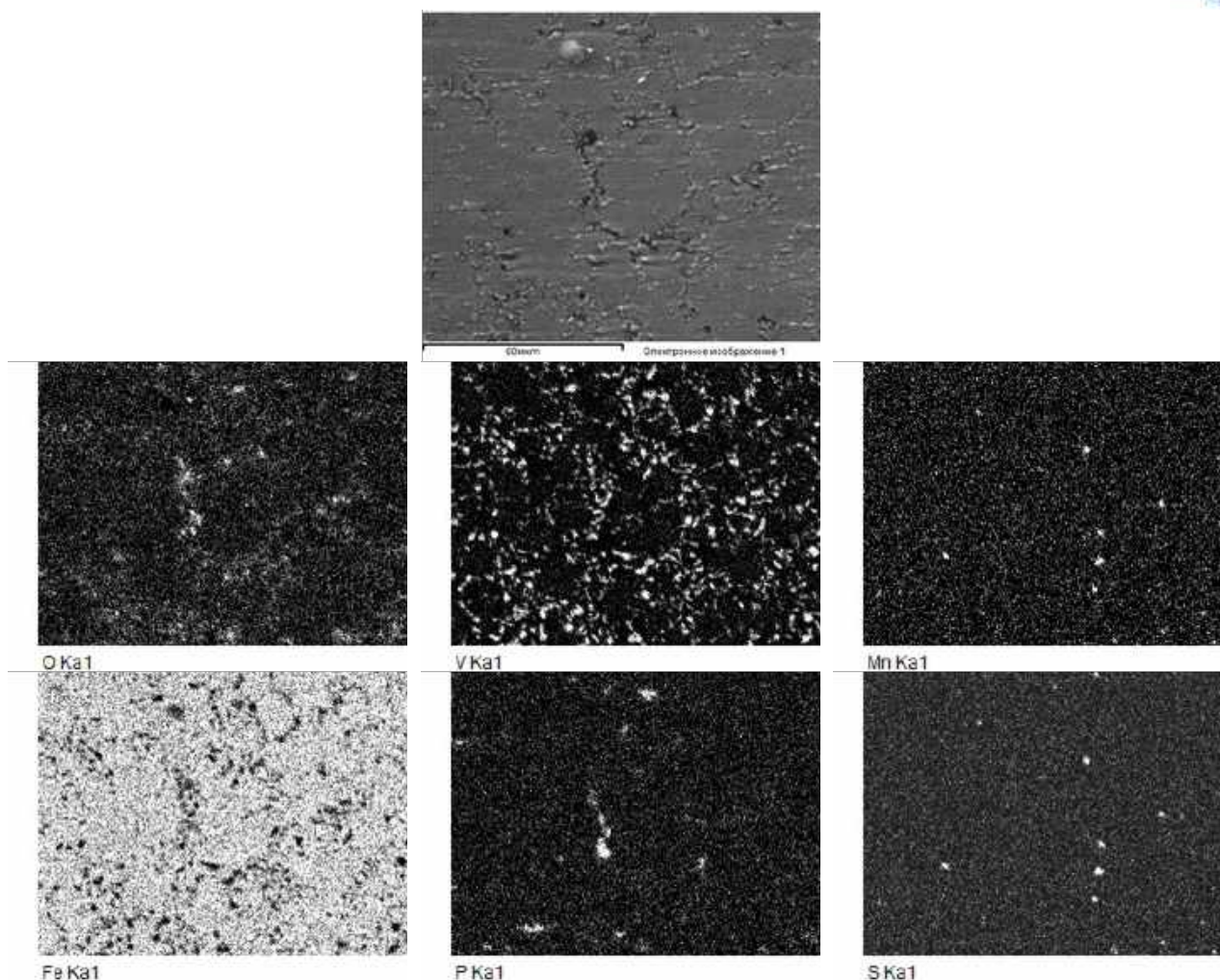


Рисунок 3 – Середина поверхні наплавлення електродом з додатковим модифікуванням глиною

Підвищення концентрації хімічних елементів пов'язано з додатковим введенням глини. З хімічного складу глини видно, що більший вміст у ній алюмінію, кальцію та кремнію. Так як вводилося до 6% глини від об'єму електрода, то зміна вмісту компонентів збільшується несуттєво. Також по перетину наплавлення з введенням глини виявлено білі зерна розміром до 1мкм з підвищеним вмістом вуглецю 24,06%, титану 0,65% та ванадію 56,26%.

Для визначення впливу введення глини через обмазку було проведено вимірювання мікротвердості зразків (табл. 3, рис. 6).

З отриманих результатів видно, що мікротвердість наплавленої поверхні з додатковим введенням глини збільшується на 50 одиниць до Н-50-693,10, а перехідної зони зменшується на 180 до Н-50-425,55 в порівнянні з наплавленням тільки електродом. Це свідчить про вплив глини навіть в невеликій кількості при введенні у наплавлення. Зменшення мікротвердості перехідної зони може впливати позитивно на покриття, так як виникаючі напруження в зоні сплавлення будуть меншими та це буде сприяти зменшенню появи дефектів.

Експлуатаційні дослідження проводились по відновленню чавунних корпусів КЗП автомобілів [12]. На цей час коробки пропрацювали 7 місяців та



працюють надалі, що вказує на придатність розробленого способу заварювання дефектів корпусів та може бути рекомендована для впровадження у виробництво.

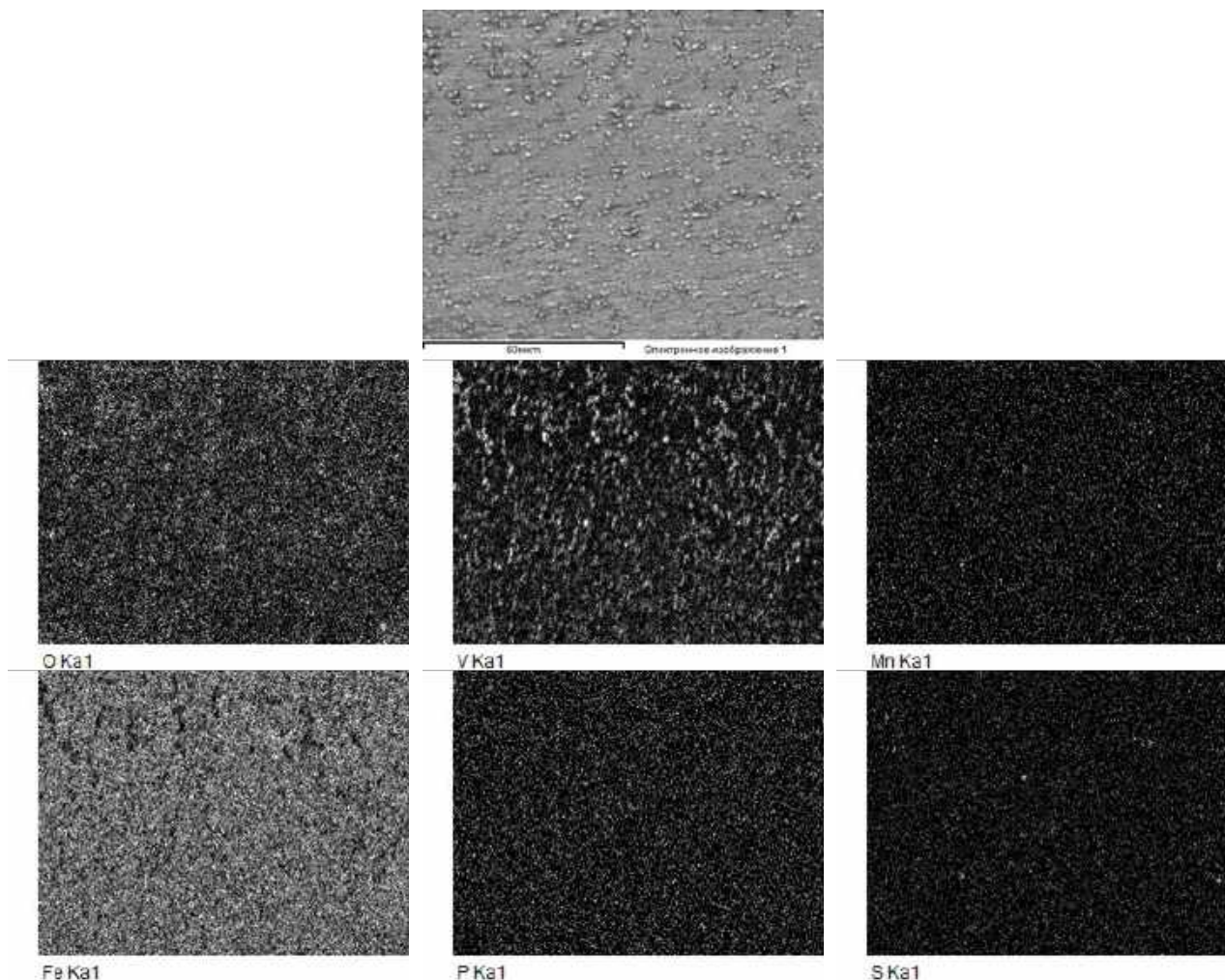


Рисунок 4 – Перехідна зона наплавлення електродом з додатковим модифікуванням глиною

Таблиця 2 – Мікрорентгеноспектральний аналіз

Наплавлення електродом

	C	O	Al	Si	P	S	Ti	V	Mn	Fe
Середина наплавлення	17,57	3,14	0,10	1,37	0,18	0,06	0,10	9,18	0,75	67,54
Перехідна зона	16,68	2,72	0,08	1,70	0,21	0,04	0,08	7,57	0,81	70,06
Перехідна зона	18,99	3,82	0,08	2,18	0,22	0,08	0,06	3,99	0,66	69,90

Наплавлення електродом з додатковим модифікуванням глиною

	C	O	Al	Si	P	S	Ca	V	Mn	Fe
Середина наплавлення	-	5,83	0,06	1,85	0,26	0,12	0,04	9,52	0,99	81,31
Перехідна зона	-	3,54	0,13	2,09	0,18	0,08	0,05	9,30	0,97	83,65
Біле зерно 1мкм	24,06	5,39	-	0,31	-	-	Ti 0,65	56,26	0,29	13,05
Чавун	19,76	3,01	-	2,85	0,45	0,07	-	-	0,56	73,30

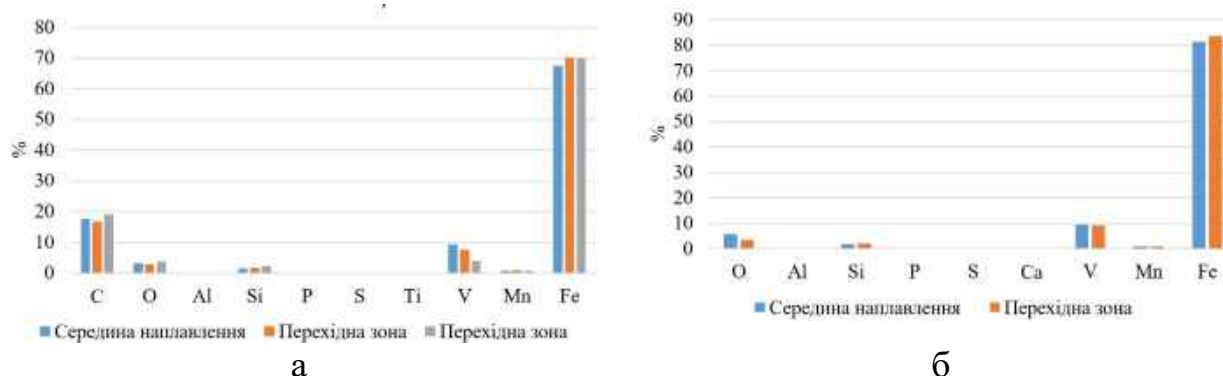


Рисунок 5 – Хімічний склад покриття наплавленого електродом (а) та з додатковим введенням глини у вигляді обмазки (б)

Таблиця 3 – Мікротвердість зразків

Покриття	Мікротвердість, Н-50, МПа		
	Max	Min	Середнє значення
Наплавлення електродом з обмазкою глиною			
Основа	149,7	91,6	123,05
Перехідна зона	647,0	208,1	425,55
Наплавка	808,2	583,9	693,10
Наплавлення електродом			
Основа	175,3	129,3	154,3
Перехідна зона	720,9	482,6	607,5
Наплавка	720,9	555,8	640,25

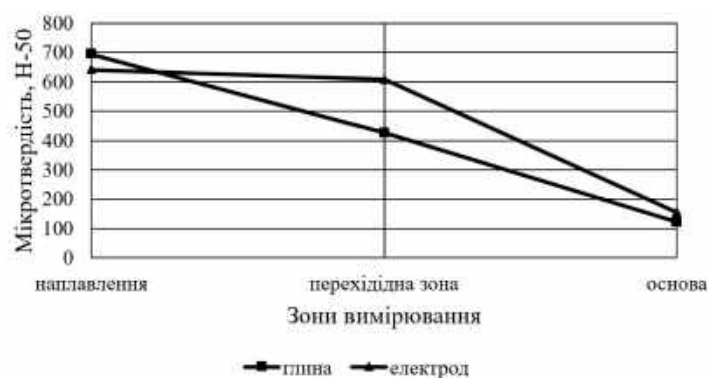


Рисунок 6 – Середні значення мікротвердості при наплавленні електродом та з додатковим введенням глини у вигляді обмазки

Висновки.

Чавун відноситься до групи металів, що погано зварюються. Пояснюється це високим вмістом у ньому вуглецю понад 2%, кремнію 1,6-2,0%, марганцю 0,5-1,2%, сірки до 0,12%, фосфору до 0,8% та швидкою швидкістю охолодження. Тому ремонт дефектних корпусних деталей автомобіля є складним технологічним завданням. Технологія, що застосовується в даний час на підприємствах автосервісу, характеризується великою витратою енергоносіїв, що обумовлено високою температурою нагріву, і високою трудомісткістю.



Розроблена технологія нанесення подрібнення та нанесення порошку на електрод марка ЦЧ-4 ТМ МОНОЛИТ. Подрібнений порошок глини розмішували з клеєм марки ПВА у пропорції 2 грама порошку та 2 грама клею та ретельно перемішували. Після чого, отриману емульсію зразу наносили тонким шаром на електроди. На 1 електрод приблизно витрачалося 1,6 грамів емульсії. Зварювання проводили за допомогою ручного електродугового апарату марки ПАТОН ВДИ-200 Р з наступними параметрами при зварюванні: напруга 20 В; сила струму 90 А.

Підвищення концентрації хімічних елементів пов'язано з додатковим введенням глини. З хімічного складу глини видно, що більший вміст у ній алюмінію, кальцію та кремнію. Так як вводилося до 6% глини від об'єму електрода, то зміна вмісту компонентів збільшується несуттєво. Також по перетину наплавлення з введенням глини виявлено білі зерна розміром до 1мкм з підвищеним вмістом вуглецю 24,06%, титану 0,65% та ванадію 56,26%.

Мікротвердість наплавленої поверхні з додатковим введенням глини збільшується на 50 одиниць до Н-50-693,10, а перехідної зони зменшується на 180 до Н-50-425,55 в порівнянні з наплавленням тільки електродом. Це свідчить про вплив глини навіть в невеликій кількості при введенні у наплавлення. Зменшення мікротвердості перехідної зони може впливати позитивно на покриття, так як виникаючі напруження в зоні сплавлення будуть меншими та це буде сприяти зменшенню появи дефектів.

Література:

1. Корпусні деталі з чавунів та їх якісні показники: Монографія / Т.С. Скобло, О.І. Сідашенко, О.В. Сайчук. Під ред. д.т.н. проф. Скобло Т.С. – Х: Діса плюс, 2019. – 282 с.
2. Гарост А.И. Улучшение состава, структуры и механических характеристик чугуна при графитизирующем модифицировании. / А.И. Гарост // Литье и металлургия. – 2008. – №2 (46). – С. 15-22.
3. Основні дефекти чавунних деталей / Н.В. Каплієнко, О.В. Тіхонов // ХІХ-й Міжнародний форум молоді «МОЛОДЬ І ІНДУСТРІЯ 4.0 В ХХІ СТОЛІТТІ». Збірка матеріалів форуму. – Харків: ДБТУ, 2023. – С. 116.
4. Маткова А.В. Особливості зварювання сірих чавунів методом напівавтоматичного зварювання / А.В. Маткова, М.В. Дмитріюк, Н.М. Поліщук // Наукові нотатки. – 2011. – Вип. 32. – С. 224-227.
5. Сварка ответственных деталей из серого чугуна / Л.Б. Леонтьев, А.В. Погодаев, С.П. Кобыляков, Е.Д. Доценников // Вестник инженерной школы ДВФУ. – 2015. – № 4 (25). – С. 51-61.
6. Иванов Б.Г. Сварка и резка чугуна / Б.Г. Иванов, Ю.И. Журавицкий, В.И. Левченков – М.: Машиностроение, 1977. – 208 с.
7. Калін М.А. Спосіб зварювання чавуну / М.А. Калін, А.О. Емдін // Вісник НТУ «ХП». – 2013. – №26(999). – С. 3-7.
8. Калін М.А. Спосіб холодного зварювання чавуну / М.А. Калін, К.О. Ізотова // Матеріали Всеукраїнської науково – практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу», випуск 2. – Херсон: ХНТУ (факультет



машинобудування), 2015. – С. 141-143.

9. Application of clay as a modifier in repair production / T.S. Skoblo, A.I. Sidashenko, A.V. Tihonov A.V., I.N. Rybalko, B.S. Siryak // Scientific and practical journal “Agricultural technology and energy supply” – 2019. – No. 4 (25). – P. 138-154.

10. Скобло Т.С. Використання дисперсних домішок вторинної сировини при відновленні деталей машин / Т.С. Скобло, О.В. Тіхонов, І.М. Рибалко // Информационно-аналитический международный технический журнал «Промышленность в фокусе». – Харьков, 2019. – №12 (84). – С. 55-57.

11. Каплієнко Н.В. Використання глини в якості модифікатора при наплавленні сірого чавуну / О.В. Тіхонов, І.М. Рибалко, Н.В. Каплієнко // IX Міжнародної науково-технічної онлайн конференції «Крамаровські читання» з нагоди 115-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, члена-кореспондента ВАСГНІЛ, віцепрезидента УАСГН КРАМАРОВА Володимира Савовича (1906 - 1987) та 90-річчя кафедри надійності техніки НУБіП України – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2022. – С. 329-331.

12. Каплієнко Н.В. Характеристика матеріалу корпусу коробки зміни передач ЗИЛ-130 та існуючі способи ремонту тріщин / О.В. Тіхонов, Н.В. Каплієнко // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Сучасна інженерія агропромислових і харчових виробництв» 24-25 листопада 2022 року м. Харків. – С. 359-362.

Abstract. *In mechanical engineering, one of the main structural materials is gray cast iron, it is used to make expensive basic parts of diesel engines and various mechanisms, the durability of the unit or unit in general depends on the quality of their repair. The main reasons for failure of cast iron parts are significant static and cyclic stresses, corrosive and erosive wear, abrasive wear, operation of parts under conditions of wear and cyclic loads. The development of the technology of restoration of the relevant cast iron parts by welding or surfacing is one of the urgent tasks of repair practice.*

The correct choice of the chemical composition of the filler material, the creation of the necessary conditions for the crystallization of the weld pool and subsequent cooling of the joint are important factors in managing the process of forming the structure of the deposited metal and fusion zones and the thermal effect of cast iron during welding of defects.

Key words: *cast iron, defects, cracks, clay nanopowder, welding, microhardness, chemical composition, distribution of components.*

Стаття надіслана: 01.02.2024 р.

© Тіхонов О.В., Рибалко І.М.



УДК 663

THE LATEST TECHNOLOGIES IN THE PRODUCTION OF VODKA НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ВИРОБНИЦТВІ ГОРІЛОК

Boiko P.M. / Бойко П.М.*k.t.n., dots. / к.т.н., доц.***Dvirko A.O. / Двірко А.О.***master / магістр**National University of Food Technologies, Kyiv, Volodymyrska, 68, 01033**Національний університет харчових технологій, Київ, Володимирська, 68, 01033*

Анотація. У статті представлено сучасні тенденції розвитку лікєро-горілкової промисловості України. Показано результати досліджень науковців для вдосконалення водопідготовки та очищення водно-спиртової суміші (сортивки) у виробництві горілок. Пошук новітніх матеріалів у технології кондиціювання води та приготування сортивки є одним із альтернативних напрямів лікєро-горілкової промисловості України.

Ключові слова: горілка, сортивка, вода питна, вода підготовлена, фільтрувальні матеріали.

Вступ.

Під час виробництва лікєро-горілкової продукції в Україні та світі використовують різні обробки, інгредієнти, фільтрувальні та сорбційні матеріали, які покращують органолептичні показники готових горілок, горілок особливих, лікєро-горілчаних напоїв, а також їх зовнішній вигляд.

Для підвищення рейтингу торгової марки та виходу на новий рівень ринку збуту напоїв лікєро-горілкового виробництва, підприємства почали застосовувати нетрадиційні способи обробок, а також інгредієнти, які вносять у готову продукцію під час її розливу.

Основний текст.

Проблема обробки води, яка використовується в технологічних процесах алкогольної галузі, має велике значення через постійне зростання вимог до якості і безпечності підготовленої води. Це також викликається антропогенним забрудненням вододжерел стічними водами та ускладненням роботи систем водопідготовчого обладнання.

Приготування різних видів напоїв вимагає використання високоякісної води, і одним з пріоритетних напрямків розвитку харчової галузі є вдосконалення обробки води для виробництва напоїв. Зазвичай вода з одного вододжерела, хоча вона може бути придатною для пиття та деяких технічних цілей, не може використовуватися без додаткового очищення у технологічних процесах, зокрема виробництві алкогольних напоїв.

Для виробництва лікєро-горілчаних виробів вода повинна відповідати вимогам СОУ 15.9-37-237 [8], ТР У 18. 5086 [9], що стосується подальшого приготування водно-спиртових сумішей, купажів алкогольних напоїв, розчинів інгредієнтів та напівфабрикатів, а також для господарських потреб та виготовлення кінцевого продукту [4].

Аналіз літературних джерел [5,10] вказує на необхідність вдосконалення фільтрувальних матеріалів, використовуваних у системах фільтрації води для



виробництва алкогольних напоїв. Проблеми, такі як тривалість підготовки та низька тривалість фільтрувального циклу, брудомісткість та збільшення вмісту силікатів та кальцію у підготовленій воді, мають потенційно негативний вплив на якість та стійкість готової продукції.

Кварцовий пісок, як природний матеріал, має певні переваги, такі як високий вміст оксиду кремнію, низький вміст розчинних сполук кальцію, заліза та марганцю. Висока міжкристалічна пористість та хороші сорбційні властивості роблять його потенційно придатним для фільтрації води. Проте проблеми, такі як великі витрати води та використання прекурсору соляної кислоти для регенерації, можуть ускладнити його використання в сучасних умовах виробництва [4].

Шунгіт, який міститься в природному вугіллі, визначається деякими дослідниками (McCusker, Baerlocher, Kesraouiouki, Cheeseman, Wang, Peng, Kyoung-Su, Armbruster, Gunter) як перспективний сорбент для очищення води. Його високі адсорбційні властивості та екологічна безпека роблять його цікавим для використання у системах фільтрації [11,12].

Шунгіт — це велика група докембрійських гірських порід насичених особливою вуглецевою (шунгітовою) речовиною, яка має найбільшу серед відомих форм елементарного вуглецю хімічну активність в окисновідновних процесах, що обумовлена присутністю в його складі особливої модифікації вуглецю фулерену [4,1].

Закарпатські цеоліти, зокрема клиноптилоліт та морденіт, за їхніми фізико-хімічними властивостями виявились перспективними для використання в системах водопідготовки, включаючи лікero-горілчану промисловість. За умовами ТУ 14.5–00292540.001–2001 регламентовано використання закарпатського клиноптилоліту для цілей водопідготовки.

Вивченнями науковців Василечко В. О., Скоробогатий Я. П., Грищук Г. В [3] підтверджено доцільність використання мікропористого мінералу, такого як кремнієподібний силіцид, який має високу твердість та може багаторазово реактивуватися. Цей матеріал сприяє покращенню органолептичних та фізико-хімічних показників готового продукту, включаючи прозорість, смак, запах та окиснюваність перманганатну. Важливо відзначити, що при цьому не відбувається значного збільшення вмісту силікатів та карбонатів у продукті.

Останнім часом приділяється значна увага розширенню спектру застосування природних кремнеземів та алюмосилікатів, таких як альмандин та обсидіан. Альмандин, червоний гранатовий камінь, має високу твердість та може бути використаний у водопідготовці [4]. Обсидіан, вулканічний скловидний матеріал, демонструє хімічну стійкість до кислот і лугів, володіє низьким вмістом силікатів та хорошою ефективністю в окисленні фільтрату. Обидва матеріали можуть бути корисними в системах водопідготовки для покращення якості води [4].

Для покращення якості горілчаної продукції та зменшення вмісту органічних домішок у сортівці зі спиртом і водою застосовують різні типи обробок водно-спиртового розчину з використанням різноманітних адсорбентів і фільтрувальних матеріалів, які можуть бути традиційними або нетрадиційними.



До традиційних методів відноситься обробка сортівки у нерухомому шарі активного вугілля динамічним методом В.Ф.Комарова у вугільно-очисній батареї. Такий підхід включає в себе використання пісочних фільтрів та вугільних колонок (одна або дві), які з'єднані послідовно або паралельно. Цей метод є обов'язковим в Україні згідно з чинним технологічним регламентом.

Окрім класичного методу існують інші способи, такі як обробка сортівки порошкоподібним вугіллям за Полтавською схемою з подальшим доочищенням у вугільно-очисній батареї, або додаткове очищення імпрегнованим активним вугіллям за допомогою систем фільтрувальних елементів, таких як "Срібна фільтрація"©, "Золота фільтрація"©, "Платинова фільтрація"©. Також застосовуються методи попереднього оброблення активним вугіллям на установках, таких як "ДІВЕ" (Україна).

На сьогодні для оброблення сортівки застосовують різні типи активного вугілля [4], зокрема:

- Березове подрібнене (БАУ): БАУ-А, БАУ-А ЛВЗ, БАУ-ЛВ;
- З фруктових кісточок (подрібнене або гранульоване): КАУ-В, МеКС і АКУ-ЛВП.
- Зі шкаралупи кокосових та волоських горіхів (подрібнене або гранульоване): С207 і 607 С Sutcliffe Carbon, К 48.

Імпрегноване (сріблом, платиною, золотом) активне вугілля, як катализатор процесів: АGC 0,4, АGC 607.

Порошкоподібне АВ – розміри часток менше 0,07-0,12 мм.

Додатковими сорбентами виступають матеріали, які містять високомолекулярні сполуки (ВМС), такі як сухе знежирене молоко, сухі молочні суміші, модифікований крохмаль, ячний порошок, біомаса клітин мікроорганізмів [6].

Нетрадиційні способи та інгредієнти включають [14]:

- Обробку знежиреним сухим молоком;
- Додавання мікроелементів та дорогоцінних металів;
- Додавання глюкози з винною кислотою;
- Оброблення борошном або модифікованим крохмалем;
- Додаткове фільтрування природними мінералами (шунгіт, кремій);
- Обробку ячним перепелиним білком;
- Обробку класичною музикою;
- Обробку магнітним полем;
- Обробку настоєм пшеничних сухарів та медовим розчином.

На підприємствах лікеро-горілчаної галузі застосовують динамічний спосіб оброблення водно-спиртової суміші (сортівки) в одній або декількох послідовно сполучених вугільних колонках, при цьому для попереднього та остаточного фільтрування використовують кварцевий пісок [12].

Фільтрацію сортівки до вугільної колони застосовують з метою захисту активного вугілля від потрапляння на нього механічних та колоїдних домішок, а після колони з метою видалення часток активного вугілля, які мігрували з вугільних колон або для відокремлення білкових та інших зависей від сортівки під час приготування горілок з обробкою модифікованим крохмалем, білком та



сухим молоком [14].

Дослідження вітчизняних [1,4,14] та зарубіжних науковців [12,13] показали недостатню ефективність застосування кварцевого піску в сучасних умовах лікєро-горілочного виробництва. Зокрема, основними причинами є [14]:

- 1) значні витрати води під час підготовки до робочого циклу, на регенерацію шляхом промивання фільтрувального матеріалу;
- 2) використання прекурсорів, підвищена витрата соляної кислоти, що витрачається на стадії підготування матеріалу до роботи для видалення з поверхні вапнякових відкладень, що негативно позначається на екології виробництва та здоров'ї працівників.

Кварцевий пісок - зернистий матеріал мінерального походження, який має колір зерен від світло-жовтого до червоно-бурого та чорного. Структура кристалічна з поверхнею від шорсткої до гладкої.

Форма часток є сферичною або кутоподібною. Зерна округлої форми сприяють зменшенню пор та швидкому утворенню фільтрувальної плівки. Чистий кварцевий пісок має молочний колір та мінімум інертних домішок: до 99% складу становить кремнезем. Твердість за Мосом – 7,0 [4]. Однак, для фільтрування водно-спиртових сумішей лікєро-горілочного виробництва кварцевий пісок із цих родовищ є малоприсадним без спеціальної довготривалої підготовки до роботи із застосуванням значних об'ємів соляної кислоти, а також питної та підготовленої води на етапі їх підготовки та промивки [4].

Ряд дослідників [1,4,14] для очищення водно-спиртових сумішей та інших продуктів використовують природний вуглець, що містить адсорбент шунгіт, який має високі адсорбційні властивості, механічна стійкість і є екологічно безпечним сорбентом. Шунгіт - це велика група докембрійських гірських порід насичених особливою вуглецевою (шунгітовою) речовиною, яка має найбільшу серед відомих форм елементарного вуглецю хімічну активність в окиснювальних процесах, що обумовлена присутністю в його складі особливої модифікації вуглецю фулерену [6].

Проаналізовано ефективність очищення сортівки шунгітом за різної тривалості його взаємодії з водно-спиртовою сумішшю. Хоча шунгіт є ефективним матеріалом для вилучення шкідливих домішок з води, він має високу вартість, а його використання у виробництві напоїв є дуже обмеженим [4]. Оскільки родовища шунгітових порід відсутні в Україні, а знаходяться в основному Казахстані [14], економічно не доцільним є використання цього природного матеріалу.

Можливості очищення шунгітом та клиноптилолітом визначали науковці у статичному режимі за адсорбцією мікродомішок спирту, які можуть як позитивно так і негативно впливати на якість водно-спиртових сумішей та спирту [4]. При цьому встановлено доцільність застосування клиноптилоліту для адсорбції мікродомішок етанолу - альдегіди та естери [14]. Група альдегідів, що міститься в етанолі, визначається в основному, ацетальдегідом, ацеталами, пропіоновим та кротоновим альдегідом [14]. Ці сполуки по різному впливають на дегустаційні властивості горілок, наприклад: вільний ацетальдегід надає пекучість, зв'язаний (ацеталей) - м'якість, пропіоновий та кротоновий альдегід –



не допускаються [14]. Висновок щодо поліпшення якості неможливо напряму переносити на технологію горілок, оскільки очищення сортівки здійснюють не у статичному, а у динамічному режимі [14].

Показано для оброблення сортівок використання мікропористого мінералу – кремнієподібного силіциду з широкою мікропористою структурою, має твердість 100%, багаторазово реактивується. Під час оброблення сортівки цим матеріалом зменшується вміст ефірів, сивушного масла, ненасичених сполук, а за рахунок відсутності каталітичного окиснення уповільнюється утворення альдегідів, покращуються органолептичні та фізико-хімічні показники готового продукту [14].

Відомо, що підвищити ефективність очищення водно-спиртової суміші можна за рахунок нанесення на поверхню активного вугілля невеликої кількості колоїдно-диспергованого срібла. Срібло є активним каталізатором, яке внаслідок електрохімічної різниці потенціалів між активним вугіллям та сріблом, впливає на реакції окиснення спирту до альдегідів, надалі в оцтову кислоту та утворення естерів [6].

Були досліджені природні дисперсні мінерали: сапоніт, глауконіт, монтморилоніт, гідрослюда для адсорбційного очищення сортівок [14]. При цьому виявлено, що найбільш ефективним природним матеріалом є глауконіт, який виявляє вибірково адсорбційна спроможність щодо альдегідів, етилбутирату, метанолу, н-пентанолу, сприяє підвищенню якісних показників сортівок на 0,2 бали [14]. Однак, в наслідок необхідності тривалої підготовки вказаних матеріалів, нетривалого фільтрувального циклу вони не знайшли застосування на лікєро-горілчанних підприємствах [14].

Природні цеоліти володіють катіонообмінними, сорбційними, молекулярно-ситовими і каталітичними властивостями, є одними з найбільш перспективних матеріалів, тому їх широке впровадження у технологію горілок набуває особливо важливого значення [6].

Одним із способом виробництва горілок передбачено фільтрацію через природний цеоліт - клиноптилоліт [6]. При цьому у сортівці зменшується масова концентрація іонів заліза, крім того виявлено зниження вмісту широкого спектру важких металів за рахунок підвищення сорбційних процесів, які властиві клиноптилоліту, як природному мінералу [6].

Висновки.

У даній статті були розглянуті питання інноваційних технологій у лікєро-горілчаному виробництві. Водопідготовка та очищення водно-спиртової суміші є одними з найголовніших етапів для виробництва лікєро-горілчаної продукції. Пошук альтернативних фільтрувальних матеріалів у виробництві лікєро-горілчаної продукції є одним з ключових напрямів наукових досліджень у харчовій промисловості.

Останнім часом приділяється значна увага розширенню спектру застосування природних кремнеземів та алюмосилікатів, таких як альмандин та обсидіан. Альмандин, червоний гранатовий камінь, має високу твердість та може бути використаний у водопідготовці. Обсидіан, вулканічний скловидний матеріал, демонструє хімічну стійкість до кислот і лугів, володіє низьким



вмістом силікатів та хорошою ефективністю в окисленні фільтрату. Обидва матеріали можуть бути корисними в системах водопідготовки для покращення якості води.

Під час виробництва горілок обов'язковою технологічною операцією є обробка сортівки сорбентом, внаслідок чого напій набуває характерних смаку, аромату і запаху. В Україні технологічним регламентом передбачена обробка деревним активним вугіллям, отриманим переважно із берези. Але є позитивний досвід отримання якісних горілок із використанням інших сорбентів, зокрема модифікованих природних матеріалів, кокосового вугілля, шунгіту, палигорськіту та ін.

Література:

1. Адсорбційні властивості шунгіту в процесі очищення водно-спиртових розчинів / Мельник Л.М. та ін. *Сверхтвердые материалы*. 2017. №6. С. 59-66.
2. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. Затверджено наказом МОЗ України 12.05.2010 № 400. Зареєстровано Мінюстом України 01.07.2010 №452/17747. (Нормативний документ Мінохорони здоров'я України)
3. Загравай Я.М., Ребреньок А.В. Використання природних мінералів (цеоліт) як етапів комплексної технології корегування складу водних розбавлених розчинів до природно сформованої якості. *Екологічні науки*. 2014. № 6. С. 82-87.
4. Інноваційні технології продуктів бродіння і виноробства: підруч. / С. В. Іванов, В. А. Домарецький, В. Л. Прибильський та ін. // За заг. ред. д-ра хім.. наук, проф. С. В. Іванова. Київ: НУХТ. 2012. 487 с.
5. Ковальчук В. П., Олійник С.І., Опанасюк Т.І. Удосконалення технології фільтрування води для виробництва напоїв. Матеріалів міжнародної науково-практичної конференції *Удосконалення процесів та обладнання – запорука інноваційного розвитку харчової промисловості*, Київ, 10–11 квітня 2012 р. Київ: НУХТ. 2012. С. 20–21.
6. Моделювання і оптимізація процесу адсорбційного очищення сортівки шунгітом / Турчун О.В. та ін. *Наук.пр. Нац. ун-т харч. технологій*. 2016. Т. 22. №5. С. 179–183.
7. Регуш А.Я. Інтенсивності промивки клиноптилолітоого завантаження адсорберів типу швидкого фільтра. Хімія, технологія речовин та їх застосування: *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. Львів: НУ "ЛП". 2007. № 590. С. 274-278.
8. СОУ 15.9-37-237:2005. Вода підготовлена для лікєро-горілчаного виробництва. Технічні умови. [Чинний від 2006-10-01]. Київ: Держспоживстандарт України. 2003. 38 с. (Стандарт організації України)
9. ТР У 18.5084-96. Технологічний регламент на виробництво горілок і лікєро- горілчаних напоїв. Затверджений Заступником голови Держхарчопрому України Л.І. Зінченко 19.12.1996. Київ: УкрНДІспиртбіопрод. 1996. 330 с. (Нормативний документ Мінагрополітики України).



10. Шиян П.Л., Сосницький В.В. Алкогольні напої — досвід поколінь (технологія, обладнання, рецептури): монографія. Київ: Інтерсервіс, 2017. 336 с.

11. Armbruster, T., Gunter M. Crystal structures of natural zeolites. *Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Applications*. 2001. №45. P. 1-67.

12. Durali Danabas, Tulay Altun. Effects of zeolite (Clinoptilolite) on some water and growth parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792). *Digest journal of Nanomaterials and Biostructures*. 2011. №3. P. 1111-1116.

13. Ignatov I., Mosin O., Strommer S. Nano Mix of Shungite and Zeolite for Cleaning of Toxins and Increasing of Energy of Hydrogen Bonds among Water Molecules in Human Body. *Strommer Journal of Medicine. Physiology and Biophysics*. 2016. №27. P. 1-10.

14. Water-alcohol adsorbing cleaning out of higher alcohols by shungite / Melnyk L. et.al. *Ukrainian Journal of Food Science*. 2014. Vol. 2, Issue 2. P. 312-317.

Abstract. *The article presents the current trends in the development of the liquor and vodka industry of Ukraine. The results of the scientists' research for the improvement of water preparation and purification of the water-alcohol mixture (sorting) in the production of vodka are shown. The search for the latest materials in the technology of water conditioning and preparation of sorting is one of the alternative directions of the liquor and vodka industry of Ukraine.*

Key words: *vodka, sorting, drinking water, prepared water, filter materials.*

Науковий керівник: Бойко П.М.

Стаття відправлена: 08.02.2024

Двірко А.О.



УДК 637.146.34

PROSPECTS OF USING LOCAL PLANT RAW MATERIALS IN LACTOSE-FREE DRINK LASSI**ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЛОКАЛЬНОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ У СКЛАДІ БЕЗЛАКТОЗНОГО НАПОЮ ЛАССІ****Iryna Sylka / Силка І.М.***PhD in Associate Professor. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-2867-7414

Yevgen Petrov / Петров Є.*master's student in food technology / магістрант з харчових технологій**National University of Food Technologies,**68 Volodymyrska str., 01601, Kyiv, Ukraine**Національний університет харчових технологій,**68 вул. Володимирська, 01601, м. Київ, Україна*

Анотація. У статті розглянуто перспектива адаптувати індійський напій для більш широкого кола споживачів з можливістю використання локальної сировини, а саме пюре ягід обліпихи та чорниці. В якості кисломолочного напою запропоновано безлактозний питний йогурт на основі штаму *Lactobacillus rhamnosus*.

Досліджено зміни фізико-хімічних показників якості модельних зразків напоїв лассі у порівнянні з традиційними напоями на основі йогурту питного. Відмічено, що кислотність зразків зменшується, порівняно з йогуртом питним безлактозним. За рахунок додавання фруктово-ягідних пюре зменшується масова частка сухих речовин та стійкість збитої маси напою.

Проаналізовано хімічний склад та поживна цінність зразків лассі з локальною рослинною сировиною та встановлено зростання масової частки біологічно активних речовин. Встановлено масові співвідношення інгредієнтів безлактозних напоїв, які продемонстрували високу органолептичну оцінку.

Ключові слова: лассі, поживна цінність, пробіотик, пребіотик, йогурт.

Вступ.

Погіршення екологічного стану навколишнього середовища, небезпечні хвороби продукують все нові й нові джерела вільних радикалів. Зараз як ніколи виникає нагальна потреба пошуку захисту людини та її здоров'я від згубної дії навколишнього середовища та хвороб [1].

Протягом багатьох століть різні народи готували страви та напої, які містили пробіотики та пребіотики: квас та пиво - в Україні, айрани - у степових та гірських районах Азії; вино – у Франції, лассі в Індійському субконтиненті. У Єгипті та на Близькому Сході слабоалкогольні, молочні та оцтово-ферментовані напої вживали ще в період неоліту.

Увага сучасних науковців зосереджена на розробці нових харчових продуктів, які у своєму складі поєднують пробіотики та пребіотики. Класичними пробіотиками є молочнокислі і біфідобактерії, які є у складі ферментованих молочних продуктів. Найчастіше як пробіотики використовують бактерії з родів *Lactobacillus* і *Bifidobacterium*, дріжджі *Saccharomyces boulardii*, а також деякі штами *E. coli* і види *Bacillus*.

Пребіотики – це харчові речовини, що переважно складаються з некрохмальних полісахаридів і олігосахаридів, які не перетравлюються у



шлунково-кишковому тракту людини та чинять сприятливу дію на корисні для неї мікроорганізми. Найвідоміші пребіотики – це інулін, олігофруктоза, галакто-олігосахариди, лактулоза.

На ринку харчових продуктів присутній широкий асортимент ферментованих напоїв, особливо кисломолочних. Однак відчувається брак безлактозних напоїв, які поєднують пребіотики та пробіотики у своєму складі. Оскільки сучасна людина надто зайнята, щоб самостійно готувати продукти синбіотичного напрямлення, приготування та реалізація їх у закладах ресторанного господарства є актуальною.

Основний текст.

Мікробіом людини виконує безліч функцій, що забезпечують гомеостатичний стан організму. Симбіотичні бактерії здійснюють метаболізм полісахаридів, продукують необхідні вітаміни, сприяють розвитку і диференціації епітелію та імунної системи. У складі мікробіоти людини виявлені приблизно 1000 видів бактерій, більшість з яких не культивуються *in vitro* [2, 3]. У харчовій технології широко використовуються такі мікроорганізми як *Lactobacillus acidophilus*, *L. casei*, *L. delbrueckii subsp. bulgaricus*. Вони підтримують та нормалізують мікробіоценоз кишечника, зберігають резистентність організму.

У практиці лікування хворих з дисбіозами використовуються пребіотики [4, 5]. Будучи селективним субстратом для цукролітичних мікроорганізмів, що заселяють товсту кишку, пребіотики сприяють підвищенню кислотосинтезуючої мікрофлори і пригнічення гнильних процесів.

Проте при використанні пребіотиків необхідно брати до уваги небезпеку збільшення популяцій потенційно шкідливих кислотостійких мікробів, зокрема грибів. Прийом пребіотиків, як біологічно активних добавок, може викликати ферментативні порушення в кишківнику, спричиняти кишкові кольки, метеоризм, порушення перистальтики. Тому пребіотики раціонально використовувати в комплексі з живою пробіотичною мікрофлорою.

Дана тема набирає актуальності серед прихильників функціонального харчування та спонукає розробляти нові види харчової продукції, яка поєднує у своєму складі пробіотики та пребіотики. Основою при цьому є класичні ферментовані напої. До них можна віднести лассі. Це традиційний напій на Індійському субконтиненті, який готується з йогурту, молока, спецій, прянощів, меду, цукру та фруктів [6]. Відзначається солодким або солоним смак. Зазвичай його п'ють влітку у жарку погоду, щоб освіжитись. Вперше почали готувати на півночі Індії. На сьогодні лассі є популярним напоєм в Індії, Бангладеші, Пакистані та ін. Лассі є солодким або солоним, в залежності від того, що додається за смаком – цукор, солодкі фрукти або сіль. Готується він на основі йогурту з додаванням молока або води.

Попри існуючий асортимент ферментованих напоїв людям з непереносимістю лактози складно обрати молочно-кислий напій. Для цієї категорії споживачів розробляються безлактозні напої, які позбавлені пробіотичної складової.

Поєднання пробіотиків з сировиною, яка містить клітковину та фрукто- та



олігосахариди дасть змогу створити збалансований безлактозний кисломолочний напій, збагачений вітамінним та мінеральним складом.

Йогурт став одним із поширених варіантів і вважається здоровою їжею, оскільки він є чудовим джерелом основних поживних речовин. Оскільки популярність йогурту продовжує зростати, виробники та науковці постійно досліджують інгредієнти, що додають цінність, такі як пробіотики, пребіотики та різні види рослинних екстрактів, щоб створити функціональний йогурт, який має додаткові корисні властивості, ніж звичайний йогурт.

Лассі – густий напій, коктейль, мус, приготований збиванням в блендері до стану пюре натуральних інгредієнтів – свіжих або свіжозаморожених фруктів, овочів, ягід, молока, йогурту, кефіру, морозива, вершків. В Україні є невичерпні ресурси дикорослих ягід та фруктів, які є джерелом біологічно активних речовин, що мають виражену фізіологічну дію на людський організм.

Дана тематика дослідження дуже актуальна. Це потребує більш детального та поглибленого вивчення та впровадження в практику у технологіях закладів ресторанного господарства.

Мета статті: підвищити вміст біологічно активних речовин, зокрема пребіотиків, у складі безлактозного напою лассі за рахунок часткової заміни пюре папайї на пюре обліпихи та чорниці.

Виклад основного матеріалу.

Нині, в умовах зростаючої резистентності мікроорганізмів, пробіотики доцільно розглядати як синергісти і протектори гомеостазу людського організму особливо на тлі необхідної антимікробної терапії.

Найчастіше як пробіотики використовують бактерії з родів *Lactobacillus* і *Bifidobacterium*, дріжджі *Saccharomyces boulardii*, а також деякі штами *E. coli* і види *Bacillus*. Традиційні молочнокислі бактерії, які віддавна пов'язані з ферментуванням їжі, загалом вважаються безпечними при пероральному застосуванні в адекватних дозах у вигляді харчових добавок або складових харчових продуктів. Нещодавно в Європейському Союзі була зареєстрована *Clostridium butyricum* як харчовий продукт.

Загалом, поживна цінність йогурту може змінюватись. Це залежить від виду отриманого молока (наприклад, коров'яче, козяче, овече, немолочне молоко), типи використовуваного молока (незбиране, напівзнежирене молоко), штамів, які використовуються як закваску, умов.

Питні йогурти частіше виготовляються зі звичайних штамів заквасок *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* і *Streptococcus thermophilus*. Для приготування модельних зразків напою лассі безлактозного визначальним параметром є відсутність лактози у кисломолочному напої. За основу було взято йогурт безлактозний на базі штаму *Lactobacillus rhamnosus*.

Найчастіше другим інгредієнтом лассі за масовою часткою є пюре папайї, або манго. Рослинна сировина - це джерело біологічно активних речовин в тому числі пребіотиків. При виборі рослинної сировини основними перевагами були локальність вирощування та вміст пребіотиків у їх складі, зокрема пектину. Аналізуючи традиційні рецептури індійського напою лассі було встановлено, що найчастіше використовують папайю. До її складу входить 7,8 г цукрів, в тому



числі 1,7 г клітковини. Папайн, який міститься у плодах, є рослинним протеолітичним ферментом класу гідролаз. За своєю фізіологічною дією схожий на шлунковий сік. Тому плоди папайї користуються великою увагою як дієтичний продукт, що сприяє травленню.

Таблиця 1 – Фізико-хімічні показники дослідних зразків йогуртів питних

Найменування показника	Йогурт питний класичний	Йогурт питний безлактозний
Титрована кислотність, град Т	80	85
Активна кислотність	4,7	4,5
Масова частка жиру, г / 100г	2,5	2,5
Масова частка білку, г / 100г	2,5	2,9
Масова частка вуглеводів / в т.ч. цукор, г / 100г.	9,8/5,8	4,4/0
Енергетична цінність, ккал / 100 г	78	75

Авторська розробка

Аналіз локальної дикорослої рослинної сировини показав доцільність використання таких ягід як чорниця та обліпіха. Плоди обліпіхи *Piperthaë rhamnoides L.* містять близько 1,27 - 3,26% вуглеводів, а саме глюкоза — 1,27–1,8%, фруктоза — 0,71–2,33%, сахароза — 0,07–0,3%, пектин — 0,15–5,5%, полісахариди — 2,5%.

До складу ягід чорниці входить близько 6 % вуглеводів, в тому числі фруктоза, пектинові речовини, органічні кислоти.

Серед важливих складових рецептури змішаних напоїв, яким є лассі, обов'язковим є додавання смако-ароматичних інгредієнтів. До досліджуваної композиції ввійшли імбир та аніс, які окрім яскравого аромату та смаку позитивно впливають на перистальтику кишково-шлункового тракту.

Для обґрунтування обраної технології було розроблено та досліджено дві модельні композиції (зразок 1 – «Папайя-обліпіха», зразок 2 – «Папайя-чорниця»). Розроблені рецептури модельних композицій представлено у вигляді таблиці 2.

Таблиця 2 - Рецептурний склад модельних композицій напою

Сировина	Зразок 1 «Папайя-обліпіха»	Зразок 2 «Папайя-чорниця»
	Масова частка, г	
Йогурт питний безлактозний	35	35
Папайя (пюре)	30	30
Обліпіха ягоди	30	-
Чорниця ягоди	-	30
Кориця (порошок)	2	2
Імбир (порошок)	2	2
Аніс (порошок)	1	1
Вихід	100	100

Авторська розробка



Результати фізико-хімічних досліджень модельних композицій представлені у таблиці 3.

Таблиця 3 - Фізико-хімічні показники модельних композицій напою

Найменування показника	Йогурт питний безлактозний	Зразок 1 «Папайя-обліпіха»	Зразок 2 «Папайя-чорниця»
pH	6,82	7,92	7,02
Вміст вологи, %	43,3	38,5	32,7
Стійкість, %	79	56	58

Авторська розробка

Аналізуючи фізико-хімічні показники, можна зробити висновки, що кислотність зразків зменшується, порівняно з йогуртом питним безлактозним. За рахунок додавання фруктово-ягідних пюре зменшується масова частка сухих речовин та стійкість збитої маси.

Порівняльний комплекс хімічного складу зразків напою лассі наведено у таблиці 4.

Таблиця 4 - Порівняльний хімічний склад модельних композицій напою лассі

Найменування показника, %	Значення показника в зразках		
	Йогурт питний безлактозний	Зразок 1 «Папайя-обліпіха»	Зразок 2 «Папайя-чорниця»
Вміст білків, г	2,5	4,96	4,64
Вміст жирів, г	2,5	2,48	1,42
Масова частка вуглеводів / в т.ч. цукор, г / 100г.	4,4/0	9,75	7,3
Вміст харчових волокон, г	-	3,34	3,25
Енергетична цінність, ккал / 100 г	75	81,4	61,3

Авторська розробка

Варто зазначити, що фізіологічна добова потреба організму дорослої людини в харчових волокнах, які є пребіотиками, становить від 25 до 38 г. Об'єм однієї порції напою лассі 300 мл. Це означає, що споживач отримує близько 10 г харчових волокон, тобто майже половину від рекомендованої кількості. Враховуючи, що ягоди, вживаються разом з іншими продуктами, покращують перетравлення їжі, сприяють засвоєності білків, жирів і мінеральних речовин.

Висновки. Поєднання пребіотиків та пробіотиків у харчових продуктах чи напоях захищає організм людини від патогенної мікрофлори та має позитивний вплив на сприяє гармонійним взаємодіям макроорганізму з екзогенним мікробним світом, а також на стан імунної системи.

Отже, безлактозний напій лассі, завдяки пюре ягід у своєму складі, має синбіотичний ефект. У подальших дослідженнях буде продовжено аналіз локальної рослинної сировини на предмет вмісту у ній пребіотиків.



Література:

1. Starovoitova S.A., Skrotska O.I. Technological aspects of probiotics obtaining //Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – 2014. –V. II (3), Issue: 21. – P. 29 – 33.
2. Farmatsevychna entsyklopediia / holova red. rady ta avtor predmovy V. P. Chernykh ; Nats. farmats. un-t Ukrainy. — 2-he vyd., pererobl. i dopovn. — Kyiv : MORION, 2010. — 1632
3. Therapeutic benefits of *Carica papaya*: A review on its pharmacological activities and characterization of papain
4. Benjamin Ayodipupo Babalola, Amos Ifeolu Akinwande, Adebisi A. Otunba, Gboyega Ebenezer Adebam
5. Dekker P.J.T. Reference Module in Food Sciences. 1st ed. Elsevier; Amsterdam, The Netherlands: 2016. Enzymes Exogenous to Milk in Dairy Technology: β -D-Galactosidase; pp. 1–8.
6. Kárnyáczki, Z.; Csanádi, J. Texture profile properthes, sensory evaluathon, and suscepthbility to syneresis of yoghurt prepared from lactose-free milk. *Acta Aliment.* 2017, 46, 403–410
7. Fazilah, N.F., Ariff, A.B., Khayat, M.E., Rios-Solis, L. and Halim, M. (2018) Influence of Probiotics, Prebiotics, Synbiotics and Bioactive Phytochemicals on the Formulation of Functional Yogurt. *Journal of Functional Foods*, 48, 387-399.

Abstract. *The article considers the prospect of adapting an Indian drink for a wider range of consumers with the possibility of using local raw materials, namely pureed sea buckthorn berries and blueberries. Lactose-free yogurt based on *Lactobacillus rhamnosus* strain is proposed as a fermented milk drink.*

Changes in physico-chemical quality indicators of model samples of lassi drinks in comparison with traditional drinks based on drinkable yogurt were studied. It was noted that the acidity of the samples decreases compared to drinking lactose-free yogurt. Due to the addition of fruit and berry purees, the mass fraction of dry substances and the stability of the whipped mass of the drink are reduced.

The chemical composition and nutritional value of lassi samples with local plant raw materials were analyzed and the increase in the mass fraction of biologically active substances was determined. The mass ratios of the ingredients of lactose-free drinks, which demonstrated a high organoleptic evaluation, were established.

Key words: *lassi, nutritional value, probiotic, prebiotic, yogurt*

Стаття відправлена: 12.01.2024 р.

© Силка І.



УДК 629.7, УДК 629.05

METER OF WEAK ALTERNATING CURRENTS ВИМІРЮВАЧ СЛАБКИХ ЗМІННИХ СТРУМІВ

Startsev V.I. / Старцев В.І.

s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

Derevyagin Y. V. / Дерев'ягін Я.В.

senior researcher / ст.наук.співраб.

Bekirov V. Y. / Бекіров В. Ю

senior researcher / ст.наук.співраб.

Chudnovsky V. Y. / Чуднівський В. Я.

*Design engineer / Інженер-конструктор**Polytechnic National University, Odessa, ave. Shevchenko, 1, 65044**Національний університет "Одеська політехніка", Одеса, просп. Шевченка, 1, 65044*

Анотація. Описано вимірювач змінних струмів із широким динамічним діапазоном. Отримано вирази для визначення оптимального вхідного опору, що забезпечує максимальну чутливість. Наведено вирази, що визначають параметри **амплітудної характеристики**.

Ключові слова: міжпланетна плазма, пастка заряджених частинок, модуляція, вхідний струм, чутливість, вхідна ємність, компенсація ємності, автоматичне регулювання посилення.

Для повної характеристики міжпланетної плазми необхідно знати такі експериментально визначені величини: швидкість спрямованого макроскопічного руху (величина та напрям швидкості), концентрацію плазми, швидкість хаотичного (теплого) руху електронів та іонів, склад основних іонів та їх температуру, а також зв'язок між плазмою та магнітними полями.

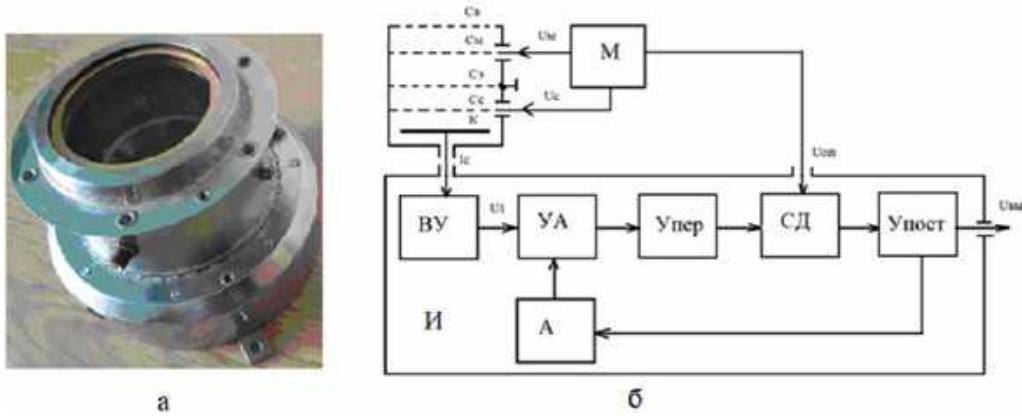
Для вимірювання параметрів потоку заряджених часток широке застосування отримали багатовимірні пастки, що дозволяють вимірювати інтегральні, так і диференціальні енергетичні спектри.

На малюнку 1 показана пастка заряджених частинок (а) та блок схема вимірювача потоку заряджених частинок (б) модуляційним методом [1].

Форма модулюючої напруги показано на малюнку 2. Модулююча напруга складається із суми постійної та змінної напруги. Періодично ця напруга змінюється за заданим законом, щоб забезпечити вимірювання розподілу потоку заряджених частинок енергії. Максимальне значення модулюючої напруги не перевищувало 10 кВ. Змінна напруга з модулятора ($U_{оп}$) надходить на синхронний детектор вимірювача.

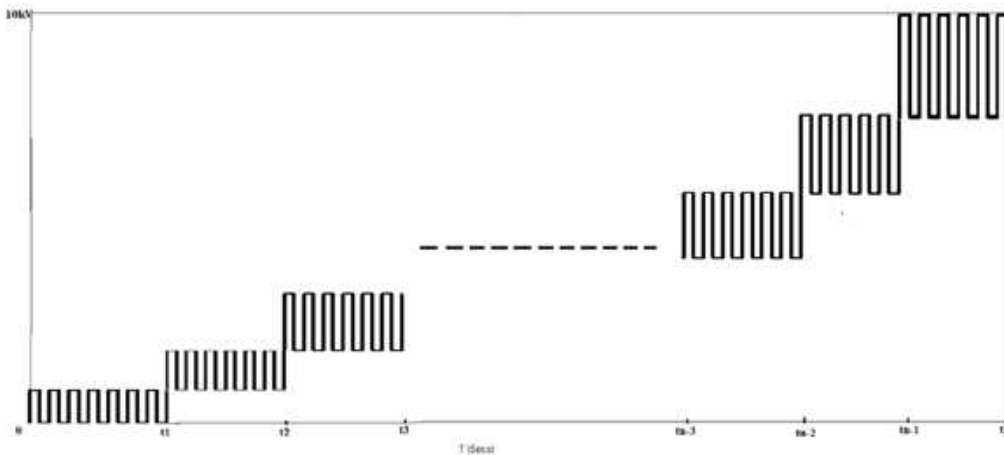
Струм сигналу I_c з частотою f_0 , що знімається з колектора K , пропорційний кількості заряджених частинок в одиницю часу. У вимірювачі I сигнал посилюється, синхронно детектується і перетворюється на уніфіковану вихідну напругу постійного струму $U_{ввих} = 0.1 \div 6 В$.

Вимірювальний підсилювач (малюнки 1 і 3) має наступні параметри: чутливість (при відношенні сигнал/шум $N=1$) $I_{смин} = 10^{-13} А$; динамічний діапазон $I_{смакс} / I_{смин} = 3 \cdot 10^4$; швидкодія $\leq 0.1 С$; діапазон робочих температур $-20 \div +60 ^\circ С$; нестабільність коефіцієнта перетворення (у всьому динамічному діапазоні) $|\delta K_{np}| \leq 3\%$; споживана потужність 0.2 Вт.

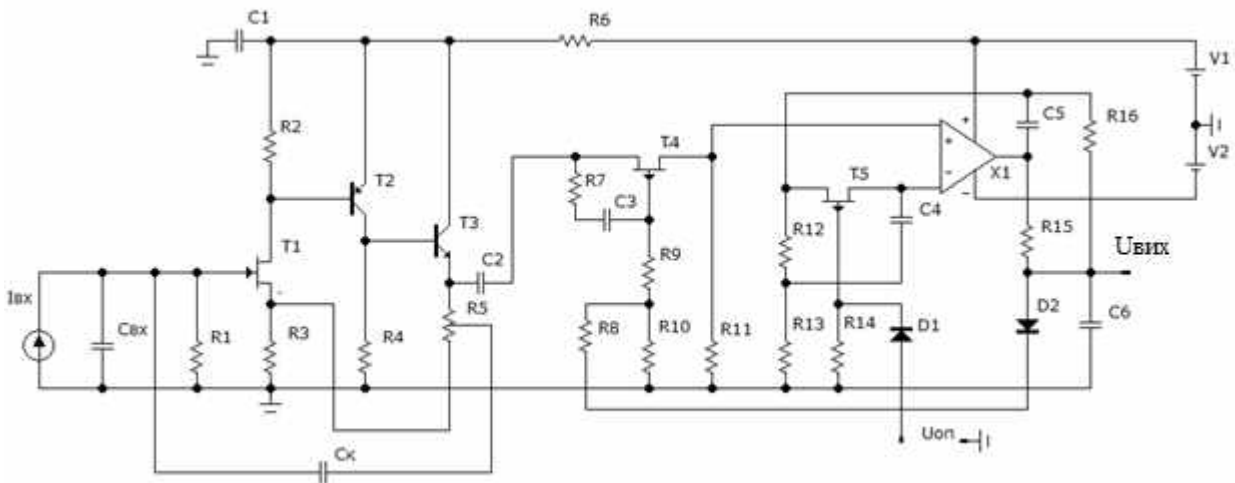


Малюнок 1. Пастка заряджених частинок (а) та блок схема вимірювача параметрів потоку заряджених частинок (б).

Ca – апертурна сітка; Cm – модуляційна сітка; Ce - екранна сітка; Cs – супресорна сітка; K – колектор; M – модулятор; Um – модуляційна напруга; ВУ – вхідний пристрій; КА - керований атенюатор; Пзмін - підсилювач змінного струму; СД – синхронний детектор; Ппост – підсилювач постійного струму; А – атенюатор у ланцюзі автоматичного регулювання посилення, I – вимірник, Uc – негативна напруга, що служить для придушення фотоелектронів, Uоп - опорна змінна напруга, що керує синхронним детектором.



Малюнок 2. Модулююча напруга.



Малюнок 3 Схема підсилювача.



Синхронне детектування дозволяє звузити смугу пропускання вимірювача та усунути квадратурну перешкоду, спричинену прямим пролазанням напруги, що модулює потік заряджених частинок. Напруга на виході синхронного детектора (СД) залежить від кута зсуву фаз між вхідною та опорною напругою. При цьому відношення сигнал/шум на початку шкали буде рівним:

$$N_{\text{МН}} = \frac{U_{\text{ВЫХ МН}}}{U_{\text{ВЫХ Ш}}} = \frac{|I_{\text{СМН}}| \cos \varphi}{|Y_{\text{ВХ}}|} / F_{\text{Ш}} \cdot U_{\text{Ш ВХ}},$$

де $\dot{Y}_{\text{ВХ}} = 2\pi j f_0 C_{\text{ВХ}} + 1/R_{\text{ВХ}}$ – провідність вхідного ланцюга; $F_{\text{Ш}}$ – коефіцієнт шуму вхідного підсилювача; $U_{\text{Ш ВХ}}$ – середньоквадратична шумова напруга опору в еквівалентній смузі частот синхронного детектора Δf .

Фазовий зсув визначається переважно вхідним ланцюгом, тобто $\cos \varphi = 1/R_{\text{ВХ}} |\dot{Y}_{\text{ВХ}}|$. Компенсація його за допомогою фазообертача в ланцюзі опорного сигналу призводить до ускладнення схеми при відносно малому виражі щодо сигнал/шум. Для схеми без компенсації фазового зсуву:

$$|I_{\text{С min}}| = N_{\text{min}} F_{\text{min}} \sqrt{4KTdf} [1 + (2\pi f_0 C_{\text{ВХ}} R_{\text{ВХ}})^2] / \sqrt{R_{\text{ВХ}}} \quad (1)$$

де N_{min} – задане ставлення сигнал/шум, F_{min} – коефіцієнт шуму вхідного підсилювача, f_0 – частота модуляції плазми у пастці заряджених частинок, $C_{\text{ВХ}}$ – ємність датчика заряджених частинок, монтажна ємність схеми вхідного каскаду та власні ємності електронних компонентів.

Поліпшення чутливості можливе шляхом зменшення частоти f_0 та ємності $C_{\text{ВХ}}$. Зменшення частоти доцільно до того часу, доки почнеться різке зростання фліккер - шуму польового транзистора до частот 300 – 500 Гц, але це водночас призводить до збільшення розмірів і ваги апаратури.

Основну складову $C_{\text{ВХ}}$ – це ємність колектора пастки заряджених частинок. Зменшення розмірів колектора пастки зменшує його ємність, але одночасно в стільки ж разів зменшує кількість заряджених частинок, що збираються, що призводить до зниження чутливості апаратури.

Дієвим способом підвищення чутливості є зменшення впливу вхідної ємності за допомогою позитивного зворотного зв'язку. Такі схеми відрізняються підвищеною надійністю та стабільністю при великій глибині компенсації вхідної ємності $C_{\text{ВХ}} = C_{\text{ВХ H}} + C_{\text{К}} (1 - \beta_+ K_{\text{ВВ}})$, де $C_{\text{ВХ H}}$ – початкова вхідна ємність, $C_{\text{К}}$ – компенсуюча ємність ланцюга позитивного зворотного зв'язку, β_+ – коефіцієнт передачі напруги ланцюг позитивного зворотного зв'язку, $K_{\text{ВВ}}$ – коефіцієнт посилення вхідного пристрою по напрузі. Теоретично $C_{\text{ВХ}}$ можна звести до нуля, проте при значних відносинах $C_{\text{ВХ H}}/C_{\text{ВХ}}$ зміни сильно впливають на величину:

$$\delta C_{\text{ВХ}} = \Delta C_{\text{ВХ}} / C_{\text{ВХ}} = \delta K_{\text{ВВ}} C_{\text{ВХ H}} / C_{\text{ВХ}} \quad (2)$$

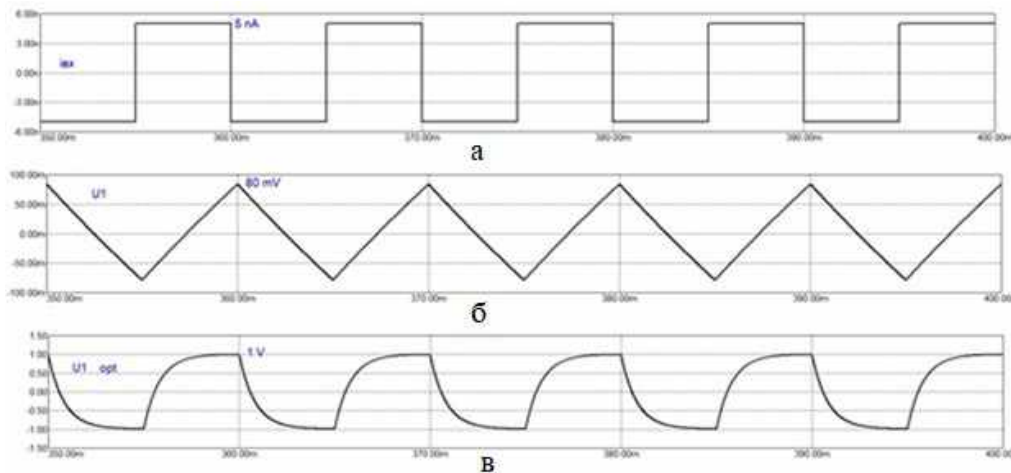
Зміни $\delta C_{\text{ВХ}}$ у свою чергу, викликають нестабільність коефіцієнта перетворення вимірювача $K_{\text{ПР}} = |U_{\text{ВЫХ}} / I_{\text{ВХ}}|$. Співвідношення (2), по-перше, визначає жорсткі вимоги до стабільності $\delta K_{\text{ВВ}}$, по-друге, накладає обмеження на максимально допустиме ставлення $C_{\text{ВХ H}}/C_{\text{ВХ}}$. Застосування підсилювача зі



слідчим негативним зворотним зв'язком дозволяє отримати $|\delta K_{BV}| \leq 0.1\%$. При допустимому значенні $|\delta C_{BX}| \leq (1 \div 2)\%$ вхідну ємність можна зменшити лише у 10 – 20 разів, тобто. на практиці важко отримати $C_{BX} \leq (1 \div 2) n\Phi$.

Досліджуючи функцію $|I_{CMH}| = f(R_{BX})$ (1) на мінімум, знаходимо $R_{BX\text{OPT}} = \frac{1}{2} \pi \sqrt{3} f_0 C_{BX}$. Наприклад, при $f_0 = 500$ Гц, $C_{BX} = 2$ пФ, $N = 1$, $F_{III} = 2-3$ дБ, $\Delta f = 10$ Гц, отримуємо $R_{BX\text{OPT}} = 10^8$ Ом та $|I_{CMH}|_{\text{MIN}} = 10^{-13}$ А.

В описуваній схемі $R_{BX} = R_V (1 + \beta_- K_{BVH})$, де R_V - опір витоку рп переходу польового транзистора ($R_V > 10^9$ Ом), $\beta_- = R_3 / (R_3 + R_5)$ - коефіцієнт передачі дільника в ланцюзі негативного зворотного зв'язку вхідного каскаду, K_{BVH} - коефіцієнт посилення за напругою вхідного каскаду без зворотного зв'язку ($K_{BVH} \approx 1000$). Тому необхідна величина $R_{BX\text{OPT}}$ та стабільність цієї величини визначається резистором R_1 .



Малюнок 4.

На малюнку 4а показана форма вхідного струму з амплітудою 5 нА та частотою 100 Гц.

На малюнку 4б показано форму вихідної напруги першого каскаду вимірювача (ВП). Напряга трикутної форми з амплітудою 80 мВ. Вхідна ємність близько 300 пФ.

На малюнку 4в показана форма вихідної напруги ВП з оптимальною компенсацією вхідної ємності. Напряга формою близько до форми вхідного струму, з амплітудою 1 В. Вплив вхідної ємності істотно зменшено, що дозволило отримати необхідну чутливість вимірювача.

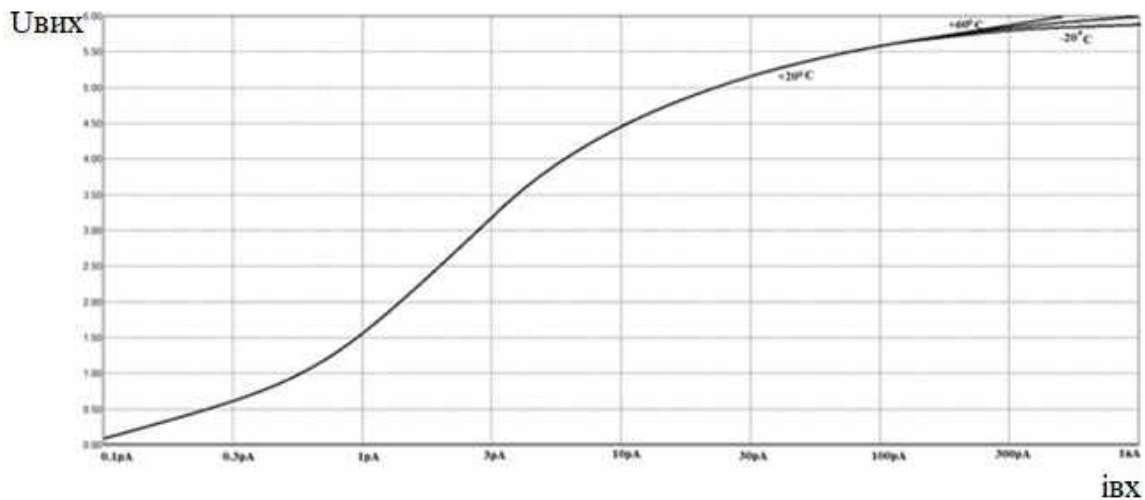
Орієнтовно значення не компенсованої вхідної ємності оцінюється в 5 пФ.

При повній компенсації вхідної ємності ($C_{BX} = 0$) величина модулюючої напруги, що проходить на колектор через ємність, модулятор – колектор, дорівнює $U_{IP} = I_{IP} R_{BX} \cos \varphi = U_M R_1^2 / [R_1^2 + (1/\omega C_{MK})^2]$. Щоб U_{IP} не перевищувало $U_{III\text{BX}}$, необхідно забезпечити значення цієї ємності:



$$C_{MK} < \frac{1}{\omega R_{BX}} \sqrt{U_{ШВХ} / U_M}.$$

Застосування сіток, що екранують C_9 (малюнок 1) дозволяє отримати необхідну величину $C_{MK} < 10^{-4} n\Phi$.



Малюнок 5. Амплітудна характеристика вимірювача.

Для поліпшення стабільності коефіцієнта посилення операційний підсилювач охоплений негативним зворотним зв'язком (R_{12}, R_{13}). При цьому нестабільність коефіцієнта посилення робочого діапазону температур не перевищувала 1%. Підсилювач постійного струму виконаний на тому ж операційному підсилювачі та охоплений негативним зворотним зв'язком (R_{12}, R_{10})

Для розширення динамічного діапазону застосовано автоматичне регулювання посилення з керованим елементом (КА) за схемою Г-подібного дільника напруги (T_4, R_{11}). Для зменшення нелінійних спотворень в КА (малюнок 2) введено коригуючий ланцюжок R_7, R_9, C_3 .

Можна показати [3], що амплітудна характеристика, малюнок 5, на нелінійній ділянці визначається за такою формулою:

$$U_{ВХ} = X_{ВХ} / (1 + K_{ДЕЛ} X_{ВХ} / U_0),$$

де $X_{ВХ} = K_H U_{ВХ} g_K / g_H$; K_H - коефіцієнт посилення каскадів, що не регулюються, g_K - провідність каналу польового транзистора при нульовому зміщенні затвора; $g_H = 1 / R_{11}$; U_0 - напруга відсічення польового транзистора; $K_{ДЕЛ} = R_{10} / (R_8 + R_{10}) = U_0 / U_{ВЫХМАКС}$ - коефіцієнт передачі дільника, що визначає величину максимальної вихідної напруги $U_{ВЫХМАКС}$.

Так як $U_{ВХ} = I_{ВХ} |Z| \cos \varphi$, де зсув фази вхідного ланцюга при оптимальній компенсації, то вираз для амплітудної характеристики набуде вигляду:

$$U_{ВХ} = K_H \frac{g_K}{g_H} |Z| \cos \varphi I_{ВХ} / \left(1 + K_H \frac{g_K}{g_H} |Z| \cos \varphi I_{ВХ} / U_0 \right),$$

а її нестабільність, викликана зміною величин U_0 і $K_{ДЕЛ}$ дорівнює:



$$\delta U_{\text{ВИХ}} = \frac{\Delta U_{\text{ВИХ}}}{U_{\text{ВИХ}}} = \frac{X_{\text{ВХ}}}{1 + X_{\text{ВХ}}} (\delta U_0 - \delta K_{\text{ДЕЛ}}).$$

Зазвичай $\delta K_{\text{ДЕЛ}} \ll \delta U_0$, тому при великих сигналах, коли $X_{\text{ВХ}} \gg 1$, $\delta U_{\text{ВИХ}} \approx \delta U_0$.

Для температурної компенсації змін U_0 у ланцюг регулювання включений кремнієвий діод.

Описана схема дозволяє забезпечити граничну чутливість вимірювача та високу стабільність нелінійної амплітудної характеристики.

Література

1. К.І. Грінгауз, В.В. Безруких, Л.М. Мусатів. Космічні дослідження, 1967, 5, №2, 25
2. Ст Гозлінг, Застосування польових транзисторів, 1970, «Енергія».
3. Ю.Д. Крісілов, Автоматичне регулювання та стабілізація посилення транзисторних схем, 1970, «Радянське радіо»

Abstract. An alternating current meter with a wide dynamic range is described. Expressions are obtained to determine the optimal input resistance providing maximum sensitivity. Expressions defining the parameters of the amplitude characteristics are given.

Key words: Interplanetary plasma, charged particle trap, modulation, input current, sensitivity, input capacitance, capacitance compensation, automatic gain control.

Статья отправлена: 14.02.2024 г.

© Старцев В.І.



УДК 637.3.07

**ANALYSIS OF WAYS TO STABILIZE THE QUALITY OF SOUR CREAM
АНАЛІЗ ШЛЯХІВ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЯКОСТІ СМЕТАНИ****Ryzhkova T.M./ Рижкова Т.М.***doctor of technical sciences, professor / доктор технічних наук, професор
Department of processing technology and the quality of animal husbandry products
кафедра технології переробки та якості продукції тваринництва***Lysenko H.L./ Лисенко Г.Л.***candidate of agricultural sciences, associate professor /
кандидат сільськогосподарських наук, доцент
head of the processing technology department and the quality of animal husbandry products
завідувачка кафедри технології переробки та якості продукції тваринництва***Heida I.M./Гейда І.М.***Senior Lecturer / старший викладач
Department of processing technology and the quality of animal husbandry products
кафедра технології переробки та якості продукції тваринництва
State biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна*

Анотація: У теперішній час, використання заквасок, запропонованих біофабриками, не виключає появлення вад органолептичних показників сметани.

Метою статті було: викласти результати досліджень, щодо шляхів стабілізації якості сметани.

На основі двох видів заквасок: однієї із них Тс з переважним вмістом кислотоутворюючої над ароматоутворюючою мікрофлорою та другої - Сс з більшим вмістом ароматоутворюючої мікрофлори, порівняно з вмістом кислотоутворюючої, у свівідношеннях (80:20) відповідно, було складено 2 види заквашувальних композиційних сполучень.

Загальна кількості використаних комбінаційних сполучень при виробництві двох дослідних партій сметани (Д1 та Д2) була однаковою та складала 5% від маси вершків. При виготовленні контрольної партії сметани (К) використовували ринкову сметану, у вище вказаній кількості.

Встановлено, що при виготовленні сметани із використанням складених комбінаційних сполучень, з перевагою у їхньому складі кислотоутворюючої або ароматоутворюючої мікрофлори, може впливати на скорочення тривалості процесу її виготовлення чи підвищення в ній рівня ароматоутворення.

Ключові слова: закваска, комбінаційні сполучення, якість, сметана.

Вступ.

Сметана є національним продуктом українських споживачів, якість якої повинна відповідати вимогам, викладеним в національному стандарті України ДСТУ 4418:2005 «Сметана. Технічні умови». Цей стандарт поширюється на сметану, яку виробляють з нормалізованих вершків сквашуванням закваскою, яку готують на чистих культурах молочнокислих бактерій. Сметану застосовують для безпосереднього вживання в їжута для кулінарних цілей [1].

У теперішній час, використання заквасок, запропонованих біофабриками, не виключає появлення вад консистенції. Більшість виробників кисломолочної продукції використовують різні згущувачі та стабілізатори. Проте, введення до складу вищевказаних кисломолочних продуктів різних традиційних видів згущувачів та стабілізаторів, призводило до погіршення їх органолептичних



показників [2].

Сметану молочнокопереробні підприємства виробляється сквашуванням нормалізованих вершків чистими культурами молочнокислих мікроорганізмів.

Біфідобактерії при виготовленні кисломолочних продуктів надають їм дієтичні і лікувальні властивості. Утім, вище вказані мікроорганізми не здатні утворювати щільні згустки. Тому для утворення щільного згустку в сметані запропоновано додаткове використання заквасок, до складу яких входить термофільний стрептокок [3].

Зменшення рН, підвищення рівня титрованої кислотності, механізм дії якого відбувається шляхом ферментації лактози бактеріями, що входять до складу заквасок та виробляють молочну кислоту, чинять консервативний вплив на продукт, одночасно підвищуючи харчову цінність сметани та її засвоєність [4]. Пропіоновокислі бактерії та ацидофільні молочнокислі палички, були використані, в якості пробіотичної мікрофлори у складі полікомпонентної заквашувальної мікрофлори кефірних грибків.

Відзначено деяке зменшення активності росту та кислотоутворення при культивуванні вище вказаної мікрофлори у сироватці, порівняно із знежиреним молоком. Встановлено що склад полікомпонентної закваски (5 %), що містить пропіоновокислі бактерії, кефірну закваску і ацидофільні молочнокислі палички у співвідношенні 2,5:2:0,5 відповідно, забезпечує найбільш високий вихід пропіоновокислих бактерій та ацидофільних паличок, що зумовлює пробіотичні властивості препарату [5].

Мета роботи: Аналіз шляхів стабілізації якості сметани.

Методи досліджень: загально-відомі.

На основі двох видів заквасок: однієї із них Тс з переважним вмістом кислотоутворюючої над ароматоутворюючою мікрофлорою та другої - Сс з більшим вмістом ароматоутворюючої, над вмістом кислотоутворюючої мікрофлори у співвідношеннях (80:20) відповідно, було складено 2 види заквашувальних композиційних сполучень. При виготовленні контрольної партії сметани (К) в якості закваски використовували високоякісну ринкову сметану. Кількість закваски при виготовленні трьох партій сметани була однаковою, і складала 5% від маси вершків.

При цьому, кожний вид комбінаційних сполучень виробничої закваски готували в окремій ємкості, яку потім у певних відсотка почергово вносили у підготовлені для згортання вершки та перемішували в ємності для виготовлення сметани, сквашували до утворення згустку. Всі наступні технологічні операції проводили, згідно з діючою нормативно - технічною документацією. Частка кожного виду закваски у складі комбінованої виробничої закваски наведена в табл. 1.

Для оцінки органолептичних властивостей сметани використовували найбільш поширений на практиці метод бальної оцінки якості кисломолочних продуктів (таблиця 2). Для цього була вибрана п'ятибальна система оцінки для кожного показника продукту: смаку, запаху, консистенції і кольору.

Із даних табл. 2 видно, що найкращою за органолептичними показниками (однорідною та густою консистенцією з вираженим кисломолочним смаком та



слабко вираженим ароматом), виявилася дослідна партія (Д1) сметани. При цьому, дослідна партія сметани (Д2) хоча і характеризувалася в міру густою консистенцією, тобто дещо гіршою, ніж консистенція дослідної партії (Д1) продукту, проте в ній відчувався краще виражений аромат. Найгіршою якістю із вадами крупінчатості та прісного смаку і запаху, відрізнялася контрольна партія (К) сметани.

Таблиця 1 - Частка заквасок у складі комбінованих сполучень дослідних партій сметани

Вид закваски	Назва партій сметани		
	Номер партії		
	Контроль-на (К)	Дослідні	
		Д1	Д2
Високоякісна ринкова сметана	100	-	-
Тс (термофільний стрептокок), що переважно володіє кислотоутворюючою здібністю	-	Тс до Сс 80:20	-
Сс (вершковий стептокок), що переважно володіє ароматоутворюючою здібністю	-		Сс до Тс 80:20-
Усього	100	100	100

Таблиця 2 - Органолептичні показники партії 20% – вої сметани

Назва партій	Смак, запах	Консистенція	Колір	Бальна оцінка
Конт-рольна (К)	Прісний смак і запах	Однорідна в міру густа, крупінчаста	Білий з кремовим відтінком, однорідний по усій масі	12 (не добра якість)
Д1	Чистий кисломолочний смак, із слабко вираженим ароматом	Однорідна, густа	Те ж саме	15 (дуже добра якість)
Д2	Чистий кисломолочний, із вираженим ароматом	Однорідна, в міру густа	Білий з кремовим відтінком, однорідний по усій масі	14 (добра якість)

В таблиці 3 наведено результати досліджень, щодо впливу заквашувальних комбінаційних сполучень на зміни фізико – хімічних показників 20%-вої сметани та на тривалість утворення згустків.

Дані табл. 3 свідчать про позитивний вплив комбінаційних заквашувальних сполучень, використаних при виготовленні дослідної партії сметани Д1, з



перевагою кислотоутворюючої мікрофлори над ароматоутворюючою у їхньому складі, на утворення більш щільного якісного згустку за менш тривалий час. Незважаючи на те, що кислотність дослідної партії сметани Д1, була на 5 °Т вищою, порівняно дослідною партією продукту Д2 та на 10 °Т, порівняно з контролем, в ній не було відчуття надмірно кислого смаку і запаху. Тобто, вибрані композиційні сполучення при виготовленні дослідних партій сметани Д1 та Д2, однаково добре впливають на отримання якісних органолептичних показників в двох вище вказаних дослідних партіях продукту. Контрольна партія (К) сметани, при виготовленні якої, в якості закваски, була використана ринкова сметана, відрізнялася наявністю вад: прісного смаку і запаху, та крупітчастої консистенції.

Таблиця 3 - Вплив заквашувальних комбінаційних сполучень на зміни фізико - хімічних показників 20%-вої сметани та на тривалість утворення згустків

Показники	Контрольна партія (К)	Дослідні партії сметани	
		Тс до Сс (80:20)	Сс до Тс (80:20)
		Д1	Д2
Масова частка жиру, %	20±0,5	20±0,5	20±05
Кислотність в кінці сквашування, °Т	70±3,0	80±3,0	75±3,0
Час утворення щільного згустку	9±1	8±1	8,5±1

Висновки

1. Підтверджена ефективність комбінаційних заквашувальних сполучень, складених в певному співвідношенні із декількох видів заквасок, змінювати рівень кислоти та /чи ароматоутворення в дослідних сметани.

2. Застосування, вище вказаного біотехнологічного шляху, в виробничих умовах молокопереробних підприємств України, дозволить не тільки стабілізувати якісні показники сметани, але й регулювати час процесу її виробництва.

Список використаної літератури

1. ДСТУ 4418:2005 Сметана. Технічні умови. [Чинний від 2005-05-30]. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 9 с.

2. Stabilizers: Indispensable Substances in Dairy Products of High Rheolo/ Madiha Teshoem, Farzana Siddique, Asif Ahmad, Uma Farooq// Critical reviews in food science and nutrition 54(7):869-79 February 2014 with 1,408 Reads. DOI: 10.1080/10408398.2011.614702 Source: PubMed.

3. Зубок Н.М. Производство сметаны, обогащенной бифидобактериями, на Волковысском ОАО «Беллакт»/ Н.М. Зубок, В.Г. Журавская //Современные технологии сельскохозяйственного производства: сборник научных статей по материалам XIX Международной научно-практической конференции (Гродно, 25 марта, 7 апреля, 3 июня 2016 года). – Гродно ГГАУ, 2016. – С. 269-270.



4. Ватушкина М.А. Заквасочные культуры для молочной промышленности/ М.А. Ватушкина//Вестник науки. - №1 (34). Т.4. – январь, 2021. – С. 15-20.

5. Ватушкина М.А. Микробиологические аспекты производства обогащенных кисломолочных продуктов с использованием молочной сыворотки/ М.А Ватушкина // Молочнохозяйственный Вестник, №3(31), III, кв.2018. – С. 91-101.

References

1. DSTU 4418:2005 Sour cream. Technical mind. [Chinny edition 2005-05-30]. – К.: Derzhspozhivstandart of Ukraine, 2005. – 9 p.

2. Stabilizers: Indispensable Substances in Dairy Products of High Rheolo/ Madiha Teshoem, Farzana Siddigie, Asif Ahmad, Uma Farooq// Critical reviews in food science and nutrition 54(7):869-79 February 2014 with 1,408 Reads
DOI: 10.1080/10408398.2011.614702 Source: PubMed

3. Zubok N.M. Production of sour cream enriched with bifidobacteria at Volkovysk JSC "Bellakt" / N.M. Zubok, V.G. Zhuravskaya //Modern technologies of agricultural production: a collection of scientific articles based on the materials of the XIX International Scientific and Practical Conference (Grodno, March 25, April 7, June 3, 2016). - Grodno GSAU, 2016. - S. 269-270.

4. Vatushkina M.A. Starter cultures for the dairy industry / M.A. Vatushkina // Bulletin of Science. - No. 1 (34). Т.4. - January, 2021. - S. 15-20.

5. Vatushkina M.A. Microbiological aspects of the production of enriched fermented milk products using whey / M.A. Vatushkina //Dairy Bulletin, No. 3 (31), III, quarter 2018. - S. 91-101.

Abstract. *The article reports that the quality of sour cream is influenced by many factors, among which are the quality of the cream, the type of leaven, and compliance with the technological process during the processing of dairy raw materials into the above-mentioned fermented milk product.*

The purpose of the article was to present the results of research on ways to stabilize the quality of sour cream.

On the basis of two types of starters: one of them Ts with a predominant content of acid-forming over aroma-forming microflora and the second - Cs with a higher content of aroma-forming microflora, compared to the content of acid-forming, in the ratio (80:20), respectively, 2 types of leavening composite combinations were made.

The total amount of combinations used in the production of two experimental batches of sour cream (D1 and D2) was the same and constituted 5% of the mass of cream. In the production of the control batch of sour cream (K), market sour cream was used in the above quantity.

The positive effect of the combination leavening compounds used in the production of the experimental batch of sour cream D1, with the advantage of acid-forming microflora over aroma-forming microflora in their composition, on the formation of a denser, high-quality clot in a shorter time was established. Despite the fact that the acidity of the experimental batch of sour cream D1 was 5 oT higher, compared to the experimental batch of product D2 and by 10 oT, with the control, it did not have a sour taste and smell.

That is, the selected composition combinations in the production of experimental batches of sour cream D1 and D2 have an equally good effect on obtaining quality organoleptic indicators in all two batches of sour cream.

The control batch of sour cream, in the production of which market sour cream was used as leavening agent, was characterized by low quality: grainy consistency, and unexpressed taste and aroma.

Key words: *sourdough, combinations, quality of sour cream.*



УДК 537-77:544.431.122:539.91

INCREASING OF THE ENERGY EFFICIENCY OF THE COMBINATION OF HYDROCARBON FUEL THROUGH ELECTROACTIVATION OF REAGENT MOLECULES

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РЕАКЦІЇ ГОРІННЯ ВУГЛЕВОДНЕВОГО ПАЛИВА ЧЕРЕЗ ЕЛЕКТРОАКТИВАЦІЮ МОЛЕКУЛ-РЕАГЕНТІВ

Kovalyshyn V.M. / Ковалишин Б. М.,

*ph.d., associate professor / к.т.н., доцент**Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture**Povitroflotsky Avenue, 31, 03037, Kyiv, Ukraine,**Київський Національний університет будівництва і архітектури**Повітрофлотський проспект, 31, 03037, Київ, Україна,*

Анотація. В роботі теоретично обґрунтована концепція підвищення енергоефективності паливних установок на газоподібному вуглеводневому паливі на основі активації молекул-реагентів реакції горіння електричним полем високої напруженості.

Ключові слова: горіння, енергоефективність, молекули-реагенти, активація, електричне поле, висока напруженість.

Постановка проблеми.

Теплогенерація на основі вуглеводневих енергоносіїв складає біля 80 % як в загальносвітовому, так і в українському балансі виробництва енергії. Крім того, за статистичними даними останніх років [1], найбільшими кінцевими споживачами енергії в загальному балансі споживання енергії в Україні є побутовий сектор (домогосподарства і послуги) – 38,6%, промисловість – 33,4%, транспорт – 16,8%.

Підвищення енергоефективності теплозабезпечуючих систем в промисловості, сільському господарстві і комунальній сфері актуальні як в світі, так і в Україні.

Аналіз останніх досягнень.

Вирішення питань в галузі підвищення енергоефективності теплогенерації пов'язане з розв'язанням цілої низки економічних, технологічних, психологічних та інших задач. Структура заходів з підвищення енергоефективності в теплозабезпеченні різних об'єктів відрізняється по галузях і об'єктах, але в загальному вигляді може бути представлена мнемосхемою, представленою на рис. 1.

Споживачеві теплової енергії відводиться важлива роль у підвищенні енергоефективності теплозабезпечення. І саме психологічний фактор може забезпечити значний вклад у сферу енергозбереження та енергоефективності. Встановлення лічильників на електроенергію, воду, газ, теплозабезпечення дозволяє користувачеві самому визначати кількість споживаних енергетичних та інших ресурсів, здатні забезпечити чи не найбільший ефект. Використання систем споживання енергії з керуванням зі сторони споживача вважається одним із перспективних заходів з підвищення енергоефективності.

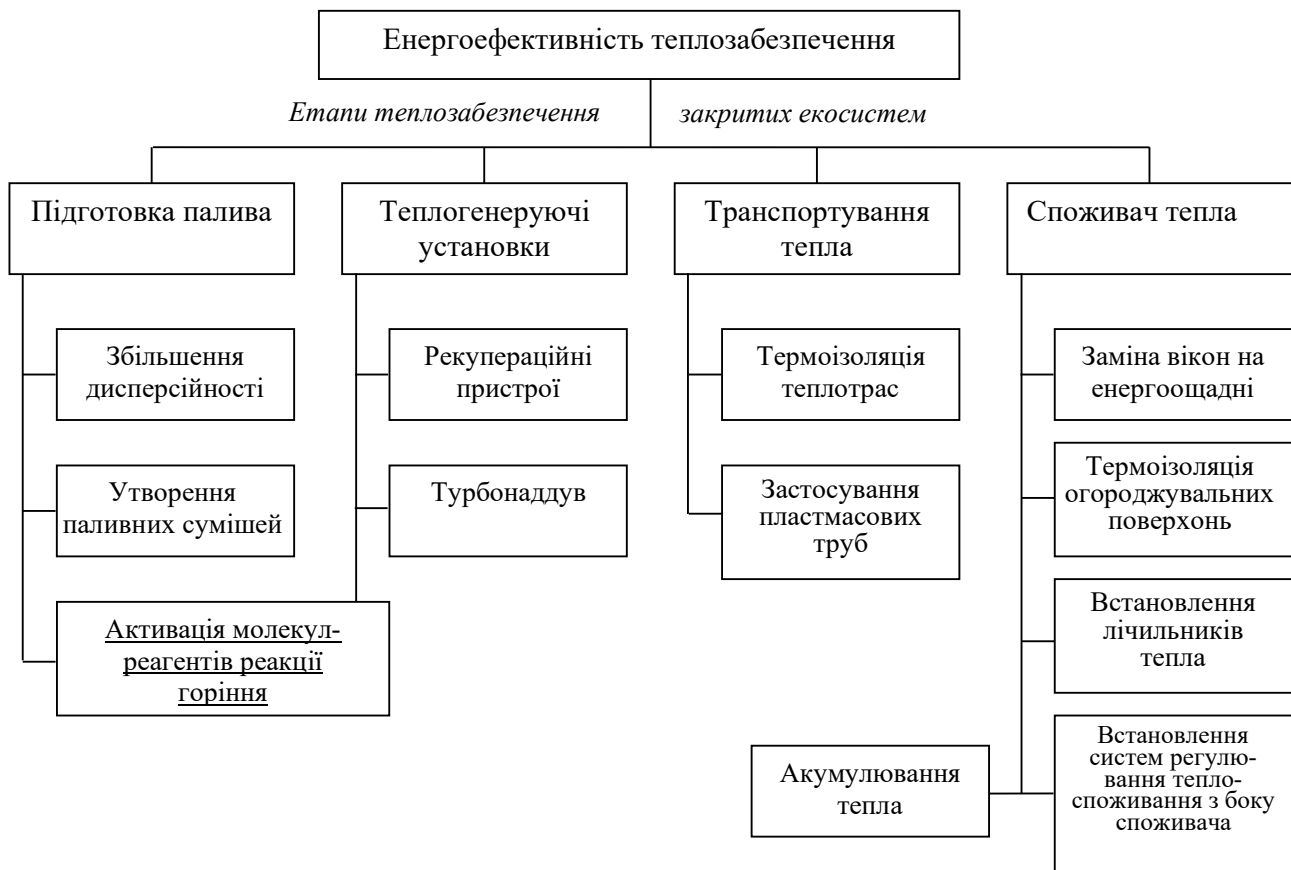


Рис 1. Структура заходів з підвищення енергоефективності в теплозабезпеченні об'єктів

Велике значення для підвищення ефективності теплозабезпечення має використання термоізоляції стін і стелі приміщень, використання вікон з подвійним і потрійним остекленням, що дозволяє економити від 10 до 60 % тепла.

Також важливим енергозберігаючим заходом є герметизація і теплоізоляція трубопроводів системи централізованого опалення, заміна металевих труб на пластмасові.

Значному зниженню витрат на теплозабезпечення сприяє використання теплоакumuлюючих установок [2].

Для енергозабезпечення промислових і побутових приміщень актуальними є питання зменшення споживання енергії і ресурсів при генеруванні теплової енергії. Проблеми, які розглядаються, відповідають концепції енергозбереження України та Закону України "Про енергозбереження" [3].

Першим блоком заходів з підвищення енергоефективності слід вважати технологічні процеси і використання обладнання з підготовки палива до спалювання. Забезпечення дрібнодисперсної консистенції твердого і рідкого палива призводить до його кращого згорання, підвищення ККД і зменшення шкідливих викидів у викидних газах.

Утворення паливних сумішей різних видів палив часто призводить до підвищення енергоефективності паливних установок. Використовують суміші вугілля дрібнодисперсного помелу з природним газом, киснем, мазутом.



Підвищення енергоефективності через модернізацію паливних установок і використання в них нових технологій включає використання рекупераційних пристроїв і турбонаддуву. За допомогою рекупераційних установок підвищується коефіцієнт корисної дії паливних установок за рахунок повернення частини теплової енергії від тепла викидних газів і за рахунок термоактивації молекул-реагентів реакції горіння. Турбонаддув створює надлишок окислювача в паливно-повітряній суміші, що також підвищує коефіцієнт корисної дії паливних установок.

Мета роботи. Підвищення енергоефективності паливних установок через активацію молекул-реагентів реакції горіння іншим, відмінним від теплової енергії, енергетичним чинником з використанням спеціального електротехнічного обладнання.

Результати досліджень.

За Арреніусом – для участі молекул або атомів в будь-якій хімічній реакції вони обов'язково повинні бути активованими. А процес активації молекул і атомів полягає у переведенні їх на синглетні або триплетні енергетичні рівні.

В 1889 році Ареніус відкрив закон хімічної кінетики [4], відомий як закон його імені. Цей закон характеризує можливість протікання хімічних реакцій між молекулами-реагентами. Він зв'язує константу швидкості реакції k з енергією активації E_a , яка характеризує енергетичний стан молекули і записується у вигляді:

$$k = k_0 \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}, \quad (1)$$

де k_0 – передекспоненційний множник;

R – газова стала, рівна 1,987 кал/град·моль;

T – температура в градусах шкали Кельвіна;

e – основа натуральних логарифмів.

Щоб знайти величину енергії активації E_a , вивчають швидкість реакції при різній температурі і знаходять для кожного значення T величину константи швидкості.

При спалюванні молекул вуглеводневого палива в окислювальному середовищі частина теплової енергії (в межах 25 – 30 %) витрачається на термоактивацію молекул-реагентів. Замінивши цю теплову енергію на енергію активації з іншою фізичною природою, можна, відповідно, знизити питомі витрати палива і підвищити енергоефективність теплогенеруючих установок.

Активація молекул-реагентів, за нашою робочою гіпотезою, крім термоактивації може бути здійснена з допомогою інших джерел енергії. У випадку подачі зовнішньої енергії у вигляді імпульсів або пульсуючих сигналів, частота яких співпадає з резонансною частотою молекул-реагентів, можна досягти ефекту переведення молекул-реагентів в активний стан із значно меншими енергетичними затратами. Виходячи з таких міркувань формула (1) прийме вигляд

$$E_a = [(\lg k_0 - \lg k)4,575T] - Wb, \quad (2)$$



де W – енергія активації від зовнішніх джерел, b – коефіцієнт використання зовнішньої енергії молекулами-реагентами.

Основою на запропонованій нами робочій гіпотезі сформулюємо концепцію підвищення енергоефективності паливних установок.

Підвищення енергоефективності паливних установок за рахунок збільшення теплопродуктивності спалюваного палива здійснюється при компенсації теплової енергії, яка витрачається на термоактивацію молекул-реагентів реакції горіння, енергією від інших енергетичних чинників і використання компенсованої теплової енергії для корисних цілей.

До енергетичних чинників активації молекул і атомів, крім теплової енергії, можна віднести енергію від зовнішніх джерел енергії:

- фотони;
- зовнішнє електричне поле високої напруженості;
- електричне поле сусідніх молекул;
- радіоактивне опромінення;
- непружні зіткнення частинок та інші.

Більш детально розглянемо активацію молекул-реагентів реакції горіння в теплогенеруючих установках з використанням вуглеводневих газоподібних енергоносіїв.

Активація електричним полем високої напруженості стосується частинок, які володіють певним зарядом. Під дією електричного поля частинки набувають відповідної кінетичної енергії, що визначається зарядом і масою частинки. Електричне поле з вектором напруженості \vec{E} діє на частинку з зарядом q з силою F_e , яка викликає рух частинки з швидкістю \vec{v} і визначається за формулою:

$$F = q\vec{E} = m \frac{d\vec{v}}{dt} . \quad (3)$$

При русі частинки у дворівневій системі координат (x, y) зі швидкістю v її кінетична енергія рівна $W_{кин} = \frac{mv^2}{2}$ при $v^2 = v_x^2 + v_y^2$.

Після початку руху частинки з центру координат через час t її кінетична енергія буде рівна [5]:

$$W_{кин} = \frac{1}{2}mv_y^2 + \frac{1}{2}m \left[v_{ox}^2 + 2 \frac{q}{m} E \left(v_{ox}t + \frac{q}{2m} Et^2 \right) \right] . \quad (4)$$

Так як $v_{ox}t + \frac{q}{2m} Et^2 = x$ – шлях, пройдений частинкою за час t в напрямку осі x . Тому, кінетична енергія при русі частинки в електричному полі визначається за формулою:

$$W_{кин} = \frac{1}{2}mv_{0y}^2 + \frac{1}{2}mv_{0x}^2 + qEx , \quad (5)$$

де у правій частині рівняння перших два доданки описують початкову кінетичну енергію частинки; а третій доданок – характеризує енергію, отриману частинкою від прикладеного електричного поля після проходження нею відстані x .



Позитивний вплив неоднорідного стаціонарного електричного поля на протікання реакції горіння описаний в [6, 7, 8, 9].

Одним з найбільш прийнятних способів активації молекул-реагентів окислювально-відновлювальної реакції горіння є електроактивація в полі коронного розряду.

Для отримання коронного розряду використовуються електродні системи у вигляді паралельних тонких провідників або провідників і плоского електроду (рис. 2).

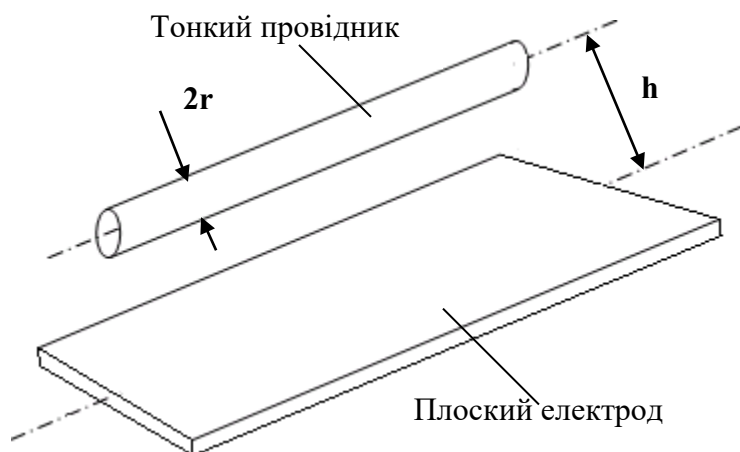


Рис. 2. Схематичне зображення провідникової розрядної системи

Початкові значення напруженості E_0 (кВ/см) електричного поля і напруги U_0 (кВ) корони при застосуванні провідникових коронуючих систем визначаються за формулами [10]:

$$E_0 = 31\rho_{II} \left(1 + \frac{0,308}{\sqrt{\rho_{II}r}} \right), \quad (6)$$

$$U_0 = 0,82 \cdot E_0 \cdot r \cdot \ln \frac{2h}{r}, \quad (7)$$

де ρ_{II} – відносна питома провідність повітря;

r – радіус кривизни провідників, см;

h – відстань між коронуючими електродами, см.

Формули (6) і (7) застосовуються при $h > 15r$.

Інший спосіб запалювання коронного розряду полягає у використанні голчастої електродної системи, яка складається з одного голчастого коронуючого електроду і плоского загального електроду, розміщених на відстані d . Схематичне зображення голчастої електродної системи приведено на рис. 3.

Напруженість у кожній вибраній точці коронного розряду у голчастій розрядній системі запишеться у вигляді:

$$\int_0^d E dx = U - RSj, \quad (8)$$

де x – відстань від кінця вістря до точки вимірювання, м;

U – напруга прикладена до розрядного проміжку, В;



R – обмежуючий опір, Ом;
 j – густина струму, Ом/м².

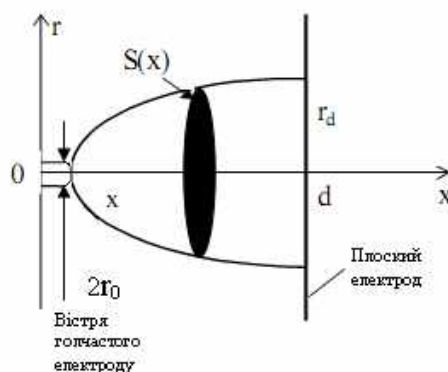


Рис. 3. Структура струмового каналу коронного розряду у голчастій розрядній системі

Напруженість електричного поля $E_0^I(x)$ в осьовій області коронного розряду, при використанні однорядної голчастої електродної системи, у початковий момент запалювання корони обчислюється за формулою [11, 12]:

$$E_0^I(x) = \frac{2U}{(2x + r_0) \cdot \ln \frac{2d}{r_0 + l}} \quad (9)$$

Для розрахунку струму коронного розряду, утвореного голчастою розрядною системою, при видаленні аероіонів з розрядного проміжку коронного розряду з допомогою потоку повітря, С. Чепменом [13] запропонована емпірична формула:

$$I_k = 1,315 \cdot \varepsilon_0 \cdot V (U_k - U_{k0}) \left(\frac{\rho_{п0}}{\rho_{п}} \right)^{0,31} + 1,785 \cdot \varepsilon_0 \cdot K \cdot U_k (U_k - U_{k0}) \left(\frac{\rho_{п0}}{\rho_{п}} \right) \quad (10)$$

де $\rho_{п0}$ – густина повітря за нормальних умов, кг/м³;
 $\rho_{п}$ – густина повітря в розрядному проміжку, кг/м³;
 V – швидкість потоку повітря, м/с;
 U_k – напруга на коронуючих електродах, В;
 U_{k0} – напруга початку появи корони, В;
 ε_0 – діелектрична проникність повітря, Ф/м.

Енергію активації молекул-реагентів у полі коронного розряду можна знайти з виразу

$$W = I_k U_0 t, \quad (11)$$

де I_k – струм у колі коронного розряду,
 t – час, за який протікає 1 моль (22,4 л) газу, який піддається активації.

При використанні енергії електричного поля високої напруженості як



активуючого чинника для молекул-реагентів компенсуємо частину теплової енергії, що витрачалась на активацію. Тим самим, збільшимо на таку ж величину корисну теплову енергію ΔE_{AT} , що у символічному вигляді запишеться як

$$\Delta E_{AT} = E_{A3} = 0,82 \cdot I_K \cdot b \cdot t \cdot [31 \cdot \rho_{II} * \left(1 + \frac{0,308}{\sqrt{\rho_{II} \cdot r}}\right) \cdot r \cdot \ln \frac{2h}{r}] \quad (12)$$

Тим самим, використовуючи емпіричні формули (6, 7) і формули (8, 9), отримаємо вираз для визначення величини зменшення енергії ΔE_A , необхідної для активації молекул реагуючої системи електричним полем високої напруженості:

$$\Delta E_A = [(lg k_0 - lg k)4,575T] - 0,82 \cdot I_K \cdot b \cdot t \cdot [31 \cdot \rho_{II} * \left(1 + \frac{0,308}{\sqrt{\rho_{II} \cdot r}}\right) \cdot r \cdot \ln \frac{2h}{r}] \quad (13)$$

За формулою (13) можна констатувати, що витрати теплової енергії на активацію молекул-реагентів екзотермічної реакції, будуть зменшені на величину ефективної енергії активації від зовнішнього джерела (коронного розряду) E_{A3} . Тому, на величину E_{A3} буде збільшена корисна теплова енергія при спалюванні вуглеводневого або іншого виду палива, що свідчить про підвищення його теплотворної здатності. А це призводить до підвищення ефективності паливних установок та економії палива.

Висновки Проведені теоретичні дослідження дають підстави стверджувати про доцільність підвищення енергоефективності паливних установок на газоподібних вуглеводневих енергоносіях за рахунок електроактивації молекул-реагентів реакції горіння.

Підтверджено запропоновану нами концепцію підвищення енергоефективності паливних установок на газоподібних вуглеводневих енергоносіях.

Використані джерела

1. https://ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/energ.htm
2. Корчемний М. Енергозбереження в агропромисловому комплексі / Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001.–976 с.
3. Закон України “Про енергозбереження”. Відомості Верховної Ради.– 1994, № 30. – 283 с.
4. Физическая химия. / Под ред. К.С. Краснова. М.: Высшая школа, 2001.– Кн. 1.– 512 с; кн. 2.– 319 с.
5. Бортник И.М., Верещагин И.П., Вершинин Ю.Н. и др. Электрофизические основы техники высоких напряжений. – М.: Энергоатомиздат, 1993.–594 с.
6. Малиновский А.Э. Влияние частоты электрического поля на скорость горения газов / Малиновский А.Э., Россихин В.С., Тимковский В.П. // ЖЭТФ.–



1934.– т.4, в.2.– с.208–214.

7. Малиновский А.Э., Россихин В.С., Тимковский В.П. Влияние переменного электрического поля высокой частоты на скорость горения газа.//ЖЭТФ. -1934. – т.4, в.2. –с.183–188.

8. Малиновський А.Е., Лавров Ф.А. Про вплив електричного поля на процеси горіння в газах. // ЖФХ. – 1931. –Т.2, В.3-4. –С.530-534.

9. Соколов Е.Я., Бродянский В.М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. – 2-е изд. – М.: Энергоиздат, 1981. – 320 с.

10. Кудрявцев И.Ф., Карасенко В.А. Электрический нагрев и электротехнология.– М.–Колос, 1975.–384 с.

11. Райзер Ю.П. Физика газового разряда.–М.: Наука, 1987.–591 с.

12. Чигін В. Експериментальні дослідження і чисельні моделювання плазми коронного розряду. – Фізичний збірник НТШ, т.8, 2011.–С.257-285.

13. Chapman S. Corona point current in wind.– J. of Geophysical Research. Vol. 75, №12, 1970.– P.2165-2169.

References.

1. http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2016 /sg/ekolog/ukr/ k_enspu.html. Kinceve energospozhy`vannya za 2007 - 2017 roky`.

2. Korchemny`j M. Energozberezhennya v agropromy`slovomu kompleksi / Korchemny`j M., Fedorejko V., Shherban` V. – Ternopil` : Pidruchny`ky` i posibny`ky`, 2001.–976 s.

3. Zakon Ukrayiny` “Pro energozberezheniya”. Vidomosti Verhovnoyi Rady`.–1994, # 30. – 283 s.

4. Fy`zy`cheskaya xy`my`ya. / Pod red. K.S. Krasnova. M.: Vysshaya shkola, 2001.– Kn. 1.– 512 s; kn. 2.– 319 s.

5. Bortnyk Y.M., Vereshhagyn Y.P., Vershynyn Yu.N. y` dr. Elektrofyzychesky`e osnovy texnyky` vysoky`h napryazhenyj. – М.: Energoatomizdat, 1993.–594 s.

6. Maly`novsky`j A.E. Vly`yany`e chastoty elektry`cheskogo polya na skorost` goren`ya gazov / Maly`novsky`j A.E., Rossyhyn V.S., Ty`mkovsky`j V.P. // ZhЭТФ.– 1934.– т.4, в.2.– с.208–214.

7. Malynovsky`j A.E., Rossyhyn V.S., Tymkovsky`j V.P. Vly`yany`e peremennogo elektrycheskogo polya vysokoy chastoty na skorost` goren`ya gaza.//ZhETF. -1934. – т.4, в.2. – с.183–188.

8. Malynovsky`j A.E., Lavrov F.A. Pro vplyv elektrychnogo polya na procesy gorinnya v gazax. // ZhFX. – 1931. –Т.2, В.3-4. –С.530-534.

9. Sokolov E.Ya., Brodyansky`j V.M. Energetychesky`e osnovy transformacy`y` tepla y` processov oxlazhdeny`ya. – 2-e y`zd. – М.: Energoizdat, 1981. – 320 s.

10. Kudryavcev Y`.F., Karasenko V.A. Elektrycheskyj nagrev y` elektrotexnologiy`ya.– М.–Kolos, 1975.–384 s.

11. Rajzer Yu.P. Fyzyka gazovogo razryada.–М.: Nauka, 1987.–591 s.

12. Chygin` V. Eksperymental`ni doslidzhennya i chysel`ni modelyuvannya plazmy koronnogo rozryadu. – Fizychny`j zbirnyk NTSh, т.8, 2011.–С.257-285.

13. Chapman S. Corona point current in wind.– J. of Geophysical Research. Vol. 75, #12, 1970.– P.2165-2169.

Abstract. *The concept of energy efficiency improvement of fuel installations on gaseous hydrocarbon fuels is theoretically substantiated on the basis of activation of high-voltage electric-field combustion reaction reagent molecules.*

Keywords: *combustion, energy efficiency, reactant molecules, activation, electric field, high voltage*



DIGITIZATION PROBLEMS AND PERSPECTIVES IN SUPPLY CHAINS IN THE CONTEXT OF INDUSTRY 4.0 CHALLENGES

Sudziuviene R.

Lecturer

*Higher Education Institution Environment and Civil Engineering Department,
Bijunu str. 10, Klaipeda, Lithuania*

Sudziute I.

Mechanikos inžinierė

UAB „Lavango Group“, Pramonės str. 5, Klaipeda, Lithuania

Beniusiene G.

Lecturer

*Higher Education Institution Environment and Civil Engineering Department,
Bijunu str. 10, Klaipeda, Lithuania*

Jukniene D.

*Higher Education Institution Environment and Civil Engineering Department,
Bijunu str. 10, Klaipeda, Lithuania*

Abstract. *The Fourth Industrial Revolution has been going on for a good 10-20 years and nobody can name the specific beginning. Industry 4.0 is a new economic development stage, featuring technologies such as big data, artificial intelligence, the Internet of things, robotics, 3D printing, and their physical, digital, and biological interactions. From the first three industrial revolutions the newest revolution differs, firstly, by its speed, and exponential development, secondly, by its variety which includes not only economic but business, society, and human paradigm changes, thirdly by systemic transformations that involve countries, companies, industrial sectors, and whole society sistematical revolutions. This industrial digitization certainly will provide sections of society with larger varieties, but the unprecedented speed of change will also significantly disrupt the economy and the labor market more broadly. Therefore it is important to understand that to successfully realize digitizations in companies, it is necessary to soften the threats by changing jobs with technologies, the polarization of the labor market, and increasing inequality, both at individual and regional levels. The purpose of the article is to suggest a model for supply chain improvement in manufacturing companies in the context of industrial digitization. To achieve the purpose of the article, various methods such as systematic data analysis, statistical data analysis, graphical data representation, and comparative analysis are applied.*

Keywords: *The industrial revolution, manufacturing, digitization, supply chains, COVID-19, technology implementation.*

Introduction.

The Industry 4.0 revolution essentially means value and supply chain digitization and the smart factory is at the center of this process. In the smart factory, all items used in the production process (components, devices) are connected to a single network (Internet of Things), which is controlled by autonomously operating systems (robots, algorithms). This is where supply management changes fundamentally. By connecting all participants of the supply chain into one system, it becomes possible for the operating system to monitor in real-time which components or raw materials the company lacks and send a signal to the supplier without waiting for anything. Production and inventory itself can also be managed on a similar principle – goods are produced exactly as much as is needed to meet demand, which allows for a significant reduction in excess inventory. As part of this process, supply chains become crucial factors and are often considered the key to the success of Industry 4.0.



The digitization of industry becomes even more relevant in the current post-pandemic conditions, when there is an increased withdrawal of society from large cities to less populated areas, and as a result, remote work becomes more and more relevant. As digitization processes take place, it becomes more and more realistic to move work from offices to homes, without harming the production efficiency of companies in the manufacturing industry. The fourth industry revolution technologies, including digitals, provide a significant increase in production efficiency and allow companies to produce and sell consumer-friendly goods and products.

The topicality of the topic is justified by the radically changed conditions of economic activity. Changes are primarily associated with the development of information technologies and the importance of intangible resources. In the early and middle of the last century, most innovations were the result of accidental discoveries or the efforts of individual developers. In modern society, especially since the beginning of the 21st century, the creation of innovations has become a purposeful, planned, and strategically managed activity. Regarding the digitalization of industry, the European strategies of "The European Digital Strategy" and the Lithuanian national industrial digitalization platform "Industry 4.0" have already been prepared, most industrial companies have already defined their digitalization initiatives, but digitalization remains an undefined concept and the journey towards it seems long and winding. [1]. Therefore, this article focuses on the possibilities of improving supply chains in the context of the fourth industrial revolution. To achieve the aforementioned goal, the following tasks are set:

1. summarize the systematics of the production supply chain and the theoretical aspects of management models presented in the scientific literature;
2. to identify the main digitization issues that determine the efficiency of the supply chain in the context of Industry 4.0;
3. to propose a model for improving supply chains in manufacturing companies in the context of Industry 4.0 challenges.

Analysis of literature.

Manufacturing is a global business that reached the peak of its development during the Industrial Revolution when the transformation of various ideas into real tools or processes began - the steam engine, electricity, and the steam locomotive laid the foundations for the formation of modern life, with modern factories and cities of millions. The main purpose of production, which remains to this day, is to satisfy large-scale production of products [11]. The main production challenge is to produce the largest possible quantities of products that consume less raw materials, energy, and human resources.

The manufacturing industry remains one of the main branches that create the basis of the economy both in Lithuania and in the world economy. It is an industry belonging to the second sector of the economy. The manufacturing industry refers to any business that uses machinery, tools, and labor to transform raw materials into marketable products.

Over the past five years, it is noticeable that the labor costs of manufacturing companies in Lithuania have risen by about 40 percent, while the productivity of the sector itself is only 14 percent. As the gap between wage costs and operational



productivity grows so rapidly, the competitiveness of the Lithuanian manufacturing sector is at risk. Recognizing such threats not only in the Lithuanian industry, but also in many other developed countries, businesses and the state itself have been investing heavily in recent years to increase productivity and, at the same time, competitiveness. One of the tools is digitization. Digitization of the industry enables a significant increase in productivity, and a reduction in the use of resources at all stages of the value chain and helps to remain competitive in the international market. The implementation of business processes and other digital solutions led to the creation of new business models, the introduction of new services or products to the market, and the creation of new, highly added value-creating specialists, jobs, etc. Digitization is becoming one of the strategic guidelines of companies in order to remain competitive and innovative. [7].

However, no technology will be important if we forget supply chains, because supply chain management is vital and nowadays most often an irreplaceable helper in production, trade organizations in their activities, focused on meeting customer expectations, successful business and society development [6]. It is very important for the end user how efficiently the supply chain provides them with the most necessary resources, products, and services, but certainly, not every user thinks about it: for example, when the user goes to the gas station to fill up with fuel, goes to the store to buy fresh food products, or when there is a hospital the ward is equipped with the most necessary rescue equipment. Most of the time, people think simply that products and services are easily available and they know where and who provides them with high quality, without thinking about how much people's own quality and comfortable life depends on production factors and efficient supply chains [10].

Concept of supply chains.

In today's world, in the process of digitization and globalization, supply chains are global, complex networks, the purpose of which is to supply products in the right quantity, at the right time, at the right place in unpredictable markets [9]. Instability in global markets causes disruptions in supply chains, which also brings chaos to the operations of manufacturing companies. Today's supply chains operate in a dynamic environment where an adverse event that poses no risk today may be a serious risk tomorrow.

The supply chain can usually be divided into five main parts: raw material supplier, retailer, wholesaler, manufacturer, and customer. However, supply chain management also includes production planning, resource allocation, transportation of raw materials and finished products, and management of commodity flows, stocks, and warehouses [5]. And also transportation, defect fixing, and maintenance of production facilities. Each part of the supply chain includes all the functions related to it, from new product development, marketing, production, finance, customer service, and the goal is to satisfy the customer's needs while making a profit for themselves [14]. It must also be understood that supply chain disruption poses technical or behavioral problems for manufacturers in manufacturing companies. Technical problems include equipment failures, system failures, and financial difficulties; and unemployment, strikes, and human fraud are behavioral problems. Effective supply chain management is therefore essential. Supply chain management can be defined as the coordination of business



functions in the company's divisions, as well as in other parts of the supply chain, in order to supply and improve products and information flows from suppliers to final customers, thus strengthening the efficiency of the supply chain, and satisfying customer needs, wishes and requests [1].

It should be emphasized that the specifics of supply chains, precisely in the context of the achievements of the fourth industrial revolution, create prerequisites for each entity to apply sufficiently innovative and, in each specific case, very effective mechanisms. In this case, it must be taken into account that only effective and rational identification and use of appropriate measures can ensure the successful and sustainable functioning of the entire sector and a specific economic entity [11].

In cases where the elements of the supply chain are determined without taking into account how the elements of a particular sector (in this case - the manufacturing industry) function, there is a real risk that this way will not create opportunities for the sustainable functioning and growth of the whole sector.

However, it is very important to evaluate and define supply chain models in manufacturing companies. According to Mentzer, there are three levels of supply chain complexity [11]:

1. a direct supply chain that consists of a central organization, a supplier, and a consumer involved in the internal or external movement of products, services, finance, or information. In addition to all this, the central organization sets the structure of the supply chain and the management structure, the rules of cooperation. With such a chain, the movement cycle is short and usually ensures minimal time costs, this supply model usually operates within the country and is less common for international markets [13].

2. extended supply chain, which additionally consists of a second-tier supplier. Such a chain is more complex than a direct supply chain because raw materials do not go directly to the manufacturer, but go through several supply channels or individual suppliers. In such a supply chain scheme, there are greater opportunities for the participation of retailers and wholesalers [13]. In such a chain, the need for transportation increases, which can affect the cost price and selling price of the product, and the time of production and delivery to the consumer increases [8].

3. the composite supply chain includes the extended supply chain and additional participants - service providers: financial sponsors, market research specialists, and carriers of all levels.

Supply chain management is vitally important and nowadays most often an irreplaceable assistant for production and trade organizations in their activities focused on meeting customer expectations, and successful business and society development [4]. In order to have a strategic supply chain and manage it effectively, a very important aspect is the dissemination of information. It is very important that at the right time, appropriate and specific information reaches each member of the supply chain, here the linear sequence is especially important - from the order submission, the design, the production process takes place, then it is transferred to the distributor, then to the retailer and only finally to the main customer. It is a long process of creating a product and obtaining information, which not only requires time but also reduces the efficiency of the production process. Each relationship between parts of the supply chain



(supplier, manufacturer, distributor, retailer, customer) has processes required for each process cycle (sales order cycle, material replenishment cycle, production cycle, purchasing cycle). Such a view of cycles is useful for the digitalization of supply chains, such as the development of information systems to support supply chain operations in the consideration of operational decisions, as it defines the role and responsibility of each participant and predicts the results of each process [14].

Industry 4.0 and digitization of industry.

The fourth industrial revolution is taking place on the foundations of the third digital revolution. The latter flooded the world with computers and automated data hoarding. However, the new wave of changes differs from previous ones in several important aspects. Firstly, innovations are created and can spread at a speed that we could not even imagine before. Secondly, decreasing marginal production costs and the emergence of platforms that concentrate business activities in many sectors increase the connection between profit and scale. Thirdly, this revolution will affect all countries, and people will feel the changes in all areas as they contribute to its development.

Summarizing various authors' ideas on this topic, Industry 4.0 is focused on digitization and replacing older technologies. However, it's important not to forget and strive to integrate cyber-physical systems that ensure information security and improve the organization of production systems [16]. For manufacturing companies aiming to remain successful in today's business world, it's no longer enough to produce high-quality products or be at the forefront of technological or innovative levels. In developed economies, services have become the main tool for economic growth and productivity. For this reason, to promote operational efficiency, manufacturing companies often choose to engage in a new additional activity - providing services, which in the long run creates an advantage and distinctiveness over competitors operating in the market. Offering a wider range of services alongside product manufacturing provides greater value to the consumer. The search for new solutions, the application of high technologies, smart utilization of organizational resources, capacities, capabilities, and market utilization create opportunities for manufacturing companies to smoothly integrate services into the production system.

Digitization fundamentally changes all segments of society and the economy, affecting not only the activities of manufacturing companies but also the macroeconomics of a country and societal employment (Table 1).

In general, the main goal of Industry 4.0 is the emergence of digital manufacturing, which means the creation of intelligent networks, mobility, flexibility, the interaction of industrial operations, integration, and adoption of innovative business models [2].

Digitization is the process of taking physical formats of information and converting them into digital formats. For example, letters sent by mail are now sent via email, manual spreadsheets are transformed into Excel, and typewriters are replaced by Google documents. The most important aspect is that processes and systems remain the same when digitized. Industrial digitization allows for the creation of products simultaneously in multiple countries, even without meeting face-to-face, thereby eliminating distance, and transportation problems can be addressed through



digitization. For example, if a signature is needed on a constructed model, there's no need to travel to the location; the document can be electronically signed in a CAD file. However, it's important not to confuse digitization with digitalization. Interestingly, the term "digitalization" was first mentioned in a paper by Robert Machal in 1971. According to the literature, the most important characteristics of digitalization are not data usage or technological application, but the speed of changes and degree of connection [6]. Therefore, digitalization shapes a world that immediately experiences its actions and consequences: volatility, uncertainty, complexity, and ambiguity, collectively known by the managerial acronym VUCA [3].

Table 1 - The Impact of Industrial Digitization on Macroeconomics and Society by Various Authors.

Macroeconomics	Macroeconomics	In the 2013 Global Information Technology Report, it was stated that a 10 percent increase in a country's digitization results in a 0.75 percent increase in GDP per person. As an economic accelerator, digitization is 4.7 times more powerful than the average impact of broadband deployment.	(Sabbagh ir kt., 2013)
		The European Parliament's Research Service forecasts that around 390,000 new jobs will be created in Germany alone. The digitization of European production will not only impact productivity growth but also all manufacturing processes and business models.	(Davies, EPRS, 2015)
		A new type of work is emerging - the on-demand goods and services economy. Digital technologies and global communication infrastructure are changing the traditional understanding of work and wages, leading to the emergence of more and more new types of jobs characterized by flexibility and short-term nature.	(Grossman & Helpman, 2015)
	Society	Productivity is the most important factor determining long-term growth and <i>rising living standards</i> .	(Jurgelionienė, 2017)
		Technology enables work to be done more easily, quickly, and efficiently. However, technology creates not only opportunities but also potential risks. There is a <i>growing polarization</i> in the world, characterized by some embracing changes while others resist them.	(Degryse, 2016)

Authoring Indre Sudziute

However, in any area we examine, positive and negative aspects can be identified. Specialists highlight four areas that will have the greatest impact from digitalization technologies: productivity, income growth, employment, and investments [14]. The



development of the Fourth Industrial Revolution, artificial intelligence, the Internet of Things (IoT), blockchain technology, cloud computing, virtual reality, 3D printers, virtual assistants, big data streams, and nanotechnology further accelerated the digitization processes. However, according to various authors, it's important to also address the four main challenges prevailing in the manufacturing sector's digitalization:

1. Technical/technological barriers – related to financial constraints, and limited availability of technical resources capable of easily enhancing and implementing digital technologies.

2. Organizational barriers – associated with people's resistance to change and the need to change the management of key business operations, products, processes, and organizational structure innovations, requiring new competencies, resources, and collaboration.

3. Human resource-oriented barriers – related to a shortage of skilled workers and a lack of digital competencies.

4. Customer-related barriers – including customers' fears of losing control of information, such as privacy breaches, security issues, and the security of access to production and company systems.

Research results and their analysis. The experimental study was carried out in 2022. For this study, the criteria determining the efficiency of production supply chains were selected based on the sources of scientific literature, and they were grouped into four categories: cooperation with the environment, human capital, use of technology, and implementation of innovations (Table 2). Seven production supply chain experts in manufacturing companies participated in the study. The importance weights of the criteria were evaluated with the help of the Analytical Hierarchy process method, which is done by the Super Decisions program.

From the first group of criteria, cooperation with the environment, experts singled out as the most important criteria for cooperation with educational institutions of the region, which would help not only to ensure the required number of specialists, since it would be easier for educational institutions to organize learning and study programs, but in educational institutions it is possible to try various methods that can later be applied also in production processes.

In the second group of criteria, the greatest significance is played by training for raising the competence of employees. Smart technologies, digitization, and automation of production processes transform processes into more manageable and performable ones, but these processes require the involvement of competent employees.

From the group of criteria for the use of technology, experts single out integration with suppliers and customers as the most significant criteria for improving production supply chains. Knowing the situation and managing it in real time ensures an efficient production strategy, as well as ensuring an efficient production supply chain process.

Based on the obtained weights of significance of the criteria of the fourth group, we can distinguish the criterion of new or improved methods of manufacturing products. It is important for managers of manufacturing companies to take the initiative and make decisions, to apply new or improved methods in the development of products, for example, by introducing or improving the technological process of production.



Table 2 - The criteria influencing the improvement of production supply chains in manufacturing companies are evaluated in scientific literature.

1. Criterion of collaboration with the environment
1.1 Collaboration with non-affiliated business entities
1.2 Collaboration with research institutions
1.3 Collaboration with regional educational institutions
1.4. Dissemination of best practices with foreign companies
2. Criterion of human capital
2.1 Good conditions for effective staff work
2.2 Training for improving the competence of employees
2.3 Ensuring the capacity of human resources
2.4 Recruitment of highly qualified personnel
2.5 Employee motivation
2.6 Employee experiences in the new conditions of digitalization
3. Criterion for the use of technology
3.1 Automatization
3.2 Robotics
3.3 Additive manufacturing (3D printing)
3.4 Artificial intelligence
3.5 Cybersecurity
3.6 Managing production processes using cloud computing
3.7 Enterprise operational process management systems
3.8. Integration with suppliers/customers
4. Innovation criterion (otherwise organizational and strategic criterion)
4.1 New methods of information processing and communication
4.2 New decision-making methods
4.3 New or improved methods of manufacturing products
4.4 New practice in organizing external communications
4.5 Implementing the principles of the circular economy
4.6 Innovative methods in the storage of raw materials
4.7 New methods of organizing human resource management

Authoring Indre Sudziute

We must not forget that one of the most important factors in the supply chains of the manufacturing industry is the lack of materials. The increase in prices due to the lack of materials, and delays, leads to buyer behavior, and with it the entire activity of the supply chain. Manufacturing companies must aim to ensure that production lines provide real-time information on raw materials through supplier systems to make it possible to see stocks and replenish them as soon as possible, and to look for new suppliers in the event of an increase in raw material prices. However, it is also very important for industrial enterprises to see the real situation in retailers' enterprises, stocks in stores, and warehouses, changing customer expectations and moods, external factors such as weather forecasts, outbreaks of infectious diseases, geopolitical tensions, and other data that help to predict in advance possible disruptions in supply



or demand and prepare for it. In order for all actors in the supply chain to work in unison and for information between the links to move smoothly, companies need to not look back and implement digital business management systems that help integrate and optimize the basic processes of supply, production, warehouse, inventory, purchase, and sale. [15]

Based on the literature analysis carried out and an examination of the importance of the manufacturing sector and an expert study of the criteria determining the improvement of supply chains in the manufacturing industry, an expert study of the criteria determining the improvement of supply chains in the manufacturing industry has been carried out, a model for improving supply chains has been developed, which aims to develop and improve the performance of the supply chain with a single goal – to increase the competitiveness of the company. The most important thing is that every stage of the supply chain is very important and it is not possible to single out who is more important than what. First of all, the first actors in the supply chain – suppliers – should analyze critical raw materials and think about their storage. It is also very important to provide alternative suppliers who, in the event of a critical shortage of raw materials, can ensure that the supply of raw materials does not stop. It is very important for manufacturers to assess in advance the available capacity for resources and equipment. Therefore, by integrating Industry 4.0's advanced technologies – warehouse management automation tools or cloud computing – the dissemination of information among the members of the first supply chain would be faster and smoother. We need to understand and assess that cloud computing allows all actors in the supply chain to access a common information system from anywhere in the world, and warehouse management automation tools make it possible to ensure that only the necessary goods are always supplied. The integration of 3D printing technologies into production processes allows companies to create prototypes of products that are already common in the world and also allows companies to avoid large investments in new production purchases or installation of machines. However, the minuses also need to be considered, since 3D printers are not capable of creating products in large quantities since their labor productivity is significantly slower than that of traditional production methods. Also, materials for 3D printers can be significantly more expensive than traditional materials and it is important to predict whether these innovations are profitable for the company. It must also have to be in mind that the automation of production, which we most often understand as the use of robotic or conveyor systems in production. Automation of production can help reduce production costs, increase the quality of products, reduce the likelihood of production errors, and increase production efficiency [15]. In addition to all the innovations, one should not forget about the close cooperation of enterprises with educational institutions, which would ensure the required number of specialists, but in educational institutions that have the most modern hardware, more than one production unit can be tested. Industrial IoT technology can be successfully integrated into the rest of the supply chain, as it is most capable of reducing the mistakes made by people and by that improving the performance of all parts of the supply chain. Cloud computing enables different parts of the supply chain to connect their physical infrastructure on a cloud-based basis, which enables employees to work remotely and communicate in real-time. But how



advanced all technological innovations would be there are also problematic moments because in this way the vulnerability of information systems increases. This causes huge security problems: hacks, identity theft, impersonations, etc. It is very important that, when implementing all these innovations, companies take stock of risk factors and carry out preventive measures.

Conclusions.

The analysis of the processes of digitization of the manufacturing industry changes the perception of intellectual activity, thinking, creativity, and cooperation, which allows us to make changes not only in the consumption of technology and innovation but also in economic life. After all, with the development of society, we strive not only for technological efficiency but for social social society, which develops the way for economic efficiency.

Based on the conducted analysis of the scientific literature and analyzing the criteria that determine the possibilities of improving the supply chain at manufacturing enterprises in the context of Industry 4.0, we can draw the following conclusions:

1. after analyzing the theoretical material, it can be said that the concept of the supply chain is primarily focused on the quickness of operations and their improvement, as well as cooperation with suppliers, but there is no talk of processes for raising human resource competencies, which would also allow to effectively improve the production supply chain;

2. based on the analyzed literature, supply chains can be of three degrees of complexity, which are reviewed in the article. Supply models must be directly oriented towards ensuring, as far as possible, the conformity of supply with market trends. Ensuring the exchange of information is precisely the biggest challenge in modern supply chains;

3. Together with the fourth industrial revolution, the processes of digitization, automation, and robotization are fundamentally changing the nature of the work of manufacturing companies. In order to integrate Industry 4.0 processes into supply chains, company managers face significant challenges: lack of human resources skills and competencies, technological barriers, organizational and strategic barriers, and a lack of cooperation between companies and the environment.

4. A study of the analytical method of the hierarchy process showed that the introduction of innovations has the greatest impact on the improvement of supply chains and helps to maintain the functioning of an efficient production supply chain in the context of the manufacturing industry. The innovations introduced provide an opportunity to increase production capacity, vary in human resources, as well as to better manage all production planning, as well as to improve the communication function between the different parts of the supply chain.

5. The proposed model for improving supply chains is to periodically conduct studies by various associations of manufacturing companies to assess the impact of Industry 4.0 measures on supply chains and to identify trends regarding the impact of future progressive technologies in the manufacturing industry. It is also essential to include in manufacturing and engineering training programs that examine the applicability of the technologies of the fourth industrial revolution in improving supply chains.

**References:**

1. Al-Shboul, M. A., Vikas, K., & Garzza-Reyes, J. A. (2017). The Effect of Supply Chain Management Practices on Supply Chain and Manufacturing Firms' Performance, pp. 22. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
2. Barreto, L., Amaral, A., & Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manufacturing* 13, pp. 1245–1252. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.045>
3. Bennett, N., & Lemoine, G. J. (2014). What a difference a word makes: Understanding threats to performance in a VUCA world. *Business Horizons*, 57(3), pp. 311–317. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2014.01.001>
4. Brian J. Gibson, Joe B. Hanna, C. Clifford Defee, Haozhe C. (2013), *The definitive guide to integrated supply chain management*.
5. Gelzinytė, G. (2017). Working capital management of milk processing company. „Verslas, Technologijos, Biomedicina: Inovacijų Įžvalgos 2018“, 1(8).
6. Gimpel, H., Hosseini, S., Huber, R., Probst, L., Röglinger, M., & Faisst, U. (2018). Structuring Digital Transformation: A Framework of Action Fields and its Application at ZEISS. *Journal of Information Technology Theory and Application*, 19(1), pp. 31–54. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8276.2007.00999.x>
7. <https://litek.lt/informaciniai/skaitmeninimas-raktas-i-sekme/>
8. Hugos M. (2003), *Essentials of supply chain Management*, pp. 254.
9. Kochan, C. G., & Nowicki, D. R. (2018). Supply chain resilience: a systematic literature review and typological framework. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 48(8), pp. 842–865. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-02-2017-0099>
10. Lynn A. Fish (2011). *Supply Chain Quality Management, Supply Chain Management - Pathways for Research and Practice*, Prof. Dilek Onkal (Ed.), ISBN: 978-953-307-294-4, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/supply-chain-managementpathways-for-research-and-practice/supplychain-quality-management>
11. Mohamed, N. M. Z. N. (2020). The Development of a Hybrid Knowledge-Based System for Designing a Low Volume Automotive Manufacturing Environment . The Development of A Hybrid Knowledge-Based (KB)/ Gauging Absences of Pre-Requisites (GAP)/ Analytic Hierarchy Process (AHP) System, pp. 0–11.
12. Peillon S. and Dubruc N., Barriers to digital servitization in French manufacturing SMEs, “*Procedia CIRP 2019*”, no. 83, pp. 146-150.
13. Rakickas, A. (2010). Model for evaluation of supply chain processes management, pp. 293.
14. Ramirez-Peña, M., Mayuet, P. F., Vazquez-Martinez, J. M., & Batista, M. (2020). Sustainability in the aerospace, naval, and automotive supply chain 4.0: Descriptive review. *Materials*, pp. 1–23. <https://doi.org/10.3390/ma13245625>
15. Sudziute, I. (2021). Improving the supply chain in manufacturing companies in the context of the challenges of industry 4.0, pp. 39-40.
16. Tran, D. K., Edista, K., & Kandoi, S. (2006). Supply chain management in the manufacturing industry. 10210856, pp. 27. <http://hosteddocs.ittoolbox.com/Supplychainmanagement.pdf>



17. Zsidisin, G. A., & Henke, M. (2019). Springer Series in Supply Chain Management Revisiting Supply Chain Risk. <http://www.springer.com/series/13081>

Article sent: 11.03.2024

© Sudziuviene R., Sudziute I., Beniusiene G., Jukniene D.



УДК 641.5:639.2:543.92

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE QUALITY OF CHILDREN'S FISH CUTLETS OF INCREASED BIOLOGICAL VALUE

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЯКОСТІ КОТЛЕТ РИБНИХ ДИТЯЧИХ ПІДВИЩЕНОЇ БІОЛОГІЧНОЇ ЦІННОСТІ

Ditrikh I.V. / Дітріх І.В.

с.с.с., ас.проф. / к.х.н., доц.

ORCID: 0000-0001-8109-2514

National University of Food Technologies, Kyiv, Volodymyrska 68, 01601

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

Анотація. В представленій роботі доведено доцільність модифікації традиційної рецептури котлет рибних любительських внаслідок повної заміни основної рибної сировини на філе тріски з додаванням пюре шпинату та повної заміни допоміжної сировини на хліб житній, яйця перепелині, молоко мигдалеве, олію оливкову. Проаналізовано хімічний склад овочевої складової страви – шпинату. Встановлено, що оптимальним є внесення в рецептуру котлет рибних дитячих «Шпинатні» пюре шпинату в кількості 40%.

Досліджено органолептичні та фізико-хімічні показники якості котлет рибних дитячих «Шпинатні». Методом Харрінгтона проведено комплексну оцінку якості нової страви.

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

Вступ

Риба є джерелом цінних поживних речовин, які необхідні для розвитку організму дитини. М'ясо риби характеризується значною кількістю повноцінних білків, що містять усі незамінні амінокислоти, а також вмістом різноманітних мінеральних речовин, вітамінів та інших біологічно активних речовин. Риба швидше перетравлюється в організмі, ніж м'ясо забійних тварин, і має високий ступінь засвоюваності. Тому однією з важливих складових дитячого меню є рибні страви, а Міністерство охорони здоров'я України рекомендує рибні страви у сезонному меню для дітей віком від 1 до 6 (7) років для харчування в закладах освіти [1,2].

Основний матеріал Котлети рибні любительські (прототип) виготовляються за рецептурою №390, яка включає наступні інгредієнти: філе хеку, моркву, хліб пшеничний, цибулю ріпчасту, яйця курячі, молоко коров'яче, масло вершкове, сіль йодовану [3]. Як відомо, котлети рибні любительські мають невисоку поживну цінність та середні органолептичні характеристики, тому для усунення цих недоліків запропоновано модифікувати традиційну рецептуру цієї страви шляхом заміни складових традиційної рецептури на сировину з високою біологічною цінністю. Це дозволить оптимізувати хімічний склад страви, а також покращити її органолептичні властивості, такі як консистенція, смак і запах.

Як рибну сировину для приготування котлет рибних дитячих «Шпинатні» обрано тріску, яка має невисокий вміст жиру та значний вміст білка, тому м'ясо тріски вважається дієтичним [4]. Білок тріски за вмістом незамінних амінокислот не поступається білку іншим видам морських риб, а за вмістом лейцину, перевищує його вміст у минтаї та хеку, що свідчить про високу біологічну цінність м'яса тріски, також висока біологічна цінність м'яса тріски



підтверджується її мінерально-вітамінним складом [5].

М'ясо тріски біле, ніжне і майже без кісток, що робить його ідеальною сировиною у технології багатьох різноманітних страв, в тому числі для приготування рибних страв для дитячого харчування.

Введення в рецептуру котлет рибних дитячих «Шпинатні» нових інгредієнтів таких як молоко мигдальне, яйця перепелині, хліб житній та олія оливкова надає можливість покращити органолептичні властивості страви та підвищити її біологічну цінність.

Як основний функціональний інгредієнт у рецептурі котлет рибних дитячих «Шпинатні» використано овочеву сировину – шпинат, який містить на 100 г: білків – 2,9 г; жирів – 0,3 г; вуглеводів (в т. ч. харчові волокна) – 3,3 (1,3) г; β-каротину – 4,5 мг; вітамінів, мг: В₁ – 0,1; В₂ – 0,25; В₄ – 18; В₅ – 0,3; В₆ – 0,1; С – 55; Е – 2,5; мінеральних речовин, мг: калію – 774; кальцію – 106; магнію – 82; фосфору – 83[6].

У рецептурі котлет рибних дитячих «Шпинатні», яка наведена у таблиці 1, філе тріски частково замінено на 40% пюре шпинату, що є оптимальним для отримання високих органолептичних показників страви.

Таблиця 1 - Рецептuru дитячих рибних котлет «Шпинатні»

№ пор.	Назва сировини	Маса сировини, г		Відповідність сировини нормативній документації
		Брутто	Нетто	
1	Філе тріски	45	30	ДСТУ 4868:2007
2	Пюре шпинату	40	40	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	ДСТУ ISO 9001 ISO 22000
7	Олія оливкова	1,5	1,5	ДСТУ 5065:2008
8	Сіль йодована	0,5	0,5	ДСТУ 4307:2004

Дані, які наведені у таблиці 2, свідчать, що масова частка сухих речовин у зразках котлет рибних дитячих «Шпинатні» нижча, ніж у прототипі. Завдяки цьому покращуються органолептичні показники нових виробів, а саме консистенція - вона стає соковитою. Масова частка жиру також зменшилась, тому, нові рибні котлети можуть бути рекомендовані як дієтичний продукт у дитячому харчуванні.

Оцінку органолептичних показників зразків котлет рибних любительських (прототип за рецептурою № 390) [3] і котлет рибних дитячих «Шпинатні» проводили за розробленою 5-ти бальною шкалою. На підставі отриманих даних побудовано профілограму органолептичних властивостей зразків, яка свідчить, що найкращі показники має зразок котлет рибних дитячих «Шпинатні» (рис. 1). Таким чином, удосконалення традиційної рецептури (прототипу) забезпечує отримання виробів з гармонійними органолептичними показниками: котлети мають привабливий зовнішній вигляд, правильну форму, приємний колір, соковиту, ніжну консистенцію, гармонійні запах і смак.



Таблиця 2 - Фізико-хімічні показники зразків рибних котлет любительських (прототип) та зразків котлет рибних дитячих «Шпинатні»

Найменування показника	Назва зразка	
	Рибні котлетки любительські (прототип за рецептурою № 390) [3]	Котлетки рибні дитячі «Шпинатні»
Масова частка сухих речовин, %	28,6	22,8
Масова частка жиру, %	2,81	2,43
Масова частка хлориду натрію %	0,5	0,49

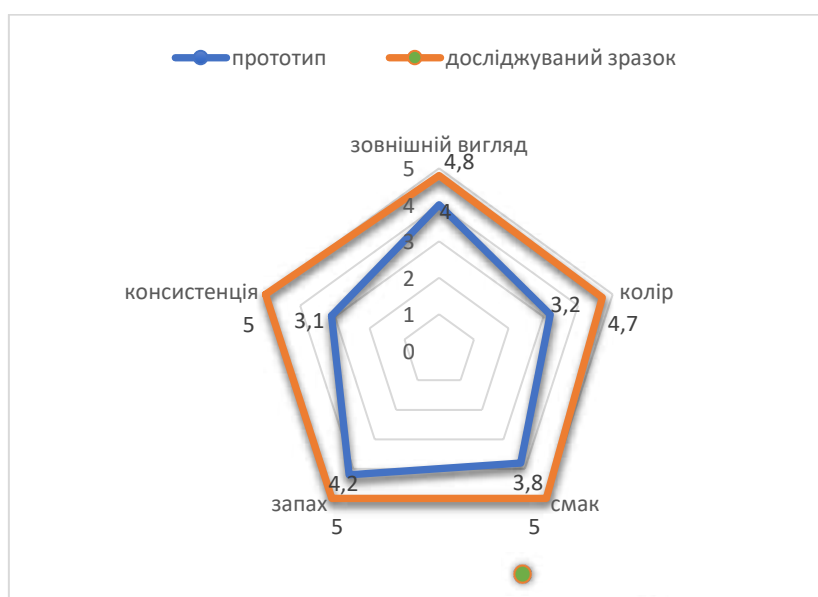


Рис. 1 Профілограма органолептичних показників якості зразків рибних котлет любительських (прототип за рецептурою № 390) [3] і котлет рибних дитячих «Шпинатні»

Методом Харрінгтона проведено комплексну оцінку якості котлет рибних дитячих «Шпинатні». 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 [7].

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.

У таблиці 3 наведено шкалу вузлових значень показників якості котлет рибних дитячих «Шпинатні».

Виходячи з даних таблиці 3, у котлетах рибних дитячих «Шпинатні» збільшився вміст кальцію, калію, магнію, заліза (мг) на 17,8; 81,4; 24,17; 5,94 відповідно; вітамінів В₁, В₂, В₆, С (мг) - 0,032; 0,088; 0,04; 20,65; відповідно; вміст харчових волокон збільшився на 0,79г, вміст жиру зменшився на 0,38 г.



Таблиця 3 - Шкала вузлових значень показників якості котлет рибних дитячих «Шпинатні»

Назва показника, одиниця виміру	Оцінка K_i					
	1,00	0,80	0,65	0,37	0,20	0,00
	Кодоване значення U					
	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, %	21,6	22,0	22,4	22,8	23,6	24,4
МЧ жиру, %	2,25	2,3	2,35	2,43	3,0	3,5
МЧ хлориду натрію (кухонної солі), %	0,34	0,39	0,44	0,49	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 $\beta 1$, 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	5·10³	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



Продовження таблиці 3

Макронутрієнти, г							
Білки у 100 г продукту	Новий продукт	9,6	9,0	8,6	8,1	7,2	6,7
	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	2,43	3,5	4,1
	Прототип	1,3	1,8	2,0	2,81	3,8	4,4
Вуглеводи у 100 г продукту	Новий продукт	5,9	5,0	4,5	3,77	2,8	1,4
	Прототип	5,8	5,0	3,9	2,98	2,0	0,6
Мінеральні речовини, мг							
Кальцій у 100 г продукту	Новий продукт	62,3	61,7	61,0	60,4	58,8	57,7
	Прототип	46,0	44,7	43,8	42,6	40,9	38,5
Калій у 100 г продукту	Новий продукт	282,7	280,4	271,7	278,9	276,3	274,3
	Прототип	199,6	199,4	199,1	197,5	190,2	184,2
Магній у 100 г продукту	Новий продукт	52,3	51,8	51,1	50,07	47,2	45,4
	Прототип	28,1	27,5	26,8	25,9	23,8	22,2
Фосфор у 100 г продукту	Новий продукт	136,1	134,4	133,0	130,68	127,1	123,5
	Прототип	208,2	203	199,4	197,0	193,0	186,2
Залізо у 100 г продукту	Новий продукт	6,89	6,84	6,79	6,68	6,44	6,34
	Прототип	1,0	0,95	0,9	0,74	0,6	0,45
Вітаміни, мг							
Вітаміну В ₁ у 100 г продукту	Новий продукт	0,11	0,1	0,09	0,087	0,07	0,06
	Прототип	0,09	0,08	0,06	0,055	0,04	0,03
Вітамін В ₂ у 100 г продукту	Новий продукт	0,246	0,236	0,216	0,196	0,18	0,16
	Прототип	0,17	0,15	0,13	0,108	0,09	0,06
Вітамін В ₄ у 100 г продукту	Новий продукт	54,12	53,52	52,8	51,95	49,8	48,2
	Прототип	74,9	74,3	73,6	72,74	70,6	69,0
Вітамін В ₆ у 100 г продукту	Новий продукт	0,18	0,17	0,16	0,14	0,11	0,08
	Прототип	0,24	0,19	0,14	0,10	0,05	0
Вітамін С у 100 г продукту	Новий продукт	23,0	22,7	22,3	22,0	21,5	21,0
	Прототип	2,9	2,4	1,9	1,35	2,0	2,3
β-каротин у 100 г продукту	Новий продукт	2,32	2,13	2,01	1,8	1,56	1,32
	Прототип	2,7	2,1	2,15	2,1	1,9	1,8

Котлети рибні дитячі «Шпинатні» мають нескладний технологічний процес приготування, їх готують на пару, температура подавання - 65⁰С.

Висновки

Є доцільним модифікація традиційної рецептури рибних котлет любительських шляхом повної заміни основної рибної сировини на філе тріски з доданням пюре шпинату та повної заміни допоміжної сировини на хліб житній, яйця перепелині, молоко мигдалеве, олію оливкову. Введення в рецептуру котлет рибних дитячих «Шпинатні» пюре шпинату у кількості 40% покращує у готовій страві органолептичні показники в порівнянні з прототипом.

Результати комплексної оцінки показують, що завдяки частковій заміні філе тріски пюре зі шпинату і повній заміні допоміжної сировини, у котлетах рибних дитячих «Шпинатні» підвищується вміст дефіцитних для дітей нутрієнтів, а саме кальцію, калію, магнію, заліза, вітамінів групи В і вітаміну С, харчових волокон,



завдяки чому цю страву можна вважати стравою підвищеної біологічної цінності.

Котлети рибні дитячі «Шпинатні» мають нескладний технологічний процес приготування і можуть бути введені до дитячого меню закладів готельно-ресторанного господарства.

Література:

1. 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>

2. 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>

3. Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания при общеобразовательных школах: сборник технических нормативов/Под общ. ред. В.Т. Лапшиной. - М.: Издательство «Хлебпродинформ», 2004. – С. 313

4. Скурихин И. М. и др. (ред.) Химический состав пищевых продуктов. Кн.1: Справочные таблицы содержания основных пищевых веществ и энергетической ценности пищевых продуктов. / М.: Агропромиздат, 1987. - 224 с.

5. Скурихин И. М. И др. (ред.) Химический состав пищевых продуктов. Кн. 2: Справочные таблицы содержания аминокислот, жирных кислот, витаминов, макро – и микро – элементов, органических кислот и углеводов. М.: Агропромиздат, 1987. – 360 с.

6. Шпинат. Химический состав и пищевая ценность. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://health-diet.ru/base_of_food/sostav/445.php

7. 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 modifying the traditional recipe for amateur fish cutlets by completely replacing the main fish raw material with cod fillet with the addition of spinach puree and completely replacing the auxiliary raw materials with rye bread, quail eggs, almond milk, and olive oil. The chemical composition of the vegetable ingredient - spinach - has been analyzed. It has been established that it is optimal to add spinach puree in an amount of 40% to the recipe for children's fish cutlets "Spinach".



The organoleptic and physico-chemical quality indicators of children's fish cutlets "Spinach" were studied. A comprehensive assessment of the quality of a new dish was carried out using the Harrington method.

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



УДК 631.173.2

CONTROL OF THE TECHNICAL CONDITION OF HYDRAULIC TRANSMISSION UNITS OF MOBILE MACHINES ON THE BASIS OF MONITORING THE LEVEL OF CLEANLINESS OF THE WORKING FLUID

КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АГРЕГАТІВ ГІДРАВЛІЧНИХ ТРАНСМІСІЙ МОБІЛЬНИХ МАШИН НА ОСНОВІ МОНІТОРИНГУ РІВНЯ ЧИСТОТИ РОБОЧОЇ РІДИНИ

Melyantsov P. T. / Мельянцеv П. Т.
c. t. s., as. prof. / к. т. н., доц.

ORCID: 0000-0001-5937-4021

Dobryanskyi I. M. / Добрянський І. М.
postgraduate / аспірант

Dnipro State Agrarian and Economic University, str. S. Yefremova, 25, 49600
Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. С. Єфремова, 25, 49600

Losikov O. M. / Лосіков О. М.

senior lecturer / старший викладач

ORCID 0009-0004-5523-7651

Sidorenko V. K. / Сидоренко В. К.

senior lecturer / старший викладач

ORCID 0009-0005-7610-4433

Ukrainian State University of Science and Technology, str. Lazaryana, 2, 49010
Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010

Анотація. Організаційні та технологічні складові планово-запобіжної системи підтримання та відновлення працездатного стану гідравлічних трансмісій мобільних машин не відповідають сучасним вимогам з забезпечення їх експлуатаційної надійності. Мета роботи полягала в підвищенні надійності агрегатів гідравлічних трансмісій на основі контролю зміни структурних параметрів технічного стану деталей, застосуванням моніторингу рівня чистоти робочої рідини. Поставлена мета досягається розробленням пристрою з визначення кількості механічних домішок в промислових рідинах і їх розмірів, та використанням його в дослідженнях впливу гідроабразивного зношення на структурні параметри технічного стану деталей. Отримані результати зношення деталей дали можливість обґрунтовано визначити їх структурні параметри технічного стану для контролю при прямому діагностуванні. Виявлені функціональні залежності між напрацюванням гідравлічних трансмісій і динамікою зміни зазору в спряженнях вказують на ефективність застосування моніторингу контролю технічного стану робочої рідини для підвищення експлуатаційної надійності аксіально-поршневих агрегатів в складі гідравлічних трансмісій мобільних машин.

Ключові слова: мобільна машина, об'ємна гідравлічна трансмісія, аксіально-поршневі гідроагрегати, чистота робочої рідини, гідроабразивне зношення, структурні параметри деталей, динаміка зазору, надійність.

Вступ.

Підвищення ефективності роботи будівельно-дорожніх та сільськогосподарських мобільних машин в значній мірі забезпечується безперервним конструктивним удосконаленням агрегатів їх гідравлічних систем та зростанням переліку механізованих робіт, за рахунок розширення гідрофікації робочого обладнання.



Одним із заходів зростання технічного рівня мобільних машин є застосування об'ємного гідроприводу трансмісії (ОГТ). Найбільшого використання в ОГТ знайшли аксіально-поршневі гідромашини, які виготовляються акціонерним товариством «Гідросила» м. Кропивницький та закордонними фірмами «Sundstrand», «Eaton» (США), «Danfos» (Данія) та ін.

Застосування гідравлічних трансмісій в мобільних машинах значно підвищує їх продуктивність роботи, за рахунок безступеневого регулювання швидкості машини, оптимального розподілення потужності двигуна на роботу трансмісії та робочі органи, і одночасно покращує умови роботи оператора. Постійне удосконалення конструктивних та технологічних рішень, при виготовленні аксіально-поршневих гідромашин, дає можливість значно підвищити їх надійність. Про що відмічається в роботі [1], де автори вказують, що закладений ресурс гідроагрегату у складі сільськогосподарської машини може бути більшим десяти років її роботи.

Водночас, треба враховувати також те, що в умовах експлуатації надійність аксіально-поршневих агрегатів в складі гідравлічних трансмісій буде підтримуватись проведенням регламентних технічних обслуговувань, які передбачають контроль монтажних з'єднань трубопроводів, заміну фільтруючих елементів та робочої рідини. Особливо це являється актуальним для гідравлічних систем, які відпрацювали гарантійний ресурс, закладений заводом-виробником, а також до пост-гарантійних імпорتنих сільськогосподарських машин, якими перенасичено машинно-тракторний парк агропромислового комплексу (АПК) [2, 3, 4].

Забезпечення експлуатаційної надійності ОГТ, які знаходяться в пост гарантійному стані, потребує наявності відповідної матеріально-технічної бази сервісних підприємств і кваліфікованих фахівців, які здатні для якісного і своєчасного проведення ремонтно-обслуговуючих робіт.

На сьогоднішній день існуюча стратегія планово-запобіжної системи підтримання та відновлення працездатного стану машинно-тракторного парку не може бути реалізована в реальних умовах експлуатації, через конструктивні особливості імпорتنих мобільних машин, інформації по яким не достатньо, щодо нормованих значень структурних параметрів технічного стану деталей. Слабкої матеріально-технічної бази для контролю технічного стану гідроагрегатів [3], яка сформувалась в ринкових умовах та складності в кадровому забезпеченню АПК [5, 6].

Вище наведений стан організаційних та технологічних факторів, які являються невід'ємними складовими для забезпечення експлуатаційної надійності ОГТ, збільшує ймовірність появи ресурсних відмов, які в ряді випадків можуть переходити в аварійні відмови, що приводить до значних матеріальних втрат від простою мобільної машини, та витрат на відновлення їх працездатного стану.

Зменшення даних втрат можливе за рахунок виявлення в умовах рядової експлуатації вагомого фактора, що обумовлює зміну технічного стану аксіально-поршневих агрегатів гідравлічних трансмісій, приводить до зниження їх ресурсу і впливає на їхнє нормальне функціонування. Який включав би в себе параметри,



що можна кількісно оцінювати з застосуванням доступних засобів їх контролю.

Відомо, що надійність і довговічність ОГТ знаходиться в прямій залежності від чистоти внутрішніх порожнин цих систем і робочих рідин, що використовуються в них. Частинки забруднення робочої рідини являються основними джерелами відмов гідравлічних систем. Наявність забруднень викликає зношення робочих поверхонь деталей в спряженнях, впливає на технічний стан мастила, що змінює умови роботи пар тертя, блокує дросельні отвори малого перерізу, приводить до заклинювання плунжерних пар, підвищує сили тертя у вузлах, що призводить до втрати працездатності та погіршення вихідних параметрів гідроагрегатів.

Дана робоча гіпотеза підтверджується в роботі [7], де авторами відмічається, що від 60 до 90 % відказів гідроприводів тракторів пов'язано з підвищеним забрудненням гідравлічних систем. При цьому, джерелом забруднення являється в основному порушення умов експлуатації (не своєчасна заміна фільтруючих елементів, порушення герметичності в з'єднаннях, не дотримання технічних вимог при проведенні заміни робочої рідини, відсутність операцій з промивання гідравлічних систем та ін.), а також наявність залишкових забруднень, які формуються в процесі ремонту гідравлічних агрегатів і розміщуються в внутрішніх порожнинах агрегатів після проведення обкатки та випробування.

Для надійної роботи гідросистем та їх агрегатів необхідне забезпечення чистоти робочої рідини на всіх етапах життєвого циклу гідромашини: виготовлення, складання, заправлення рідиною, випробування та експлуатація. Звідси, виявлення ступеня забруднення гідравлічної рідини є одним з основних завдань, яке необхідно вирішити для контролю технічного стану агрегатів гідравлічної системи.

Інформація щодо основних параметрів (кількість, розміри, матеріали) абразивних частинок, що генеруються в робочу рідину в процесі експлуатації гідросистеми, відтворює зміну структурних параметрів технічного стану робочих поверхонь деталей від їх номінальних значень, а через них вказує на дійсні зазори в спряженнях, що обумовлюють втрату працездатності гідроагрегату.

Отримання такої інформації являється складним, так як не всі гідравлічні системи мобільних машин оснащені бортовими приладами для постійного контролю технічного стану робочої рідини, а існуючі переносні засоби контролю стану робочої оливи мають високу вартість, що обмежує їх використання в умовах експлуатації.

Мета статті. Підвищення надійності агрегатів гідравлічних трансмісій мобільних машин на основі контролю зміни структурних параметрів технічного стану деталей, які впливають на їх працездатність, застосуванням моніторингу рівня чистоти робочої рідини.

Постановка задачі.

Для отримання інформації про структурні параметри технічного стану деталей, що суттєво впливають на втрату працездатності ОГТ, в першу чергу необхідно розробити засоби контролю технічного стану рідини гідравлічної



системи, які характеризуються простотою конструкції та не значними матеріальними затратами. На основі реалізації розробленої конструкції приладу провести дослідження впливу гідроабразивного зношення на структурні параметри технічного стану деталей, та з врахування зміни умов роботи деталей в спряженнях, обґрунтувати їх структурні параметри для отримання достовірної оцінки щодо технічного стану гідравлічної машини.

Викладення основного матеріалу. Контроль якості робочої рідини гідравлічних систем мобільних машин проводять з використанням різних приладів, а також в лабораторних умовах з застосуванням відповідних методик та обладнання. На сьогоднішній день в Європі та Америці працює безліч компаній та корпорацій, які можуть рекомендувати свої засоби контролю якості робочої рідини. Але в своїй більшості вони мають наступні недоліки: необхідність підключення до джерела живлення; великі габаритні розміри; висока ціна на міжнародному ринку для України.

Для уникнення даних недоліків розробляється пристрій з визначення кількості механічних домішок в промислових рідинах (воді, рідких паливах, маслах, охолоджуючих рідинах і т.д.), а також для визначення розмірів частинок механічних домішок, кількісного та відносного вмісту води в оливі [8]. Прилад містить програмно-апаратний блок, блок спектрального аналізу, ПЗС-фотоприймач (camera RPі3) та фотодіод для фіксування довжини спектра. Схема приладу наведена на (рисунок 1).

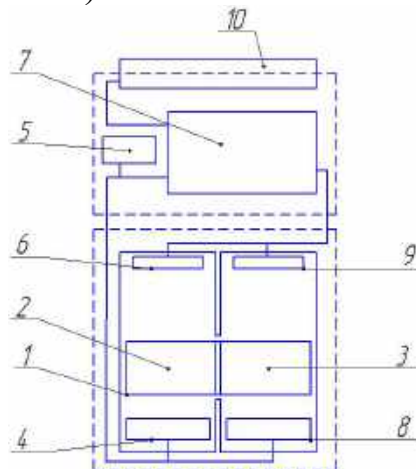


Рисунок 1 - Графічна схема приладу: 1 – кюветка; 2, 3 – ємності кюветки; 4 – джерело світла; 5 – модуль живлення; 6 - ПЗС-фотоприймач; 7 - міні комп'ютер Raspberry Pi; 8 - ІЧ діод; 9 - інфрачервоний фотодіод; 10 – дисплей прилада

Авторська розробка

Пристрій працює наступним чином. Оливу заливають в кюветку 1, яка складається з двох ємностей для оливи 2 і 3, та встановлюють в прилад, де відбувається фізичне визначення кількості абразивних частин. Джерело світла 4, яке отримує живлення від модуля живлення 5, опромінює оливу та фіксується за допомогою ПЗС-фотоприймача 6 (далі фотоприймач), який розташований над ємністю 2. В свою чергу фотоприймач 6 передає інформацію на міні комп'ютер Raspberry Pi 7, який аналізує дані за допомогою програмного забезпечення.



Після отримання цифрового файлу в вигляді фото кюветки з оливою (рисунок 2) електронно-програмний модуль аналізує отримане фото, переводячи його в бінарний код. Де аналізує всі знайдені частинки методом тіней.

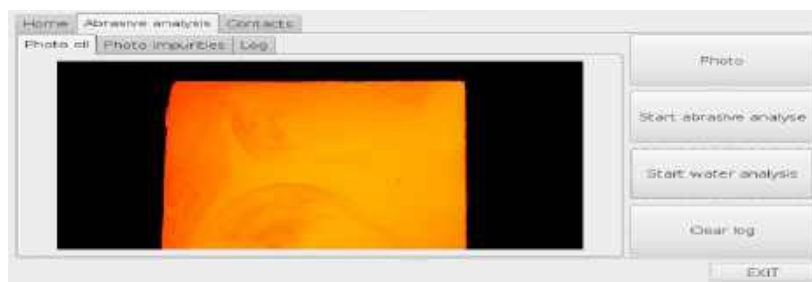


Рисунок 2 – Зображення вікна фото оливи

Авторська розробка

Аналізуючи розміри тіньових п'ятен, система починає розбивати їх на діапазони, відповідно до заданої бази даних. Програма підраховує кожен діапазон та конвертує значення по класам стандартів. Результат видається по найбільшому значенню класу стандарту. Після аналізу, прилад пропонує переглянути результати у вигляді конвертованого до стандартів (ДСТУ та ISO) та графічного аналізу по світлим п'ятнам, які є частинками абразиву.

Загальний вигляд приладу контролю робочої рідини на домішки абразиву та води наводиться на (рисунок 3).

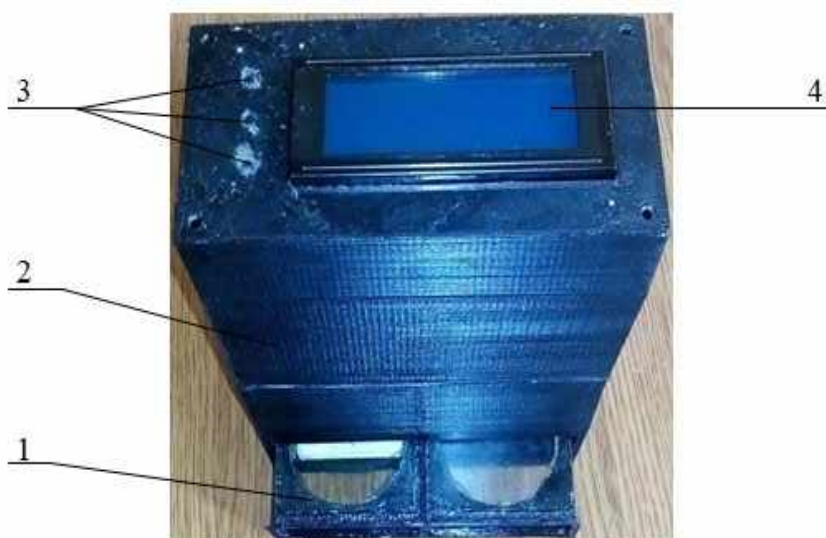


Рисунок 3 – Загальний вигляд приладу контролю робочої рідини на домішки абразиву та води: 1 – ємність для оливи; 2 – корпус приладу; 3 – кнопки; 4 – дисплей LCD 2004

Авторська розробка

Прилад переносний, що дозволяє проводити контроль робочої рідини в експлуатаційних та лабораторних умовах. Контроль робочої рідини проводиться на: домішки абразиву відповідно до ДСТУ 17216-2001 та європейського стандарту ISO 1638; домішки води в % до 1 мл. оливи. Керування приладом, виконаним на міні комп'ютері, здійснюється за допомогою трьох кнопок



програмно-апаратно.

На дисплеї, після ввімкнення, з'являється меню. За допомогою вибраної функції (аналіз оливи на домішки абразиву або домішки води) оператором, програмно-апаратна частина починає аналіз оливи відповідно до заданої функції.

У гідравлічних трансмісіях з аксіально – поршневими гідромашинами дорожньо-будівельної та сільськогосподарської техніки широке застосування знайшло мастило марки МГ-46-В, що працює при високих тисках до 60,0 МПа і інтервалі температур від мінус 10 °С до плюс 80 °С. Клас чистоти робочої рідини повинен бути не вище 10-го (маса забруднень не більше 0,001%).

Для визначення складу механічних домішок в робочій рідині ОГТ, було вибрано 25 мобільних машин, що мали наробіток в інтервалі 4...4000 мото-годин. Проба робочої рідини відбиралась пробозабірним пристроєм, який встановлювався після гідравлічного мотора в магістралі низького тиску.

Отримані результати досліджень показали, що мінімальний склад механічних домішок в робочих рідинах склав 0,006 % і максимальний 0,102 % по масі, що не відповідає технічним вимогам на експлуатацію ОГТ.

Математична обробка отриманих результатів показала, що розподілення проб по складу механічних домішок в робочій рідині підпорядковується нормальному закону і може бути апроксимована функцією:

$$\phi(x) = \frac{1}{0,0218 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-0,0395)^2}{2 \cdot 0,0218^2}} \quad (1)$$

Авторська розробка

Розподілення проб робочої оливи за складом механічних домішок представлено на (рисунок 4).

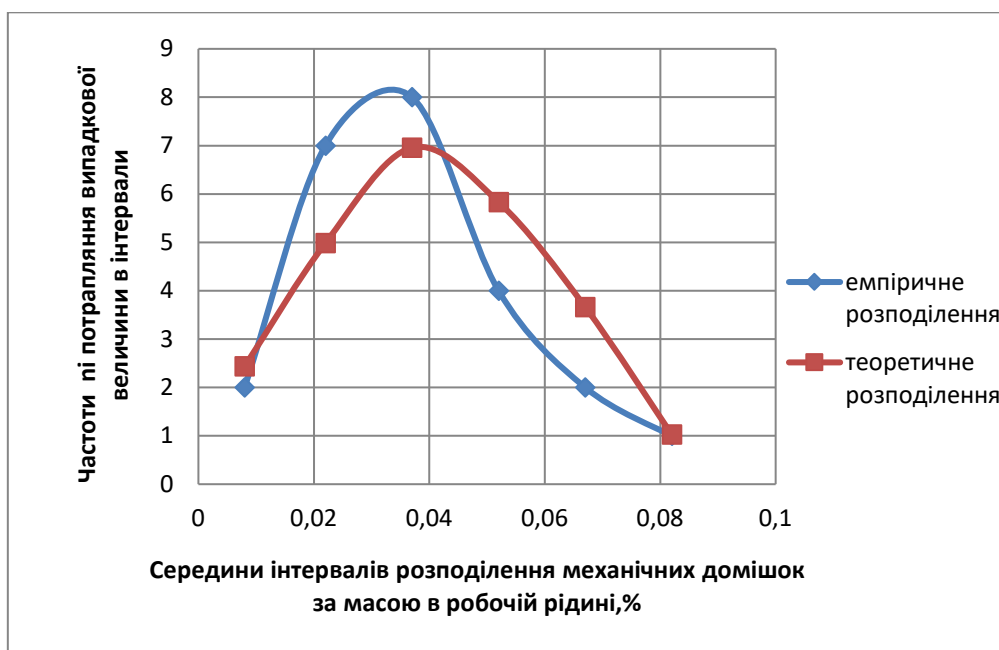


Рисунок 4 – Полігон розподілення механічних домішок в робочій рідині по масі

Авторська розробка



Детальний аналіз отриманих результатів показує, що близько 30 % гідравлічних агрегатів працює на робочому мастилі, забрудненість якого знаходиться в інтервалі 0,020-0,045 % по масі, що відповідає 15-16 класу чистоти рідини за вмістом числа частиць забруднень. В таких мастилах для об'єму $100 \pm 0,5 \text{ см}^3$ рідини, число забруднень розміром від 100 до 200 мкм буде знаходитись в інтервалі 800..1600 одиниць, а кількість волокон відповідно від 160 до 315 одиниць. Експлуатація гідравлічних машин на робочих рідинах такого класу їх чистоти буде суттєво впливати на динаміку зношення деталей в прецизійних спряженнях і обумовлювати зростання об'ємних втрат робочої рідини та приводити до ресурсної відмови гідравлічної системи або заклинювання деталей та провокування аварійної відмови гідромашин. Отримані результати підтверджують висунуту робочу гіпотезу про можливість використання контролю класу чистоти робочої рідини для дійсної оцінки структурних параметрів технічного стану деталей.

Для вирішення задачі, з виявлення впливу чистоти робочої рідини на зміну технічного стану робочих поверхонь деталей, розроблюються методики контролю деталей спряжень, які першочергово обумовлюють втрату працездатності аксіально-поршневих агрегатів ОГТ. До них слід віднести пари тертя качаючих вузлів аксіально-поршневих гідромашин, які працюють під високим тиском робочої рідини і сприймають знакозмінні навантаження: «розподільник – приставне дно», «втулка блоку -плунжер», «п'ята плунжера – опора люльки гідронасоса», «п'ята плунжера-похила шайба гідромотора». Такий вибір спряжень підтверджується і в роботі [9], де автори вказують, що вони являються ресурсолімітуючими для аксіально-поршневих гідроагрегатів.

Оцінка стану розподільника (матеріал – сталь ШХ 15), показує, що його зношення виникає в місцях контакту з приставним дном (рис 5).

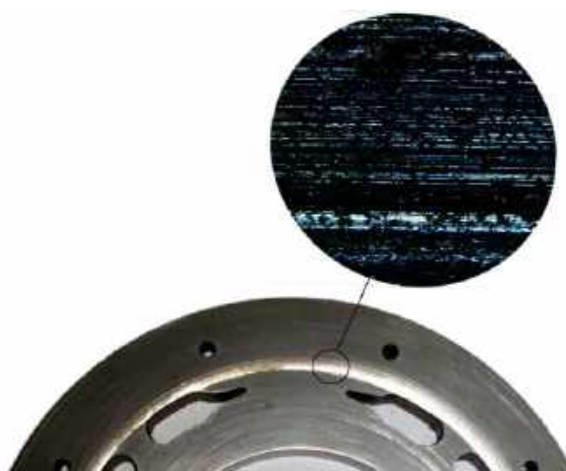


Рисунок 5 – Зовнішній вид зношення розподільника (збільшення 40х)

Авторська розробка

Максимальне зношення поверхні виникає вздовж твірних розподільчатих вікон біля перемичок, які розподіляють вікна. Такий характер зношень пояснюється тим, що перенесення замкнутого об'єму робочої рідини між зонами високого і низького тиску супроводжується, при роботі гідромашин, хвилювими



ударними процесами, які визивають руйнування країв розподільчатих вікон. Крім того, високошвидкісні перетікання робочої рідини, яка включає в себе абразивні частинці, через міжвіконні перемички обумовлює виникнення каналів, які з'єднують області високого і низького тисків.

Зовнішній огляд робочих поверхонь підтверджує висновок, що переважним видом зношення розподільника являється гідроабразивний, про свідчить наявність рисок (рисунок 5).

Максимальне зношення розподільника проходить по зовнішньому поясу вікна в зв'язку з більшими швидкостями рідини по діаметру цього пояса. Абразивні частинці, що потрапляють до цього швидкісного потоку робочої рідини, в умовах гідроабразивного зношення будуть обумовлювати більш глибокі канали ніж по внутрішньому поясу (рисунок 6).

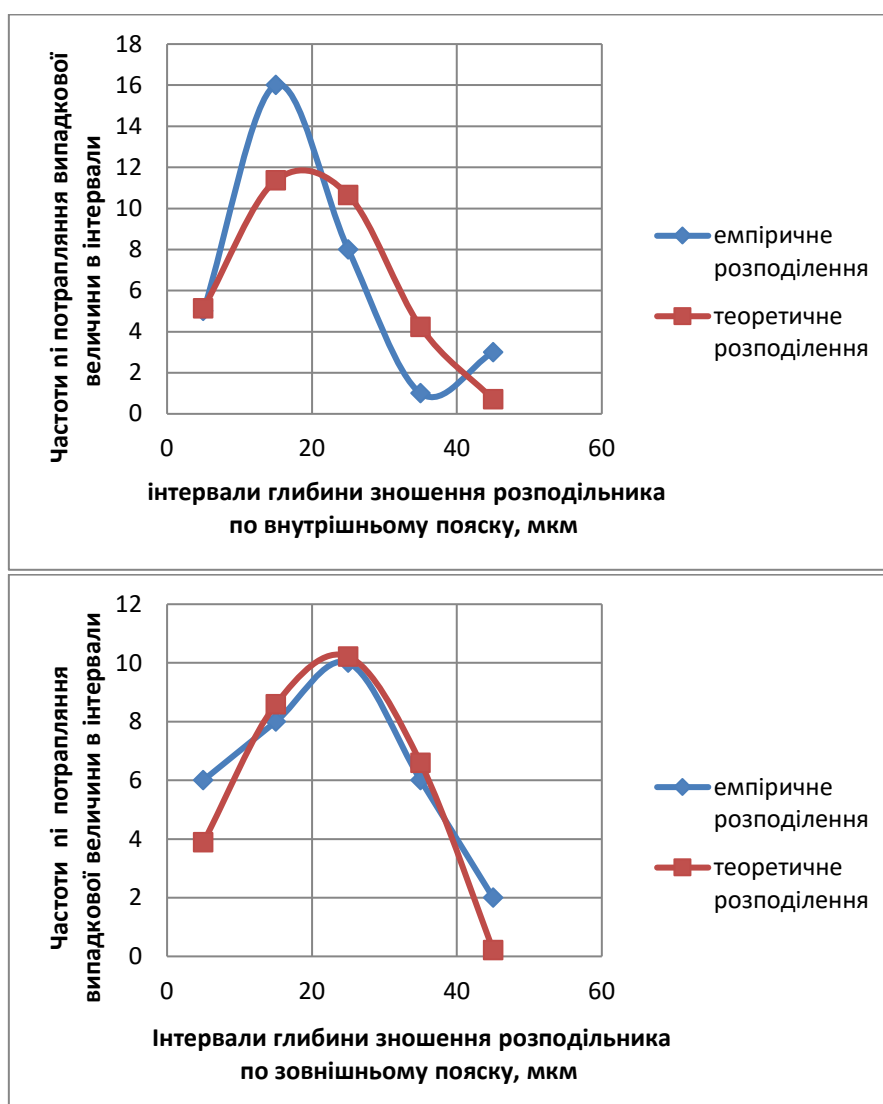


Рисунок 6 – Полігон розподілення зношення розподільника по внутрішньому і зовнішньому поясах

Авторська розробка

Середнє значення глибини зношення розподільника по зовнішньому поясу складає $\bar{X} = 27,83$ мкм при середньоквадратичному відхиленні $S = 12,73$ мкм,



по внутрішньому пояску середнє значення зношення становить $\bar{X} = 19,24$ мкм при середньоквадратичному відхиленні $S = 10,74$ мкм. Максимальне зношення по зовнішньому пояску становить 52,0 мкм по внутрішньому 46,0 мкм.

Приставне дно (матеріал ЛМЦ КНС 58-3-15-15-1), зношується в місцях контакту з розподільником. Однакові умови роботи приставного дна і розподільника обумовлюють ідентичний характер зношення деталей (рисунок 7).

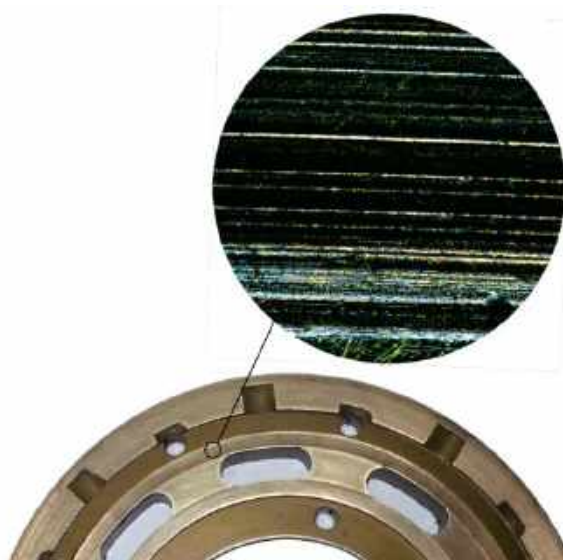


Рисунок 7 – Зовнішній вид зношення розподільника (збільшення 40х)

Авторська розробка

Зовнішній вид зношення робочої поверхні підтверджує наявність гідроабразивного зношення та гідроерозійного.

У приставного дна також спостерігається більше зношення ущільнюючого пояску по зовнішньому діаметру (рисунок 8).

Середнє значення глибини зношення приставного дна по зовнішньому пояску складає $\bar{X} = 25,30$ мкм при середньоквадратичному відхиленні $S = 15,84$ мкм, по внутрішньому пояску середнє значення зношення становить $\bar{X} = 20,30$ мкм при середньоквадратичному відхиленні $S = 11,14$ мкм. Максимальне зношення по внутрішньому пояску становить 52,0 мкм по зовнішньому 67,0 мкм.

Виконання мікрометражних робіт, з метою визначення кількісної оцінки зношення деталей спряження розподілення потоку робочої рідини в качаючому вузлі гідроагрегату, показало, що в результаті їх зношення формується щільовий канал, який представляє собою форму дифузора з кутом раструба 0,5.

Враховуючи звуження щілини, яка обумовлює витoki робочої рідини, в якості структурного параметра, для контролю технічного стану деталей спряження «розподільник-приставне дно» необхідно застосовувати величину зазору на вході B_1 і виході B_2 із торцевої щілини по зовнішньому пояску та відповідно на вході B'_1 і виході B'_2 щілини по внутрішньому пояску.

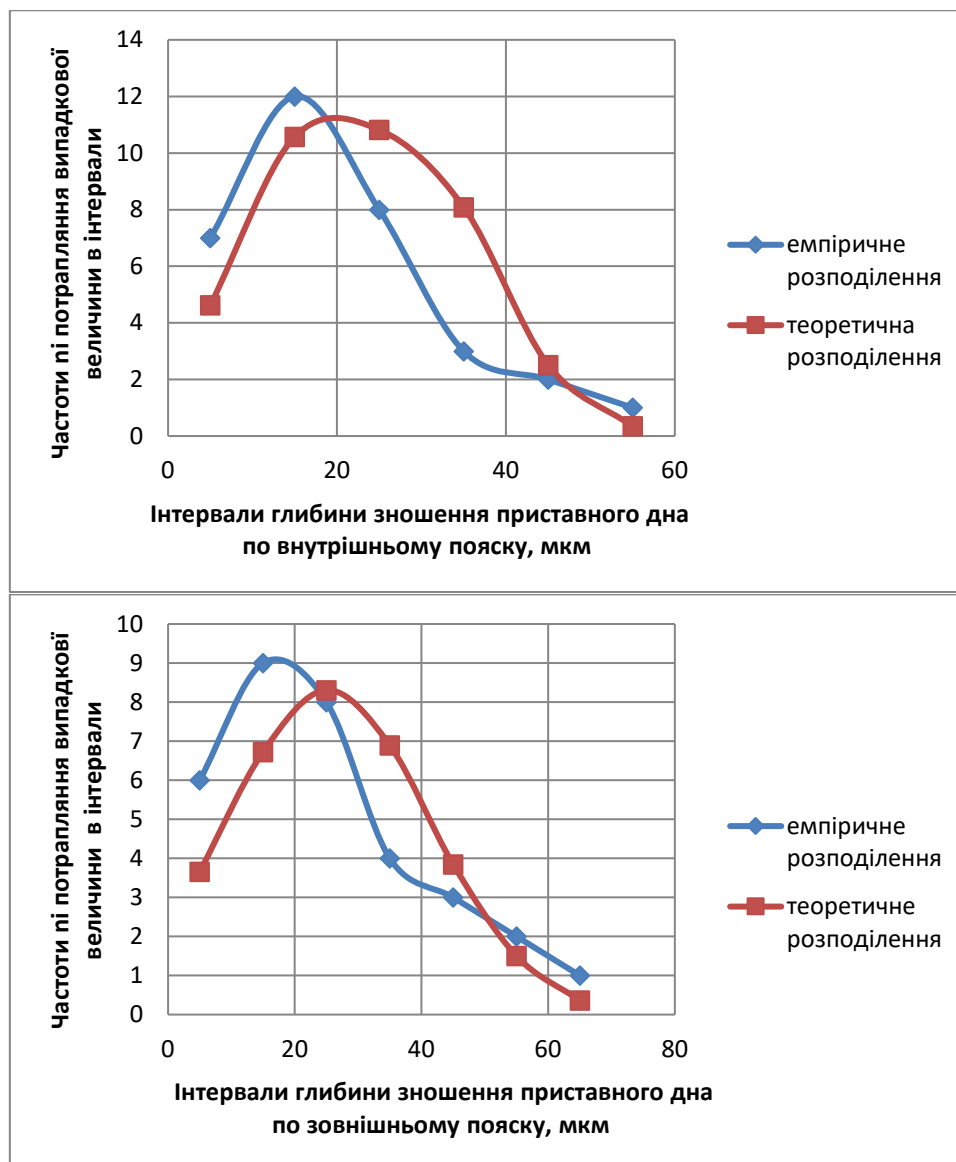


Рисунок 8 – Полігон розподілення зношення приставного дна по внутрішньому і зовнішньому поясах

Авторська розробка

Для визначення впливу технічного стану деталей спряження «розподільник – приставне дно» на працездатність гідромашини необхідна інформація щодо динаміки зазору в даній парі тертя, та функціональної залежності між зазором і об'ємними втратами робочої рідини, що доповнюють сумарні об'ємні втрати в гідромашинах, які суттєво впливають на вихідні параметри гідравлічної трансмісії.

Результати дослідження динаміки зношення деталей спряження «розподільник-приставне дно» представлені на (рисунок 9) в вигляді двох статистичних рядів значення зазору і наробітку.

Результати експериментальних даних були апроксимовані функцією виду $Y = A + B \ln x$. В результаті отримані залежності зазорів B_1, B_2 і B'_1, B'_2 відповідно по зовнішньому і внутрішньому поясах спряження «розподільник-приставне дно»:



$$\left\{ \begin{array}{l} Y_1 = 16,472 + 11,257x; \\ Y_2 = 10,031 + 6,985x; \\ Y_3 = -31,944 + 20,472x; \\ Y_4 = -19,440 + 12,270x. \end{array} \right. \quad (2)$$

Авторська розробка

щілини по зовнішньому пояску та на вході B'_1 і виході B'_2 щілини по внутрішньому пояску).

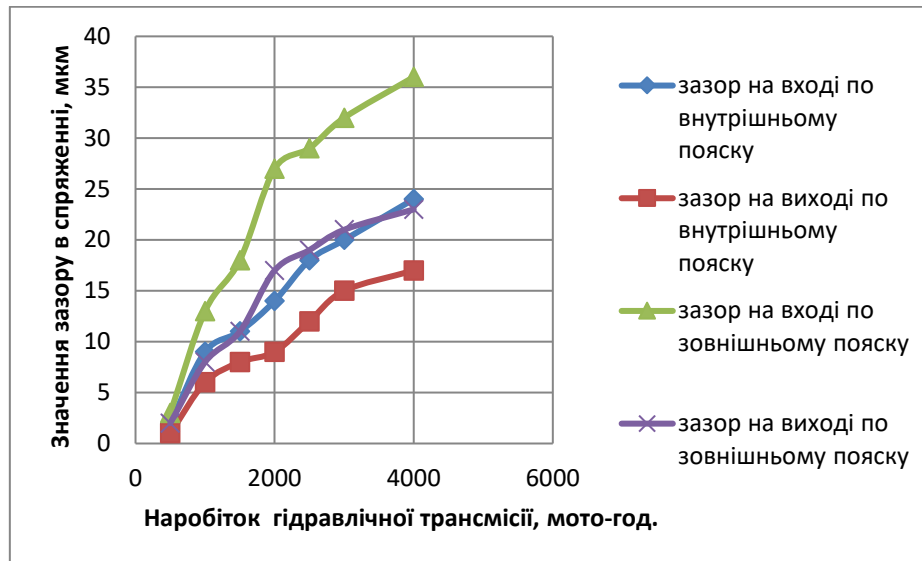


Рисунок 9 – Динаміка зазору в спряженні «розподільник-приставне дно»

Авторська розробка

Інтенсивне зростання зазору в розподільчатій парі спостерігається за перші 1000 мото-годин роботи гідромашин, що пояснюється вмістом механічних домішок, які знаходяться (або з'являються) в робочій рідині з початку експлуатації аксіально-поршневих агрегатів. Їх наявність приводить до гідроабразивного зношення робочих поверхонь розподільника і приставного. Менш інтенсивне зношення деталей спостерігається після напрацювання 1000 мото-годин, що обумовлюється зростанням кількості абразивних частин, які мають геометричні розміри менші ніж гідроабразивні канали на поясках деталей. Їх переміщення разом з робочою рідиною по каналам, із зони високого тиску до зони низького, проходить за мінімальним контактом з поверхнями тертя деталей або з його повною відсутністю в залежності від розміру абразиву.

Визначення характеру і величини зношення деталей спряження «втулка блоку-плунжер» являється важливим, так як вважається, що плунжера пара суттєво впливає на об'ємні втрати робочої рідини в результаті зростання в ній зазору, обумовленого зношенням деталей.

Плунжер (матеріал сталь ШХ15 СГ) зношується не рівномірно із-за наявності перекидного моменту, який виникає в результаті руху п'яти плунжера по похилій шайбі гідромотора або опори люльки гідронасоса. Розміщення плунжера в втулці з перекосом вказує, що для отримання достовірної оцінки з



контролю об'ємних втрат через плунжерну пару, в якості структурного параметра для даного спряження необхідно застосовувати середнє значення зазору.

Втулка блоку (матеріал ЛМЦСКА 58-2-2-1-1) зношується в місцях контакту з плунжером.

Зношення деталей спряження «втулка блоку-плунжер» приводить до збільшення зазору в парі тертя. Якщо за технічними умовами на виготовлення деталей даного спряження зазор повинен бути в границях 11...23 мкм, то в умовах експлуатації середнє значення зазору складає $\bar{X} = 24,48$ мкм при середньоквадратичному відхиленні $S = 10,14$ мкм (рисунок 10), а максимальний зазор досягає $\delta = 48,0$ мкм.

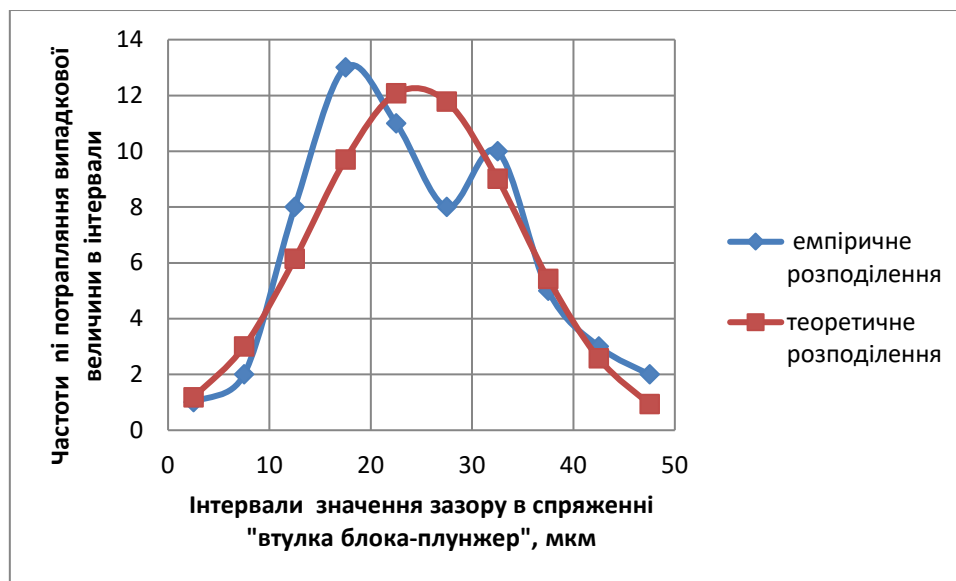


Рисунок 10 – Полігон розподілення зазору в спряженні «втулка блока-плунжер»

Авторська розробка

Аналіз результатів, представлених на (рисунок 10) показує, що близько 25% гідромашин, мають середній зазор в спряженні «втулка блоку - плунжер» в інтервалі $\delta = 30...48,0$ мкм, що в 1,3...2,1 рази перевищує максимальний допустимий зазор при виготовленні деталей плунжерної пари.

Для прогнозування технічного стану деталей плунжерної пари качаючого вузла гідромашини проводяться дослідження динаміки зношення деталей спряження, результати яких наводяться на (рисунок 11).

Аналіз результатів показує, що при напрацюванні гідравлічного приводу 2000 мото-годин зазор в спряженні «втулка блоку-плунжер» досягає значень, які розміщуються в інтервалі 20...23 мкм, що практично відповідає допустимим значенням зазору, прийнятого на заводах-виробниках і оговорених в технічних умовах на виготовлення деталей плунжерної пари.

Отримання більш достовірної оцінки зміни динаміки зазору від напрацювання можливе за умови наявності першочергової інформації щодо номінального зазору для нової гідромашини, так як він може знаходитись в районі верхньої границі допуску із-за технологічних похибок в процесі



виготовлення деталей. За таких умов, зазор в плунжерній парі в процесі експлуатації швидко вийде за границі допуску і буде обумовлювати зростання об'ємних втрат робочої рідини. В даному випадку визначення зазору в плунжерній парі можливе за рахунок наявної функціональної залежності між структурними параметрами деталей, що формують зазор, і об'ємними втратами робочої рідини.

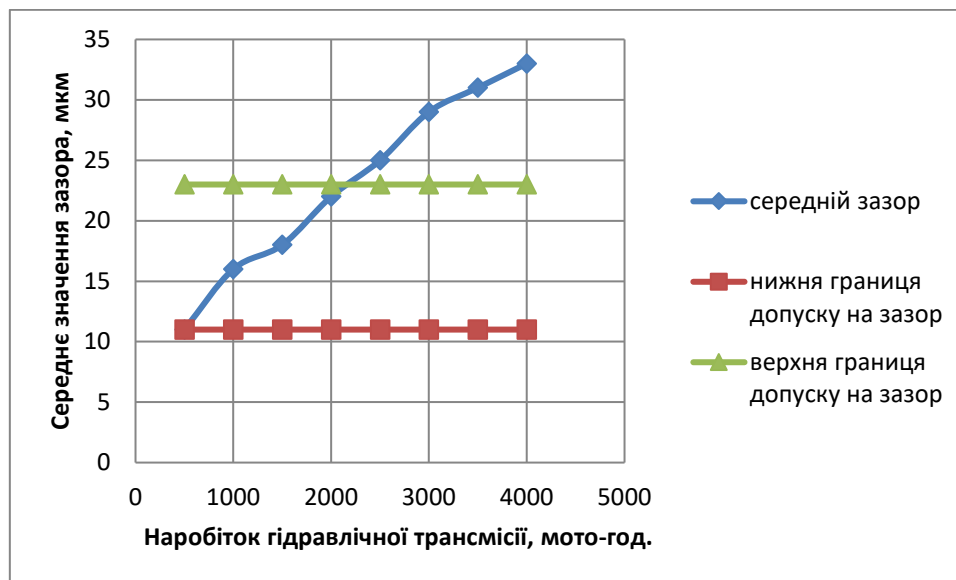


Рисунок 11 – Динаміка середнього значення зазору в спряженні «втулка блоку-плунжер»

Авторська розробка

Дослідження впливу чистоти робочої рідини на технічний стан деталей спряження «п'ята плунжера – опора люльки гідронасоса» ускладнюються конструктивними особливостями п'яти плунжера, кільцева опора якої виконує роль гідростатичного підшипника. Аналіз технічного стану кільцевої опори п'яти плунжера показав, що переважним видом зношення являється гідроабразивне зношення, яке чітко проглядається в вигляді рисок різної глибини і профілю, що пояснюється забрудненістю робочої рідини. Результати контрольних операцій показали, що рівномірне зношення висоти кільцевої опори по всій площині практично відсутнє.

Риски формують додаткові канали на поверхні кільцевої опори, які обумовлюють зростання об'ємних втрат робочої рідини та порушення аксіальної жорсткості гідростатичного підшипника, що приводить до прискореного зношення кільцевої опори і повного її зникнення. Подальша експлуатація таких п'ят супроводжується виривом п'яти із заробки плунжера та аварійною відмовою гідравлічної трансмісії.

Швидкий процес зміни структурних параметрів п'яти ускладнює прогнозування її технічного стану і безпосередньо спряження «п'ята плунжера – опора люльки» гідронасоса. Для вирішення цього питання необхідні додаткові дослідження з обґрунтування інформативних діагностичних параметрів, які дадуть можливість контролювати роботу гідростатичного підшипника п'яти плунжера не за об'ємними, а за механічними втратами.



Висновки. На основі проведених досліджень вдалось підтвердити вагомість впливу класу чистоти робочої рідини гідравлічних трансмісій, оснащених аксіально-поршневими гідромашинами, на стан структурних параметрів технічного стану деталей їх качаючих вузлів. Першочергово це виявилось на основі результатів дослідження складу механічних домішок в робочій рідині, забрудненість якої знаходиться для 30 % гідравлічних систем в інтервалі 0,020-0,045 % по масі, що значно перевищує допустимі значення (0,001 %), і відповідає 15-16 класу чистоти рідини за вмістом числа забруднень.

Переважним видом зношення деталей спряжень качаючих вузлів гідроагрегатів являється гідроабразивне зношення, що підтверджується наявністю рисок, які мають різну глибину, форму та розміщення на поверхнях деталей.

Дослідження характеру та виду зношення деталей дали можливість обґрунтовано визначити структурні параметри технічного стану деталей качаючих вузлів для їх контролю при прямому діагностуванні і застосуванню в подальшому для виявлення функціональної залежності з об'ємними втратами робочої рідини. Для контролю технічного стану деталей спряження «розподільник-приставне дно» необхідно застосовувати величину зазору на вході B_1 і виході B_2 із торцевої щілини по зовнішньому пояску та відповідно на вході B'_1 і виході B'_2 щілини по внутрішньому пояску, а для спряження «втулка блоку - плунжер» для отримання достовірної оцінки з контролю об'ємних втрат через плунжерну пару, в якості структурного параметра необхідно застосовувати середнє значення зазору. Контроль технічного стану деталей спряження «п'ята плунжера – опора люльки гідронасоса» або «п'ята плунжера-похила шайба гідромотора» за висотою кільцевої опори п'яти ускладнюється нерівномірністю зношення кільцевої опори, яка приводить до порушення роботи гідростатичного підшипника і обумовлює зростання не об'ємних а механічних втрат в гідромашині, які супроводжуються зміною температурного режиму роботи спряження, який може бути використаний в якості джерела діагностичної інформації для попередження раптової відмови.

Результати дослідження функціональної залежності між напрацюванням гідравлічних трансмісій і динамікою зміни зазору в спряженнях «розподільник-приставне дно» та «втулка блоку плунжер» показали інтенсивність зношення деталей за перші 1000 мото-годин, що пояснюється вмістом механічних домішок, які знаходяться в робочій рідині з початку експлуатації аксіально-поршневих агрегатів, і вказує на ефективність використання доступних засобів контролю технічного стану робочої рідини для підвищення експлуатаційної надійності аксіально-поршневих агрегатів в складі гідравлічних трансмісій мобільних машин.

Література.

1. Guo, R., Zhou, J., Zhang, C., Zhao, J., & Zhang, Y. (2017). Reliability Evaluation of Axial Piston Pump Based on Degradation Failure. International Conference on Sensing, Diagnostics, Prognostics, and Control (SDPC), 204-209, doi: 10.1109/SDPC.2017.46.



2. Редьква О. З. Аналіз основних показників функціонування та розвитку сільськогосподарського машинобудування в Україні. Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. 2019. № 4. С. 30-36.

3. Михайлов М. Г. Аналіз тенденцій оснащення матеріально-технічної бази аграрних підприємств. Інвестиції: практика та досвід. 2017. № 9. С. 39-44

4. Петров В. М. Формування ринку зернозбиральних комбайнів в Україні. Економіка АПК. 2020. № 4. С. 43-53.

5. Грищенко Н. В. Кадрові ресурси в системі економічного потенціалу аграрних підприємств. Вісник Хмельницького національного університету. 2020. №6. С. 266-270.

6. Виноградов Ю. Л. Кадровий потенціал в агропромисловому комплексі регіону: сучасний стан. Науковий вісник Ужгородського університету. 2005. №17. С. 172-178.

7. Мельянцов П. Т. Визначення напрямків забезпечення якості очистки агрегатів гідравлічної системи трактора для різних методів їх ремонту / П. Т. Мельянцов, В. О. Безсмертний – Zbiór artykułów naukowych recenzowanych. Konferencji Międzynarodowej Naukowo- Praktycznej « Inżynieria i technologia. Osiągnięcia naukowe, rozwój, propozycje na rok 2017» - Warszawa: Zakopane (PL): «Diamond trading tour», 2017. – S 46-50.

8. Мельянцов П.Т. Пат. № 131939 Україна, МПК G1N 15/02, G1N 15/06, G1N 29/02, Пристрій для контролю класу чистоти та кількісного вмісту води в робочій рідині мобільних машин / П. Т. Мельянцов, І. М. Добрянський (Україна) - №u 201807677; заяв.09.07. 2018; опубл.11.02.2019, Бюл. № 3.

9. Мельянцов П. Т. Підвищення післяремонтної довговічності вузлів тертя аксіально-поршневих гідромашин шляхом застосування епіламних покриттів робочих поверхонь деталей / П. Т. Мельянцов, В. М. Федченко, В. О. Носенко - Zbiór artykułow naukowych. «Inzynieria i technologia. Osiagniecia naukowe, rozwoj, propozicje na rok 2015» - Warszawa: «Diamond trading tour»,2015 – s. 77-82.

Abstract. *The organizational and technological components of the planned and preventive system for maintaining and restoring the working condition of hydraulic transmissions of mobile machines do not meet modern requirements for ensuring their operational reliability. The purpose of the work was to increase the reliability of hydraulic transmission units based on the control of changes in the structural parameters of the technical condition of parts, using monitoring of the purity level of the working fluid. The goal is achieved by developing a device for determining the amount of mechanical impurities in industrial fluids and their sizes, and using it in studies of the impact of hydroabrasive wear on the structural parameters of the technical condition of parts. The obtained results of the wear of the parts made it possible to reasonably determine their structural parameters of the technical condition for control during direct diagnosis. The identified functional dependencies between the working of hydraulic transmissions and the dynamics of the gap change in couplings indicate the effectiveness of monitoring the technical condition of the working fluid to increase the operational reliability of axial-piston units as part of hydraulic transmissions of mobile machines.*

Key words: *mobile machine, volumetric hydraulic transmission, axial-piston hydraulic units, working fluid purity, hydroabrasive wear, structural parameters of parts, clearance dynamics, reliability*



УДК 664.643.1,

**TRENDS IN THE FLOUR PRODUCTS SECTOR
ТЕНДЕНЦІЇ У СЕКТОРІ БОРОШНЯНИХ ВИРОБІВ****Kravcheniuk R. U //Кравченко Р Ю.**ORCID <https://orcid.org/0009-0007-1974-5001>**Kravcheniuk H. U. //Кравченко Х.Ю.**

с.т.с., /к.т.н.,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7547-6834>**Stadnyk I.Y. /Стадник І.Я.**

d. t.s., prof. / д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0003-4126-3256

*Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil 46001, Hohol str. 6,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м.**Тернопіль 46001, вул. Гоголя 6***Piddubnyi V.A. // Піддубний В.А.**

d. t.s., prof. / д.т.н., проф

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1497-7133>*Kyiv State University of Trade and Economics, Kyiv 02156, str. Kyoto, 19
Київський державний торговельно-економічний університет,**м. Київ 02156, вул. Кіото, 19*

Анотація. У статті обґрунтовано важливість тенденції, які спостерігаються на ринку борошняних виробів впродовж останніх років. Проаналізовано рівень та стан виробництва хлібобулочної продукції України на фоні інших країн. Аналіз фактичного харчування населення України відображає його кризовий стан у забезпеченні мікронутрієнтами. Це становище є актуальним, оскільки воно прямо впливає на загальний стан здоров'я громадян та суспільного розвитку. Однією з головних причин цього кризу є зміни в умовах та стилях життя, що відбулися в останні роки. Тенденції у використанні рослинної сировини, що є значним джерелом біологічно активних речовин і невід'ємною складовою здорового харчового раціону, мають великий потенціал як цінні джерела корисних речовин для хлібобулочної продукції.

Ключові слова: асортимен, борошняні вироби, функціональні продукти, збалансоване харчування, рослинна сировина

Вступ.

В даний час все більше і більше продуктів і фітохімічних компонентів із їстівних рослин використовуються для профілактики захворювань пов'язаних з харчуванням, а також для покращення фізичного та психічного благополуччя. Ці продукти називаються функціональними продуктами і вперше вони були представлені в Японії на початку 1980-х років. В останні десятиліття функціональна харчова промисловість швидко розвивалася, і функціональні продукти харчування були прийняті у багатьох країнах громадськістю у зв'язку з попитом більш здорової їжі та продукти [1,2].

Сучасні технології та зміни у ритмі життя призвели до зниження фізичної активності та, відповідно, до зменшення потреби в енергії. Однак фізіологічні потреби в мікронутрієнтах лишаються стабільними або навіть зросли в деяких випадках. Це приводить до дисбалансу між постачанням та потребою організму у важливих харчових речовинах. Крім того, якість виробів із борошна погіршується через екологічні проблеми та зміни у технологіях їхньої обробки



та зберігання. Це призводить до зниження біологічної цінності виробів та її поживності. Частіше зустрічаються продукти, що містять менше корисних речовин та вітамінів через технологічні процеси переробки.

Для вирішення цієї проблеми потрібно впроваджувати комплексні заходи щодо збалансованого харчування та його впливу на здоров'я. Також необхідно стимулювати виробництво та споживання органічних продуктів, що може сприяти поліпшенню якості харчування та забезпеченню мікронутрієнтами. Важливим є також розвиток національної системи моніторингу якості виробів із борошна та регулярний аналіз дії вжитих заходів для коригування стратегій у цьому напрямку.

Сучасна людина не може навіть теоретично забезпечити себе достатньою кількістю традиційних мікронутрієнтів зі звичайних натуральних продуктів харчування. Ця проблема вимагає нового підходу до харчування, який враховуватиме сучасні умови та потреби організму.

В майбутньому передбачається включення в раціон харчування людини не лише традиційних продуктів, а й функціональних харчових продуктів, які будуть збагачені необхідними харчовими речовинами та мікронутрієнтами. Також можливе використання біологічно активних добавок до виробів із борошна, таких як концентрати мікронутрієнтів та інші біологічно активні речовини.

Цей підхід дозволить компенсувати дефіцит мікронутрієнтів, забезпечуючи організм необхідними поживними речовинами для здоров'я та добробуту. Проте важливо пам'ятати про необхідність контролювати якість та безпеку цих продуктів, а також про необхідність ознайомлення населення щодо їх правильного вживання та потенційних ризиків.

Прогнозується, що до 2024 року потенціал європейського ринку функціональних продуктів перевищить 30% всіх реалізованих продуктів харчування. Це свідчить про зростаючий інтерес споживачів до продуктів, які не лише насичують, але й сприяють здоров'ю.

Одним із ключових моментів у процесі створення та впровадження збагачених хлібобулочних виробів є вибір науково обґрунтованих підходів до оцінки їх якості. Виробництво хлібобулочних виробів здійснюється згідно з чинною нормативною документацією, яка містить вимоги до органолептичних та фізико-хімічних властивостей і допустимі рівні показників безпечності продукції, що не завжди дає змогу всебічно охарактеризувати і визначити всі переваги розробленої продукції.

Якість хлібобулочних виробів, як і будь-якого харчового продукту, є поняттям комплексним і охоплює цілу низку ознак. Максимально врахувати важливі характеристики виробів можливо шляхом визначення їх комплексного показника якості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вітчизняне виробництво функціональних виробів із борошна сьогодні розвивається в напрямку збагачення традиційних продуктів харчування вітамінами, мінеральними речовинами та харчовими волокнами [3,4]. Це відбувається на тлі загальної тенденції до зменшення енергетичної цінності виробів із борошна.



Основою технологій функціональних виробів із борошна є модифікація традиційних продуктів, що дозволяє підвищити вміст корисних інгредієнтів до рівня, який співвідноситься з фізіологічними нормами їх споживання (від 10 до 50% від середньої добової потреби). Такий підхід дає можливість споживачам отримувати необхідну кількість корисних речовин без значного збільшення калорійності продуктів. Цей тренд відображає загальний рух суспільства до більш свідомого та здорового способу харчування, що є важливим кроком у забезпеченні національного здоров'я та добробуту населення.

Перспективним об'єктом модифікації з формуванням функціональних властивостей є продукти зі злаків, зокрема, борошняні вироби [5]. Ці продукти належать до категорії регулярного споживання, а їх асортимент останнім часом активно поповнюється через особливу привабливість для молодіжної групи населення.

Створення на основі цих продуктів асортименту функціональних харчових продуктів з урахуванням медико-гігієнічних вимог до зернових продуктів здорового харчування може в певній мірі сприяти корекції дефіциту мікронутрієнтів серед різних груп населення [6]. Це відкриває можливості для розробки нових виробів, які не лише задовольнятимуть смакові побажання споживачів, але й матимуть підвищену поживну цінність та корисні властивості. Наприклад, борошняні вироби можуть бути збагачені вітамінами, мінералами та іншими корисними речовинами, що сприятиме покращенню харчових звичок та загального стану здоров'я населення.

Проблема невикористання третини вироблених харчових продуктів стає важливим викликом у сучасному світі, особливо з урахуванням росту числа людей, які стикаються з голодом. Велика кількість сировинних, енергетичних та людських ресурсів витрачається на виробництво цих продуктів. Для стабільного забезпечення світу продуктами харчування необхідно переглянути підходи до виробництва та споживання їжі. Важливо забезпечити більше якісної та корисної їжі, але при цьому мінімізувати негативний вплив на екосистему та оптимізувати використання ресурсів.

Ця ініціатива також може мати позитивний соціальний вплив, сприяючи підвищенню обізнаності споживачів про користь правильного харчування та стимулюючи їх до здорового способу життя. Такий підхід може стати важливим кроком у вирішенні проблеми дефіциту мікронутрієнтів і покращенні загального стану здоров'я населення.

Метою даної роботи є шляхи тенденції до нових видів хлібобулочних виробів, збагачених харчовими добавками у вигляді рослинного походження. Це обґрунтовано актуальністю створення функціональних продуктів харчування, особливо в контексті обмеженого асортименту борошняних виробів, що містять функціональні інгредієнти.

Постановка задачі.

Завдання дослідження включає:

1. Аналіз і вибір оптимальних харчових добавок для збагачення хлібобулочних виробів.
2. Шляхи технології виробництва борошняної продукції з використанням



обраного складу функціональних інгредієнтів.

3. Оцінка ефективності споживання борошняної продукції збагаченого харчовими добавками в контексті покращення харчових звичок та підвищення корисної дії на організм.

Викладення основного матеріалу.

Це дослідження відкриває перспективи для створення нових продуктів, які будуть не тільки смачними, але й корисними для здоров'я. Врахування популярності борошняних виробів серед споживачів дозволить розширити асортимент функціональних продуктів харчування та сприяти здоровому способу життя.

Багато переробних підприємств стикаються з проблемою неефективного використання сировини та енергетичних ресурсів, що призводить до зменшення виробництва асортимент функціональних продуктів. Для подолання цих проблем необхідно впроваджувати більше ефективних технологій виробництва, підтримувати програми переробки, а також залучати споживачів до усвідомленого споживання харчових продуктів.

Прикладом кругової біоекономіки є застосування безвідходних технологій у харчовій промисловості, зокрема при виробництві борошняних виробів. Цей процес вимагає значних зусиль та часу, але дозволяє ефективно використовувати ресурси та максимізувати виробництво корисних продуктів. Основна ідея безвідходних технологій полягає в комплексній переробці сировини з використанням всіх її компонентів. Це дозволяє отримувати продукти з функціональними властивостями та вилучати корисні нутрієнти у повному обсязі. Крім того, впровадження мало- і безвідходних технологій допомагає зменшити негативний вплив на екосистему, оскільки мінімізує відходи та використовує ресурси більш ефективно.

З урахуванням стрімкого зростання населення у світі та збільшеного інтересу споживачів до рослинної їжі, попит на овочі, ягоди та зернові культури постійно зростає. Згідно з даними світової організації харчування та сільського господарства (FAO), виробництво фруктів, овочів і злаків досягло надзвичайно високих показників за останні десятиліття. Впровадження технологій в хлібопекарській промисловості є важливим кроком у забезпеченні стійкого та екологічно чистого виробництва харчових борошняних виробів, що відповідає потребам сучасного суспільства.

Розроблено різноманітні способи отримання адсорбентів із рослинної сировини, а також технології виготовлення пектинів з використанням рослинної сировини. Наприклад, буряковий жом, що на 95% складається з харчових волокон, може бути використаний як сировина для отримання пектину. Такі ініціативи сприяють ефективному використанню сировини та зменшенню відходів виробництва, що є важливим кроком у створенні більш екологічно стійких і ефективних технологій.

Фізіологічна цінність овочів та продуктів їхньої переробки обумовлена наявністю різноманітних речовин, що впливають на органи смаку, нервову систему та процес засвоєння їжі. Смак овочів визначається вмістом органічних кислот, їхніх солей, цукрів, глікозидів, дубильних речовин та їх взаємозв'язком.



Різноманітні речовини, що впливають на органи смаку, нервову систему та процес засвоєння їжі, включають:

1. Органічні кислоти: Наприклад, яблучна кислота, цитрусова кислота тощо, які надають характерний смак овочам та фруктам.

2. Солі: Солі кальцію, натрію та калію можуть впливати на смак продуктів та їхню органолептичну якість.

3. Цукри: Глюкоза, фруктоза та сахароза - це типові цукри, які надають солодкий смак.

4. Глікозиди: Це природні сполуки, які мають певний смак та можуть впливати на смакові рецептори.

5. Дубильні речовини: Вони можуть надавати гіркий смак та впливати на текстуру продуктів.

Ці речовини можуть варіювати в залежності від типу овочів або фруктів і впливати на сприйняття смаку, а також на процеси перетравлення та засвоєння виробів із борошна організмом. Цей підхід сприяє ефективному використанню ресурсів та забезпеченню більш сталого виробництва продукції. Використання цінних компонентів з харчових добавок також може допомогти розширити асортимент продукції та покращити їх якість, що в свою чергу сприятиме задоволенню споживчих потреб та підвищенню конкурентоспроможності на ринку харчових продуктів.

Побічні продукти рослин на сьогоднішній день є одним із найбільш детально досліджених джерел корисних компонентів для здоров'я. Ідентифікація, кількісна оцінка та виділення цих сполук, а також оцінка їх ефектів, стали основними дослідженнями, пов'язаними зі здоров'ям та медициною, виявивши антиоксидантні, протимікробні, протизапальні, антиімунomodуючі та протипухлинні властивості. Це дозволяє використовувати побічні продукти рослин у виробництві функціональних харчових продуктів та добавок, що сприяє покращенню якості продукції та підвищенню її корисності для споживачів.

Висновок.

Рослинна сировина є значним джерелом біологічно активних речовин і невід'ємною складовою здорового харчового раціону. Навіть нетрадиційні джерела, такі як плоди дикорослих рослин, мають великий потенціал як цінні джерела корисних речовин. Дослідження показують, що такі рослини можуть бути багатими джерелами біологічно активних сполук, які мають велике значення для здоров'я та харчової цінності. Їх використання може сприяти розширенню асортименту продуктів харчування і сприяти збалансованому харчуванню. Таким чином, дослідження і розвиток технологій переробки рослинної сировини, включаючи і нетрадиційні джерела, є важливим завданням для розвитку харчової промисловості та підтримки здорового способу життя. Проте, практично відсутні способи їх промислової переробки.

Література.

1. Секторальна експортна стратегія 2019–2023 : Харчова і переробна промисловість України. Міністерство економічного розвитку і торгівлі



України.file:///C:/Users/%D0%9C%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B0/Downloads/SKILLS_UKR_06_12_19.pdf. (дата звернення 24.03.2023).

2. Jordan N., Boody G., Broussard W., Glover J. D., Keeney D., McCown B. H., McIsaac G., Muller M., Murray H., Neal J., Pansing C., Turner R. E., Warner K., Wyse D. Sustainable development of the agricultural bio-economy. *Science*. 2007. Vol. 316, Issue 5831. P. 1570–1571. <https://doi.org/10.1126/science.1141700>.

3. Стадник І., Піддубний В, Хареба О., Краєвська С. 2022. Прогресивні методи та засоби переробки рослинної сировини. Монографія. Видавництво національної академії наук України, Інституту продовольчих ресурсів м. Київ. 192с.

4. OECD-FAO Agricultural Outlook 2019-2028.OECD and Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019, Jul, 08) ISBN 978-92-64-31245-6. https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2019-en.

5. I. Stadnyk, V.Piddubnyi, H. Karpyk, M.Kravchenk V.Hidzhelits. ADHESION EFFECT ON ENVIRONMENT PROCESS INJECTION *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. vol. 13, 2019, no. 1, p. 429-437

6. Boath AS, Stewart D, McDougall GJ. Berry components inhibit α -glucosidase in vitro: Synergies between acarbose and polyphenols from black currant and rowanberry. *Food Chem*. 2012. 135(3). P. 929–36. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.065>.

Abstract. *The article substantiates the importance of trends observed in the market of flour products in recent years. The level and state of production of bakery products in Ukraine against the background of other countries was analyzed. Analysis of the actual nutrition of the population of Ukraine reflects its crisis situation in the supply of micronutrients. This situation is relevant because it directly affects the general state of health of citizens and social development. One of the main reasons for this crisis is the changes in conditions and lifestyles that have occurred in recent years. Trends in the use of plant raw materials, which are a significant source of biologically active substances and an integral component of a healthy diet, have great potential as valuable sources of useful substances for bakery products.*

Keywords: *assortment, flour products, functional products, balanced nutrition, vegetable raw materials*

Стаття відправлена: 24.03.2024р.

© Стадник І.Я.

д.т.н., проф.



УДК 681.513.5:622.24.205.055

STUDY OF THE MULTICOLINEARITY OF THE EFFICIENCY CRITERIA OF THE OIL AND GAS WELL DRILLING PROCESS USING PDC-TYPE BITS

ВИВЧЕННЯ МУЛЬТИКОЛІНЕАРНОСТІ КРИТЕРІЇВ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЦЕСУ БУРІННЯ НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН ЗА ВИКОРИСТАННЯМ ДОЛІТ ТИПУ PDC

Skripyuk R.B. / Скрип'юк Р.Б.

ORCID: 0009-0003-0888-4218

Kilishtof I. R. / Кіліштоф І.Р.

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. Розглядається вплив функції зносу озброєння доліт типу PDC на проходку долота, механічну швидкість проходки, рейсову швидкість і собівартість метра проходки нафтових і газових свердловин. На базі аналізу необхідних умов існування екстремумів цих критеріїв показано, що для доліт типу PDC всі оптимальні режими збігаються.

Ключові слова: критерії оптимальності, аналіз, мультиколінеарність, процес буріння, долото типу PDC.

Вступ.

Алгоритм оптимального керування процесом буріння, розроблений на основі математичної моделі керованого об'єкта, передбачає визначення критерію оптимальності. У випадку буріння нафтових і газових свердловин з використанням традиційних шарошкових доліт, основними критеріями оптимальності є собівартість метра проходки, максимальна проходка на долото та критерій максимальної рейсової швидкості, які були предметом глибокого дослідження [1,2].

Важливо відзначити, що на сучасний момент співвідношення між обсягами буріння за допомогою традиційних шарошкових доліт і новітніх доліт типу PDC (Polycrystalline Diamond Cutter) приблизно дорівнює 75% і 25% відповідно. Однак прогнозується, що найближчим часом це співвідношення зміниться на 50% на 50% [2, 3]. Це пояснюється тим, що конструкція доліт типу PDC забезпечує тривалий термін служби і високі швидкості буріння за рахунок високої стійкості до зносу ріжучих елементів PDC, відсутності підшипникової опори, що підвищує проходку на долото і значно зменшує кількість опускально-підіймальних операцій. Крім того, мінімальний вплив динаміки роботи долота на вибір свердловини і колону бурильних труб, а також висока стійкість різців колібруючої поверхні усувають необхідність обробки і колібрування стовбура свердловини перед опусканням обсадної колони [3,4].

Вивчення впливу зношування обладнання доліт типу PDC на оптимальні параметри керування є актуальним завданням у науці та практиці, оскільки використання комп'ютерно-інтегрованих технологій в бурінні поширюється, а обсяги пошуково-розвідувального буріння збільшуються. З наявних наукових досліджень [1,2,4,5] відомо, що увага приділяється головним чином критеріям



оптимальності для процесу буріння нафтових і газових свердловин за допомогою традиційних шарошкових доліт. У цьому контексті велике значення має ступінь зношування долота і час, витрачений на опускально-підіймальні операції. У рейсі проводиться від 100 до 300 однотипних з'єднань і розв'язувань бурильного інструменту. Таким чином, розробка оптимальних критеріїв для ефективного контролю роботи доліт нового покоління вимагає детального вивчення і подальшого розвитку відповідних критеріїв оптимальності для основного періоду експлуатації цього типу доліт.

Проте, аналіз літературних джерел [1,2,3,4] свідчить про недостатній об'єм проведених досліджень унапрямку встановлення критеріїв оптимальності для процесу буріння нафтових і газових свердловин долотами нового покоління типу PDC.

Метою даної роботи є аналіз впливу функції зношування оснащення доліт типу PDC на відомі критерії оптимальності процесу буріння нафтових і газових свердловин.

Основний текст.

Враховуючи, що у процесі буріння свердловин різної глибини та призначення традиційними шарошковими долотами керувальні стратегії, які можуть бути оптимальними з точки зору одного чинника, не завжди є оптимальними з іншого погляду, можна стверджувати, що їх екстремуми не співпадають. Наприклад, максимальна механічна швидкість проходження не завжди збігається з максимальною проходкою долота; мінімальна собівартість метра проходження свердловини не відповідає максимуму рейсової швидкості [1,5]. Навпаки, максимум проходження долота збігається з мінімумом електроенергії на одиницю об'єму пройденної свердловини. Дослідження свідчить [1], що вести керування процесом буріння за єдиним критерієм є непрактичним. Таким чином, запропоновано збільшувати глибину свердловини, використовуючи традиційні шарошкові долота, і впроваджувати критерії оптимальності послідовно, дотримуючись визначеного порядку:

$$P: V_p(x) \xrightarrow{x \in S} \max; c(x) \xrightarrow{x \in S} \min; P: h_i(x) \xrightarrow{x \in S} \max, \quad (1)$$

де $S = \left\{ (F_i n_i)_{i=1,2,\dots,N}; F_{\min} \leq F_i \leq F_{\max}; n_{\min} \leq n_i \leq n_{\max}; \sum_{i=1}^N h_i = H; h_i > 0 \right\}$, V_p – рейсова швидкість буріння, c – собівартість метра проходки, F_i , n_i – осьова сила на долото і швидкість його обертання у i -му рейсі, N – кількість рейсів долота, h_i – проходка на долото в i -му рейсі, H – проектна глибина свердловини.

У процесі буріння долотом типу PDC, що не затуплюється, оцінка математичного сподівання механічної швидкості проходки не змінюється в часі, тобто

$$V = V(\bar{U}), \quad (2)$$

а функція зношування є часом $T_{\text{вд}}$ відпрацювання долота

$$\phi(\bar{U}, t) = T_{\text{вд}}(\bar{U}). \quad (3)$$

Оскільки можна підібрати деяке значення часу T , протягом якого відбувається процес буріння в однорідних за міцністю породах, а саме $|0 < T < \infty|$,



і для якого виконується умова

$$\int_{t_2 - \frac{T}{2}}^{t_2 + \frac{T}{2}} V(\tau) d\tau = \text{const}, \quad (4)$$

то такий режим буріння є усталеним (рис.1).

Отже в усталеному режимі буріння постійним є математичне сподівання механічної швидкості проходки на інтервалі часу тривалістю T , який відповідає бурінню з постійними керувальними діями в породах однакової міцності.

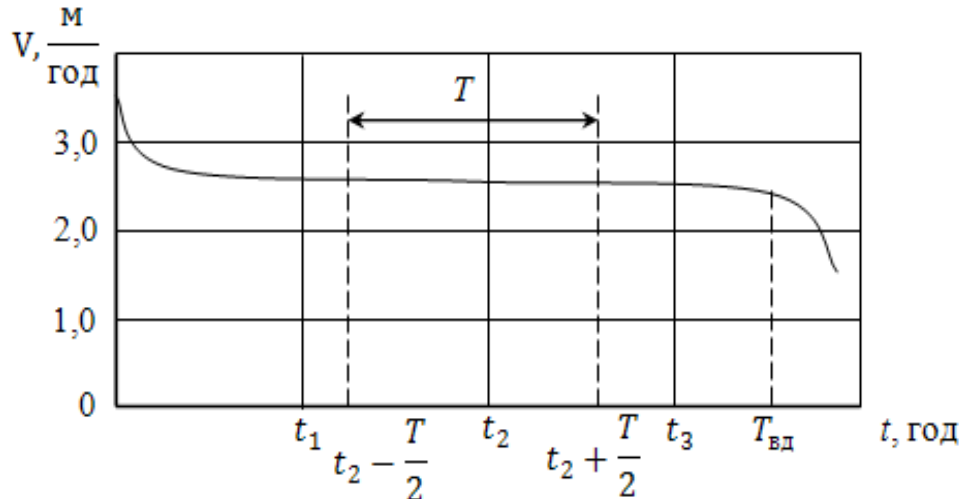


Рисунок 1 – Графік зміни оцінки математичного сподівання механічної швидкості проходки в часі

Джерело: [3]

Зважаючи на (3), проходка на долото типу PDC дорівнюватиме

$$h_d = V(\bar{U}) \cdot T_{вд}(\bar{U}). \quad (5)$$

Для ілюстрації того, що екстремуми функцій (1) і (2) збігаються під час буріння долотами типу PDC, визначимо необхідні умови максимуму механічної швидкості проходки.

$$\frac{\partial V(\bar{U})}{\partial F} = 0, \quad \frac{\partial V(\bar{U})}{\partial n} = 0, \quad (6)$$

і максимуму проходки на долото

$$\frac{\partial h_d}{\partial F} = 0, \quad \frac{\partial h_d}{\partial n} = 0. \quad (7)$$

Після підстановки в систему рівнянь (7) виразу (6), отримаємо:

$$\frac{\partial(V(\bar{U}) \cdot T_{вд}(\bar{U}))}{\partial F} = \frac{\partial V(\bar{U})}{\partial F} T_{вд}(\bar{U}) + V(\bar{U}) \frac{\partial T_{вд}(\bar{U})}{\partial F} = 0,$$

$$\frac{\partial(V(\bar{U}) \cdot T_{вд}(\bar{U}))}{\partial n} = \frac{\partial V(\bar{U})}{\partial n} T_{вд}(\bar{U}) + V(\bar{U}) \frac{\partial T_{вд}(\bar{U})}{\partial n} = 0. \quad (8)$$

Аналіз систем рівнянь (6) і (8) свідчить, що їх розв'язки ніколи не збігаються, оскільки, в системі рівнянь (8) наявна похідна від функції



зношування, яка в процесі буріння традиційними шарошковими долотами весь час змінюється. Проте, оскільки для доліт нового покоління, що не затуплюються зокрема типу PDC, функція зношування постійна, то складові рівнянь системи

(8) дорівнюють $V(\bar{U}) \frac{\partial T_{\text{вд}}(\bar{U})}{\partial F} = 0$ і $V(\bar{U}) \frac{\partial T_{\text{вд}}(\bar{U})}{\partial n} = 0$. Тоді система рівнянь (8) набуде такого вигляду

$$\frac{\partial V(\bar{U})}{\partial F} T_{\text{вд}}(\bar{U}) = 0,$$

$$\frac{\partial V(\bar{U})}{\partial n} T_{\text{вд}}(\bar{U}) = 0. \quad (9)$$

Отже, порівнявши системи рівнянь (9) і (8), бачимо, що екстремуми механічної швидкості проходки і проходки на долото типу PDC збігаються. Це означає, що керування процесом буріння можна здійснювати на базі критеріїв

$$h_i(x) \xrightarrow{x \in S} \max \vee V_i(x) \xrightarrow{x \in S} \max. \quad (10)$$

Тепер розглянемо показник рейсової швидкості проходки долотами типу PDC

$$V_p = \frac{h}{t_{\text{б}} + t_{\text{спо}}}, \quad (11)$$

де $t_{\text{б}}$ – час чистого буріння, $t_{\text{спо}}$ – час, що витрачається на спуско-підймальні операції.

Враховуючи, що $h = V \cdot T_{\text{вд}}$ і $t_{\text{б}} = T_{\text{вд}}$, отримаємо

$$V_p = \frac{V \cdot T_{\text{вд}}}{T_{\text{вд}} + t_{\text{спо}}}, \quad (12)$$

тобто рейсова швидкість проходки долотами типу PDC залежить від механічної швидкості проходки $V(\bar{U})$ і функції зношування долота $T_{\text{вд}}(\bar{U})$.

Необхідні умови існування екстремуму рейсової швидкості проходки

$$\frac{\partial V_p(\bar{U})}{\partial F} = 0, \quad \frac{\partial V_p(\bar{U})}{\partial n} = 0 \quad (13)$$

у цьому випадку дають таку систему рівнянь [4]:

$$(T_{\text{вд}}^2 + T_{\text{вд}} \cdot t_{\text{спо}}) \frac{\partial V}{\partial F} + V \cdot t_{\text{спо}} \frac{\partial T_{\text{вд}}}{\partial F} = 0,$$

$$(T_{\text{вд}}^2 + T_{\text{вд}} \cdot t_{\text{спо}}) \frac{\partial V}{\partial n} + V \cdot t_{\text{спо}} \frac{\partial T_{\text{вд}}}{\partial n} = 0. \quad (14)$$

Для незатупленого долота типу PDC відсутність зношування оснащення означає, що $T_{\text{вд}} = \text{const}$. Тоді

$$V t_{\text{спо}} \frac{\partial T_{\text{вд}}}{\partial F} = 0 \quad \text{і} \quad V t_{\text{спо}} \frac{\partial T_{\text{вд}}}{\partial n} = 0$$

і розв'язок системи рівнянь (14) збігається з розв'язками систем (8) і (9).



Отже максимум рейсової швидкості проходки у процесі буріння долотами типу PDC збігається з максимумами механічної швидкості проходки і проходки на долото.

Окрім того, розглянемо критерій собівартості метра проходки

$$C = \frac{B_{\Gamma}(T_{\text{вд}} + t_{\text{сно}}) + B_{\text{д}}}{h}, \quad (15)$$

де B_{Γ} – вартість однієї години роботи бурової установки без урахування вартості долота, $B_{\text{д}}$ – вартість долота.

Умови існування мінімуму собівартості метра проходки свердловини долотом типу PDC дають таку систему рівнянь [4]:

$$T_{\text{вд}}(T_{\text{вд}}B_{\Gamma} + t_{\text{сно}}B_{\Gamma} + B_{\text{д}})\frac{\partial V}{\partial F} = -(B_{\Gamma}t_{\text{сно}} + B_{\text{д}})\frac{\partial T_{\text{вд}}}{\partial F},$$

$$T_{\text{вд}}(T_{\text{вд}}B_{\Gamma} + t_{\text{сно}}B_{\Gamma} + B_{\text{д}})\frac{\partial V}{\partial n} = -(B_{\Gamma}t_{\text{сно}} + B_{\text{д}})\frac{\partial T_{\text{вд}}}{\partial n}. \quad (16)$$

Очевидно, що для незатупленого долота типу PDC відсутність зношування оснащення означає, що функція зношування не змінюється, і праві частини системи рівнянь (16) дорівнюють нулеві. Тоді система рівнянь (16) набуває такого вигляду:

$$T_{\text{вд}}(T_{\text{вд}}B_{\Gamma} + t_{\text{сно}}B_{\Gamma} + B_{\text{д}})\frac{\partial V}{\partial F} = 0,$$

$$T_{\text{вд}}(T_{\text{вд}}B_{\Gamma} + t_{\text{сно}}B_{\Gamma} + B_{\text{д}})\frac{\partial V}{\partial n} = 0. \quad (17)$$

Отже за відсутності зношування долота усі оптимальні режими буріння збігаються. Це означає, що статична оптимізація процесу буріння свердловини долотами типу PDC може бути реалізована на базі одного із критеріїв [5]

$$h_i(x) \xrightarrow{x \in S} \max \vee V_i(x) \xrightarrow{x \in S} \max \vee V_p(x) \xrightarrow{x \in S} \max \vee C(x) \xrightarrow{x \in S} \min, x \in S, \quad (18)$$

які є мультиколінеарними.

Якщо ж функція зношування долота не є постійною величиною, тобто спостерігається зношування долота (що відбувається під час використання шарошкових доліт), то тоді значення екстремумів проходки, механічної швидкості проходки, рейсової швидкості і собівартості метра проходки не співпадають.

Проте, якщо поділити перше рівняння системи (16) на друге і, таку ж процедуру виконати для систем рівнянь (8), (10) і (16), то отримуємо рівняння [4] оптимальності

$$\frac{\partial V}{\partial F} \frac{\partial T_{\text{вд}}}{\partial n} - \frac{\partial T_{\text{вд}}}{\partial F} \frac{\partial V}{\partial n} = 0, \quad (19)$$

яке рівняння в площині параметрів F і n зображає деяку лінію, на якій розташовані усі оптимальні режими буріння.

Висновок Аналіз критеріїв оптимальності у процесі буріння нафтових і газових свердловин за допомогою доліт типу PDC вказує на те, що при



відсутності зношування обладнання усі оптимальні режими буріння збігаються. Це свідчить про те, що статична оптимізація процесу буріння з використанням доліт PDC може бути реалізована на основі будь-якого критерію оптимальності, такого як максимум проходки на долото, максимум механічної швидкості проходження, максимум рейсової швидкості проходження або мінімум собівартості метра проходження, оскільки всі вони взаємно пов'язані (мультиколінеарні). У цьому контексті рекомендується віддавати перевагу максимуму механічної швидкості проходження.

Література:

1. Горбійчук М.І. Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин / М.І. Горбійчук, Г.Н. Семенцов. - Івано-Франківськ: Факел, 2003 – 493 с.
2. Мислюк М.А. Моделювання явищ і процесів у нафтогазопромисловій справі: [навчальний посібник] / М.А. Мислюк, Ю.О. Зарубін. – Івано-Франківськ: Факел. – 1999. – 496с.
3. Семенцов Г.Н. Автоматизація технологічних процесів у нафтовій та газовій промисловості: [навч. посібник] / Г.Н. Семенцов, Я.Р. Когуч, Я.В.Куровець, М.М.Дранчук. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2009. – 300 с.
4. Драганчук О.Т. Аналіз відпрацювання доліт PDC на родовищах України і світу / О.Т. Драганчук, Т.О. Пригоровська // Нафтогазова енергетика. – 2008. - №4. – С.11-15.
5. Горбійчук М.І. Моделювання об'єктів і систем керування в нафтовій і газовій промисловості. Ч.ІІ / М.І.Горбійчук. – Івано-Франківськ: Факел. – 1999. – 226с.

Abstract. Influence of function wear of armament of chisels is examined as PDC on driving of chisel, mechanical speed of driving, trip speed and prime price of meter of driving of oil and gas mining holes. It is rotined on the base of analysis of necessary terms of existence of extremums of these criteria, that for chisels as PDC all optimum modes coincide.

Key words: optimality criteria, analysis, multicollinearity, drilling process, PDC-type bit

Стаття відправлена: 06.03.2024 р.

© Скрип'юк Р.Б., Кіліштоф І.Р.



УДК 681.527:2:622.24

ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF OUTPUT SIGNALS OF AUTOMATED ACTIVE POWER CONTROL OF ELECTRIC DRILL ENGINES

АНАЛІЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИХІДНИХ СИГНАЛІВ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОБУРІВ

Dmytryk T.B. / Дмитрик Т.Б.

Shavranskyi M.V. / Шавранський М.В.

ORCID: 0000-0001-6636-1069

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,

Ivano-Frankivsk, Karpatskaya, 15,76019

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

Івано-Франківськ, вул.Карпатська,15,76019

Анотація. У роботі буде проведено комплексний аналіз параметрів вихідних сигналів, включаючи частоту, амплітуду, часові характеристики та інші ключові показники. Результати цього дослідження сприятимуть подальшому вдосконаленню систем автоматизованого контролю, забезпечуючи надійність та точність вимірювань активної потужності електробурів.

Ключові слова: електробур, частотне регулювання, потужність, амплітудна характеристика, закон розподілу, показник Херста.

Вступ.

Дослідження проходження сигналів в системах контролю активної потужності електробурів є актуальною науково-практичною задачею у зв'язку з необхідністю створення енергоощадних технологій буріння похило скерованих і горизонтальних нафтових і газових свердловин та впровадженням комп'ютерно-інтегрованих технологій в галузі.

Проте аналіз літературних джерел (наприклад, [1, 2 та ін.]) показує недостатній об'єм проведених досліджень у цьому напрямку. Насамперед, недостатньо глибоко вивчені закони розподілу активної потужності, джерела невизначеності процесу, наявність хаотичних явищ. Тому метою даної роботи є аналіз властивостей стохастичних вихідних сигналів засобів контролю активної потужності, яку споживають двигуни електробурів в процесі поглиблення свердловин.

Основний текст.

Для опису роботи реальних засобів контролю використовується модель динамічних систем з випадковими параметрами. Ця модель враховує властивості інерції, обмеження швидкості протікання процесів в системі і наявності випадкових параметрів. Прикладом таких задач, для рішення яких необхідно застосовувати модель системи з випадковими параметрами, є дослідження проходження сигналів в каналах контролю активної потужності двигунів електробурів. Можлива й комбінована модель – коли мають місце як випадкові величини, так і випадкові параметри збурення. Отже оператор кожної конкретної системи є реалізацією випадкового оператора системи. Якщо вважати, що оператор одномірної нелінійної системи є випадковим, то вихідну випадкову



функцію $Y(t)$ можна представити через вхідну випадкову функцію $X(\tau)$ у такому вигляді

$$Y(t) = A_{\tau}[t, X(\tau)], \quad (1)$$

де A_{τ} – випадковий оператор.

Якщо система лінійна і одномірна, то тоді вихідну змінну можна представити у вигляді

$$Y(t) = A_{\tau}(t), X(\tau). \quad (2)$$

Розглянемо властивості стохастичних вихідних сигналів та приклади нелінійної одномірної системи контролю активної потужності двигуна електробура, яка є складовою багатопараметричного засобу контролю крутного моменту на долоті [1,2]. Для створення цього каналу контролю використали серійний давач потужності типу Е-80 з основною похибкою вимірювання $\pm 1,5\%$, який приєднаний до системи електроспоживання "два проводи-труба" за допомогою серійних трансформаторів струму (кл.1,5) і напруги (кл.1,5), і реєструючий пристрій КСП-3 (кл. 0,5). Експериментальні дослідження проведені на свердловині Долинського УБР при бурінні електробуром Е240-8 ($N=210$ кВт, $U=1736$ В, $I_{\text{роб.}}=144$ А, $I_{\text{нх}}=107$ А, $n=690$ об/хв, $\text{ККД}=75\%$, $\cos\varphi=0,66$) в породах поляницької світи на глибині 2080-2089 м, долотом типу 295,3, ЗСЗ-ГВ з вставним твердосплавним оснащенням з осьовим навантаженням на долото $F=200$ кН.

Діаграми зміни потужності в часі $N(t)$ були використані для досліджень статистичних характеристик потоку сигналу від системи контролю. Діаграми обробляли за методикою викладеною в [2]. Довжина реалізації і частота дискретизації діаграм вибрана з умов:

$$T \geq (10 \div 20) T_{\text{нч}}, \quad \Delta t \leq 0,5 T_{\text{вч}},$$

де $T_{\text{нч}}$, $T_{\text{вч}}$ – періоди низькочастотних і високочастотних коливань сигналу, які визначені безпосередньо на діаграмі $N(t)$.

Для встановлення закону розподілу значень досліджуваного параметру була взята вибірка об'ємом 122 значень із діаграми $N(t)$ на ділянці стаціонарності. Весь проміжок між максимальним $N_{\text{max}}=240,1$ кВт і мінімальним $N_{\text{min}}=209,1$ кВт розділений на 9 інтервалів величиною

$$\Delta N = \frac{N_{\text{max}} - N_{\text{min}}}{1 + 3.322 \lg n} = 1,215 \text{ кВт.}$$

Визначили середні інтервали, на які розбита зона розсіювання, і частота m в цифрах для кожного інтервалу (табл.1).

Для графічного зображення емпіричного розподілу потужностей побудували гістограму (рис.1), яка зображає диференціальний закон розподілу випадкової величини $N(t)$.

Оскільки значення випадкової величини N_i задані тризначними цифрами і об'єм вибірки більше 25, розрахунки параметрів розподілу провели шляхом введення нової випадкової величини

$$N'_i = \frac{N_i - N_0}{\Delta N}, \quad (3)$$



де ΔN – величина інтервалу, кВт; N'_i – нова випадкова величина; N_0 – деяке початкове значення, за яке прийняли середину середніх значень N .

Таблиця 1 – Експериментальні дані побудови емпіричного розподілу

Частоти m для кожного інтервала	Нижня межа інтервалу	Верхня межа інтервалу
5	229,20	230,41
11	230,41	231,62
16	231,62	232,83
20	232,83	234,04
26	234,34	235,85
17	235,25	236,46
11	236,46	237,67

Авторська розробка

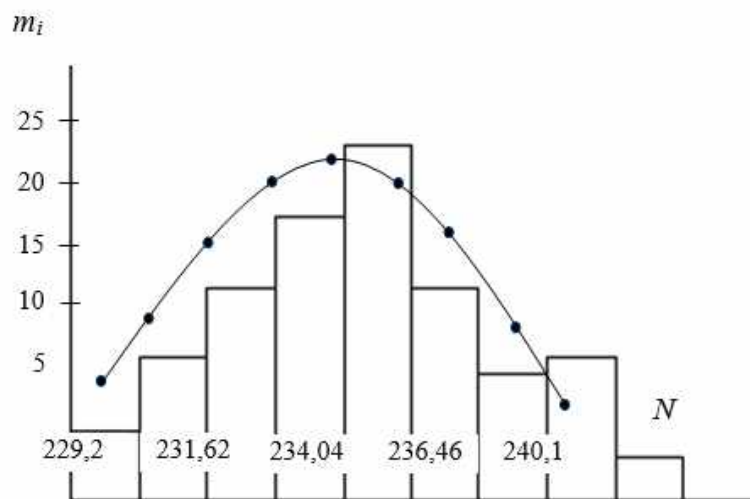


Рисунок 1 – Гістограма розподілу активної потужності електробура E240-8.

Джерело: [2]

Були обчислені початкові (q_1, q_2, q_3, q_4) і центральні моменти (m_2, m_3, m_4), які дорівнюють: $q_1 = -0,089$; $q_2 = 4,106$; $q_3 = -0,431$; $q_4 = 38,35$; $m_2 = q_2 - q_1^2 = 4,1$; $m_3 = q_3 - 3 q_1 q_2 + 2 q_1^3 = 0,67$; $m_4 = q_4 - 4 q_1 q_3 + 6 q_1^2 q_2^2 - 3 q_1^4 = 38,39$.

Визначена оцінка математичного сподівання

$$m_N = N_0 + q_1 \cdot \Delta N = 234,54 \text{ кВт};$$

емпіричне середнє квадратичне відхилення

$$S = \Delta N \left(q_2 - q_1^2 \right)^{1/2} = 2,45 \text{ кВт};$$

показники асиметрії

$$A = \frac{m_3}{\sqrt{m_2^3}} = 0,08$$



і ексцесу

$$E = \left(\frac{m_4}{m_2^2} \right) - 3 = -0,71 ,$$

розмах $R = N_{max} - N_{min} = 10.9$ кВт,
а також відношення розмаху R до середньоквадратичного відхилення S

$$\frac{R}{S} = \frac{10,9}{2,45} = 4,449 ,$$

яке є підставою для визначення показника Херста H_e , який дозволяє кількісно оцінити наявність хаотичної поведінки сигналу $N(t)$:

$$H_e = \ln 4,449 = 1,42.$$

Оскільки показник Херста $H_e > 1$, то можна стверджувати, що випадковий сигнал $N(t)$ має властивості хаосу. Враховуючи, що $A \neq 0$, $E \neq 0$ і розподіл близький до нормального, вирівнювання розподілу здійснено за допомогою нормальної кривої Лапласа-Шарльє. Розрахунок теоретичних значень вирівняних частот провели за формулою:

$$\varphi_{л-ш}(N) = \frac{n}{S} \left[\varphi(N) + A \frac{F_3(N)}{6} + E \frac{F_4(N)}{24} \right], \quad (4)$$

де n – кількість експериментальних точок; S – середнє квадратичне відхилення; $F_3(N), F_4(N)$ – похідні функції нормального розподілу; $\varphi(N)$ – функція нормального розподілу.

Таблиця 2 – Дані для побудови теоретичного розподілу

Кількість інтервалів, n	Частоти для кожного інтервалу	Теоретичні значення розподілу
1	16	14,21
2	16	15,87
3	20	20,34
4	26	22,11
5	17	20,65
6	11	16,04
7	17	12,51

Авторська розробка

Графік теоретичної кривої розподілу за законом Лапласа-Шарльє зображений на рис.1 точками. Проводимо порівняння теоретичної функції розподілу частот з емпіричною, користуючись критерієм узгодження Пірсона χ^2 . При великій кількості спостережень, як це має місце у нашому випадку, критерій χ^2 є найбільш ефективним, тому що він майже завжди відхиляє невірну гупотезу. Перш ніж робити наступні обчислення, об'єднали частоти, які зустрічаються менше 5 разів (табл.2).

Тоді кількість інтервалів порівнюваних частот (об'єднані частоти на кінцях приймаються за одну частоту) дорівнюватиме $n=7$. Аналогічні результати отримані для експериментів, проведених на різних глибинах при бурінні електробурами Е215-8м.



Для організації ефективного каналу контролю потужності на валі двигуна електробура, який функціонує за умов впливу різного типу завад, крім визначеного запасу розподілу Лапласа-Шарльє, треба визначити ще автокореляційну функцію $R_{NN}(k\Delta t)$, щоб мати інформацію про ергодичність сигналу $N(t)$, спектральну густину $S(\omega)$ і амплітудно-фазову функцію формуючого фільтру $W_\Phi(j\omega)$. На рис.2 наведено графік автокореляційної функції $R_{NN}(k\Delta t)$ для $\Delta t=0,84$ с і $k=0\dots 19$.

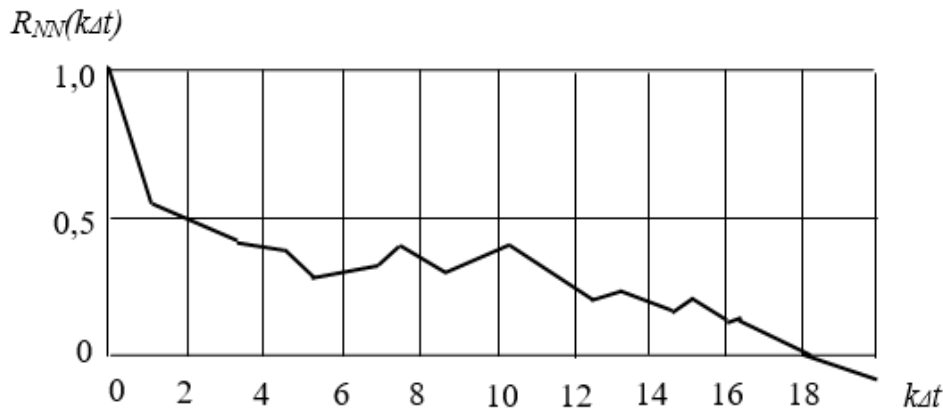


Рисунок 2 – Графік автокореляційної функції сигналу $N(t)$

Джерело: [4]

Бачимо, що автокореляційна функція потужності двигуна електробура $R_{NN}(t)$ має тенденцію до затухання, що характеризує буріння як ергодичний випадковий процес, обумовлений випадковими силами опору з боку розбурюваних порід, а також зміною властивостей гірських порід. Періодична складова характеризує процес буріння як не випадковий процес, обумовлений кінематикою бурового долота, м'якою підвіскою колони бурильних труб тощо.

Аналітичний вираз автокореляційної функції (рис.2), що отриманий апроксимацією за методом найменших квадратів, має такий вигляд:

$$R_{NN}(k\Delta t) = R_{NN}(x, \alpha, \beta, \gamma) = \exp(-\alpha |x|) \cos(\beta |x|) \cos(\gamma |x|),$$

де $\alpha = 0,15$; $\beta = -6,81 \cdot 10^{-7}$; $\gamma = 0,00025$; $x_k = k\Delta t$; $k = 0 \div 19$; $\Delta t = 0,84$ с.

Параметри рівняння: $\alpha = 0,95$; $\beta = -0,8$; $\gamma = 0,024$, максимальна похибка апроксимації 0,01. Максимальна похибка апроксимації $\delta = 0,094$. Аналогічний вираз для автокореляційної функції отримали для електробура типу Е215-8м з номінальною потужністю 125 кВт.

Враховуючи, що автокореляційна функція $R_{NN}(t)$ і спектральна густина $S_{NN}(\omega)$ вихідного сигналу функціонально зв'язані та те, що $S_{NN}(\omega)$ дорівнює добутку спектральної густини вхідного сигналу $S_{ex}(\omega)$ на квадрат амплітудно-фазової функції $W(j\omega)$ ланки або системи контролю $S_{NN}(\omega) = S_{ex}(\omega) \cdot |W(j\omega)|^2$, можна визначити бажану амплітудно-фазову функцію формуючого фільтру (давача): динамічної ланки, яка перетворює вхідний сигнал у вигляді білого шуму у вихідний сигнал із заданими статистичними характеристиками (рис.3).

Дійсно, якщо вважати, що на вході динамічної ланки діє білий шум з одиничною інтенсивністю, тобто $S_o(\omega) = 1$ при всіх значеннях частоти ω , тоді спектральна густина вихідного сигналу на виході формуючого фільтру ФФ буде дорівнювати $S_x(\omega) = 1 \cdot |W_\Phi(j\omega)|^2$. Звідси $W_\Phi(j\omega) = \sqrt{S_x(\omega)}$.

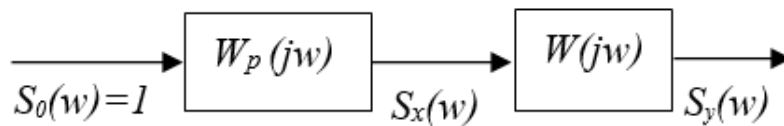


Рисунок 3 – Характеристики вхідних і вихідних сигналів лінійної динамічної ланки

Джерело: [4]

Висновок.

Було отримано бажану амплітудно-фазова функція $W_{\phi}(j\omega)$ формуючого фільтра (давача потужності) визначається як $[W_{\phi}(j\omega)]^2 = S_{NN}(\omega)$. Для одержання на виході формуючого фільтра вихідного сигналу з бажаною спектральною функцією, квадрат амплітудно-фазової функції формуючого фільтра повинен дорівнювати спектральній густині сигналу, який формується з білого шуму.

Література:

1. Бунчак, О. Дудар, О. Кекот, О. Турянський. Електробур, парадокси і реальність// Електроінформ. – 2003. – № 4. – С. 8-11.
2. Семенцова А.О. Автоматизований електропривід в нафтогазовій промисловості. Навч.посібник. – Івано- Франківськ: "Факел". - 2001. - 174 с.
3. ДСТУ 3258-95 (ГОСТ 15880-96). Електробури. Загальні технічні умови. Київ: Держстандарт України. – 2000. – 25 с.
4. Горбійчук М.І. Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин / М.І. Горбійчук, Г.Н. Семенцов. – Івано-Франківськ: Нова Зоря, 2003. – 493 с.
5. Електробури. Загальні технічні умови. ДСТУ 3258-12. К.: Держстандарт України, 2012. – 25 с.

Abstract. The paper will carry out a comprehensive analysis of the parameters of the output signals, including frequency, amplitude, time characteristics and other key indicators. The results of this study will contribute to the further improvement of automated control systems, ensuring the reliability and accuracy of measurements of the active power of electric drills. This can have practical applications in the field of mineral extraction, providing optimal operating conditions for electric drills and reducing maintenance costs.

Key words: electric drill, frequency control, power, amplitude characteristic, distribution law, Hurst index

Науковий керівник: к.т.н., доц. Шавранський М.В.

Стаття відправлена: 07.03.2024 г.

© Дмитрик Т.Б., Шавранський М.В.



УДК 681.511.46:681.515.622.24

OPTIMIZATION OF THE PARAMETERS OF DIGITAL FUZZY-REGULATORS**ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ЦИФРОВИХ FUZZY-РЕГУЛЯТОРІВ****Lahoida A. / Лагойда А.І.**

ORCID: 0000-0002-0862-7786

Mateik H. / Матеїк Г.Д.

0000-0003-0286-389X

Lahoida L. / Лагойда Л.І.

ORCID: 0000-0002-2328-8276

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 розглядаються проблеми, пов'язані з оптимізацією параметрів цифрових Fuzzy-регуляторів, зокрема в контексті високоточних систем автоматичного керування. Використовуються інноваційні методи та алгоритми для підбору оптимальних значень параметрів Fuzzy-логіки, що дозволяє покращити якість регулювання та знизити вплив зовнішніх чинників на систему.

Ключові слова: цифровий Fuzzy-регулятор, систем автоматичного керування, функція належності, критерій якості.

Вступ.

Оптимізація параметрів цифрових Fuzzy-регуляторів зосереджується на дослідженні та розвитку методів оптимізації параметрів Fuzzy-логіки для цифрових регуляторів. Fuzzy-системи вже довгий час використовуються в автоматичному керуванні для моделювання нечітких та нестійких систем. Однак ефективне налаштування параметрів Fuzzy-регуляторів є важливим завданням, що впливає на точність та швидкість реакції системи. Дослідження включає аналіз впливу різноманітних параметрів Fuzzy-регулятора на характеристики системи, розробку методів оптимізації та їх практичне застосування для підвищення продуктивності та стійкості автоматичного керування. Результати цієї роботи можуть мати значущий вплив на розвиток сучасних систем автоматичного керування, забезпечуючи оптимальні умови функціонування в умовах невизначеності та змін.

Основні дослідження.

Застосування нечіткого регулятора (НР) для керування різними об'єктами показує їх високу ефективність і в ряді випадків суттєві переваги перед лінійними цифровими регуляторами [1,2]. Основними параметрами цифрових НР, при яких відбувається їх синтез і розрахунок, є, кількість і форма функцій належності (ФН) $\mu^T(u)$ лінгвістичних величин і діапазони зміни вхідних і вихідної лінгвістичних змінних помилка системи θ , перша похідна помилки $\dot{\theta}$, друга похідна помилки $\ddot{\theta}$, керуючий вплив на об'єкт m , тобто $[\theta_{min}, \theta_{max}]$, $[\dot{\theta}_{min}, \dot{\theta}_{max}]$ і $[m_{min}, m_{max}]$.



Вибір ФН при синтезі НР для систем автоматичного керування (САК) має специфічні особливості, які обумовлені тим, що на вхід НР, як правило, поступають три лінгвістичні змінні: помилка системи θ , швидкість зміни (перша похідна) помилки $\dot{\theta}$, прискорення (друга похідна) помилки $\ddot{\theta}$, які якісно можна охарактеризувати (за допомогою спрощення розрахунків), наприклад негативна -1 , позитивна $+2$.

Ці терм-множини описуються на універсальній множині U відповідно двома ФН: $\mu^1(u)$ і $\mu^2(u)$. ФН визначає степінь належності кожного елементу u множині U числом між 0 і 1 , яке називають степенем істинності даної лінгвістичної змінної даному терму. Тому функції $\mu^1(u)$ і $\mu^2(u)$ повинні бути симетричними одна відносно одної і перетинатися при $u = 0,5$. Крім того, функція $\mu^1(u)$ повинна бути спадаючою, а $\mu^2(u)$ - зростаючою.

Із врахуванням вищезазначеного можна записати наступні аналітичні вирази, які часто використовуються на практиці ФН для вхідних лінгвістичних змінних при проектуванні цифрових НР САК:

- для трикутних ФН:

$$\begin{aligned} \mu^1(u) &= u / c, 0 \leq u \leq c; \\ \mu^1(u) &= (1 - c - u) / (1 - 2c), c \leq u \leq 1 - c; \\ \mu^1(u) &= 0, 1 - c \leq u \leq 1; \\ \mu^2(u) &= 0, 0 \leq u \leq c; \\ \mu^2(u) &= (u - c) / (1 - 2c), c \leq u \leq 1 - c; \\ \mu^2(u) &= (1 - u) / c, 1 - c \leq u \leq 1; \end{aligned} \quad (1)$$

- для трапецеєвидних ФН:

$$\begin{aligned} \mu^1(u) &= 1, 0 \leq u \leq c; \\ \mu^1(u) &= (1 - c - u) / (1 - 2c), c \leq u \leq 1 - c; \\ \mu^1(u) &= 0, 1 - c \leq u \leq 1; \\ \mu^2(u) &= 0, 0 \leq u \leq c; \\ \mu^2(u) &= (u - c) / (1 - 2c), c \leq u \leq 1 - c; \\ \mu^2(u) &= 1, 1 - c \leq u \leq 1; \end{aligned} \quad (2)$$

(у формулах (1) і (2) параметром c можна варіювати в межах $0 \leq c \leq 0,49$;

При $c = 0$ $\mu^1(u) = (1 - u)$, $\mu^2(u) = u$, $0 \leq u \leq 1$;

- для піднесених в степінь трикутних ФН:

$$\mu^1(u) = (1 - u)^c, \quad \mu^2(u) = u^c. \quad (3)$$

- для дзвоноподібних ФН:

$$\mu^1(u) = \frac{1}{1 + \left(\frac{u}{c}\right)^2}, \quad \mu^2(u) = \frac{1}{1 + \left(\frac{u-1}{c}\right)^2}. \quad (4)$$



- для гаусових ФН

$$\mu^1(u) = \exp\left[-\frac{u^2}{2c^2}\right], \quad \mu^2(u) = \exp\left[-\frac{(1-u)^2}{2c^2}\right]. \quad (5)$$

- для експоненціальних ФН:

$$\mu^1(u) = \exp(-cu), \quad \mu^2(u) = \exp[-c(1-u)]. \quad (6)$$

ФН, які аналітично визначаються формулами (3)- (6), мають лише один параметр – коефіцієнт c , яким можна варіювати при налаштуванні НР, що влаштовує з практичної точки зору.

Для вихідної лінгвістичної змінної – керуючого впливу на ОК m можна використовувати такі ж ФН, як і для вхідних лінгвістичних змінних.

Як приклад на рис.1 показані експоненціальні ФН на універсальній множині і діапазони змінних, а також результуюча ФН (жирна лінія) для конкретних змінних. Результуючу ФН отримують як правило «мінімаксім» методом, а розрахунок абсциси «центру тяжіння» $s_c = S(u_c, \mu_c)$ ділянки площі, що охоплена результуючою ФН $\mu(u)$ в межах зміни змінної u від $u = U_1$ до $u = U_2$, зручно виконувати, використовуючи чисельне інтегрування за методом трапецій (з кроком дискретизації u_0), за формулою:

$$u_c = \frac{\frac{U_1 \mu_0}{2} + \sum_{i=0}^{M-1} u_i \mu_i + \frac{U_2 \mu_M}{2}}{\frac{\mu_0}{2} + \sum_{i=0}^{M-1} \mu_i + \frac{\mu_M}{2}}, \quad (7)$$

де $(U_2 - U_1) / M = u_0$ – крок дискретизації, M – число дискретне інтервалі $U_2 - U_1$, $i = 1, 2, 3, \dots, M - 1$.

При визначенні результуючої ФН необхідно абсциси точок перетину ФН нечітких підмножин (наприклад, термів позитивни-1, негативний-2) з горизонтальними прямими. Найбільш просто це виконати для трикутних ФН.

Для ФН виду: $\mu^1(u) = (1-u)^2$, $\mu^2(u) = u^2$ $u \in [0, 1]$ – абсциси точок перетину визначаються як: $u^* = 1 - \sqrt{\mu^1(u^*)}$ і $u^* = 1 - \sqrt{\mu^2(u^*)}$.

Для ФН дзвоноподібного виду:

$$\mu^1(u) = \frac{1}{1 + (u/c)^2}, \quad \mu^2(u) = \frac{1}{1 + \left(\frac{u-1}{c}\right)^2}, \quad u \in [0, 1],$$

абсциси точок перетину визначаються як:

$$u^* = c \times \sqrt{\frac{1}{\mu^1(u^*)} - 1} \quad \text{і} \quad u^* = 1 + c \times \sqrt{\frac{1}{\mu^2(u^*)} - 1}. \quad (8)$$

Для гаусових ФН виду (8) абсциси точок перетину визначаються як:

$$u^* = c \sqrt{-2 \ln \mu^1(u^*)} \quad \text{і} \quad u^* = 1 - c \sqrt{-2 \ln \mu^2(u^*)}. \quad (9)$$

Для експоненціальних ФН виду:

$$\mu^1(u) = e^{-cu}, \quad \mu^2(u) = e^{-c(1-u)}, \quad u \in [0, 1],$$



абсиси точок перетину визначаються як:

$$u^* = -\frac{1}{c} \ln \mu^1(u^*) \quad i \quad u^* = 1 + \frac{1}{c} \ln \mu^1(u^*). \quad (10)$$

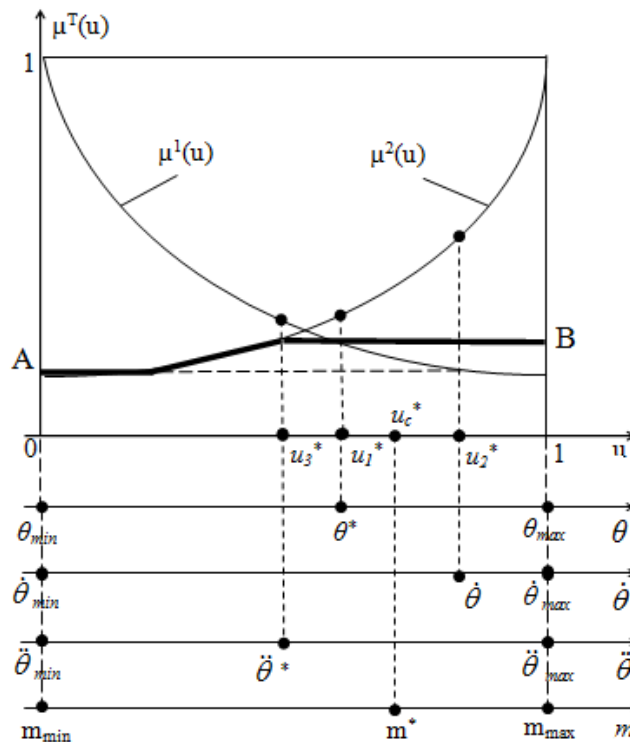


Рисунок 1 - Експоненціальні ФН на універсальній множині змінних з результуючою ФН (лінія АВ)

Джерело: [2]

Остаточний вибір ФН для НР в САК можливий лише при оптимізації основних параметрів регулятора (діапазонів зміни ЛЗ, форми і параметрів ФН лінгвістичних величин).

При оптимізації параметрів цифрових регуляторів необхідно задавати критерій якості і функції впливу (керуючий і/або збурюючий вплив) на систему. Найбільш часто використовують один із квадратичних критеріїв якості, наприклад:

$$J = \frac{1}{L} \sum_{v=0}^{L-1} \theta_v^2 \Rightarrow \min, \quad (11)$$

де помилка системи θ_v обчислюється з кроком моделювання h_0 , а число L визначає інтервал спостереження.

Оптимальні параметри відповідають мінімальному значенню критерію якості, а мінімізація критерію якості автоматично приводить до оптимізації перехідних процесів в САК. Можна використовувати різні алгоритми умовної і безумовної оптимізації.

Розглянемо САК (рис.2) з цифровим НР і нестационарним ОК, «заморожена» ПФ якого визначається формулою: $G(s) = \frac{\alpha(s)}{m(s)} \frac{\alpha}{s(s^2 + bs + a)}$.

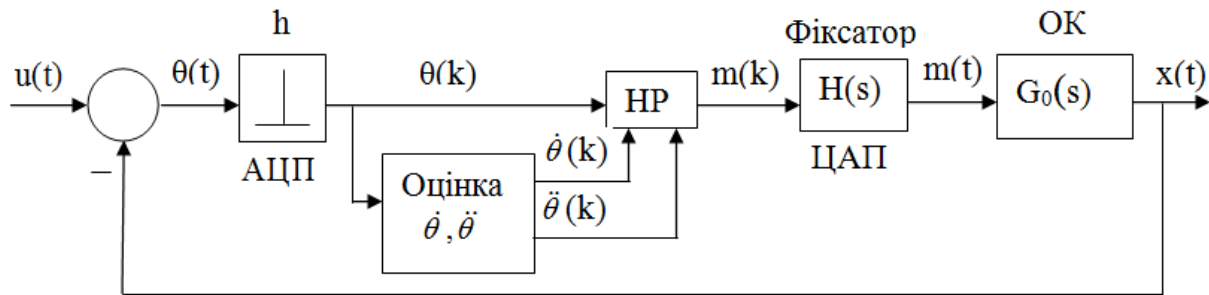


Рисунок 2 – Структурна схема САК з нечітким регулятором

Джерело: [2]

Припустимо, що синтез НР виконаний при заданих законах зміни параметрів функції передачі ОК, вхідного впливу і трикутних ФН. При цьому вибрані без оптимізації (налаштування «вручну») діапазони зміни вхідних і вихідних параметрів НР (діапазони зміни змінних θ , $\dot{\theta}$, $\ddot{\theta}$, m) визначаються:

$$\begin{aligned} [\theta_{min}, \theta_{max}] &= [-1,02; 1,02], & [\dot{\theta}_{min}, \dot{\theta}_{max}] &= [-4; 4], \\ [\ddot{\theta}_{min}, \ddot{\theta}_{max}] &= [-24; 24] \text{ I } [m_{min}, m_{max}] &= [-1, 1]. \end{aligned} \quad (12)$$

Крок квантування в цифровому НР $h = 0,01\text{с}$, крок моделювання $h_0 = 0,0005\text{с}$. Квадратичний критерій якості має показник: $J = 0,021$.

Після оптимізації отримуємо наступні діапазони зміни вхідних і вихідних параметрів НР (діапазони зміни змінних θ , $\dot{\theta}$, $\ddot{\theta}$, m):

$$\begin{aligned} [\theta_{min}, \theta_{max}] &= [-1,02; 1,02], & [\dot{\theta}_{min}, \dot{\theta}_{max}] &= [-2,75; 2,75], \\ [\ddot{\theta}_{min}, \ddot{\theta}_{max}] &= [-16,52; 16,52] \text{ I } [m_{min}, m_{max}] &= [-1, 1]. \end{aligned} \quad (13)$$

Квадратичний критерій якості має показник: $J = 0,0168$.

Можна використати різні форми ФН (3)–(6) і, варіюючи одночасно коефіцієнтом c і діапазонами зміни вхідних і вихідних параметрів (діапазони зміни змінних θ , $\dot{\theta}$, $\ddot{\theta}$, m), визначати мінімальне значення показника J .

Проведені розрахунки методом Хука-Дживса з використанням формул (12) і (13) дають наступні результати. Метод Хука-Дживса використовується для пошуку мінімуму (або максимуму) функції. Цей метод належить до класу безпосередніх методів, де величини зміщення (шаги) обчислюються без використання похідних функції [6]. Найбільше із мінімальних значень показника J одержується при використанні ФН, які визначаються за формулою (3.36), при наступних параметрах цифрового НР: $c = 10^{-4}$;

$$\begin{aligned} [\theta_{min}, \theta_{max}] &= [-1,02; 1,02], & [\dot{\theta}_{min}, \dot{\theta}_{max}] &= [-2,14; 2,14], \\ [\ddot{\theta}_{min}, \ddot{\theta}_{max}] &= [-22,23; 22,23] \text{ i } [m_{min}, m_{max}] &= [-1, 1]. \end{aligned}$$

Квадратичний критерій якості має показник: $J = 0,0197$.

Найменше із мінімальних значень показника J одержується при використанні експоненціальних ФН, які визначаються за формулою (7) і (8), при наступних параметрах цифрового НР: $c = 72,5$;

$$\begin{aligned} [\theta_{min}, \theta_{max}] &= [-1,02; 1,02], & [\dot{\theta}_{min}, \dot{\theta}_{max}] &= [-3,75; 3,75], \\ [\ddot{\theta}_{min}, \ddot{\theta}_{max}] &= [-22,98; 22,98] \text{ i } [m_{min}, m_{max}] &= [-1, 1]. \end{aligned}$$

Квадратичний критерій якості має показник: $J = 0,0136$.

Таким чином, для розглянутої САК експоненціальні ФН є найкращими при



вибраному критерію якості. З метою вибору оптимальних параметрів fuzzy-регуляторів із конкретних об'єктів керування слід проводити розрахунки із різних ФН і, використовуючи оптимізаційні програми, вибрати ФН, при яких обчислений показник якості J є мінімальним.

Висновок. Було отримано алгоритм безумовної оптимізації методом Хука-Дживса параметрів fuzzy-регуляторів САК нестационарним ОК за допомогою програм Opt_HD та продемонстровано результати дослідження точності відпрацювання САК із НР заданого закону зміни вхідного впливу. Оптимізація параметрів приводить до значного покращення якості СУ, яке характеризується величиною поточної помилки і чисельно визначається показником J . Також досліджено та розроблено ефективні методи оптимізації параметрів цифрових Fuzzy-регуляторів, спрямовані на підвищення продуктивності та стійкості автоматичного керування. Одержані результати свідчать про важливість впровадження інноваційних підходів до налаштування Fuzzy-систем в умовах невизначеності та змінних параметрів систем.

Література:

1. Семенцов Г.Н. Автоматизація неперервних технологічних процесів. Регулятори: [навч. посібн.]. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. 2016. 201 с.
2. Горбійчк М.І. Математичні методи оптимізації: [навч. посіб.]. Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу. — Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2018. — 302 с.
3. Лагойда А.І. Використання багатопараметричного регулятора для складних технологічних об'єктів / Нафтогазова нерететика. 2014. №1(21). С. 94-100.
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>.
5. Busher V., Aldairi A. Synthesis and technical realization of control systems with discrete fractional integral-differentiating controller [Text]/ Eastern/European Journal of Enterprise Technologies. ISSN 1729-3774. Industry Control System. Kharkov: PC Technology Center, 2018. Vol/2, № 4(94). 2018. P. 63-71.
6. Hooke, R., Jeeves, T.A. (1961). "Direct Search Solution of Numerical and Statistical Problems". Journal of the ACM, № 8(2). – С. 212-229.

Abstract. *The paper considers the problems related to the optimization of the parameters of digital Fuzzy controllers, in particular in the context of high-precision automatic control systems. Innovative methods and algorithms are used to select the optimal values of fuzzy logic parameters, which allows to improve the quality of regulation and reduce the influence of external factors on the system. In the work, the main attention is paid to the use of innovative methods and algorithms for the effective selection of optimal values of fuzzy logic parameters. The application of these methods is determined not only by pragmatic aspects, such as increasing the accuracy of regulation, but also by the ability to reduce the influence of external factors that may occur in real operating conditions.*

Keywords: *digital fuzzy controller, automatic control systems, membership function, quality criterion.*

Стаття відправлена: 12.03.2024 р.

© Лагойда А.І., Матеїк Г.Д.,
Лагойда Л.І., Зварич Г.Г.



УДК 004.9:004.9:336.71

RESEARCH AND OPTIMIZATION OF TEST DESIGN IN THE DEVELOPMENT OF BANKING SYSTEMS ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕСТ ДИЗАЙНУ ПРИ РОЗРОБЦІ БАНКІВСЬКИХ СИСТЕМ

Samofalova H.M. / Самофалова Г.М.

QA engineer /інженер з розробки nf тестування програмного забезпечення

ORCID: 0009-0006-7238-2134

*TestMatick, Cherkasy, Priportova 42/1, 18021**Компанія TestMatick-Україна, Черкаси, вул. Прупортова, 42/1, 18021*

Kalyta N.I. / Калига Н.І.

k.t.s., as.prof. /к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0001-6181-732X

*Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, Nauky Ave, 14, 61166**Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, пр. Науки, 14, 61166*

Анотація. У статті розглянуто створення оптимального тест плану для тестування електронної банківської системи. Банківські системи є надскладними за архітектурою, вимогами до захисту інформації, інтеграцією з платіжними системами, що обумовлює жорсткі вимоги до якості тестування таких застосунків. На основі аналізу видів, методів та технік тестування розроблено оптимальний тестовий план із атомарних тест-кейсів, проведено його апробацію на прототипі застосунку. Порівняння мануального та автоматизованого тестування дозволяє зробити висновок у доцільності використання стратегії комбінованого тестування розглянутого класу інформаційних систем.

Ключові слова: методи тестування, електронні банківські системи, оптимальний тест план, тест кейс.

Вступ.

Діджиталізація є одним із найважливіших процесів у сучасному світі, адже інформаційні технології знаходяться в активному стані розвитку та впровадження у людське життя. Одним із прикладів діджиталізації є розробка електронних банківських систем (ЕБС). ЕБС забезпечують можливість виконання фінансових операцій за допомогою мобільних застосунків або веб-сайтів, що є суттєво вищим рівнем обслуговування клієнтів без обов'язкової особистої присутності у відділенні банку. Заощаджується час і клієнтів, і персоналу, зокрема стає доступним моніторинг рахунків, проведення різних платежів. Але такі системи є дуже складними у розробці та подальшому їх супроводу, до них висуваються підвищені вимоги щодо надійності зберігання даних, конфіденційності обробки персональних даних, швидкості та захищеності передачі транзакцій тощо.

Тестування є невід'ємним етапом у системному проектуванні та створенні будь-яких інформаційних систем різного рівня складності, а для банківських систем до того ж не є простою задачею, потребує ретельного планування та вимагає від фахівця з тестування певного досвіду і компетентності, оскільки банківські системи мають особливості, які роблять їх надскладними [1, 2]:

– складна архітектура та велика кількість функціональностей, що потребує глибокого аналізу та тестування кожного її елемента;



- необхідність забезпечувати захист персональних даних клієнтів, оскільки будь-які вразливості можуть привести до серйозних наслідків;
- інтеграція з іншими системами, наприклад, з платіжними.

Зважаючи на жорсткі вимоги до ЕБС у різних аспектах і, як наслідок, велику трудомісткість тестування, актуальною є задача створення ефективних тестових планів для перевірки якості застосунків, що виходять на ринок.

Тест-дизайн – це процес створення плану тестування, який включає в себе вибір тестових випадків та встановлення критеріїв їх виконання [3]. Ефективність та якість тестування обумовлена вибором таких тестових кейсів (сценаріїв), які забезпечують тестування всіх функцій та можливостей програми, тобто дають максимальне покриття програмного забезпечення без використання надлишкових тестів.

Мета дослідження.

Метою дослідження є оптимізація тест-дизайну при розробці електронних банківських систем. В рамках поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі: виконати структурно-функціональний аналіз ЕБС, визначити критерії ефективності тестування застосунку, сформулювати задачу оптимізації тест-дизайну, розробити оптимальний тестовий ран із атомарних тест-кейсів, провести його апробацію на прототипі застосунку.

Аналіз сучасних підходів до тестування програмних систем

Аналіз видів, методів та технік тестування за наперед визначеною класифікацією дозволяє впорядкувати їх та обрати необхідні підходи, що можуть бути використані при розробці тест дизайну для електронної банківської системи. Видів та технік тестування існує досить багато, кожен з них має певні передумови, призначення, і тому запропоновані їх класифікації за різними ознаками [4]: за знанням внутрішньої системи, за об'єктом тестування, за часом та способом його проведення, за критерієм позитивності тощо. Зважаючи на важливість етапу тестування та його ресурсоемність, розроблено достатньо велику кількість інструментальних засобів, які застосовуються для [5]:

- автоматизованого тестування (наприклад, Selenium);
- тестування безпеки;
- тестування навантаження;
- тестування користувачького інтерфейсу;
- контролю якості;
- генерації даних.

В залежності від мети та рівня тестування для досягнення кращих результатів зазвичай не обмежуються одним підходом, а сумісно використовують декілька.

Основний матеріал дослідження.

Тест план, що покриє тестування всієї електронної банківської системи, можемо визначити на основі аналізу функцій та взаємодії її складових.

Основними складовими електронної банківської системи є [1]:

1. *Інтерфейс користувача.* Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс надає можливість користувачам легко взаємодіяти з системою. Клієнтська частина електронної банківської системи включає в себе різноманітні засоби доступу до



банківських послуг, такі як мобільні застосунки, веб-сайти банків, термінали самообслуговування та картки клієнтів.

2. *База даних*. Розробка та підтримка бази даних необхідна для забезпечення та зберігання всієї інформації, пов'язаної з клієнтами, їхніми рахунками, транзакціями та іншою інформацією, що стосується банківської діяльності.

3. *Системи авторизації та ідентифікації*. Розробка та впровадження такої системи забезпечує ідентифікацію та авторизацію користувачів. Для ЕБС вона повинна мати високу надійність та безпеку.

4. *Механізми безпеки*. Ці механізми використовують шифрування та інші методи захисту даних в процесі обміну інформацією між клієнтами та банком. Мають на меті захистити конфіденційну інформацію клієнтів та уникнути шахрайства та крадіжок.

5. *Технічна підтримка*. Вона повинна забезпечувати належну технічну підтримку клієнтів, включаючи допомогу із встановленням та налаштуванням програмного забезпечення, забезпеченням інформації про доступні функції та послуги, а також із допомогою з усуненням технічних помилок і проблем, які виникають під час роботи в ЕБС.

6. *Системи звітності та аналітики*. Це інструменти, які дозволяють збирати, аналізувати та відображати інформацію про фінансові операції та поведінку клієнтів в електронних банківських системах. Результати аналізу таких даних використовуються у прийнятті рішень щодо вдосконалення пропонуванних продуктів та послуг, а також в забезпеченні високого рівня безпеки та захисту від шахрайства.

7. *Комунікаційні мережі*. Це системи, що забезпечують передачу інформації між різними компонентами електронної банківської системи, включаючи сервери, комп'ютери клієнтів та інші пристрої. Ці мережі дозволяють банку підтримувати зв'язок з клієнтами, обмінюватися даними та забезпечувати віддалений доступ до банківських послуг.

Виходячи з (не)функціональних вимог до складових ЕБС, мети та методів тестування, розробляється тестовий дизайн.

Ціль тестування: спочатку необхідно чітко визначити ціль тестування – це може бути перевірка функціональності, продуктивності, безпеки або інших аспектів програмного продукту чи системи.

Вибір методу тестування: залежно від типу програмного продукту можуть використовуватися різні методи тестування – модульне тестування, інтеграційне тестування, системне тестування тощо.

(Не)функціональні вимоги до складових ЕБС: на основі вимог до складових системи створюються тестові сценарії, які мають бути чіткими і повними, щоб покрити різні аспекти програмного продукту і перевірити його відповідність вимогам.

Оптимізація тест-дизайну включає в себе покращення створення тест-кейсів, що потенційно знижує кількість пропущених помилок, підвищує ефективність та забезпечує високу якість продукту.

Таким чином, тестування ЕБС ставить за мету перевірку критично важливих аспектів системи, а саме:



1) функціональність: перевірити правильність виконання функцій застосунку, таких як переказ коштів між рахунками, оплата послуг та товарів, додавання та видалення користувачів тощо;

2) надійність: перевірити стійкість до різних за обсягом та валідністю вхідних даних та сценаріїв використання, зокрема під час одночасного навантаження системи багатьма користувачами;

3) безпека: перевірити, що застосунок забезпечує конфіденційність персональних даних користувачів;

4) відповідність UI/UX вимогам.

Очікуваний результат тестування – визначення помилок та відмов у застосунку для їх подальшого виправлення.

Критерієм ефективності тест дизайну є максимальне покриття критично важливих аспектів системи при обмеженнях на час тестування та кількість QA інженерів, що визначається рамками спринтів проекту (зазвичай подібні проекти розробляються за гнучкою методологією), і задача оптимізації тест дизайну полягає у виборі такої множини тест кейсів, щоб максимально охопити тестуванням програмний застосунок:

$$E = \max_{T_f, T_r, T_s, T_i \in T} G[F(T_f), R(T_r), S(T_s), I(T_i)] \quad (1)$$

при
$$\sum_{i=1} t_i \leq t_{\max}, \sum_{i=1} p_i \leq p_{\max}, \quad (2)$$

де T_f, T_r, T_s, T_i - множини тестових кейсів для тестування функціональності, надійності, безпеки та UI/UX відповідно з всієї можливої множини тестів T , причому кожен тест кейс потребує для виконання певного часу та задіяння певної кількості QA інженерів:

$$T_i = \langle t_i, p_i \rangle. \quad (3)$$

Апробація тестового дизайну.

Для апробації тестового дизайну необхідно створити банківський застосунок, який складається з трьох частин: форма заповнення, власний кабінет користувача та власний кабінет адміністратора.

Банківська система складається з трьох глобальних елементів: форма заповнення, банківський застосунок для клієнтів, банківський застосунок для співробітників. Бізнес потік системи складається з наступних кроків:

а) клієнт заповнює форму;

б) реєструється в банківському акаунті;

в) відкриває необхідні рахунки;

г) створює кредитні картки;

д) проводить транзакції;

е) адміністратор створює статистичну звітність та проводить моніторинг транзакції за особливих умов.

Банківська система знаходиться на етапі випуску першого білда, що потребує проведення тестування основних аспектів системи для її визначення працездатності та виявлення критичних дефектів для їх подальшого усунення, а саме – димного тестування.



Димне тестування (Smoke test) – це один з основних методів тестування, який зазвичай проводиться перед початком більш широкого тестування. Його основна мета – перевірити, чи є мінімальний прийнятний рівень якості в програмному забезпеченні, щоб відпустити його на більш широкі тести [6]. Воно проводиться зазвичай після кожної нової збірки програмного забезпечення. Цей процес охоплює тестування ключових функціональних можливостей програми, щоб перевірити, чи відповідає вона мінімальним вимогам до якості. Іншими словами, тут відбувається валідація того, що критично важливі частини функціональності системи працюють згідно з вимогами.

Якщо Smoke тестування успішно пройшло, то програмне забезпечення може бути відправлене на більш широке тестування. Якщо ж тестування не пройшло успішно, то розробники повинні виправити помилки, перевірити програмне забезпечення ще раз і повторити Smoke тестування [5].

Поєднання мануального та автоматизованого тестування використовується також для збільшення ефективності пошуку критичних дефектів системи. Мануальне тестування допомагає виявити недоліки, пропущені при автоматизованому тестуванні. Автоматизоване тестування, з іншого боку, може допомогти знизити час і витрати, пов'язані з повторенням однакових тестів. Одночасне проведення мануального та автоматизованого тестування покращує ефективність процесу тестування. Автоматизоване тестування може виконувати тести, які вимагають багато часу та повторення, тоді як мануальне тестування може зосередитися на складних випадках.

Відповідно до обраного підходу тестування необхідно сформулювати наступні тест кейси:

1. Тестування обробки форми заповнення:
 - а) перевірка процесу проходження форми заповнення;
 - б) перевірка валідації полів у формі заповнення.
2. Тестування реєстрації/авторизації користувача:
 - а) перевірка процесу реєстрації клієнта;
 - б) перевірка процесу авторизації клієнта;
 - в) перевірка процесу авторизації адміністратора.
3. Тестування функцій операцій з рахунками:
 - а) перевірка процесу відкриття рахунку;
 - б) перевірка транзакцій між рахунками;
 - в) перевірка історії операцій з рахунком;
4. Тестування дизайну:
 - а) перевірка UI/UX відповідності форми заповнення;
 - б) перевірка UI/UX відповідності акаунту клієнта;
 - в) перевірка UI/UX відповідності акаунту адміністратора.
5. Тестування звітності:
 - а) перевірка можливості генерації звітів про операції між рахунками;
 - б) перевірка можливості генерації звітів про статистичні дані.
6. Тестування коректності відображення даних:
 - а) перевірка коректності відображення даних про рахунки;
 - б) перевірка коректності відображення даних про транзакції;



в) перевірка коректності відображення інформації про дані користувача.

На основі попереднього аналізу методів тестування та визначення його цілей були створені тест кейси для повного покриття критичного функціоналу банківського застосунку (таблиця 1).

Таблиця 1 – Перелік створених тест кейсів

Тест кейс	Зміст тест кейсу
ТС11	Перевірка наявності усіх необхідних елементів на форму заповнення, необхідних для повноцінної реєстрації клієнта (поля, підказки, веб сторінки, вибір продукту і т.д.)
ТС12	Перевірка роботи функціоналу форми заповнення у випадку виконання негативних сценаріїв (введення невалідних даних під час проходження)
ТС21	Перевірка функціоналу створення нового акаунта (його конвертації) після проходження форми заповнення
ТС22	Перевірка функціоналу авторизації клієнта у свій кабінет
ТС23	Перевірка функціоналу авторизації адміністратора у свій кабінет
ТС31	Перевірка функціоналу відкриття нових рахунків клієнтом
ТС32	Перевірка функціоналу проведення внутрішніх транзакцій між рахунками клієнта
ТС33	Перевірка правильного відображення історії проведених транзакцій у власному кабінеті клієнта
ТС41	Перевірка відповідності UI дизайну розробленої форми заповнення до дизайну представленого в Figma
ТС42	Перевірка відповідності UI дизайну розробленого персонального кабінету клієнта до дизайну представленого в Figma
ТС43	Перевірка відповідності UI дизайну розробленої персонального кабінету адміністратора до дизайну представленого в Figma
ТС51	Перевірка функціональності створення звітів з проведених транзакцій за певний час
ТС52	Перевірка функціональності створення статистичних звітів
ТС61	Перевірка правильності відображення даних про відкриті рахунки клієнта, які йому доступні
ТС62	Перевірка правильності відображення даних про проведенні транзакції поточним клієнтом, які йому доступні
ТС63	Перевірка правильності відображення даних клієнта, які доступні як тільки для перегляду, так і для редагування

Авторська розробка

Результати проведеного мануального тестування наведені у таблиці 2.

Результати проведеного автоматизованого тестування наведені у таблиці 3.



Таблиця 2 – Результати проведення мануального тестування

Тест кейс	Результат	Час проведення
ТС11	Пройдено успішно	~ 7 хв
ТС12	Пройдено успішно	~ 5 хв
ТС21	Пройдено успішно	~ 10 хв
ТС22	Пройдено успішно	~ 3 хв
ТС23	Пройдено успішно	~ 3 хв
ТС31	Пройдено успішно	~ 3 хв
ТС32	Пройдено успішно	~ 10 хв
ТС33	Пройдено успішно	~ 10 хв
ТС41	Провалено Причини: 1. Кнопка «Далі» не стає активною при повному заповненні сторінки 2. Обов'язкові для заповнення поля не відмічені знаком «*»	~ 10 хв
ТС42	Провалено Причини: 1. Опції «гамбургер» меню не мають іконок ліворуч 2. Деякі елементи не вирівняні відповідно до Figma	~ 10 хв
ТС43	Провалено Причини: 1. Опції «гамбургер» меню не мають іконок ліворуч 2. Деякі елементи не вирівняні відповідно до Figma	~ 10 хв
ТС51	Пройдено успішно	~ 15 хв
ТС52	Пройдено успішно	~ 15 хв
ТС61	Пройдено успішно	~ 10 хв
ТС62	Пройдено успішно	~ 10 хв
ТС63	Пройдено успішно	~ 10 хв

Авторська розробка

Таблиця 3 – Результати проведення автоматизованого тестування

Тест кейс	Результат	Час проведення
ТС11	Пройдено успішно	~ 3 хв
ТС12	Пройдено успішно	~ 3 хв
ТС21	Пройдено успішно	~ 5 хв
ТС22	Пройдено успішно	~ 1 хв
ТС23	Пройдено успішно	~ 1 хв
ТС31	Пройдено успішно	~ 1 хв
ТС32	Пройдено успішно	~ 3 хв
ТС33	Пройдено успішно	~ 3 хв
ТС41	не підтримується	—



ТС42	не підтримується	–
ТС43	не підтримується	–
ТС51	Пройдено успішно	~ 5 хв
ТС52	Пройдено успішно	~ 5 хв
ТС61	Провалено Причина: помилка при підключення до БД	~ 5 хв
ТС62	Провалено Причина: помилка при підключення до БД	~ 5 хв
ТС63	Провалено Причина: помилка при підключення до БД	~ 5 хв

Авторська розробка

Аналіз результатів дослідження.

Порівняння результатів проведених мануального та автоматизованого тестувань наведено у таблиці 4.

Таблиця 4 – Порівняння результатів тестування

Вид тестування	Мануальне	Автоматизоване
Загальний час проведення	~ 2 год 21 хв	~ 45 хв
Середній час проведення тест кейсу	~ 8.3 хв	~ 4.5 хв
Кількість пройдених тест кейсів	17	10
Кількість провалених тест кейсів	3	0
Кількість зіпсованих тест кейсів	0	6 (обрив з'єднання з БД – 3, не підтримується – 3)

Авторська розробка

Мануальне тестування та автоматизоване тестування – це дві різні стратегії тестування програмного забезпечення, кожна з яких має свої переваги та недоліки.

Виходячи з отриманих результатів можна зробити висновок, що автоматизоване тестування значно швидше за мануальне, тому що автоматизовані тести можуть бути запуснені без перерв на відпочинок та виконуються на швидкості комп'ютера. Мануальне тестування потребує часу на підготовку, виконання тестів та запису результатів.

Мануальне тестування зазвичай є більш гнучким, оскільки може бути змінене та адаптоване в залежності від потреб та вимог користувача. Автоматизоване тестування може бути менш гнучким, оскільки тести часто створюються для конкретних сценаріїв та вимог. Мануальне тестування може бути більш відповідним вимогам користувача, оскільки тести базуються на досвіді користувача та його потребах. Автоматизовані тести можуть бути створені на основі вимог, але вони можуть бути менш ефективними у випадках, коли вимоги змінюються.



Отже, як бачимо, обидві стратегії тестування мають свої переваги та недоліки, і їх вибір залежить від конкретного проекту та його потреб. Найкраще є використовувати комбінацію обох методів для досягнення найкращого результату тестування. Мануальне тестування може бути використане для тестування нових функцій та ручного тестування користувача, тоді як автоматизоване тестування може бути використане для швидкого виконання багатьох тестів з високою точністю та вартістю.

Також, метод Smoke тестування дозволив знайти критичні проблеми тестованого застосунку, використовуючи мінімальний набір тестових кейсів, оскільки таке тестування спрямоване на швидке виявлення серйозних проблем або критичних помилок, що можуть призвести до недоступності основних функціональних можливостей системи. Це дозволяє забезпечити мінімальний рівень стабільності перед подальшими тестами. Обмежений набір тест-кейсів, спрямованих на перевірку основних функціональностей системи, дозволяє ефективно використовувати ресурси тестувальників, час і зусилля, оскільки вони зосереджуються на найважливіших аспектах програмного забезпечення. Smoke тестування допомагає забезпечити базовий рівень якості, перевіряючи, чи виконуються основні функції та функціональні вимоги системи. Це важливо для того, щоб упевнитися, що система готова до подальшого тестування та використання.

Висновки.

Було розглянуто задачу тестового дизайну та його оптимізації при розробці електронних банківських систем. На основі аналізу функцій таких систем та взаємодії їх складових, аналізу методів тестування були визначені особливості організації та проведення тестування для успішного виходу продукту на ринок.

У тестуванні була задіяна та частина електронної банківської системи, що пройшла стадію розробки, створено профіль клієнта та перевірено функціональні можливості системи і клієнтського інтерфейсу.

Розроблений тест дизайн включає:

- визначення тестового рану для максимального покриття критичного функціоналу системи;
- написання оптимальних та атомарних тестових кейсів за визначеним тестовим раном.

Було проведено Smoke тестування із використанням як мануального, так і автоматизованого підходу, результати якого відображені у тестовому звіті. На практиці результати дослідження можуть застосовуватись в роботі над ІТ проектами по створенню ефективних тестових дизайнів для тестування складних електронних систем, зокрема, електронних банківських систем.

Література:

1. Shelagh Heffernan. Modern Banking in Theory and Practice. Wiley, 1996. 470 с. ISBN 978-0471962090
2. Самофалова Г.М. Дослідження проблем тестування банківських систем //27-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь XXI столітті». Зб. матеріалів форуму. Т.6. Конференція «Інформаційні інтелектуальні



системи» – Харків: ХНУРЕ. 2023. – С.125-126.

3. Priyadarshi Tripathy, Kshirasagar Naik. Software Testing and Quality Assurance: Theory and Practice. Wiley-Spektrum, 2015. 648 с. ISBN 978-1-119-09518-7

4. Види тестування та відмінності між ними. URL <https://qagroup.com.ua/publications/vydy-testuvannya-ta-vidminnosti-mizh-nymy/> (дата звернення 10.03.2024).

5. Fairouz Tchier, Ali Mili. Software Testing: Concepts and Operations. Wiley, 2015. 383 с. ISBN 9788126557561.

6. Cem Kaner, Jack Falk, Hung Q. Nguyen. Testing Computer Software. 3-тє вид. Wiley, 1999. 480 с. ISBN 0471358460

***Abstract.** The article discusses the creation of an optimal test plan for testing the electronic banking system. Banking systems are extremely complex in terms of architecture, requirements for information protection, integration with payment systems, which causes strict requirements for the quality of testing such applications. Based on the analysis of types, methods and techniques of testing, an optimal test wound was developed from atomic test cases, and its approval was carried out on the prototype of the application. A comparison of manual and automated testing allows us to conclude that it is appropriate to use a strategy of combined testing of the considered class of information systems.*

***Key words:** testing methods, electronic banking systems, optimal test plan, test case.*

Стаття надіслана: 17.03.2024 г.
© Самофалова Г.М., Калита Н.І.



УДК 004.22.021.023(045)

OPERATION ORGANIZING ALGORITHM OF DISTRIBUTED DSS UNDER HEAVY LOAD CONDITIONS

АЛГОРИТМ ОРГАНІЗАЦІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ СППР В УМОВАХ ВЕЛИКОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Gulak N.K. / Гулак Н.К.

с.т.с./к.т.н.

ORCID: 0000-0001-8524-8635

Dubchak E.V. / Дубчак О.В.

ORCID: 000-0001-9739-3960

National Aviation University, Kyiv, Guzara 1, 03058

Національний авіаційний університет, м. Київ, Л. Гузара 1, 03058

Анотація. Розроблено методи та алгоритми оптимальної організації функціонування розподіленої СППР, що вимагають планування роботи СППР в умовах великого навантаження, маршрутизацію обчислень та інформаційний обмін між локальними СППР. Обґрунтовано використання нейронних мереж Кохонена для розподіленої системи підтримки прийняття рішень, яка реалізує спосіб слабкого пов'язування локальних СППР.

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, теорія нечітких множин, розподілена СППР, евристичні системи, «Blackboard»-системи, нейронні мережі, мережа Кохонена

Вступ

Система підтримки прийняття рішень (СППР) у більшості випадків – це інтерактивна автоматизована система, яка допомагає споживачеві використовувати дані та моделі для виявлення та вирішення проблем і прийняття рішень.

Основне завдання під час прийняття рішення – обрати найкращий варіант для досягнення певної мети або ранжувати набір можливих варіантів за ступенем їхнього впливу на досягнення поставленої мети.

Основний текст

1. Планування роботи розподіленої СППР в умовах великого навантаження. В процесі функціонування розподіленої СППР, розосереджуючи розв'язання задачі по вузлах системи, не виключена одночасна поява декількох завдань (підзавдань), що потребують обслуговування. Тому необхідно встановити оптимальну, за деяким критерієм, послідовність (розклад) їх вирішення, тобто сфокусувати увагу на вирішенні того завдання, яке має найвищий пріоритет. У загальному випадку завдання складання розкладу формулюється в такий спосіб.

Нехай $T = \{t_i\}$ – множина завдань, що вимагають обслуговування, η_i – функції штрафу за перебування завдання t_i в системі. Необхідно знайти таку перестановку завдань Π , де $\Pi(k) = i$, якщо i -е завдання має бути вирішене k -им за рахунком, то сумарна функція повинна бути мінімальною, тобто

$$\sum_{i=1}^n \eta_i \rightarrow \min. \quad (1)$$



Завдання складання розкладів у постановці (1) відноситься до класу NP -повних, які розв'язуються досить важко. Враховуючи те, що такі завдання вирішуються часто в реальному масштабі часу, необхідно використовувати методи з найменшою обчислювальною складністю. Одним з таких методів є метод експертних оцінок нечітких множин [1], обчислювальна складність якого в гіршому випадку дорівнює $O(n^2)$. У цьому методі в якості показника ефективності (критерію вартості) розкладу використовується середній зважений час завершення завдань. [2]

Для формалізації задачі P складання розкладу введемо наступні позначення: $(F_j <)$ – система завдань, де F є індексована множина з n завдань, $n \geq 0$, а $<$ – відношення часткового порядку (відношення передування), задане на F ;

$I(P)$ – набір індексів F ;

$T_j, j \in I(P)$ – елемент F ;

$\tau_j, j \in I(P)$ – потреба завдання T_j в часі обслуговування;

$\omega_j, j \in I(P)$ – вартість перебування завдання T_j в системі (важливість завдання).

Величини τ_j і ω_j визначаються або як середні значення за наявності статистичних даних, або з використанням відповідних функцій приналежності, що були отриманні експертним шляхом.

Оскільки ми розглядаємо лише один процесор, то будемо розглядати розклади, які задаються перестановкою індексів завдань.

Перестановка $\alpha = \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ елементів $I(P)$ сумісна з P , якщо $T_j < T_{j'}$ тоді $k < k'$, де $\alpha_k = j$ і $\alpha_{k'} = j'$.

Перестановка $\alpha = \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ елементів $I(P)$ визначає розклад природнім чином: завдання T_{α_1} виконується першим, завдання T_{α_2} – другим і так далі. Середній зважений час завершення завдання для розкладу, який визначається перестановкою α , визначається таким чином:

$$\overline{T(\alpha)} = \sum_{j=1}^n \omega_{\alpha_j} \left(\sum_{i=1}^j \tau_{\alpha_i} \right). \quad (2)$$

Перестановка α (розклад) є оптимальною, якщо α сумісна з P і при цьому досягається мінімум $\overline{T(\alpha)}$ серед усіх перестановок, сумісних з P . Нехай $p_j = \frac{\omega_j}{\tau_j}$ для всіх $j \in I(P)$.

Теорема 1.1 [3]. Нехай P – завдання упорядкування. Перестановка $\alpha = \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ оптимальна відносно до P тоді і тільки тоді, коли $p_{\alpha_1} \geq p_{\alpha_2} \geq \dots \geq p_{\alpha_n}$.

Наведена теорема по суті визначає зміст алгоритму знаходження такої перестановки.

Нехай $U \subseteq I(P)$ і $U \neq \emptyset$. Визначимо $\tau(U)$, $\omega(U)$ і $p(U)$ в такий спосіб:



$$\tau(U) = \sum_{j \in U} \tau_j, \quad \omega(U) = \sum_{j \in U} \omega_j, \quad p(U) = \frac{\omega(U)}{\tau(U)}. \quad (3)$$

Визначення 1.1. Набір $U \subseteq I(P)$ назвемо початковою множиною відносно до P , якщо:

- 1) $U \neq \emptyset$;
- 2) якщо $T_j < T_{j'}$, то $j \in U$ при цьому $j' \notin U$.

Нехай Y – клас початкових множин (відносно до P). Визначимо число $p^* = \max_{U \in Y} p(U)$.

Визначення 1.2. Множину $U \subseteq I(P)$ назвемо p -максимальною множиною відносно до P , якщо:

- 1) $U \in Y$;
- 2) $p(U) = p^*$;
- 3) якщо $V \in Y$; $p(V) = p^*$ і $V \subseteq U$, то $V = U$.

Нехай $U \subseteq I(P)$ і визначимо F/U як $F/U = \{T_j \mid T_j \in F, j \in U\}$.

Позначимо через H_j множину, що складається з індексу j та індексів i всіх завдань, для яких $T_i < T_j$. Побудова оптимальної перестановки в задачі P складання розкладу може бути здійснена наступним чином. Кожному завданню T_i ставиться у відповідність число $p(H_j)$, а потім визначається індекс l такий, що $p(H_l) \geq p(H_j)$ для $j \in I(P)$, причому $p(H_l) \geq p(H_j)$ для всіх індексів $j \neq l$. Оскільки T_l є попередником всіх завдань, індекси яких входять в H_l , то існує оптимальна щодо P перестановка α така, що $\alpha = \alpha/(H_l - \{l\}); \alpha/(I(P) - H_l)$. Таким чином, завдання P може бути "розкладене" на два менші, а саме: $P/(H_l - \{l\})$ і $P/(I(P) - H_l)$.

Алгоритм. Вхід: P – завдання складання розкладу. Вихід: оптимальний розклад для P .

```

procedure OPT(P)
begin
  if P порожньо then return  $\lambda$  (порожня перестановка)
  else
  begin

```

Нехай l є індекс завдання з P такий, що H_l є p -максимальною множиною для P .

$$U := H_l - \{l\}; \quad V := I(P) - H_l.$$

```

  return OPT(P/U), OPT(P/V)
end
end OPT.

```

Процедура OPT є рекурсивною, вона має в якості єдиного вхідного параметра задачу впорядкування; результатом її виконання являється оптимальна перестановка відносно до вхідного завдання. Виконання оператора return <вираз> полягає в обчисленні <вираз> і повернення в точку виклику



процедури з обчисленими значеннями в якості результату.

2. Маршрутизація обчислень в розподіленій СППР. Розподіл потоків інформації в мережі, утвореній локальними СППР, покладається на систему управління мережею. Задача розподілу полягає у виборі та встановленні оптимального шляху передачі інформації від джерела інформації до споживача з урахуванням ситуації у мережі. В [4] показано, що найкоротший шлях між вузлами i та j мережі є найбільш надійним.

В основу алгоритму маршрутизації покладемо модифікований алгоритм Флойда [5]. Нижче наведено структурну схему алгоритму (рисунком 1), яка включає наступні операції:

1. Вводиться розмірність даної мережі n .

2. Вводиться трикутна матриця вагових коефіцієнтів мережі $w(i, j)$.

3. Трикутна матриця вагових коефіцієнтів перетвориться в симетричну матрицю з нулями на головній діагоналі.

4. Будується квадратна матриця послідовно зростаючої розмірності $a(i, j)$, елементами якої є довжини найкоротших маршрутів, що з'єднують вузли i та j за умови, що проміжними вузлами цих маршрутів можуть бути тільки вузли, номер яких не перевищує розмірності побудованої матриці.

5. Будується квадратна матриця послідовно зростаючої розмірності $s(i, j)$, елементи якої - номери вузлів, записані в певному порядку, дозволяють відновити найкоротший маршрут, що з'єднує вузли i та j .

$$s(i, j) = \begin{cases} \text{номер першої проміжної вершини на поточному} \\ \text{маршруті від } i \text{ до } j, \text{ якщо така існує;} \\ j, \text{ якщо проміжних вершин не існує.} \end{cases}$$

6. Розглядаємо матрицю $a(i, j)$ розмірності 2.

$$a(1,2) = a(2,1) = w(1,2); \quad s(1,2) = s(2,1) = 1.$$

7. Ітерація по $k + 1$. Побудувавши матрицю $a(i, j)$ k -ї розмірності, матрицю $(k + 1)$ -ї розмірності будемо таким чином:

а) в матриці вагових коефіцієнтів $w(i, j)$ переглядаємо $k + 1$ стовпець і запам'ятовуємо вагові коефіцієнти і номери вузлів, з яких існує маршрут у вузол $k + 1$: $s(p, j) = p$;

б) обчислюємо вагові коефіцієнти можливих маршрутів $a(i, j) = a(i, p) + w(p, j)$ і вибираємо серед них маршрут з мінімальною вагою;

в) заповнюємо $k + 1$ стовпець і $k + 1$ рядок матриці $a(i, j)$ отриманими ваговими коефіцієнтами.

8. $k := k + 2$.

9. Якщо $k = n + 1$, то зупиняємось, інакше - перехід на 7.

За допомогою цього алгоритму можна отримати матрицю найкоротших відстаней між вузлами мережі. Ця матриця зберігається в кожній локальній СППР і генерується кожен раз при зміні топології мережі.

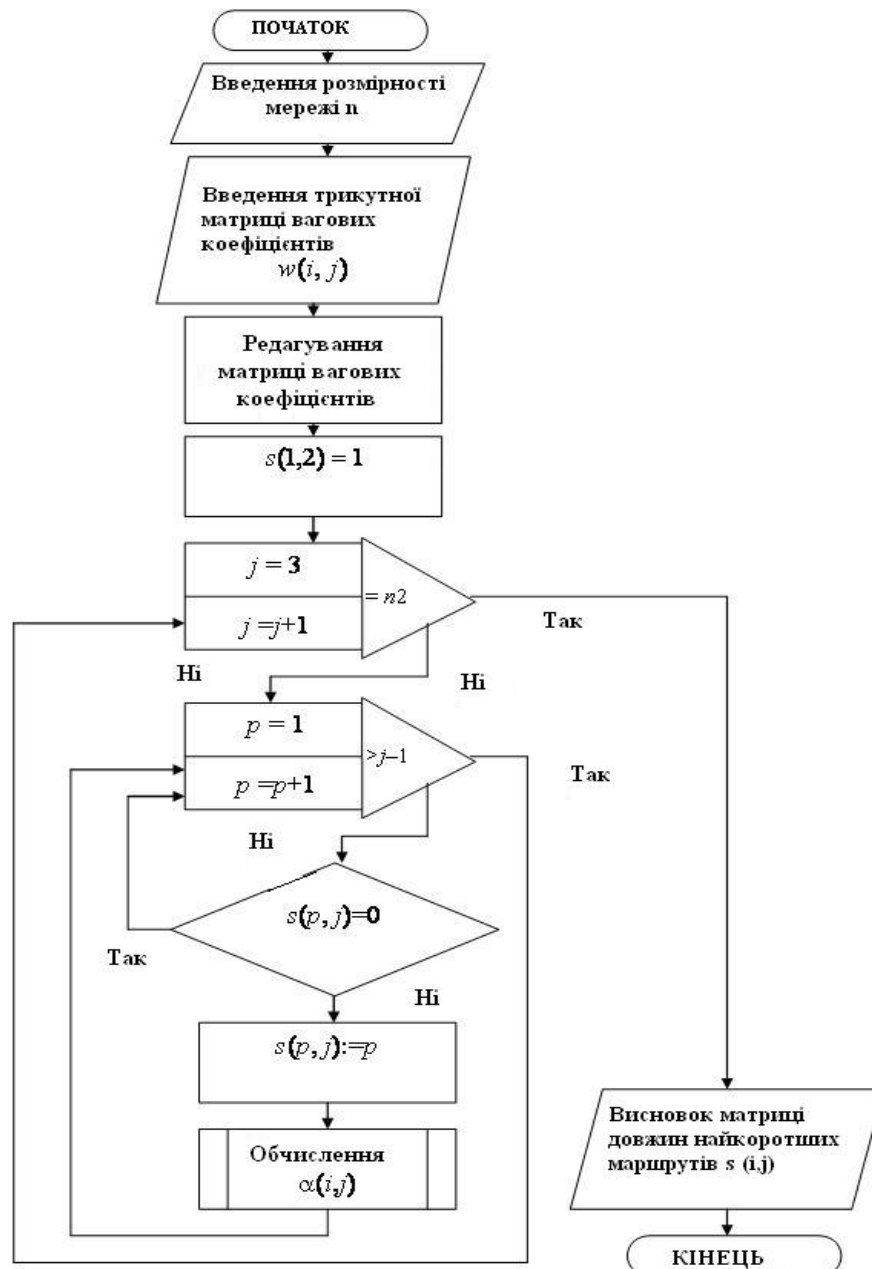


Рисунок 1 - Структурна схема алгоритму знаходження найкоротших маршрутів

3. Стратегія інформаційного обміну між локальними СППР. Для реалізації обміну даними між локальними СППР в процесі функціонування розподіленої СППР доцільно використовувати так звану «дошку оголошень» [6]. «Дошка оголошень» - це глобальна структура даних, призначена для здійснення обміну інформацією про факти, логічні висновки та цілі між різними локальними СППР, що утворюють вузли розподіленої СППР. Її можливості визначаються способом забезпечення загальної основи та інтерфейсу для спільного використання корисної інформації як всередині окремих локальних СППР, так і мережі взаємодіючих локальних систем.

При реалізації принципу «дошки оголошень» в повному обсязі вдається використовувати три способи подання. Перший з них представляється фактами



та висновками. Факт - це певний елемент даних, що вводиться в систему людиною або потрапляє в неї з вхідного інформаційного потоку. Факту може бути приписаний деякий показник достовірності відповідно до надійності джерела, проте сама система фактів не породжує. На противагу цьому, логічний висновок формується в результаті застосування тих чи інших знань до фактів і раніше зроблених висновків, зафіксованих у системі. Коефіцієнт довіри, приписуваний конкретному логічному висновку, визначається ступенем достовірності системних знань, на основі яких зроблено введення, та інших фактів і висновків, покладених в основу даного висновку.

Другий спосіб подання інформації - це керуюча інформація, яка може поділятися на джерела знань і цілі. Джерела знань - це процедури, які визначають, яким чином у системі повинні будуватися висновки та виконуватися конкретні дії при нормальному режимі функціонування. Цілі ж є не що інше, як подання стандартних дій, які можуть вживатися експертом. У деяких публікаціях для реалізації концепції цілей використовується спеціальна структура даних, яка ще називається планом дій. Необхідність в ній виникає тому, що локальні СППР мережі, як правило, мають численні цілі та повинні за деяким критерієм здійснювати на цій множині вибір цілі, який найбільшою мірою задовольняє конкретний момент часу.

Третій спосіб подання інформації при реалізації принципу «дошки оголошень» визначено розподіленою структурою системи. Це інформація, яка потрібна для управління інформаційними потоками, що надходять від «дошки оголошень» однієї локальної СППР до «дошок оголошень» інших вузлів мережі. У зв'язку з тим, що «дошка оголошень» - це ресурс, який грає найважливішу роль в процесі логічного висновку, у разі централізованої «дошки оголошень» навантаження ліній передачі даних виявилось б надмірно високим. Крім того, за наявності єдиної загальної «дошки оголошень» знижується надійність системи. Отже, кожна локальна СППР мережевої архітектури повинна мати власну локальну «дошку оголошень» для інформації, безпосередньо доступної даним СППР. Таким чином, концепція «дошки оголошень» - це зручний спосіб слабкого зв'язування різних СППР для забезпечення можливості вирішення конфліктів і автономного їх функціонування.

Для вибору інформації, яка повинна передаватися або прийматися на локальну «дошку оголошень» СППР, повинна бути передбачена відповідна стратегія інформаційного обміну. В якості такої стратегії пропонується використовувати стратегію розподіленого вирішення завдань [7]. Розглянемо алгоритм реалізації зазначеної стратегії.

Нехай задача S надійшла на деяку СППР Y_0 .

Крок 1. СППР Y_0 буде декомпозицією вихідної задачі S . Нехай у результаті декомпозиції задачі утворилося S_i підзадач, де $i = \overline{0, \dots, n}$.

Крок 2. СППР Y_0 перевіряє на суперечливість множину S_0 . Якщо S_0 несуперечливо, процес завершується - вихідна задача S_0 не має рішення. Інакше СППР Y_0 визначає дочірні СППР Y_i і пересилає їм завдання S_i ($i = \overline{1, \dots, n}$) для



вирішення.

Крок 3. СППР Y_i ($i = 1, \dots, n$) перевіряють на суперечливість множини $S_i \cdot \Theta_0$ ($i = \overline{1, n}$), Θ_0 де – розв'язок задачі S_0 . Результати вирішення цих завдань СППР Y_i пересилаються в СППР Y_0 .

Крок 4. Якщо СППР Y_0 визначила, що всі перевірені множини суперечливі, то переходимо до кроку 5. Інакше вихідна задача S рішення не має.

Крок 5. У СППР Y_0 формується комбінація $\Theta_{1,n}$ рішень $\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_n$ і процес завершується $\Theta_{1,n}$ - рішенням вихідного завдання. Якщо комбінації Θ не існує, скажімо, через рішення множин $S_n \cdot \Theta_0$, то формується комбінація $\Theta_{1,n-1}$ рішень $\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_{n-1}$ і вона пересилається в СППР Y_n .

Крок 6. У СППР Y_n перевіряється на суперечливість множина $S_n \cdot \Theta_{n-1}$. Якщо ця множина суперечлива, то процес припиняється. Це рішення і буде рішенням вихідної задачі S . Інакше рішення Θ_n пересилається в СППР Y_i ($i = \overline{1, \dots, n-1}$).

Крок 7. У СППР Y_i ($i = \overline{1, \dots, n-1}$) перевіряються на суперечливість множини $S_i \cdot \Theta_n$. Якщо вони суперечливі, то кожній СППР Y_i пересилається рішення задачі $S_i \cdot \Theta_n$ у СППР Y_0 .

Крок 8. У СППР Y_0 формується комбінація Θ з рішень задач $S_i \cdot \Theta_n$ ($i = \overline{1, \dots, n-1}$) і завершується робота. Комбінація Θ – це вирішення завдання S .

Таким чином, концепція «дошки оголошень» - це зручний спосіб слабкого зв'язування локальних СППР для забезпечення можливості вирішення конфліктів і автономного їх функціонування.

В умовах великого завантаження задачі з маршрутизації обчислень та інформаційний обмін між локальними СППР можуть бути вирішеними за допомогою нейронних мереж.

Оскільки представлена розподілена СППР має спосіб слабкого пов'язування різних СППР для забезпечення можливості вирішення конфліктів та їх функціонування, то вона може бути реалізована слабо пов'язаними нейронними мережами (мережі Кохонена), які можуть вирішувати ці завдання [8].

У мережах Кохонена нейрони розташовуються у вузлі прямокутної (гексогональної) решітки (рисунок 2).

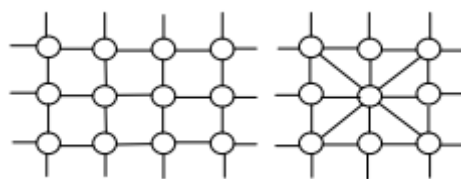


Рисунок 2 - Топологія мережі Кохонена

За класифікацією нейромережових структур такі мережі мають тип



навчання - без вчителя.

Підсумки та висновки

1. В загальному вигляді сформульована задача синтезу оптимальної структури розподіленої СППР як задачі нелінійного математичного програмування. Показана доцільність застосування агрегативно-декомпозиційного підходу для вирішення сформульованої задачі.

2. Розроблено методи та алгоритми оптимальної організації функціонування розподіленої СППР, що вимагають планування роботи СППР в умовах великого завантаження, маршрутизацію обчислень та інформаційний обмін між локальними СППР.

3. На основі представленого алгоритму для способу слабкого пов'язування різних СППР запропоновано використання нейронних мереж з топологією мережі Кохонена, що дозволить обрати оптимальний варіант правильного рішення.

Література:

1. В.М. Дубовой, О.О. Ковалюк. Моделі прийняття рішень в управлінні розподіленими динамічними системами: Монографія – Вінниця: УНІВЕРСУМВінниця, 2008. – 186 с.

2. Бідюк П.І. Системи і методи підтримки прийняття рішень / П.І. Бідюк, О.Л. Тимошук, А.Є. Коваленко, Л.О. Коршевніук. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 610 с.

3. Глонь О.В., Дубовой В.М. Моделювання систем керування в умовах невизначеності: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМВінниця, 2004. – 170 с.

4. Виклюк Я.І. Моделювання складних систем / Я.І. Виклюк, Р.М. Камінський, В.В. Пасічник. – Львів: Новий Світ – 2000, 2020. – 400 с.

5. Глухов В.С. Дослідження і проектування комп'ютерних систем і мереж / В.С. Глухов, А.Т. Костик. – К.: Магнолія, 2006. – 2024. – 256 с.

6. Н.Р. Nii. Blackboard systems. The model of problem solving. AT Magazine, 2001, vol.7 p.p. 38-53.

7. Кузьміна Н.Ф. Аналіз основних характеристик розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень / Н.Ф. Кузьміна // Сборник научных трудов SWorld. – Иваново: МАРКОВА АД. – 2013. – Выпуск 3. – Том 6. – С. 84–87.

8. Булгакова О.С. Методи та системи штучного інтелекту: теорія і практика / О.С. Булгакова, В.В. Зосімов, В.О. Поздєєв. – Миколаївський національний університет ім. В. О. Сухомлинського. – Херсон : Олді-плюс, 2020. – 356 с.

References

1. V.M. Dubovoy, & Ye.A. Kovalyuk. (2008). *Modeli prinyattya reshen' v upravlinni rozpodilennyi dynamichnyimi sistemamy*. Vinnitsa: UNIVERSUM Vinnitsa [in Ukrainian].

2. Bidyuk P.I., Timoshchuk O.L. et al. (2022). *Sistemy i metody pidtrymky pryynyattya rishen'*. K.: KPI im. Igorya Sikors'koho [in Ukrainian].

3. Hlon' O.V. & Dubovoy V.M. (2004). *Modelyuvannya system keruvannya v umovakh nevyznachenosti*. Vinnitsa: UNIVERSUM Vinnitsa [in Ukrainian].

4. Vyklyuk Ya.I., R.M. Kamins'kyi & V.V. Pasichnyk (2020). *Modelyuvannya skladnykh*



system. L'viv: Novyy Svit-2000 [in Ukrainian].

5. Hlukhov V.S. & Kostyk A.T. (2024). *Doslidzhennya i proektuvannya komp'yuternykh system i merezh*. K.: Mahnoliya, 2006 [in Ukrainian].

6. H.P. Nii. Blackboard systems. The model of problem solving. AL Magazine, 2001, vol.7 p.p. 38-53.

7. Kuz'mina N.F. (2013). Analiz osnovnykh kharakterystyk rozpodilenoyi systemy pidtrymky pryynyattya hrupovykh rishen' . *SWorld*, 3, vol .6, 84–87. [in Ukrainian].

8. Bulhakova O.S., Zosimov V.V. & Pozdyeyev V.O. (2020). *Metody ta systemy shtuchnoho intelektu: teoriya i praktyka*. Kherson: Oldi-plyus, [in Ukrainian].

Abstract. Introduction. *The decision support system (DSS) is an interactive automated system. It helps to use data and models to identify and solve problems, make decisions. The main task in decision making is to choose the best option to achieve a certain goal or to rank a set of possible options according to the degree of its impact on achieving the goals.*

Planning the operation of a distributed DSS under heavy load conditions. *Several maintenance tasks may arise during the DSS distribution process. The sequence (schedule) of its solution according to a certain criterion is provided.*

Routing of calculations in a distributed DSS. *The network management system determines the distribution of information flows in the network formed by local DSS. The modified Floyd algorithm is the basis for the information flow routing algorithm.*

Strategy for information exchange between local DSS. *Blackboard systems are used to implement data exchange between local DSS during the operation of a distributed DSS. A distributed problem solving strategy is proposed for information exchange.*

Neural networks are proposed to solve the problem of routing calculations and information exchange between local DSS under heavy load conditions.

Results and conclusions. *1. The problem of synthesizing the optimal structure of a distributed DSS is formulated in general form as a problem of mathematical nonlinear programming. The feasibility of using the aggregate-decomposition approach to solve the problem is shown. 2. Methods and algorithms for the optimal organization of the functioning of a distributed DSS, which require planning the operation of the DSS under heavy load conditions, routing calculations and exchange between local DSS, have been developed. 3. Neural networks with the topology of the Kohonen's network, based on the presented algorithm for the method of weakly linking various DSS, are proposed. The optimal option for the correct solution has been selected.*

Key words: *decision support system, fuzzy set theory, a distributed DSS, heuristic systems, Blackboard systems, neural networks, Kohonen's network*



<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-062>

DOI: 10.30888/2663-5712.2024-24-00-062

УДК 65.012.7, 519.6.035.7, 519.687.7, 62-523.8

VISUALIZING THE CONTROL ALGORITHM FOR FOUR MECANUM WHEELS

ВІЗУАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ЧОТИРМА МЕКАНУМ КОЛЕСАМИ

Kotvytskiy A.T. / Котвицький А.Т.

cand. of ph.-math. sc., assoc. prof. / к.ф.-м.н., доц.

ORCID: 0000-0001-8283-505X

Horenko D.V. / Горенко Д.В.

Automation and computer-integrated technologies /

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ORCID: 0009-0004-6910-4622

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Svobody Sq., 4, 61022

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, м. Свободи, 4, 61022

Анотація. У цій роботі досліджується інноваційна рухома платформа прямокутної конструкції, яка обладнана чотирма меканум-колесами, які забезпечують їй можливість рухатися в довільно заданому напрямку. Цей тип коліс особливо корисний у робототехніці та застосовується для забезпечення маневреності та точного керування.

Метою дослідження було побудова математичної моделі даної платформи, що дозволяє визначити швидкості обертання кожного колеса залежно від заданого напрямку руху платформи та модуля швидкості її руху. Це дозволяє ефективно керувати рухомою платформою і досягати необхідної точності в її переміщенні.

На основі розробленої математичної моделі було створено інтерактивну програмну модель. Ця модель є інструментом візуалізації алгоритму управління даною платформою. Вона дозволяє користувачам наочно побачити, як зміна параметрів руху впливає на роботу механізму і які швидкості обертання коліс необхідні досягнення певного напрямку руху.

Ключові слова: рухома платформа, меканум-колесо, візуалізація алгоритму керування, *Wolfram Mathematica*.

Вступ. Використання мобільних рухомих платформ все більше входить у різні аспекти людської діяльності. Одним із завдань, що ставиться перед розробниками таких платформ, є підвищення маневреності. Це завдання можна вирішити різними способами, наприклад, установкою багатьох провідних поворотних коліс [1, 2], проте така конструкція дуже ускладнює технічне обслуговування та значно збільшує ціну на готовий виріб. У нашій роботі ми розглядатимемо платформу яка має чотири меканум-колеса.

Меканум-колесо винайшов шведський інженер компанії «Mecanum AB» Бенг Ілон у 1973 році, і вже у 1975 році він отримав патент у США на свій винахід. Ці колеса, які можна також зустріти під назвами "колесо Ілона" або "меканум-колесо", були створені для того, щоб транспортні засоби могли легко рухатись у різні боки або обертатись на місці з мінімальною силою тертя. Це вдалося завдяки особливій конструкції колеса, яка дозволяла маневрувати з незвичайною легкістю та ефективністю.

Меканум-колесо складається з основного колеса (див. рисунок 1), по зовнішньому колу якого рівномірно розташовані незалежні один від одного ролики під кутом 45° до осі основного колеса. Така конструкція надає колесу три ступені вільності: обертання навколо основної осі, обертання роликів та



обертання навколо точки контакту ролика з поверхнею.

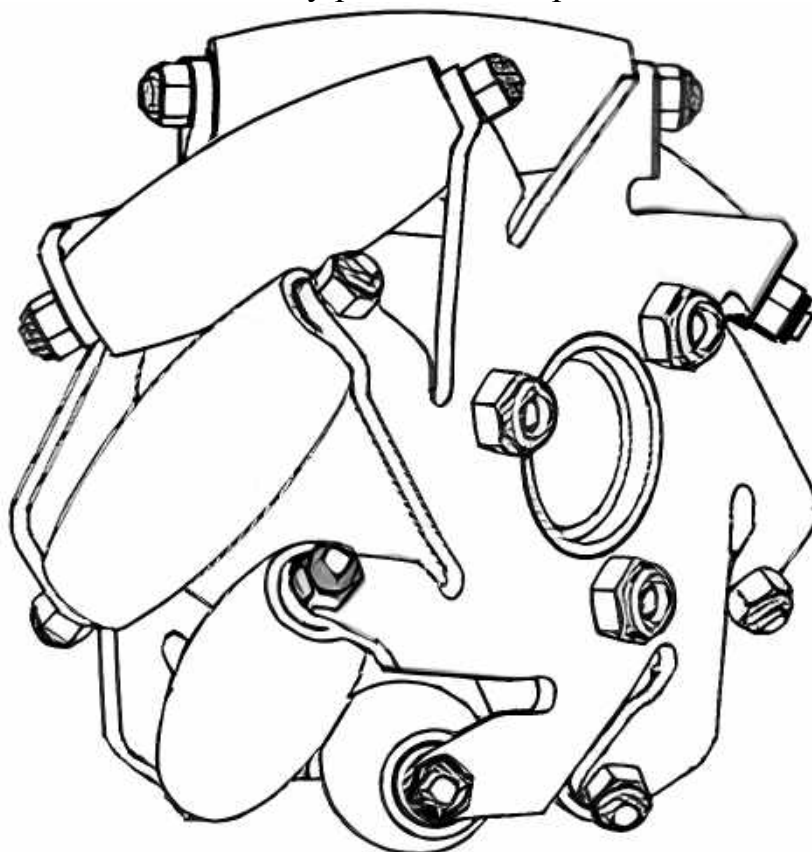


Рисунок 1 – Конструкція меканум-колеса

Керуючи швидкістю та напрямом обертання кожного з коліс, транспортний засіб, оснащений меканум-колесами, може рухатися під будь-яким кутом — не лише вперед-назад, праворуч-ліворуч але і діагонально та навколо своєї осі. Таким чином, в цьому випадку, платформа без повороту може зразу рухатись в заданому довільному напрямку, це є дуже важливою перевагою в умовах обмеженого простору. Меканум-колеса стали широко використовуватися з початком росту та розвитку роботів. Однак опис платформ на цих колесах або занадто математичний [3, 4] і підходить для професіоналів математиків, або занадто простий [5, 6], який більше підходить для школярів середніх класів. Представлена робота покликана прокласти місток між цими двома підходами. І зробити керування платформою на меканум колесах зрозумілим для студентів технічних спеціальностей.

Математична модель.

Розглянемо рухому платформу яка складається з чотирьох меканум коліс, схема розташування яких показана на рисунку 2.

Будемо вважати, що перше та друге меканум колеси є передні, а третє та четверте задні колеса. Також зауважимо, що перше та третє колеса розташовані однаково, якщо враховувати розташування роликів. На рисунку вони схематично позначені невеликими відрізками під кутом 45 градусів до осі обертання колеса. Таке розташування коліс призведе до того, що при їх обертанні напрямок руху платформи буде складатися з двох векторів \vec{v}_1 і \vec{v}_2 , де перша швидкість (сині стрілки) це швидкість яку отримує платформа при обертанні першого і



четвертого коліс, а друга швидкість (зелені стрілки) - від другого і третього коліс.

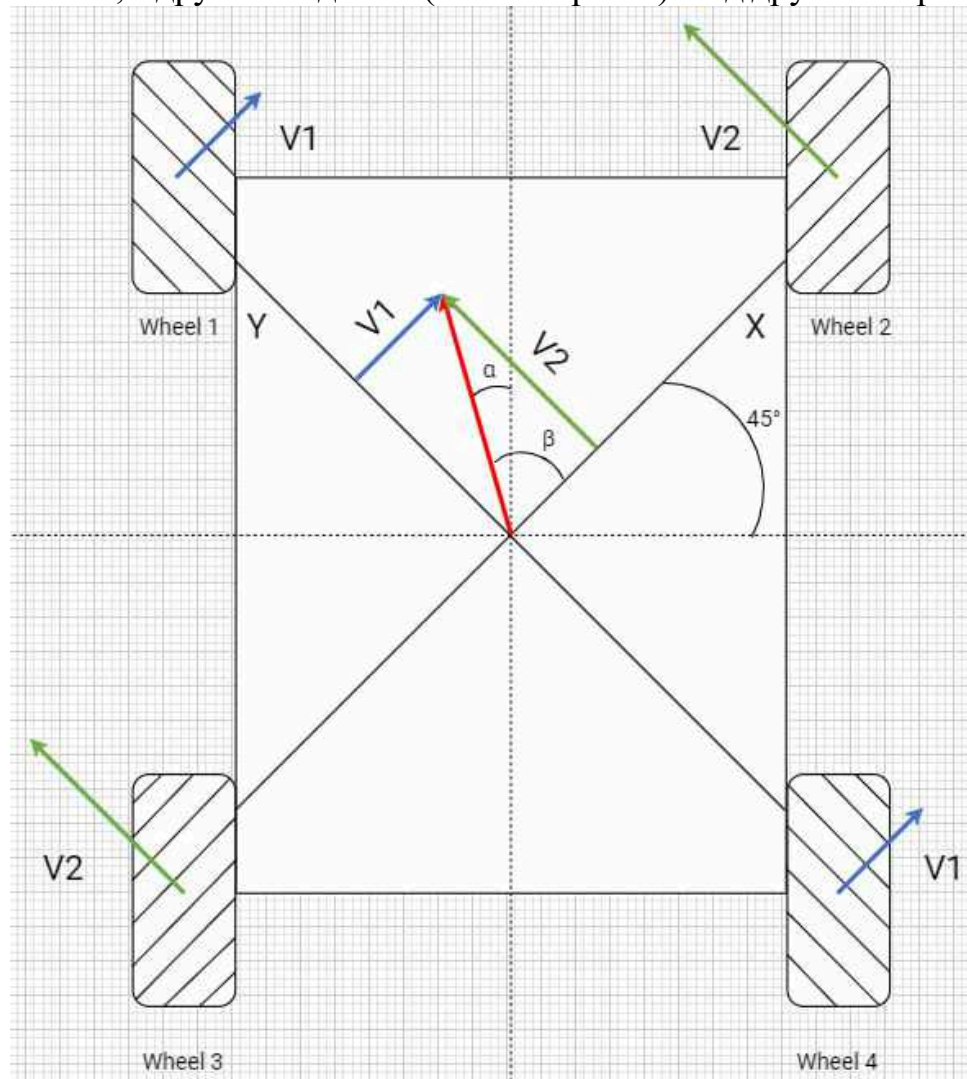


Рисунок 2 – Модель платформи на меканум колесах

Таким чином платформа, як ціле, буде рухатися зі швидкістю

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2, \quad (1)$$

яка зображена на рисунку 2 червоною стрілкою.

Для зручності виберемо осі координат під кутом 45 градусів (див. рисунок 2), тоді швидкості \vec{v}_1 і \vec{v}_2 будуть також відповідними компонентами для повної швидкості \vec{v} . Будемо вказувати напрямку руху платформи за допомогою кута α , який вимірюватимемо від вертикалі вліво для позитивних значень цього кута і негативних для відхилення вправо. Тоді при русі платформи прямо вперед, цей кут дорівнює нулю, якщо платформа рухається одночасно вперед і вліво, то кут позитивний і відповідно, якщо вперед і праворуч, то негативний. Під час руху суворо назад, кут дорівнює як +180 градусів, так і -180 градусів.

За умовами завдання вважається, що кут α і модуль швидкості $|\vec{v}|$ нам задається. Завдання ставиться таким чином, що потрібно розрахувати відповідні швидкості \vec{v}_1 та \vec{v}_2 . З рисунку 2 знаходимо



$$\begin{aligned} v_1 &= v \cdot \cos\beta \\ v_2 &= v \cdot \sin\beta \end{aligned} \quad (2)$$

де $\beta = \alpha + 45^\circ$.

Будемо вважати, що зв'язок між кутовою швидкістю ω_i обертання колеса та швидкістю v_i , яка передається платформі має вигляд

$$v_i = \zeta \omega_i R, \quad (3)$$

де $i = \{1,2\}$, а ζ - безрозмірний коефіцієнт, який знаходиться експериментально і залежить від багатьох чинників.

Програмна модель.

Побудована математична модель дозволила нам розробити інтерактивну програмну модель в середовищі Wolfram Mathematica [7, 8], в якій за допомогою спеціальних засобів можна змінювати в заданих межах параметри α і швидкість $|\vec{v}|$ та бачити, як при цьому повинні змінюватися швидкості \vec{v}_1 та \vec{v}_2 (див. рисунок 3).

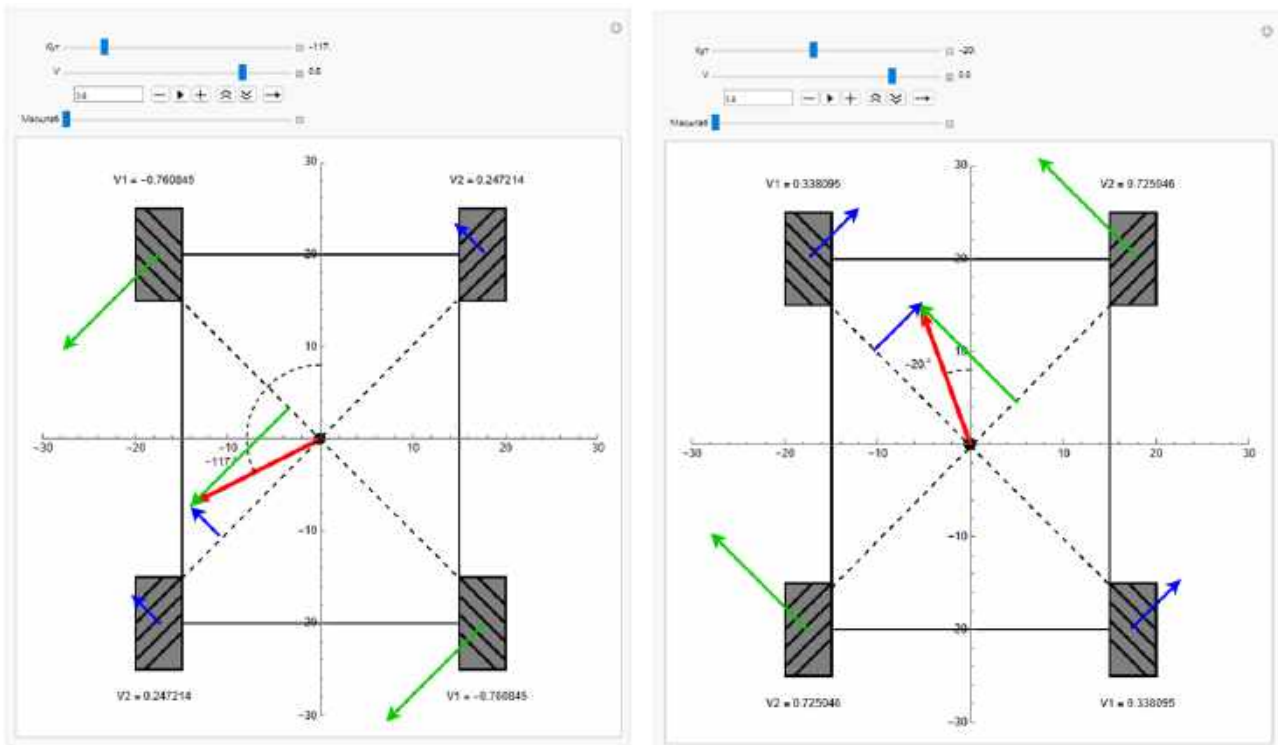


Рисунок 3 – Інтерактивна програмна модель платформи

Висновки.

В роботі була розглянута рухома платформа на чотирьох механум-колесах, завдяки яким платформа може рухатися з довільної точки в будь-якому заданому напрямку. Було побудовано математичну модель цієї платформи на базі якої було створено інтерактивну програмну модель на мові Wolfram Language для візуалізації алгоритму управління швидкостями механум коліс. Створену модель рекомендується використовувати студентам при вивченні курсу «Робототехнічні системи».



Література:

1. Penglei Dai, Javad Taghia, Stanley Lam, Jay Katupitiya Integration of sliding mode based steering control and PSO based drive force control for a 4WS4WD vehicle // Auton Robot. – 2018. – V.42. – P.553–568. DOI: 10.1007/s10514-017-9649-6
2. Kotvytskiy A.T., Jasinski Ja. A. Программная модель подвижной платформы с четырьмя ведущими поворотными колесами // Scientific Trends And Trends In The Context Of Globalization, Umeå, Sweden (2021) №93, p.537-552 DOI 10.51582/interconf.21-22.12.2021.057
3. Hendzel Z., Rykała Ł. Modelling of dynamics of a wheeled mobile robot with mecanum wheels with the use of Lagrange equations of the second kind // Int. J. of Applied Mechanics and Engineering. – 2017. - V.22, №1. - P.81-99.
4. Zeidis I., Zimmermann K. Dynamics of a four-wheeled mobile robot with Mecanum wheels // Journal of Applied Mathematics and Mechanics. – 2019. V.99, №12. – e201900173
5. Mecanum wheel [Электронный ресурс]. – режим доступа: URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Mecanum_wheel (дата звернення – 09.12.2023).
6. The Brilliant Engineering of Mecanum Wheels! [Электронный ресурс]. – режим доступа: URL: <https://www.youtube.com/watch?v=noqBUEgyQ8A> (дата звернення – 05.11.2023).
7. Wolfram: computation meets knowledge. Wolfram: Computation Meets Knowledge [Электронный ресурс]. – режим доступа: URL: <https://www.wolfram.com> (дата звернення – 09.05.2023).
8. Wolfram S. Elementary introduction to the wolfram language. Wolfram Media, Incorporated, 2016. 328 p.

Abstract. *This paper explores an innovative rectangular moving platform equipped with four mecanum wheels, enabling it to move in any specified direction. Mecanum wheels are particularly valuable in robotics for their maneuverability and precise control.*

The aim of this study was to construct a mathematical model for this platform, facilitating the determination of each wheel's rotation speed based on the desired direction and the platform's movement speed modulus. This enables effective control of the platform and ensures the required movement accuracy.

An interactive software model was developed using the established mathematical model. This tool visualizes the platform's control algorithm, allowing users to observe how adjustments to movement parameters influence the mechanism's operation and the necessary wheel rotation speeds to achieve a desired direction of movement.

Key words: *Moving Platform, Mecanum Wheel, Control Algorithm Visualization, Wolfram Mathematica.*

Статтю надіслано: 19.03.2024 р.

© Котвицький А.Т.



<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-068>

DOI: 10.30888/2663-5712.2024-24-00-068

УДК 004.78.621.311

IMPROVED HEAT SUPPLY CONTROL SYSTEM УДОСКОНАЛЕНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯМ

Savka N.Ya. / Савка Н.Я.

PhD, As.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-4182-7867

West Ukrainian National University, Ternopil, Olena Teliha 8, 46003

Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Олени Теліги 8, 46003

Pohorilets A.V. / Погорілець А.В.

Separate structural subdivision "Ternopil Professional College" of

Ternopil Ivan Puluj ational Technical University,

Ternopil, Lesya Kurbasa 13, 46003

Відокремлений структурний підрозділ «Тернопільський фаховий коледж»
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя,
Тернопіль, Леся Курбаса 13, 46016

Анотація. Проаналізовано принцип функціонування системи постачання теплоносія споживачам, зазначено основні проблеми й запропоновано можливі шляхи їх розв'язання. Відзначено, що ключовим у модернізації систем теплопостачання економія енергоресурсів на основі впровадження індивідуальних теплових пунктів. Оскільки погодні умови є швидкозмінними параметрами системи автоматизації, запропоновано апарат нечіткої логіки для їх моделювання. Удосконалено систему автоматизації індивідуального теплового пункту на основі нечіткого контролера. Результатами експериментів показано перспективність впровадження такої системи при модернізації систем опалення.

Ключові слова: автоматизована система, тепломережі, система керування, нечітка система, нечіткий контролер.

Вступ.

В теперішній час система теплопостачання країни є морально застарілою, проте вартість послуги становить левову частку нарахувань щомісячних комунальних платежів. В той же час діяльність підприємств теплових мереж є збитковою та не енергоефективною через суттєве зменшується кількості споживачів шляхом від'єднань від централізованої системи теплопостачання, застарілість обладнання.

Типова система постачання теплової енергії унеможливорює регулювання параметрів теплоносія у внутрішніх системах опалення будинку. Для забезпечення безперебійної роботи системи підприємства змушені подавати теплоносій підвищеної температури, що часто призводить до «перегріву» будинку, так званого «тепла на вітер», особливо за умов вищої від норми температури зовнішнього повітря. Таке марнотратне теплонадходження дорого обходиться споживачам. В той же час часто при низьких температурах спостерігається не достатній обігрів приміщень, що зумовлює залучення додаткових джерел теплової енергії та збільшення витрат.

Проблема модернізації систем теплопостачання є ключовою у дослідженнях відомих науковців. Зокрема у [1] описано методи оптимізації та оцінки



економічної ефективності теплопостачання з метою економії паливних та енергоресурсів. Розроблено методичні рекомендації щодо вибору оптимальних систем постачання теплової енергії та шляхів реконструкції тепломереж. Імітаційна модель у [2] слугує підґрунтям для прийняття рішень щодо керування тепломережами на основі реалізації ефективних напрямків та технологій діяльності сфери теплоенергетики. Моделювання залежності температури приміщення багатоквартирного будинку від температури зовнішнього середовища, теплоносія та потужності опалювальної системи у [3] здійснено на основі регресійного аналізу. Однак такі моделі не здатні описати всіх станів системи керування, оскільки ґрунтуються на точних значеннях вхідних параметрів, що у результаті призводить до не ефективних рішень.

Оптимізація витрат енергетичних ресурсів систем теплопостачання потребує модернізації та впровадження інноваційних технологій. Сьогодні спостерігається досить активне встановлення індивідуальних теплових пунктів (ІТП) як сполучної ланки між тепломережами та споживачами, що оснащені механізмами автоматизованого керування параметрами теплоносія у внутрішній системі будинку, зважаючи на погодні умови. Впровадження таких засобів автоматизації є першочерговим завданням процедури модернізації. Проте ключовим напрямком збереження енергетичних ресурсів у централізованих системах є удосконалення систем автоматизації ІТП на основі сучасних технологій із врахуванням невизначеності факторів впливу.

Постановка задачі.

Погодні умови – це змінні у часі параметри системи із деякою невизначеністю. За таких умов застосування статистичних методів унеможливорює побудову адекватної системи керування. Для прийняття рішень в умовах невизначеності сьогодні досить часто застосовують методи опрацювання нечітких даних, зокрема, апарат нечітких множин та нечіткої логіки [4, 5]. Такі моделі керування уможливають отримання усіх можливих станів системи, що сприяє прийняттю правильних рішень.

Як зазначено вище, впровадження ІТП дозволить забезпечити будівлю якісним споживанням тепла та економію енергоносіїв. Керування подачею тепла до будинку здійснюється залежно від погодних умов. Структурну схему автоматизованої системи контролю ІТП розроблено у [6]. Із датчика до контролера надходять показники погодних умов. При цьому на клапан регулювання поступає команда щодо пропуску необхідної кількості теплоносія (гарячої води), яка через циркуляційний насос потрапляє у систему опалення.

Таким чином, відбувається коригування температури теплоносія на вході в систему опалення на основі сигналів від відповідних датчиків: погодних умов та температури теплоносія на вході. Через зворотний клапан здійснюється операція зниження температури гарячої води, що поступає у систему опалення.

Основним параметром впливу на систему теплопостачання є температура зовнішнього середовища, проте, як показують результати досліджень, для побудови адекватної моделі слід розглянути такі фактори, як швидкість вітру та сонячність. Теплові втрати будівель, зумовлені впливом вітру, бувають швидкі та повільні. Швидкі втрати обумовлені проникненням холодного повітря шляхом



інфільтрації через нещільності у віконних і дверних отворах, стиках стінових панелей. Повільні теплові втрати обумовлені впливом вітру на коефіцієнт тепловіддачі зовнішніх поверхонь стін будівлі. Вітер не володіє постійними швидкістю і напрямком, він дме поривами. Однак, на теплові втрати будівель впливають не окремі пориви вітру, а його усереднене за певний відрізок часу значення, яке і повинно враховуватися в системах автоматизованого управління подачею тепла в будівлі.

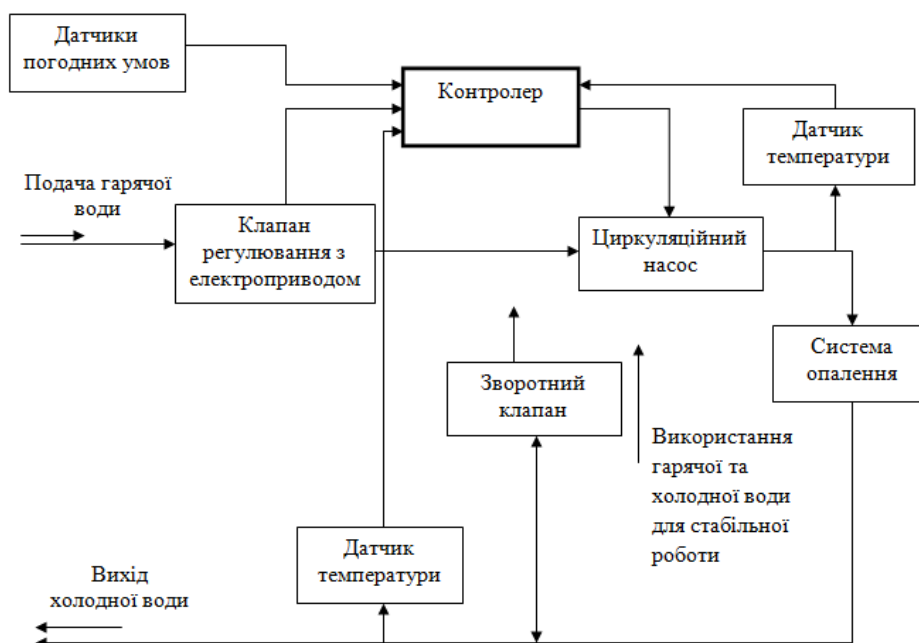


Рисунок 1 – Схема системи автоматизації ІТП [6]

Надходження тепла за рахунок сонячної радіації займає суттєву частку в тепловому балансі опалювальних приміщень. Потіки сонячних променів приходять на огорожувальні поверхні (стіни) будівель у вигляді прямої сонячної радіації, променів, розсіяних атмосферою і хмарами, потоків, відбитих від поверхонь розташованих поруч будівель, землі та різних предметів.

Вплив вітру та сонячної радіації на тепловий режим будівлі оцінюють шляхом введення відповідної поправки до температури зовнішнього повітря, що лежить в основі системи керування теплопостачанням. За даними агентства США з міжнародного розвитку при температурі зовнішнього повітря -4°C у сонячний день подача тепла у південно-східну частину 9-ти поверхового житлового будинку зменшується у 2,5 рази [7]. Таким чином, доцільним є впровадження пофасадного регулювання постачання теплоносія, при якому економія тепла становитиме понад 10%, що на 5% вище, ніж при центральному регулюванні. При цьому добові витрати тепла у порівнянні із центральним регулюванням знижуються на 25% [7].

Таким чином невизначеність вхідних параметрів доцільно представити у вигляді інтервалів, що дозволить збалансувати систему теплопостачання й врахувати усі можливі її стани, враховуючи умови відсутності деяких параметрів, з метою запобігання «перегріву» чи «недогріву» будинку. При цьому зв'язок між режимом роботи клапана системи постачання теплоносія та факторами впливу варто представити на основі бази знань із застосуванням



апарату нечіткої логіки.

Нечітка система керування теплопостачанням.

Спираючись на основні положення теорії нечіткої логіки [8], опишемо вхідні та вихідні змінні системи. Із результатів вищепроведеного аналізу факторів впливу на функціонування систем теплопостачання задамо три вхідних змінних, а саме: температура зовнішнього повітря (назва змінної – temp), швидкість та напрям вітру (назва змінної – wind) та сонячна енергія (назва змінної – sun).

Вихідна змінна – це вихід, що генерує нечітка система на основі бази знань (експертних правил) із застосуванням алгоритму нечіткого логічного виведення. Для розроблювальної системи вихідна змінна – це режим клапана подачі теплоносія у опалювальну систему (назва змінної – valve).

Створюємо лінгвістичні змінні та даємо їм відповідні імена – терми. Слід зауважити, що межі зміни термів потрібно задавати таким чином, щоб не опустити важливого фактора, який впливає на стан системи. Зважаючи на це, варто передбачати незначний перетин термів. Це не впливає суттєвим чином на кінцевий результат, проте уможливорює уникнути помилок роботи нечіткої системи.

Задамо для вхідної змінної temp три терми: холодно (cold), середньо (mid), тепло (hot). Діапазон зміни для температури [-30; 15]. Задамо відповідні значення для термів вхідної змінної temp, вибравши гаусову функцію належності термів: cold [-30 -10], mid [-10 5], hot [5 15].

Вхідна змінна wind характеризує швидкість вітру, задамо для неї такі терми: низька (low), нормальна (norm) та висока (high). Діапазон зміни параметра зазначимо у відносних одиницях [0;1], функцію належності оберемо гаусову. Зважаючи на це, можна задати такі числові значення термів: low [0 0.3], norm [0.25 0.75], high [0.6 1].

Вхідна змінна сонячна енергія характеризує чи погода сонячна чи хмарна. У зв'язку із цим опишемо її такими термами: сонячно (sunny), похмуро (darkly) та хмарно (cloudy). Діапазон зміни для цієї змінної позначимо у межах [0;1], функцію належності оберемо – гаусову. У результаті числові значення для термів набудуть такого вигляду: sunny [0.6 1], darkly [0.3 0.6], cloudy [0 0.3].

Вихідна змінна valve характеризує, наскільки (тобто у який режим) необхідно повернути клапан подачі теплоносія і у який бік – на закриття чи відкриття, щоб температура у житлових приміщеннях була комфортною. Для більш точного регулювання системою повороту клапана визначимо п'ять термів: відкрити повністю (turn_f), відкрити на половину (turn_h), не змінювати (norm), закрити на половину (close_h), закрити повністю (close_f). Значення для термів задамо у відносних одиницях у діапазоні [-10;10]. Терми опишемо гаусовою функцією належності та зазначимо відповідні межі зміни термів: close_f [-10 -5], close_h [-6 -1], norm [-2 2], turn_h [1 6], turn_f [5 10].

На основі вищеописаних лінгвістичних змінних та їх термів будуюмо базу знань – множину нечітких правил. База знань повинна передбачати випадки відсутності однієї із вхідних змінних (наприклад, за рахунок помилки при зчитуванні), тобто система повинна враховувати умови невизначеності.

Таким чином, кожну вхідну змінну описує 3, а вихідну – 5 термів. На основі



цього формуємо нечіткі правила типу «якщо...то», які матимуть вигляд: ЯКЩО «значення вхідної змінної 1» І «значення вхідної змінної 2» І «значення вхідної змінної 3» ТО «значення вихідної змінної».

Сформована база знань містить 63 нечітких правила, що описують можливі варіанти роботи системи тепlopостачання за умов наявності чи відсутності факторів впливу. Реалізацію нечіткої системи здійснено у пакеті прикладних програм Matlab на основі Fuzzy Logic Toolbox. Для нечіткого логічного виведення результатів системи використано алгоритм Мамдані, оскільки зв'язок між входами та виходом системи нелінійний [5, 8]. Узагальнену схему для розподілу режимів клапана подачі теплоносія у тепломережу зображено на рисунку 2.

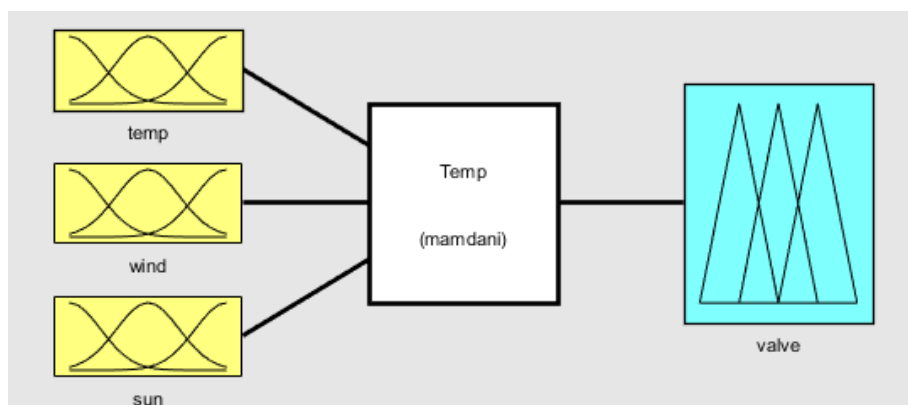


Рисунок 2 – Схема керування режимами клапана

Алгоритм нечіткого виведення Мамдані ґрунтується на композиції нечітких множин типу міні-макс. Зазначений механізм реалізує алгоритм [10]:

1) Крок 1 – фазифікація – визначення ступеню істинності (значення функцій належності) для лівих частин кожного i -го правила, тобто для передумов;

2) Крок 2 – нечіткий висновок будується на основі знаходження мінімального рівня "відсічення" для лівої частини i -го правила та "відсічених" функцій належності правих частин – висновку;

3) Крок 3 – композиція побудованих "відсічених" функцій на основі максимальної композиції нечітких множин;

4) Крок 4 – дефазифікація на основі центроїдного методу, що геометрично представляє центр ваги функції належності одержаного виходу. Метою дефазифікації є знаходження реального чіткого значення для кожної вихідної лінгвістичної змінної, тобто сигналу рішення для керування роботою клапана. Це необхідно для того, що механізми сучасних систем керування здатні сприймати команди на базі кількісних значень сигналів.

Варто зауважити, що поведінка функцій належності для вітру та сонячної енергії достатньо подібні. Це свідчить про те, що їх вплив на систему керування має приблизно однакову вагу. Ключовим параметром впливу є температура зовнішнього середовища.

Базу правил побудованої нечіткої системи керування клапаном подачі теплоносія у індивідуальному тепловому пункті представлено на рисунку 3. Кожне правило подане у вигляді, описаному вище; (1) – вага правила для



формування відгуку системи кожного правила.

Крайній нижній прямокутник справа на рисунку 4 відповідає результату роботи системи на основі логічного виведення Мамдані. Жирною червоною лінією позначено чітке значення виходу системи у результаті реалізації алгоритму дефазифікації. Вертикальною лінією позначено, при яких чітких значеннях вхідних змінних на виході система змоделює чітке значення вихідного параметра.

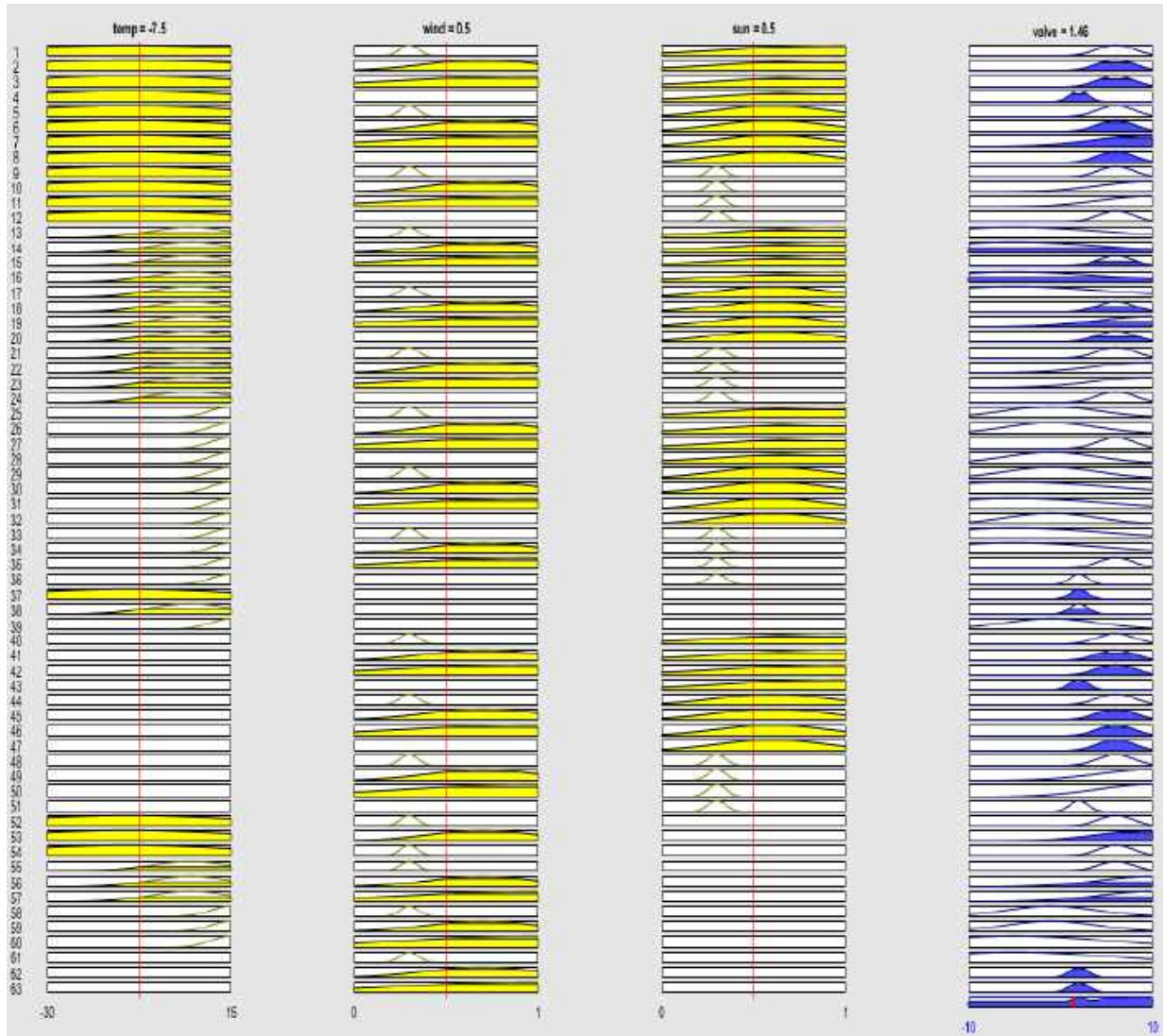
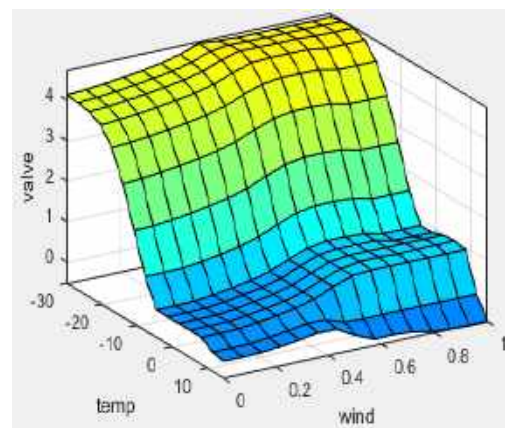
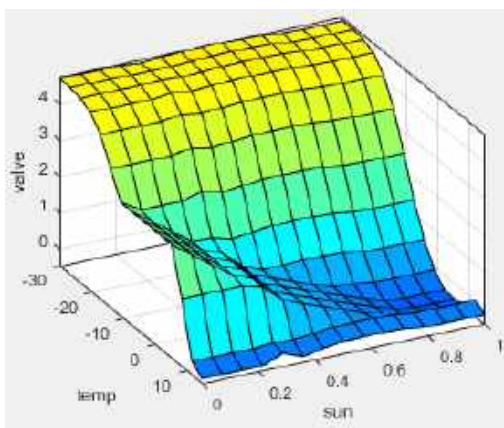


Рисунок 3 – База знань системи





a) б)

Рисунок 4 – Поверхні значень нечіткої системи керування клапаном подачі теплоносія

Поверхню значень відгуку розробленої нечіткої системи керування режимами клапана подачі теплоносія зображено на рисунку 4.

Поверхні графічно візуалізують розподіл режимів роботи клапана залежно від факторів впливу. Кожна пара точок на рисунку 4 описує комбінацію факторів впливу на режим клапана. Дослідження бази правил та поверхні залежності роботи клапана від вхідних змінних показали правильність роботи системи.

Модель нечіткого контролера.

Апаратну реалізацію нечіткої системи здійснено на основі пакету Simulink середовища Matlab. На рисунку 5 представлено структурну схему нечіткого контролера.

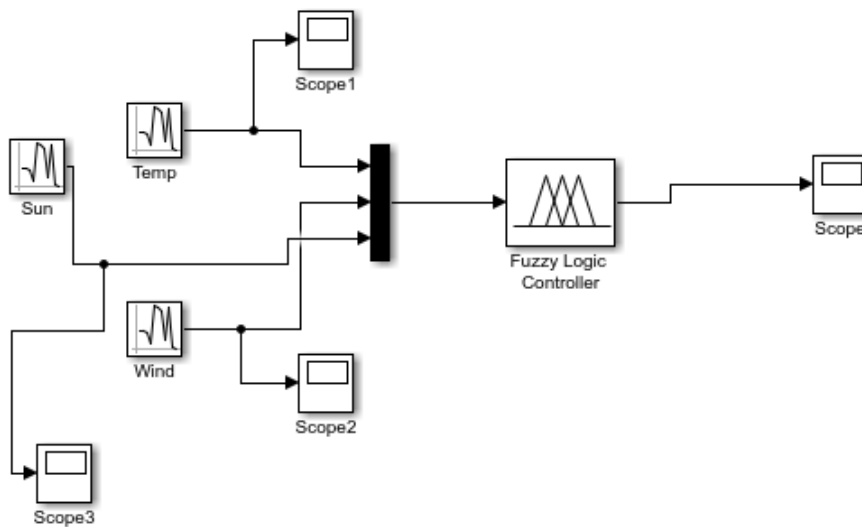


Рисунок 5 – Модель нечіткого контролера

Узагальнена схема нечіткого контролера включає блок опису функцій належності вхідних змінних (Input MF), блок опису функцій належності вихідної змінної (Output MF) та блок правил (Rule 1...63). Контролер опрацьовує нечіткі правила, враховуючи їх значимість, що описується значенням Weight (рис. 6).

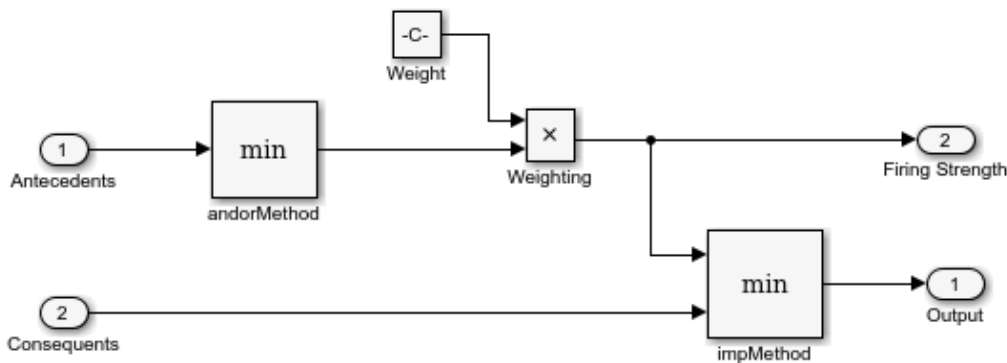


Рисунок 6 – Схема опрацювання нечітких вхідних значень змінних

Входами правила є значення вхідних змінних (Antecedens – вхід 1) та відповідне їм значення режиму клапана (Consequens – вхід 2). Обробка даних



здійснюється за мінімальним законом (блок min). Виходами схеми є значення функції належності виходу valve (вихід 1) та множина, що характеризує інтервал задання вказаного виходу (вихід 2). Для отримання логічного висновку на основі алгоритму Мамдані нечіткий контролер реалізує процедуру дефазифікації центроїдним методом, схему якої наведено на рисунку 7.

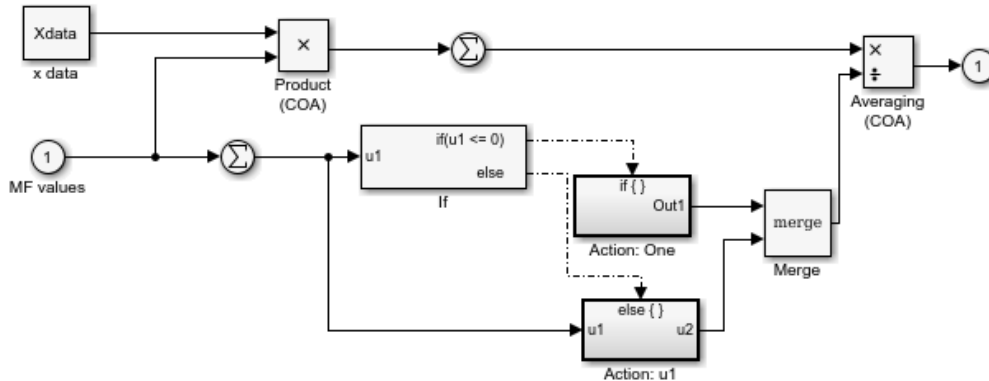


Рисунок 7 – Схема дефазифікації нечіткого логічного висновку

Зважаючи на вищезазначене, удосконалена система автоматизації ІТП базується на вищеописаному нечіткому контролері. Тестування нечіткого контролера ґрунтується на аналізі даних із блоків Scope (рис. 6). Результат роботи розробленого нечіткого контролера керування тепlopостачанням проілюстровано на рисунку 8. У таблиці 1 представлено результати тестування нечіткого контролера.

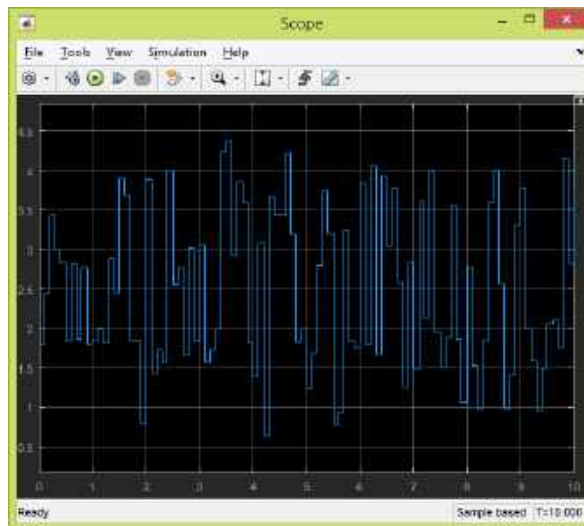


Рисунок 8 – Вихід нечіткого контролера керування тепlopостачанням

Таблиця 1 – Результати тестування нечіткого контролера

Temp	Wind	Sun	Valve
-7	0.5	0.5	0.945
-20.5	0.15	0.09	1.46
18	0.92	0.95	-5.057
-16.5	0.3	0.42	3.01



1.17	0.56	0.75	1.02
------	------	------	------

Аналіз результатів експериментальних досліджень свідчить про адекватність отриманих результатів, при чому на 50 тестових прикладах достовірність становить 94 %. Це показує перспективність застосування розробленої системи для удосконалення системи керування ІТП, що дозволить знизити енерговитрати й звести до мінімуму можливість «перегріву» будинку.

Висновки.

Розроблено нечітку систему керування роботою тепломережі на основі зовнішніх факторів впливу, що ґрунтується на базі знань й має програмно-апаратну реалізацію. Така система є адаптивною до змін і може модифікуватися залежно від кількості та значень вхідних змінних. Продемонстровано модель нечіткого контролера, результатами експериментальних досліджень підтверджено ефективність його функціонування.

Література:

1. Оптимізація систем теплопостачання із використанням економіко-математичного моделювання: монографія / за заг. ред. О. М. Гаврися. Х.: НТУ "ХПІ", 2015. 209 с.

2. Ахламов А.Г., Беляєв Л.В., Каменєв С.В. Імітаційна модель управління системою теплозабезпечення населення. *Державне управління: удосконалення та розвиток*. URL: <http://www.dy.nayka.com.ua/?op=1&z=269> (дата звернення 26.12.2023).

3. Perekrest A., Chenchevoi V., Chebotarova Ye. Comprehensive model of automated control system of heating in multi-storey building. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. 2018. Вип. 4 (44). P. 53-59.

4. Dyvak M.; Maslyiak Yu., Papa O., Savka N. Clustering and interval analysis of heterogeneous data sample. *Computer Sciences and Information Technologies (CSIT): 12th IEEE International Conf, 05–08 September 2017: Proceedings*. Lviv, Ukraine, 2017. Vol. 1. P. 528-532.

5. Vasylykiv N., Dubchak L., Turchenko I, Ivashchuk I., Savchyshyn R. Fuzzy Estimation Method of Information System Providing Part Influence on the Functioning Quality Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2019): 10th IEEE International Conf., 18–21 September 2019: Proceedings. Metz, France, 2019. P. 980-984.

6. Лугових О. О., Сорока М. М. Автоматизована система контролю індивідуального теплового пункту. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/06/48-1.pdf> (дата звернення 26.09.2023).

7. Колієнко А. Автоматизовані індивідуальні теплові пункти. Будівництво і експлуатація. URL: https://www.mdi.org.ua/images/Files/MERP/Lutsk_sem_21-23092016_presentations/Lutsk_sem_21-23092016_pres_ITP_Koliienko-5.pdf (дата звернення 28.12.2023).

8. Mamdani E. H. Application of fuzzy algorithms for the control of a simple dynamic plant. *Proc. IEEE*. 1974. Vol. 121. Iss. 12. P. 1585–1588.



Abstract. *The principle operation of the coolant supply system to consumers is analyzed. The main problems of heat supply are indicated and ways to solve them are proposed. The main thing in the modernization of heat supply systems is the process automation of controlling the characteristics of the heat carrier in order to save energy resources. Individual heat points enable control of heat carrier parameters based on weather conditions, but do not take into account the peculiarities of the influence parameters. Fuzzy logic apparatus is proposed for the implementation of the heat supply control system. Fuzzy system for controlling the mode of the coolant supply valve to the heating network was developed. Knowledge base is the basis of fuzzy system. The system of automation of individual heat point based on a fuzzy controller was improved. The effectiveness of the control system was studied. The results confirmed perspective of its application for modernization of heating systems in order to reduce heat losses and save energy resources.*

Keywords: *automated system, heat networks, heat supply system, fuzzy system, fuzzy controller.*

Стаття відправлена: 20.01.2024 р.

© Савка Н.Я.



<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-073>

DOI: 10.30888/2663-5712.2024-24-00-073

УДК 69:002; 69.059

**ARCHITECTURE OF INFORMATION SYSTEM OF DIAGNOSTICS OF
TECHNICAL CONDITION OF BUILDING FOUNDATIONS
АРХІТЕКТУРА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО
СТАНУ ФУНДАМЕНТІВ БУДІВЕЛЬ**

Terentyev O.O. / Терентьев О.О.

d.t.s., prof. / д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0001-6995-1419

Gorbatyuk Ie.V. / Горбатьок Є.В.

s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-8148-5323

Tyslenko O.B. / Тисленко О.Б.

Ph.D. degree / здобувач ступеня доктора філософії

Zubrij I.M. / Зубрій І.М.

Ph.D. degree / здобувач ступеня доктора філософії

Kyiv National University of Construction and Architecture,

Kyiv, Povitryanikh Sil Avenue, 31, 03037

Київський національний університет будівництва і архітектури,

Київ, Повітряних Сил, 31, 03037

Makarchuk O.V. / Макарчук О.В.

s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

Nadsluchansky institute NUWEE,

V'yacheslava Chornovola vul. 26, Berezne, Rivnenska, 34600

Надслучанський інститут НУВГП,

В'ячеслава Чорновола вул. 26, Березне, Рівненська, 34600

Анотація. Дана робота висвітлює питання, що пов'язані з надійністю фундаментів будівель. Надійність фундаменту будівель це його здатність сприймати зовнішні впливи і передавати їх основи при забезпеченні нормальної експлуатації споруд. Отримані результати дозволяють виявити найбільші ускладнення при спільному проектуванні основ, фундаментів і наземної конструкції будівель. Це дозволяє вибрати розрахункові моделі основи при різних характеристиках ґрунтів.

Ключові слова: основа, фундамент, будівля, надійність, ґрунт, комплексна безпека, захист.

Вступ.

Будь-яка будівельна споруда передає діючі на нього навантаження, включаючи власну вагу на основу. Основа – це нашарування ґрунтів, що сприймає тиск від споруди. Розрізняють основи природні, складеними природними ґрунтами і штучно поліпшені.

Розташовувати споруду безпосередньо на поверхні землі можна в рідких випадках. Цьому перешкоджають особливості верхніх шарів ґрунту:

- їх мала несуча здатність;
- можливість вертикального переміщення під впливом метеорологічних;
- можливість руйнування землероями, вивітрюванням і коренями рослин.



По зазначених причинах необхідно влаштування фундаменту – підземної конструкції, що призначається для передачі тиску на ґрунти, що лежать на деякій глибині.

Надійність фундаменту – це його здатність сприймати зовнішні впливи і передавати їх основі при забезпеченні нормальної експлуатації споруд.

Під надійністю основи необхідно розуміти його здатність сприймати всю сукупність зовнішніх впливів (навантаження, природнокліматичні й технологічні фактори) у заданий термін із забезпеченням нормальної експлуатації споруди в цілому і розміщеного в ньому устаткування.

Викладення основного матеріалу.

Основи, фундаменти і наземні конструкції працюють спільно і повинні проектуватися як одна складена конструкція. Для проектування такої конструкції необхідно оцінити особливості роботи всієї системи і кожної з її складових частин окремо. Потрібно вміти передбачати, яким чином зміни в одній з частин системи позначаються на умовах роботи інших частин. Необхідно мати на увазі, що обсяг, і обрис робочої частини основ змінюються в процесі зведення та експлуатації споруд. Основа починає формуватися з початку розробки котловану. Виймка ґрунтів зменшує навантаження на лежачі нижче ґрунти, вони розщільнюються і дно котловану піднімається. В міру зведення фундаментів, наземних конструкцій, монтажу устаткування і пуску об'єкта в експлуатацію ґрунти ущільнюються - формується основа. Ущільнення ґрунтів основи протікає в часі. У глинистих ґрунтах це може продовжуватися роками. Об'єм, що сформувався, і обрис основи під фундаментом можуть змінюватися в результаті змін умов експлуатації, від періодичної дії тимчасових навантажень, у результаті зміни природних умов у районі будівництва на окремих будівельних майданчиках.

Деформації фундаментів і конструкцій, що знаходяться під землею, виявляються по дефектах у наземних конструкціях. Найбільше ускладнення при спільному проектуванні основ, фундаментів і наземної конструкції виникає в оцінці роботи ґрунтів основи, виборі розрахункових моделей основи і призначенні розрахункових характеристик ґрунтів, оскільки ґрунти по глибині та простяганню мають різне залягання. Їх, фізичні і механічні властивості можуть змінюватися в процесі будівництва. Необхідно також враховувати наявність можливих підземних вод, сейсмічне і кліматичне розташування будівельного майданчика.

У відповідності зі ДБН В.2.1-10-2009 проектування основ і фундаментів складається з обґрунтованого відповідним розрахунком вибору типу основи (природне чи штучне), фундаменту (конструкції, матеріалу і розмірів, мілкового чи глибокого закладення, стрічкового, стовпчастого, плитного та ін.), заходу щодо зменшення впливу деформацій споруди на експлуатаційну придатність.

Не мало важливим є і наявність підземних вод. Необхідно враховувати їхні характеристики (ґрунтові води і верховодка, ґрунтові, міжшарові, інфільтраційні, конденсаційні), режим підземних вод (для відстеження процесів, які відбуваються під землею складають гідрогеологічні й гідрохімічні карти), проектування будівельних котлованів повинне проходити з урахуванням



припливу води і коефіцієнта фільтрації (водопроникності ґрунтів).

Для більш детального розгляду цієї теми пропонується розглянути структуру будівельних конструкцій споруд та послідовність проектування будівельних конструкцій споруд (рис. 1, рис. 2). За допомогою цих структур можна простежити послідовність проектування фундаментів і основ, поділити цілі на підцілі, та виявити задачі, які необхідно розв'язати для досягнення кінцевого результату – отримання креслення фундаменту мілкого закладання з ходом розрахунку.

Кожна площадка має специфічні особливості, насамперед з суґубо індивідуальним нашаруванням ґрунту. Це ускладнює оцінку їхнього впливу на вибір глибини закладення підшви. У зв'язку з цим можна розглянути типові схеми нашарування, які можна згрупувати всі інженерно-геологічні умови. Для схематизації всі ґрунти поділяють на дві умовні групи: слабкі й надійні. Слабкими називають ґрунти, якщо використання їх як основу при влаштуванні фундаментів у відкритих котлованах не може забезпечити надійного існування проектованої споруди. Надійними називають ґрунти, що забезпечують необхідне існування проектованої споруди, але варто звернути увагу на відносність прийнятих понять, тому що для кожної споруди, які будуються є свої нормативні вимоги до основи.

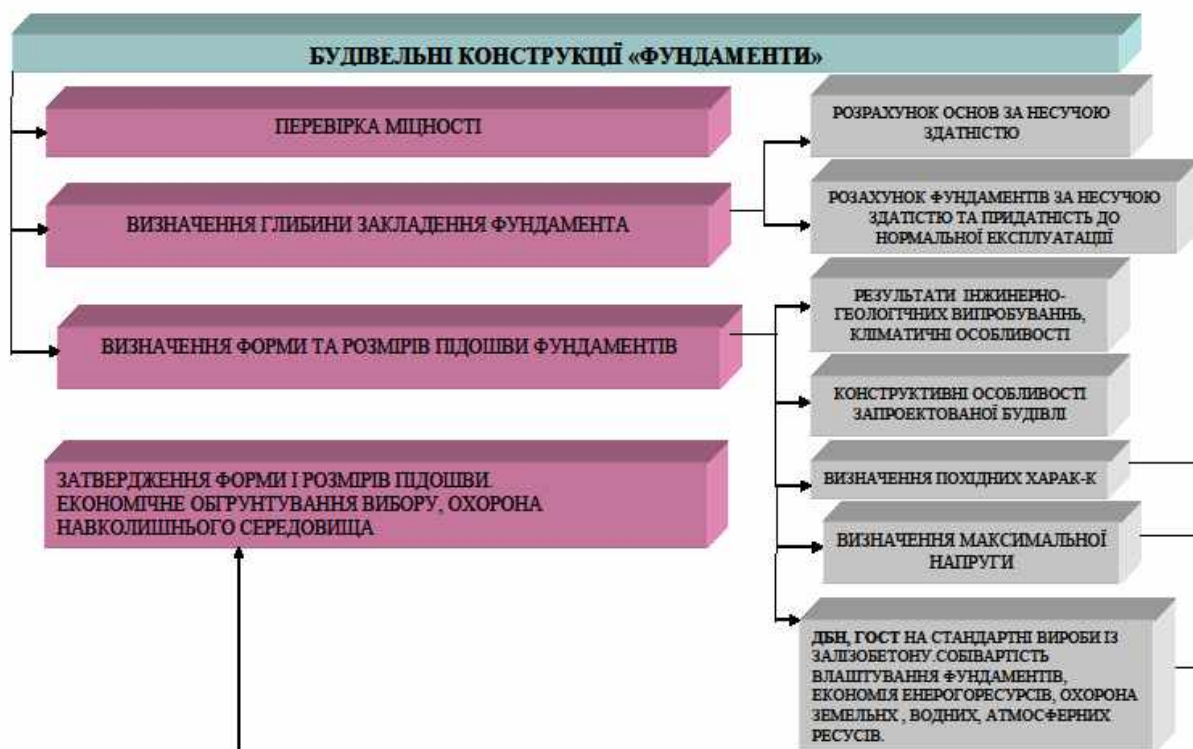


Рисунок 1 - Структура будівельних конструкцій і споруд

З поверхні на велику глибину залягають надійні ґрунти. Товща їх може складатися з декількох шарів. Будівельні якості всіх підстильних шарів не нижче якості ґрунтів усіх підстильних та якості ґрунтів верхнього шару товщі.

Рішенням для такої схеми нашарування ґрунтів є прийняття мінімальної глибини закладення підшви фундаментів, що допускається при обліку впливів



кліматичних умов. Це оптимальна схема для фундаментів мілкого закладання. Влаштування у виїмках є самим економічно вигідним способом, тому, що не потрібно великих трудових, енергетичних, матеріальних затрат.

На рисунку 3 з поверхні на деяку глибину залягає один чи декілька шарів слабких ґрунтів, нижче яких розташовується товща надійних ґрунтів. Така схема дає можливість знайти декілька варіантів рішень.



Рисунок 2 - Послідовність проєктування будівельних конструкцій і споруд

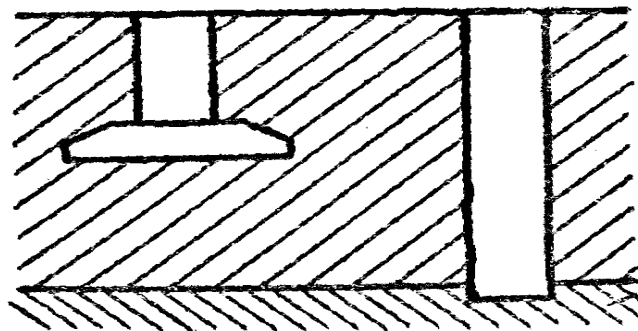


Рисунок 3 - Варіанти влаштування фундаментів

Найпростішим рішенням є прорізка слабких ґрунтів і передача навантаження на шар надійних ґрунтів. При високих якостях надійного ґрунту споруди можна опертися на стовпи чи палі. Палі при цьому можуть мати різну довжину в залежності від якості надійного ґрунту. Легкі споруди можна зводити на палях, що передає навантаження на слабкі ґрунти. Слабкі ґрунти можуть бути ущільнені, замінені чи закріплені, іноді доцільно використовувати слабкі ґрунти в основі, понизивши чутливість несучої конструкції до нерівномірних опадів чи зменшивши нерівномірності осад шляхом влаштування суцільних фундаментних плит, чи стрічкових фундаментів під колони.



В даному випадку влаштування фундаментів мілкового закладання можливе лише у випадках коли майбутня споруда буде мати малу масу, чи нечутливою до невеликих перекосів.

У цьому випадку прийнятні рішення, розглянуті при нашаруванні ґрунтів, однак доводиться прорізати і верхній шар надійного ґрунту. При нашаруванні ґрунтів верхній шар надійного ґрунту можна використовувати як розподільну подушку, чи закріпити тільки шар слабкого ґрунту.

Для оцінки будівельних властивостей ґрунтів використовуються характеристики фізико-технічних властивостей.

Основні закономірності механіки ґрунтів:

- стискальність ґрунтів;
- водопроникність;
- граничний опір ґрунтів зрушенню;
- структурно-фазова деформованість.

У відповідності зі ДБН В.2.1-10-2009 проектування основ і фундаментів складається з обґрунтованого відповідним розрахунком вибору типу основи (природне чи штучне), фундаменту (конструкції, матеріалу і розмірів, мілкового чи глибокого закладення, стрічкового, стовпчастого, плитного та ін.), заходу щодо зменшення впливу деформацій споруди на експлуатаційну придатність.

Не мало важливим є і наявність підземних вод. Необхідно враховувати їхні характеристики (ґрунтові води і верховодка, ґрунтові, меж шарові, інфільтраційні, конденсаційні. Також необхідно враховувати і те, що інженерні споруди активно впливають на інженерно-геологічні процеси такі як: сейсмічні явища (землетруси: вулканічні, тектонічні, техногенні), вивітрювання гірських порід.

Споруди класифікуються по: поверховості (кількість поверхів), будівельним матеріалам, які використовують, архітектурно-планувальним показникам, типізації проектних рішень і призначенню, типу твердості й характеру деформації, місцем застосування (таблиця 1).

Таблиця 1 - Класифікація споруд за назвою та місцем застосування

Вид об'єкта	Призначення об'єкта	Найменування
Будівля	Житло	Гуртожитки, житлові будівлі, готелі, пансіонати, дома відпочинку.
	Громадське	Адміністративні, учбові, культурно-освітні, торговельні, комунально-господарські, їдальні
	Промислове	Заводи, фабрики, котельні, електростанції
	Транспортні	Ангари, гаражі, вокзали, депо
	Сільсько-господарські	Теплиці, зерносховища, птахофабрики, тваринні ферми.
Споруда	-----	Мости, вежі, аеродроми, пристані, димарі



У таблиці 2 представлені застосування фундаментів будівельних споруд.

Таблиця 2 - Застосування фундаментів будівельних споруд

Тип фундаменту	Вид наземної конструкції
Окремі	Колони, кути споруд, балки, ферми, арки, опори
Стрічкові	Стіни будівель та споруд, опорні рами устаткування, висотні будівлі, заводські (фабричні) труби
Суцільні	Насосні станції.
Масивні	Башти, щоглі, мостові опори, колони

В залежності від матеріалу основних конструкцій споруд вибирають і матеріал фундаментів: бетон, залізобетон, кам'яні матеріали.

У таблиці 3 зазначені матеріали, що рекомендуються для різних типів фундаментів.

Таблиця 3 - Класифікація споруд за назвою та місцем застосування

Тип фундаменту	Матеріал					
	Бетон та залізобетон		Бут	Цегла	Піляний камінь	Цементо-грунт
	збірний	суцільний				
Окремі безстаканні	+	+	-	+	+	+
стаканні	+	+	-	-	-	-
Стрічкові	+	+	+	+	+	+
Суцільний	-	-	-	-	-	-
Масивний	+	+	+	+	+	+

Знаком «+» відзначені матеріали, застосовані для перерахованих фундаментів

Матеріали для фундаментів влаштовуються у відкритих котлованах, що повинні мати необхідну міцність, морозостійкість і водостійкість, оскільки фундаменти в процесі будівництва і експлуатації відчувають не тільки дію зовнішніх навантажень, але і вплив ґрунтових і поверхневих вод, замерзання та відтавання. Бутобетон застосовується рідше тому що вимагає великих витрат ручної праці.

Окремі фундаменти влаштовують під елементи, які переказують на ґрунт зосереджені навантаження. Окремі фундаменти можуть робити в монолітному та збірному варіантах. Розроблено збірні конструкції окремих фундаментів складених з основних (блок-стакан) і добірних елементів (фундаментні плити різних розмірів). Результати досліджень не занурених збірних фундаментів свідчить про їхню усталену роботу. До утворення тріщин плитний фундамент працює як рівновеликий по обсягу і армуванню одноблоковому. Розходження в роботі спостерігаються лише після появи тріщин.

Для розрахунку осад основи фундаменту необхідно мати розміри підошви і



переданий на ґрунт тиск. У зв'язку з цим попередньо розраховують розміри підшви фундаментів, виходячи з розрахункового опору ґрунту основи, тобто відповідно до розрахунку основи фундаменту по другій групі граничних станів.

Інформаційна частина проєкту дає можливість визначити необхідні данні для подальшого розрахунку фундаментних плит (рисунок 4).



Рисунок 4 - Схема визначення даних для проведення розрахунку

З цієї схеми видно що, для отримання результатів по визначенню похідних характеристик ґрунтів, та визначенню скельних ґрунтів необхідна, вхідна інформація, яка застосовується лише в блоках розрахунку цих двох характеристик. На відміну від визначення нескельних ґрунтів. Для отримання результатів по визначенню характеристик нескельних ґрунтів користувач повинен отримати результати розрахунку похідних характеристик, але це не є обов'язковим, тому, що система дає можливість самостійно вводити відсутні значення, це може робити користувач з певним досвідом проєктування, чи знаннями в фундаментобудуванні. На правильність вводу вхідної інформації немає



перевірок, крім її повноти для проведення розрахунку.

Висновки.

Визначення розрахункового опору ґрунту має велике значення для отримання результатів проєктування фундаментних плит. Ця величина певною мірою впливає на розмір та глибину закладання. Інформація, яка була отримана при розрахунках може (в деяких випадках повинна) використовуватись, як допоміжна вхідна. В даному розділі розрахунок опору ґрунту представлений з особистими вхідними параметрами, які можна додати у звіт, або при необхідності використати їх, як вхідні данні при розрахунку розмірів підосви фундаментів.

Проведений аналіз дозволяє вирішувати задачі інформаційної системи безпечної експлуатації фундаментів будівель для підтримки прийняття рішень щодо визначення даних для проведення розрахунку та діагностики технічного стану фундаментів будівель.

Література:

1. Honcharenko T., Terentyev O., Gorbatyuk I. (2022). Mathematical Modeling of Information System Designing Master Plan of the Building Territory Based on OLAP Technology. *Mathematical Modeling and Simulation of Systems. MODS 2021. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 344. Springer, Cham. P. 3–15.

2. BIM-Concept for Design of Engineering Networks at the Stage of Urban Planning / T. Honcharenko, O. Terentyev, O. Malykhina, I. Druzhynina, I. Gorbatyuk. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. Vol. 11 (2021) No. 5, 2021. P. 1728-1735.

3. Increasing efficiency of information system of complex security of buildings protection / Terentyev A.A., Gorbatyuk Ie.V., Serpinska O.I., Borodinya V.V. *Eastern European Scientific Journal*. 2021. Vol. 1, № 3 (67): Technical science. P. 24-28.

4. Дослідження та реалізація інтелектуальної інформаційної технології тестування нейронної мережі системи діагностики технічного стану будівель / Терентьев О.О., Горбатюк Є.В., Доля О.В., Серпінська О. І., Лященко М.А. *Управління розвитком складних систем: збірник наукових праць*. Київ: КНУБА, 2021. Вип. 46. С. 76-83.

5. Terentyev O.O., Grigorovskiy P.E., Tugaj A.A., Dubynka O.V.. Building a System of Diagnosis Technical Condition of Buildings on the Example of Floor Beams Using Methods of Fuzzy Sets. *Proceedings of the 2nd International Conference on Building Innovations*, June 14, 2020. P. 729-739.

6. Підвищення ефективності інформаційної системи комплексної безпеки захисту будівель / Терентьев О.О., Горбатюк Є.В., Тисленко О.Б., Зубрій І.М. *Modern engineering and innovative technologies*. Issue №29. Part 1. 2023. P. 102-111.

7. Моделі та методи інформаційної технології системи діагностики технічного стану об'єктів будівництва: підручник / Терентьев О.О., Русан І.В, Горбатюк Є.В., Бородавка Є.В., Баліна О.І., Доля О.В., Тисленко О.Б. Київ: ЦП Компринт, 2023. 240 с.

8. Основи організації нечіткого виведення для задачі діагностики технічного стану будівель / Терентьев О.О., Горбатюк Є.В., Горбатюк М.Є., Петровський



В.В., Панчук Б.О. The 2nd International scientific and practical conference. Achievements and prospects of modern scientific research (January 11-13, 2021) Editorial EDULCP, Buenos Aires, Argentina. 2021. 229-237.

9. Terentyev Oleksandr, Gorbatyuk Eugene. Research and implementation of intellectual of neural network testing information technology systems of diagnostics of technical condition of buildings. Тези доповідей дев'ятої міжнародної науково-практичної конференції «Управління розвитком технологій». Тема: Інформаційні технології розвитку змісту освіти. Київ: КНУБА, 2022. С. 10-11.

***Abstract.** This work highlights issues related to the reliability of building foundations. The reliability of the foundation of buildings is its ability to perceive external influences and transfer them to the basis when ensuring the normal operation of structures. The results reveal the greatest complications in the joint design of foundations, foundations and ground construction of buildings. This allows you to select design base models for different soil characteristics.*

***Key words:** foundation, building, reliability, soil, integrated safety, protection.*

Стаття відправлена: 24/03/2024

© Терентьев О.О., Горбатьюк Є.В., Тисленко О.Б.,
Зубрій І.М., Макарчук О.В.



<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-011>

DOI: 10.30888/2663-5712.2024-24-00-011

УДК 621.436

FEATURES OF THE METHODOLOGICAL APPROACH TO THE STUDY OF THE DYNAMICS OF THE GAS DISTRIBUTION MECHANISM OF TRANSPORT POWER INSTALLATIONS

ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДИЧНОГО ПІДХОДУ ДО ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ МЕХАНІЗМУ ГАЗОРОЗПОДІЛУ ТРАНСПОРТНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Lohvinenko O.A. / Логвіненко О.А.

s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-5731-7995

Ukrainian State University of Railway

Transport, Kharkiv, Feuerbach Square 7, 61050

Український державний університет залізничного транспорту,
Україна, м. Харків, майдан Фейєрбаха 7, 61050

Анотація. В статті розглядається актуальне питання щодо необхідності проведення динамічного дослідження механізму газорозподілу транспортних енергетичних установок, метою якого є розрахунок дійсного руху клапанів з урахуванням інерційних, пружно-дисипативних параметрів ланок, а також діючих в механізмі навантажень. Представлено опис покрокових етапів робіт та математичний апарат, які дозволяють отримати математичну модель, що відповідає прийнятній динамічній моделі на підставі опису силових дій в механізмі газорозподілу. Зазначено, що дослідження математичної моделі дозволить провести моделювання динамічних характеристик та визначити реальні закони руху клапанів.

Ключові слова: енергетична установка, механізм газорозподілу, динаміка, динамічна модель, математична модель, реальні закони руху клапанів.

Вступ.

Транспортна галузь будь-якої європейської країни є важливим сектором економіки, що забезпечує зайнятість і вагомий внесок у її валовий внутрішній продукт. Наряду з цим транспорт, як її основа, є важливою складовою інфраструктури країни та забезпечує рух товарів, послуг і людей, а ефективна транспортна система дозволяє забезпечити умови економічного зростання, підвищення конкурентоспроможності національної економіки та якості життя населення [1].

В той же час основою сучасних технічних засобів транспорту є енергетичні установки, в яких при перетворенні енергії палива в роботу, за допомогою спеціальних пристроїв та механізмів, що складають їх конструкцію, відбуваються відповідні робочі процеси. До основних процесів, що протікають в транспортних енергетичних установках, слід віднести газообмінні процеси в циліндрах, які в значній мірі залежать від характеристик функціонування механізму газорозподілу (МГР) [2,3]. Слід відмітити, що основним елементом МГР є кулачковий механізм приводу клапанів, ефективність якого оцінюється величиною «час-переріз» клапанів при забезпеченні надійності та довговічності в експлуатації [2,4].



Аналіз останніх досліджень і публікацій показав [4-6], що однією з основних причин порушення нормальної роботи МГР, а іноді і руйнувань окремих деталей (важелів, клапанів) є пружні коливання ланок клапанного привода. Причому інтенсивність таких коливань в значній мірі визначається профілями кулачків розподільного валу [2,3]. Ці обставини обґрунтовують необхідність проведення динамічного дослідження клапанного привода, метою якого є розрахунок дійсного руху клапанів з урахуванням інерційних, пружно-дисипативних параметрів ланок, а також діючих в механізмі навантажень.

Викладення основного матеріалу. В загальному плані запропонований методичний підхід до дослідження динаміки МГР передбачає виконання наступних етапів робіт: по перше, це заміна реального кінематичного ланцюга МГР (складної механічної системи) на еквівалентну динамічну модель (спрощену розрахункову систему) з основними параметрами, що відповідають інерційним, силовим, пружно-дисипативним параметрам механізму привода клапанів; по друге, це складання математичної моделі, яка відповідає прийнятній динамічній моделі на підставі опису силових дій в МГР і по-третє, це дослідження математичної моделі для отримання динамічних характеристик і здійснення контролю умов прийнятної динаміки МГР.

Нижче, в якості прикладу, наводиться покрокове проведення вищезазначених етапів робіт стосовно до дослідження динаміки механізму газорозподілу транспортної енергетичної установки (ТЕУ) ЧН26/27. Проведені в рамках першого етапу дослідження, а також аналіз особливостей конструкції кулачкового механізму газорозподілу ТЕУ ЧН26/27 (рисунок 1) дозволили запропонувати для опису динамічних процесів в різних елементах привода одномасову динамічну модель (ДМ), яка представляється у вигляді узагальненої одномасової коливальної системи (рисунок 2).

Слід зауважити, що застосування для дослідження одномасової ДМ допускається тільки при відповідному вірному виборі її параметрів, основними з яких є зведена до осі клапану маса $m_{зв}$ і жорсткість $c_{зв}$ механізму. З урахуванням конструкції механізму газорозподілу ТЕУ ЧН26/27 дані параметри ДМ знаходяться за наступними залежностями:

$$m_{зв} = m_{кл} + \frac{1}{3}m_{пр} + \frac{I_в}{Q^2}, \quad c_{зв} = \frac{1}{\frac{1}{c_{шт}} + \frac{1}{c_{кор}} + \frac{1}{c_в}}$$

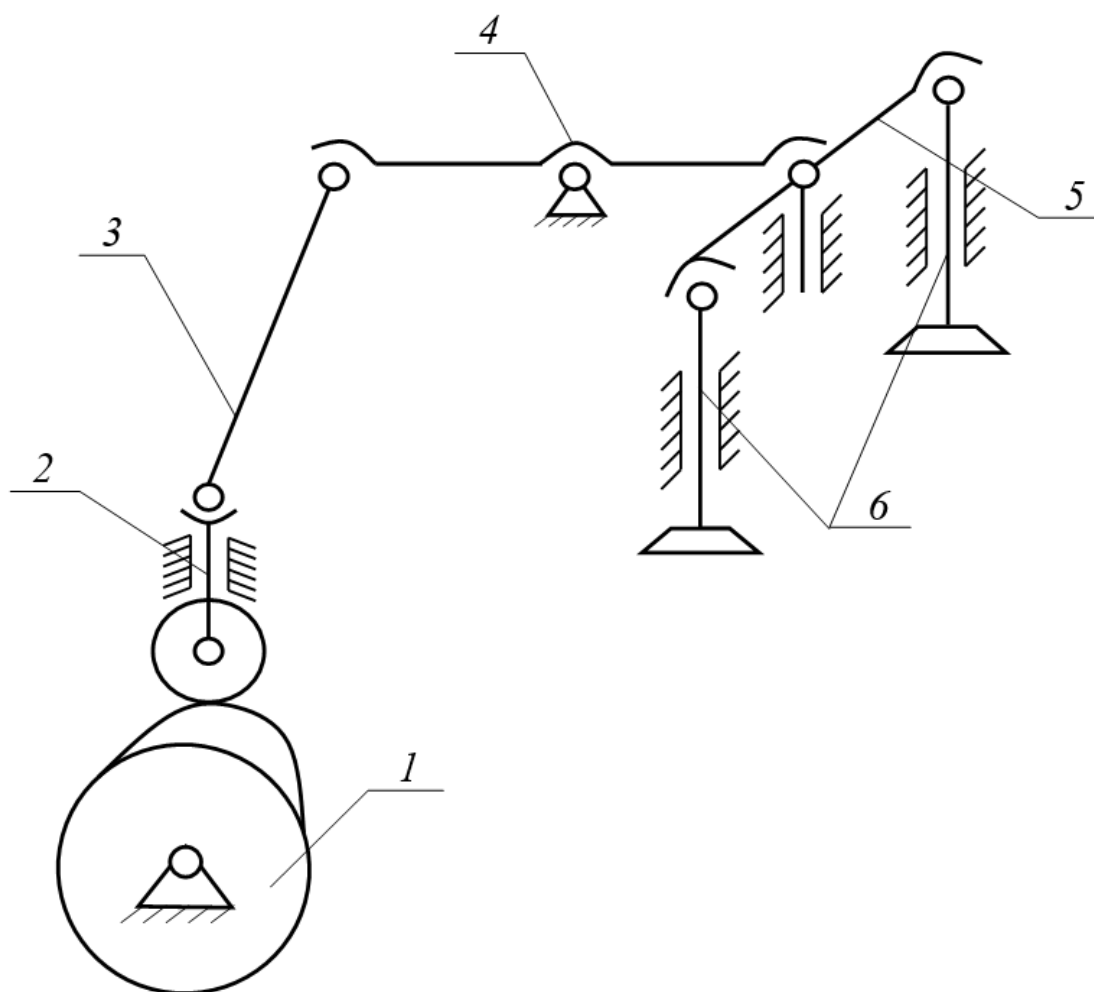
де $m_{кл}$ - маса клапанного комплекту і деталей кріплення пружин;

$m_{пр}$ - маса клапанної пружини;

$I_в$ - момент інерції важеля відносно його осі обертання;

Q - відстань від осі коромисла до осі клапану;

$c_{шт}$, $c_{кор}$, $c_в$, $c_{кл.пр}$ - відповідно жорсткості штанги, коромисла клапану разом зі стійкою та віссю, розподільчого валу, клапанної пружини.



1 - розподільний вал; 2 - штовхач; 3 - штанга;
4 - коромисло; 5 - траверса; 6 - клапани

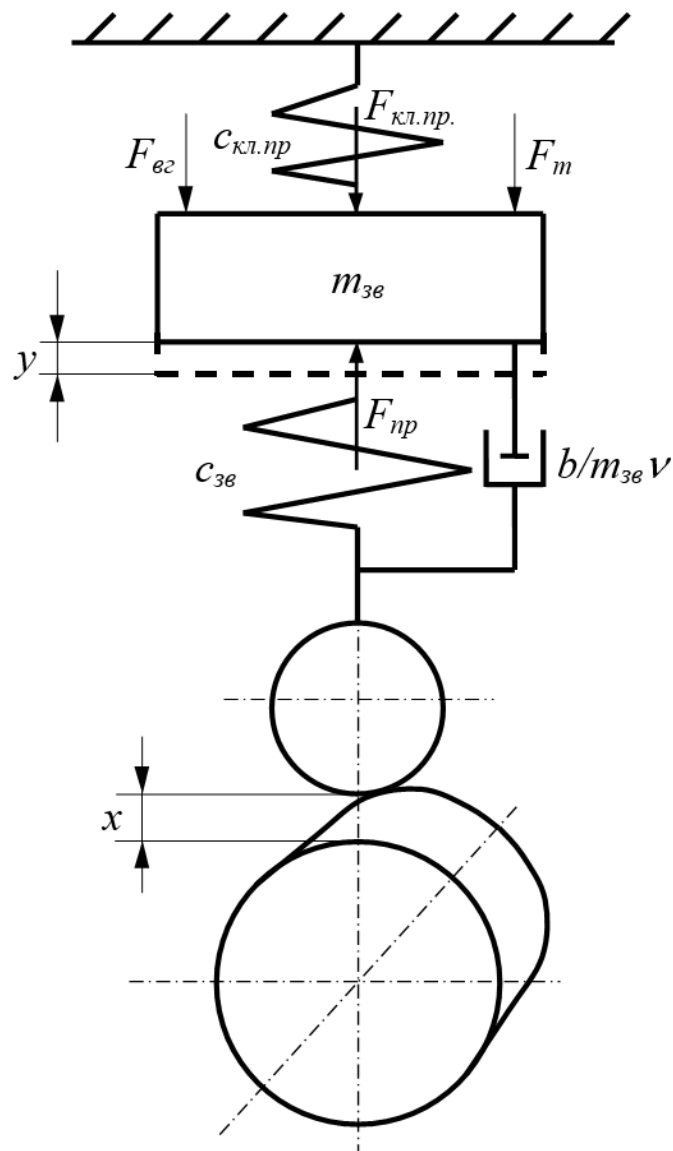
Рисунок 1 - Кінематична схема механізму газорозподілу ТЕУ ЧН26/27

Авторська розробка

Нижче наводиться вираз для визначення частоти власних коливань системи ν (рисунок 2):

$$\nu = \sqrt{\frac{C_{зв} + C_{кл.пр}}{m_{зв}}}$$

З урахуванням вищенаведеного відповідний вибір параметрів робить обґрунтованим заміну дійсного механізму газорозподілу ТЕУ ЧН26/27 одномасовою ДМ. При цьому рівняння, яке описує дійсний рух клапану співпадає з рівнянням руху зведеної маси $m_{зв}$. Також на рисунку 2 показані сили діючі на масу $m_{зв}$: $F_{пр}$ - сила пружної деформації передаточних ланок привода; $F_{кл.пр}$ - сила клапанної пружини; F_m - сила тертя в механізмі; $F_{вг}$ - сила тиску газів, що відпрацювали, на головку випускного клапану. При цьому: x - поточне значення лінійного переміщення штовхача, зведеного до осі клапану; y - поточне значення переміщення клапану, відповідно переміщенню x .



**Рисунок 2 - Узагальнена динамічна модель механізму газорозподілу
ТЕУ ЧН26/27**

Авторська розробка

Тоді поточне значення пружної деформації механізму буде визначатися із наступного співвідношення:

$$z = x - y.$$

Відповідно до основного закону динаміки можна записати таке рівняння руху зведеної маси:

$$m_{3\theta} \ddot{y} = F_{пр} - F_{кл.пр} - F_m - F_{\theta z},$$

де \ddot{y} - поточне значення прискорення маси $m_{3\theta}$.

Сила пружної деформації передаточних ланок приводу:

$$F_{пр} = c_{3\theta} \cdot z.$$

Сила клапанної пружини:

$$F_{кл.пр} = F_0 + c_{кл.пр} y,$$

де F_0 - сила попередньої затяжки клапанної пружини.



Для визначення значення сили тертя F_m відповідно до рекомендацій [7], внутрішнє тертя при розрахунку може бути замінено умовним в'язким опором, спрямованим протилежно до швидкості деформації \dot{z} . Силу зовнішнього опору можна вважати пропорційною та протилежно спрямованою швидкості клапану \dot{y} . Таким чином:

$$F_m = b_1 \cdot \dot{z} - b_2 \cdot \dot{y},$$

де b_1 - умовний коефіцієнт внутрішнього в'язкого опору;

b_2 - коефіцієнт зовнішнього в'язкого опору.

Поточні значення сили тиску відпрацьованих газів на головку випускного клапану F_{62} , відповідно до рекомендацій [3], з достатньою точністю можна визначити за співвідношенням:

$$F_{62_i} = (p_6 - l) \cdot f_k \cdot \left(1 - \frac{\varphi_i}{2\varphi_{\text{вип}}} \right),$$

де p_6 - тиск в циліндрі в момент початку руху випускного клапану;

f_k - площа головки випускного клапану;

φ_i - поточне значення кута обертання кулачку;

$\varphi_{\text{вип}}$ - кут випередження відкриття випускного клапану до нижньої мертвої точки.

Використовуючи вирази для сил F_{np} , $F_{кл.нр}$ та F_m після перетворення можна записати дві форми рівняння руху клапану:

$$y'' + \frac{b}{m_{36} \cdot \omega} y' + \frac{c_{36} + c_{кл.нр}}{m_{36} \cdot \omega^2} y = \frac{b_1}{m_{36} \cdot \omega} x' + \frac{c_{36}}{m_{36} \cdot \omega^2} x - \frac{F_o + F_{62}}{m_{36} \cdot \omega^2}, \quad (1)$$

$$z'' + \frac{b}{m_{36} \cdot \omega} z' + \frac{c_{36} + c_{кл.нр}}{m_{36} \cdot \omega^2} z = x'' + \frac{b_2}{m_{36} \cdot \omega} x' + \frac{c_{36}}{m_{36} \cdot \omega^2} x + \frac{F_o + F_{62}}{m_{36} \cdot \omega^2}, \quad (2)$$

де y' і y'' - відповідно аналоги швидкості та прискорення клапану;

x' і x'' - відповідно зведені до осі клапану аналоги швидкості та прискорення штовхача;

ω - кутова швидкість обертання кулачку;

b - сумарний коефіцієнт в'язкості, $b = b_1 + b_2$. У випадку відсутності пристроїв для гасіння коливань клапанних пружин правомірно прийняти $b_2 = 0$, тобто $b = b_1$.

Рівняння (1) описує абсолютний рух клапану, а рівняння (2) – його відносний рух (деформацію привода). При проведенні дослідження динаміки зручніше використовувати рівняння деформації привода (2), яке дає можливість безпосереднього контролю виконання умови нерозривності кінематичного ланцюга $z > 0$. В той же час рівняння (2) можливо використовувати в більш зручній формі:

$$z'' + \frac{b}{m_{36} \cdot v} z' + \frac{v^2}{\omega^2} z = x'' + x \frac{c_{кл.нр}}{(c_{36} + c_{кл.нр})} \cdot \frac{v^2}{\omega^2} + \frac{F_o + F_{62}}{(c_{36} + c)} \cdot \frac{v^2}{\omega^2}, \quad (3)$$



де $\frac{b}{m_{3\beta} \cdot \nu}$ - коефіцієнт демпфірування.

Рівняння (3) представляє собою математичну модель, яка відповідає одномасовій ДМ. Слід відмітити, що значення жорсткісних та демпфуючих параметрів можливо знайти експериментальним шляхом [8], а значення ν і

$\frac{b}{m_{3\beta} \cdot \nu}$ за наступними співвідношеннями:

$$\nu = 2\pi \cdot \frac{1}{T}; \quad \frac{b}{m_{3\beta} \cdot \nu} = \frac{1}{\pi} \ln \frac{A_n}{A_{n+1}},$$

де T - період власних коливань;

A_n, A_{n+1} - послідовні амплітуди напружень.

Висновки.

Описаний в статті методичний підхід до дослідження динаміки механізму газорозподілу транспортних енергетичних установок дозволяє, при визначених кінематичних характеристиках і пружно-дисипативних параметрах, моделювати динамічні характеристики та одержувати реальні (з урахуванням динамічних відхилень у русі клапанів на працюючій енергетичній установці) закони руху клапанів. Також наведені в статті матеріали можуть бути використані при проектуванні нових або удосконаленні існуючих енергетичних установок технічних засобів транспорту.

Література:

1. Крихтіна Ю. О. Державна політика розвитку транспортної галузі України: теорія, методологія, практика: монографія. Харків: «Діса плюс», 2022. - 336 с.
2. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т.1. Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин. / За редакцією проф. А.П. Марченка, проф. А.Ф. Шеховцова. Харків: Видавн. центр НТУ «ХПІ», 2004. 491 с.
3. Logvinenko A. A. Peculiarities of stress calculation of basic parts of valve timing gear of modern locomotive electric power installations // Metallurgical and mining industry (Machine building). Dnipropetrovsk, 2014. No.6. P. 59-63.
4. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т.6. Надійність ДВЗ. / За редакцією проф. А.П. Марченка, проф. А.Ф. Шеховцова. Харків: Видавн. центр НТУ «ХПІ», 2004. 423 с.
5. Diesel and Gasoline Engines. Edited by Richard Viskup. Published 26 February 2020 in London, United Kingdom, 2020 by IntechOpen. Doi: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.75259>. ISBN 978-1-78985-447-3. 191 p.
6. Klaus Mollenhauer, Helmut Tschöke: Handbook of Diesel Engines. Published: 21 July 2010, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-89083-6>. ISBN978-3-540-89083-6. 636 p.
7. Основи прикладної теорії коливань: Підруч. для студентів машинобуд. та електромех. спец. / В.В. Воробйов, Л.Д. Воробйова, С.П. Киба; Кременчуц. нац. ун-т ім. Михайла Остроградського. Кременчук: Щербатих О.В., 2020. 153 с.



8. Мороз В.І., Братченко О.В., Логвіненко О.А. Експериментальне визначення пружно-дисипативних параметрів механізму газорозподілу тепловозного дизеля Д80 // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2002. №1. С. 15–18.

References.

1. Krykhtina Yu.O. Derzhavna polityka rozvytku transportnoyi haluzi Ukrainy: teoriia, metodolohiia, praktyka [State policy of transport industry development in Ukraine: theory, methodology, practice]: monohrafiia. Kharkiv: «Disa plus», 2022. 336 p.
2. Dvyhuny vnutrishnoho zhoriannia [Internal Combustion Engines]: Serii pidruchnykiv u 6 tomakh. T.1. Rozrobka konstruktsii forsovanykh dvyhuniv nazemnykh transportnykh mashyn [Development of designs for forced engines of ground transport machines]. / Za redaktsiieiu prof. A.P. Marchenka, prof. A.F. Shekhovtsova. Kharkiv: Vydavn. tsentr NTU “KhPI”, 2004. 491 p.
3. Logvinenko A. A. Peculiarities of stress calculation of basic parts of valve timing gear of modern locomotive electric power installations // Metallurgical and mining industry (Machine building). – Dnipropetrovsk, 2014. No.6. P. 59-63.
4. Dvyhuny vnutrishnoho zhoriannia [Internal Combustion Engines]: Serii pidruchnykiv u 6 tomakh. T.6. Nadiinist DVZ [Reliability of internal combustion engines]. / Za redaktsiieiu prof. A.P. Marchenka, prof. A.F. Shekhovtsova. Kharkiv: Vydavn. tsentr NTU “KhPI”, 2004. 423 p.
5. Diesel and Gasoline Engines. Edited by Richard Viskup. Published 26 February 2020 in London, United Kingdom, 2020 by IntechOpen. Doi: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.75259>. ISBN 978-1-78985-447-3. 191 p.
6. Klaus Mollenhauer, Helmut Tschöke: Handbook of Diesel Engines. Published: 21 July 2010, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-89083-6>. ISBN978-3-540-89083-6. 636 p.
7. Osnovy prykladnoi teorii kolyvan [Fundamentals of applied vibration theory]: Pidruch. dlia studentiv mashynobud. ta elektromekh. spets. / V.V. Vorobiov, L.D. Vorobiova, S.P. Kyba; Kremenchuts. nats. un-t im. Mykhaila Ostrohradskoho. - Kremenchuk: Shcherbatykh O. V., 2020. 153 p.
8. Moroz V.I., Bratchenko O.V., Logvinenko O.A. Eksperymental'ne vyznachennya pruzhno-dysypatyvnykh parametriv mekhanizmu hazorozpodilu teplovoznoho dyzelya D80 [Experimental determination of the elastic-dissipative parameters of the gas distribution mechanism of the D80 diesel locomotive engine] // Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti. 2002. No1. P. 15-18.

Abstract. *The article discusses the topical issue of the need to conduct a dynamic study of the gas distribution mechanism of transport power plants, the purpose of which is to calculate the actual valve movement taking into account inertial, elastic-dissipative parameters of links, as well as loads acting in the mechanism. The description of step-by-step stages of work and mathematical apparatus are presented, which allow obtaining a mathematical model that corresponds to an acceptable dynamic model based on the description of force actions in the gas distribution mechanism. It is noted that the methodological approach to the study of the dynamics of the gas distribution mechanism of transport power plants described in the article makes it possible, with the determined kinematic characteristics and elastic-dissipative parameters, to simulate the dynamic characteristics and obtain real laws of valve motion.*

Keywords: *the power plant, gas distribution mechanism, dynamics, dynamic model, mathematical model, real laws of valve motion.*

Стаття відправлена: 15.02.2024 р.

© Логвіненко О.А.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-056>

DOI: 10.30888/2663-5712.2024-24-00-056

УДК 621.4 : 629.113.01



CHANGE IN THE SENSITIVITY OF THE THERMANOEMOMETRIC BIOFUEL FLOWMETER АНАЛІЗ ЗМІНИ ЧУТЛИВОСТІ ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧНОГО ВИТРАТОМІРА БІОПАЛИВ

A.V. Pchenko / А.В. Ільченко

c.t.s., as. prof / к.т.н., доц.

Polissya National University, Zhytomyr, Staruy boulevard, 10008

Анотація. В роботі розглянуто процес зміни чутливості термоанемометричного витратоміра біопалив в залежності від витрати палив, відстані між нагрівачем та термоперетворювачами. Показано, що для поліпшення чутливості приладу необхідно узгоджувати вказані параметри між собою. Наведено залежність часу виходу витратоміра на робочій режим від питомої теплоємності біопалива для заданих параметрів нагрівача.

Ключові слова: двигун внутрішнього згорання, біопаливо, витрата палива, термоанемометричний метод, термоанемометричний витратомір.

Вступ. Останнім часом необхідність переведення двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) на альтернативні види палива стає все більш актуальним. Для бензинових двигунів альтернативою є сумішеві біопалива (БП) з додаванням спиртів різних об'ємних концентрацій. Для дизельних двигунів в якості БП пропонується біодизель (БД), як суміш рослинної олії і метилового спирту в співвідношенні 7:1...10:1. БД (дизельне БП, МЕРО, РМЕ, FAME, EMAG, SME, SFME, біонафта тощо) – це вид БП (домішка), яку отримують з олій рослинного походження (ОРП), тваринного жиру тощо.

БД може використовуватись окремо або в суміші дизельним паливом (ДП) і позначається, наприклад, В100 (100 % БД), В40 – 40 % БД в нафтовому ДП.

БД найчастіше виробляють з ріпакової (84 % вмісту), соняшнікової (13 %) олій, кукурудзяної, конопляної тощо. ОРП є сумішшю тригліцеридів, ефірів, поєднаних з молекулою гліцерину. В процесі виготовлення БД видаляється гліцерин з заміною його на спирти (метиловий, етиловий, ізопропіловий тощо). В результаті цього утворюються ефіри жирних кислот та гліцерин. Для запобігання впливу мікробів на БД в процесі очищення і стабілізації БП використовують біоциди (спеціальні присадки), проводять зневоднення та обробку ультразвуком. При використанні етанолу отримують етилові ефіри БД, але ця технологія складніша, тому метанол є більш привабливим в даному випадку.

Витрата палива ДВЗ автомобіля є комплексним показником його технічного стану, залежить від конструктивних, експлуатаційних, регулювальних параметрів всіх його систем і агрегатів. Відомо, що її в процесі загального діагностування автомобіля приймають за діагностичний параметр. Витрата палива відповідає всім вимогам щодо діагностичних параметрів: інформативність, однозначність, а стабільність і чутливість залежать від прийнятого методу і засобів вимірювання. Можна стверджувати, що контроль витрати палива автомобілів в експлуатації є необхідним і сприяє підвищенню ефективності їх експлуатації.

Для стаціонарних ДВЗ контроль витрати палива не представляє великих труднощів, оскільки в таких умовах стають доступними до використання об'ємний і/або ваговий методи. Процес контролю витрат палив автомобіля



пов'язаний з особливостями умов його експлуатації, які впливають на роботу засобу вимірювання (витратоміра) і, відповідно, на похибку вимірювання витрат. Контроль витрат палива необхідно проводити постійно в процесі експлуатації і вважати невід'ємною частиною процесу загальної діагностики автомобілів. Відомо, що паливо являється однією з основних складових собівартості технологічних та транспортних процесів, де задіяно ДВЗ. Контроль витрати палива є необхідною складовою в цілому для його обліку, планування робіт, навчання, обслуговування, виконання супутніх процесів тощо.

На автомобілях або не встановлюють витратомірів палив, або використовують програмну реєстрацію часу відкриття інжекторів (форсунок) і за відомим тиском перед ними та з урахуванням їх геометричних параметрів розраховують кількість поданого в циліндр ДВЗ палива. Таким чином, дані вимірювання можна вважати наближеними, при цьому їх похибка залежить від режиму роботи ДВЗ (миттєвої витрати палива) і пов'язана з технічним станом системи живлення ДВЗ (насос, форсунки, фільтри тощо). За абсолютну в даному випадку приймається витрата як сума кожної такої реєстрації за певний час роботи ДВЗ. В процесі експлуатації автомобіля важливою є абсолютна витрата палива, але внаслідок причин, що наведено вище, вона може суттєво відрізнятись від вимірної способом обліку часу відкритого стану інжекторів (форсунок).

На автомобільному транспорті для вимірювання витрат палив можна використовувати різні методи та витратоміри різних типів. Умови експлуатації конкретного транспортного засобу висувають специфічні вимоги до витратомірів, впливають на надійність їх роботи, похибку вимірювання тощо.

Наприклад, промисловість сьогодні пропонує витратоміри палива серії OGM-A витиснювального типу, прецизійні, з достатнім рівнем надійності. В їх конструкції використано два овальних ротори, які механічно зв'язані, обертаються і перепускають фіксований об'єм палива за оберт. Лічильна система фіксує кількість обертів роторів (сумарний об'єм палива) [1]. Абсолютна похибка вимірювання витрати палива в такому витратомірі дорівнює об'єму палива, що проходить за один оберт роторів витратоміра, і чим більше літраж ДВЗ, тим більше повинен бути об'єм палива, що відраховується за оберт (більша пропускна спроможність витратоміра), і відповідно, більша абсолютна похибка.

Як зазначає виробник, витратоміри OGM-A мають відносно високу точність вимірювання, його конструкція не пред'являє особливих вимог до форм та довжин прямих ділянок паливопроводів перед та після витратоміра, достатня надійність дозволяє використовувати їх для вимірювання витрат різних палив (дизельного, бензину, гасу тощо) з максимальною похибкою $\pm 0,5\%$ та не потребує формування потоку на вході. Однак, на точність вимірювання в даному випадку впливають деякі фізичні властивості палива (в'язкість, сила поверхневого натягу), тертя в підшипниках роторів, проникнення палива через ущільнення ротора, можливі пульсації потоку палива, сили інерції руху палива і роторів, розташування витратоміра відносно осі транспортного засобу.

В той же час виробник рекомендує використовувати даний витратомір лише для внутрішньогосподарського обліку об'ємів палива, що може свідчити про його «некоректну» роботу в реальних умовах експлуатації автомобіля (удари,



вібрації, тряска, інерційні динамічні навантаження під час розгону/уповільнення автомобіля, відцентрові сили тощо).

Сьогодні промисловістю пропонується велика кількість витратомірів рідин, але вони не повною мірою відповідають реальним умовам експлуатації автомобілів. Тому, найбільш привабливими є витратоміри, принцип дії яких полягає в реєстрації процесу перенесення тепла тілом, витрата якого вимірюється - термоанемометричні витратоміри (ТАВ) [2-4]. Вони мають суттєві переваги відносно витратомірів інших принципів дії. Важливими з них зазначаються: точність вимірювання, яка не залежить орієнтації витратоміра в просторі, що дозволяє встановлювати його на автомобілі в зручному місці підкапотного простору, кабіні, салоні автомобіля; на похибку вимірювання не впливають вібрації, ударні навантаження, тиск і пульсації палива на вході у витратомір; встановлення двоконтурного ТАВ дозволяє зменшити похибку вимірювання витрати палива в системах живлення ДВЗ зі зворотнім зливанням палива в бак автомобіля [5].

Важливим недоліком ТАВ є відносно вузький діапазон вимірювання витрат палив. Вони як правило орієнтовані на стаціонарні витрати і таким чином не здатні охопити весь можливий діапазон витрат палива на всіх можливих режимах роботи ДВЗ. Ще один важливий недолік – ТАВ мають непостійну чутливість (відповідно, похибку вимірювання) на різних швидкостях потоку палива [6, 7]. Важливо розуміти, що робота ТАВ пов'язана зі створенням та підтриманням на його вході температурного поля з певними характеристиками в широкому діапазоні змінних температур експлуатації автомобіля. Підтримання температурного поля досягається роботою апаратних та програмних засобів ТАВ і потребує дослідження та подальшого врахування в алгоритмі роботи ТАВ.

Мета роботи: визначення факторів, що впливають на зміну чутливості ТАВ за різних витрат БП для зменшення похибок вимірювання їх витрат, та особливостей зміни часу виходу ТАВ на робочій температурний режим.

Основний матеріал. Початок роботи ТАВ, як приладу теплового принципу дії (рис. 1.), завжди пов'язаний з часом його виходу на заданий температурний режим з можливістю передачі тепла потоку БП, що рухається. При цьому важливо розглядати передачу тепла як в осьовому, так і в радіальному напрямках [8].



Рисунок 1 – ТАВ:

1 – трубка; 2 – нагрівач; 3 – термоперетворювачі (ТП)

В трубці 1 ТАВ встановлений нагрівач 2 електричного типу. Він підігріває потік палива до певної температури, яка не повинна перевищувати температуру спалаху БП. Температура БП по осі трубки реєструється ТП, яка залежить від



фізичних властивостей та швидкості потоку БП (витрати).

Фізико-хімічні властивості дизельного та біодизельного палив відрізняються (табл. 1), що необхідно враховувати в алгоритмі роботи ТАВ. На сьогоднішній день актуальним є використання суміші ДП та ОРП, біодизельного палива. Але, їх застосування ускладнено більш високою густиною та кінематичною в'язкістю ОРП в порівнянні з нафтовим ДП.

Таблиця 1 – Фізико-хімічні властивості дизельного та біодизельного палив [13]

Показник	Одиниця виміру	ДП	Біодизельне паливо
Густина при температурі 15 °С	кг/м ³	820...845	860...900
Кінематичні в'язкість при температурі 40 °С	мм ² /с	2...4,5	3,5...5
Температура спалаху в закритому тиглі	°С	55	120
Цетанове число		45...55	120
Теплота згорання	МДж/кг	41...43,5	37,5
Хімічний склад:			
- вуглець С		87	77,5
- водень Н ₂	%	12,6	12
- кисень О ₂		0,4	10,5

В алгоритмі роботи ТАВ також необхідно враховувати температуру спалахування БП. Це найменша температура, за якою в даних умовах над поверхнею палива утворюється його суміш з повітрям, що може спалахувати під дією зовнішнього джерела. При цьому така суміш не завжди здатна стійко горіти, оскільки утворюється повільно. Відомо, що чим вища температура кипіння палива, тим вища його температура спалахування. Бензинові фракції нафти мають температуру спалахування до -40 °С, газові – понад 28 °С, масляні від 130...350 °С. Температура спалахування характеризує наявність у даному конкретному БП легких фракцій і вказує на рівень його пожежо- і вибухонебезпечності. Можна вважати, що температура спалахування – це така температура, за якої починається процес горіння. Державні стандарти України встановлюють для палив межу температури спалахування 61 °С, нижче за яку вони належать до легкозаймистих, вище – до горючих рідин.

Утворення паливо-повітряної суміші в трубці ТАВ можна вважати неможливим за відсутністю повітря, паливо знаходиться під тиском не тільки в процесі його споживання ДВЗ, але й під час його зупинки. Тому для розрахунків можна обирати температуру спалахування в закритому тиглі і/або температуру кипіння. Для ДП температура кипіння знаходиться в межах 170...380 °С, оскільки ці значення наведено для нормальних атмосферних умов, можливо підвищувати температуру ДП в трубці ТАВ до 170 °С. Температура спалахування БД дорівнює 150 °С, що дає можливість нагрівати його в закритому об'ємі до температур, як і ДП.



Для підрахунку температури, на яку нагрівається БП в ТАВ, необхідно знати його питому теплоємність, масу та кількість теплоти, що до нього підведено. Отже, кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання палива, визначається, Дж:

$$Q_{\text{п}} = c_m m (T_2 - T_1) = c_m V \rho (T_2 - T_1), \quad (1)$$

де c_m – питома теплоємність БП, Дж/кг·°С;

m – маса БП, кг

T_2 – кінцева температура нагрівання, °С;

T_1 – початкова температура нагрівання, °С;

V – об'єм палива, що знаходиться біля нагрівача, м³;

ρ – густина БП, кг/м³

Кількість теплоти, що виділяється електричним нагрівачем, Дж:

$$Q_{\text{н}} = I^2 R \Delta t, \quad (2)$$

де I – струм, що протікає через нагрівач, А;

R – опір нагрівача, Ом;

Δt – час нагрівання палива до необхідної температури (час виходу ТАВ на робочій температурний режим), сек;

Об'єм БП, що знаходиться біля нагрівача, залежить від його геометричних параметрів і діаметра трубки ТАВ і може бути розрахований для конкретних конструктивних параметрів витратоміра.

На основі закону збереження енергії, за умови відсутності втрат тепла в атмосферу з врахуванням (1) та (2) отримуємо час нагрівання БП до необхідної температури (час виходу ТАВ на робочій температурний режим):

$$\Delta t = \frac{c_m V \rho (T_2 - T_1)}{I^2 R}, \text{ сек} \quad (3)$$

Питому теплоємність деяких палив наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Питома теплоємність деяких палив

Паливо	Питома теплоємність, Дж/кг·°С
Бензин	1400
Спирт	2500
ДП	1600
ОРП	1800
Гас	2100

Таким чином, питома теплоємність найбільш розповсюджених палив для ДВЗ (основних та/або сумішевих) знаходиться в межах $c_m=1400\dots2500$ Дж/кг·°С.

На початку роботи ТАВ необхідно нагріти БП від початкової температури (температура навколишнього середовища) до $T_2=170$ °С. Ця початкова температура обирається з умов експлуатації ДВЗ, що споживає БП. Наприклад, автомобіль КраЗ-6510-030 розрахований на експлуатацію в діапазоні температур $-45\dots+50$ °С, тому T_2-T_1 для даних температурних умов знаходиться в межах $+120\dots+215$ °С. За негативних температур необхідно враховувати температуру застигання палив. Це в першу чергу стосується дизельних та сумішевих БП на основі ДП та ОРП. Температура застигання характеризує



втрату паливом своєї плинності і визначає можливість його використання за даних температур. Температура застигання входить в умовне позначення зимових ДП. Для розширення можливого температурного діапазону використання БП в них додають депресари – домішки з високою поверхневою активністю. Вони стримують зрощування кристалів парафіну в паливі, що дозволяє отримати вказані палива з відносно низькою температурою застигання.

В якості нагрівача як правило використовують дріт з ніхрому, який має питомий опір 1-1,1 Ом мм²/м в залежності від марки сплаву. В попередніх дослідженнях в макетному зразку ТАВ нагрівач виконано у вигляді спіралі з ніхрому Х20Н80 діаметром 0,5 мм та довжиною 13 см (питомий опір 5,61 Ом/м). Наважко встановити, що даний нагрівач має електричний опір 0,7293 Ом, струм, що протікає крізь нього, дорівнює 16,45 А для електричної мережі живлення автомобіля 12 В. Для мережі 24 В даний струм дорівнюватиме 32,9 А. Тоді, час нагрівання БП (виходу ТАВ на робочій температурний режим), що знаходиться у внутрішньому об'ємі трубки на довжині нагрівача, можна визначити через діаметр трубки, довжину спіралі нагрівача та густину палива. Наприклад, для трубки діаметром 0,02 м та довжини спіралі нагрівача 0,025 м об'єм БП, що нагрівається по довжині нагрівача дорівнює $7,85 \cdot 10^{-6}$ м³, а для БП з густиною 900 кг/м³ (табл. 1) маса палива, що нагрівається в розрахованому об'ємі, буде дорівнювати $7,065 \cdot 10^{-3}$ кг. Згідно з (3) неважко встановити, що час виходу ТАВ на робочій режим з трубкою, що має зазначені геометричні параметри, при використанні БД від температури навколишнього середовища, наприклад -45 °С, складає:

$$\Delta t = \frac{1800 \cdot 7,065 \cdot 10^{-3} \cdot 215}{16,45^2 \cdot 0,7293} = 15 \text{ сек}$$

Треба зазначити, що при збільшенні діаметра трубки, зменшенні температури навколишнього середовища, зменшенні струму, що протікає через нагрівач, час виходу ТАВ на робочій температурний режим буде збільшуватись. Це обумовить збільшення похибки вимірювання витрат БП до моменту досягнення ТАВ робочого температурного режиму. Для запобігання збільшенню похибки вимірювання витрати БП під час виходу витратоміра на робочій температурний режим можна рекомендувати попередній підігрів БП (що не завжди є можливим під час запуску і прогріву холодного ДВЗ) або враховувати даний час в алгоритмі роботи ТАВ.

Розрахунки показують, що для електричної мережі живлення автомобіля 12 В, корпусу ТАВ з внутрішнім діаметром 0,01...0,08 м, спіралю нагрівача з ніхрому Х20Н80 діаметром 0,5 мм та довжиною дроту 13 см у вигляді спіралі з розміром за довжиною спіралі 0,025 м, при використанні БП з питомою теплоємністю 1400...2500 Дж/кг°С час виходу ТАВ на робочий режим можна представити у вигляді залежності (рис. 2.).

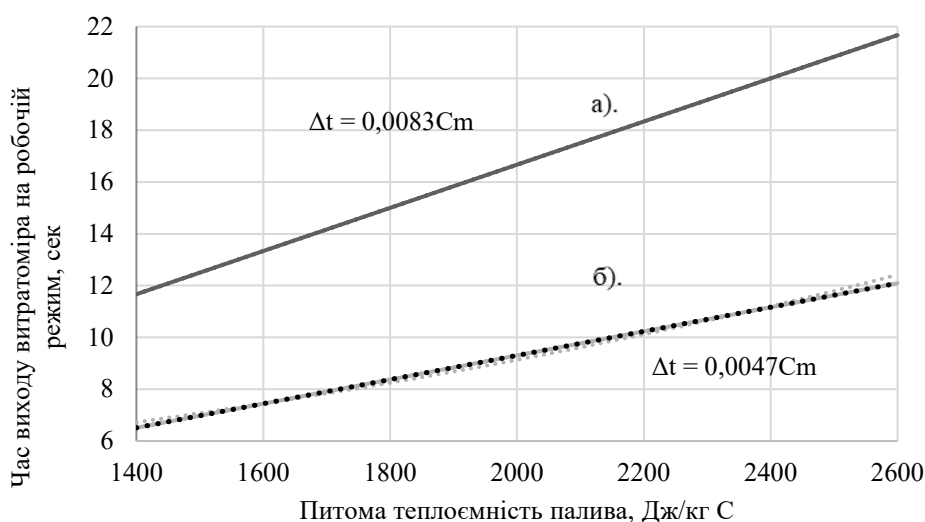


Рисунок 2 – Залежність часу виходу ТАВ на робочій температурний режим від питомої теплоємності БП (нагрівач X20H80 з опором 0,7293 Ом; об'єм палива, що нагрівається по осьовій довжині нагрівача, $7,85 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$; температура нагріву від -45 до $170 \text{ }^\circ\text{C}$):

а). напруга живлення 12 В; б). напруга живлення 24 В

Авторська розробка

Аналіз рис. 2. дозволяє зробити висновок, що час виходу ТАВ з заданими конструктивними параметрами трубки і нагрівача на робочій температурний режим змінюється в широкому діапазоні і залежить від виду БП, напруги живлення нагрівача, температури початку нагріву і повинен бути врахований в процесі роботи ТАВ для зменшення похибки вимірювання витрат БП. Для інших напруг живлення в електричній мережі автомобіля час виходу ТАВ на робочій режим визначається інтерполяцією або безпосереднім вимірюванням температури в зоні нагрівача. Треба зазначити, що в ТАВ мають місце втрати тепла в стінки трубки (радіальний тепловий потік). Це знижує температуру в зоні нагрівача і впливає на її розподіл в потоці, що реєструється ТП. В свою чергу вказані втрати впливають на похибку вимірювання витрат БП. Таким чином, в алгоритмі роботи ТАВ повинно бути закладено періодичний контроль температури в зоні нагрівача та підтримка її певного значення. Радіальний тепловий потік в ТАВ завжди спрямований від нагрівача до стінки корпусу трубки, оскільки температура палива в зоні нагрівача завжди вища за температуру навколишнього середовища. За різних змінних витрат БП (різних швидкостях потоку) для підтримання постійної температури палива в зоні нагрівача виникає необхідність її контролю та зміни кількості тепла, що віддається нагрівачем паливу (зміни струму, що протікає в нагрівачі). Алгоритм роботи ТАВ повинен мати блок, що відповідає за контроль і регулювання температури палива в зоні нагрівача. Для БП, що розглядаються в даній роботі, за значення температури палива в зоні нагрівача можна прийняти величину $170 \text{ }^\circ\text{C}$. Для вказаних БП та наведених конструктивних параметрах ТАВ перед початком вимірювання необхідно витримувати час виходу витратоміра на робочій температурний режим не менш, ніж 6 сек (рис. 2.). Для визначення



значення мінімального часу перед початком вимірювань (часу затримки) необхідно враховувати вид БП, температуру навколишнього середовища та конструктивні параметри ТАВ.

Розглянемо процес зміни чутливості ТАВ БП. Схема зміни температури, що реєструється двома сусідніми ТП (ТП y (точка А) знаходиться біля нагрівача, ТП $y+1$ (точка Е) – на відстані L) для певної постійної швидкості потоку палива в трубці ТАВ (рис. 3.).

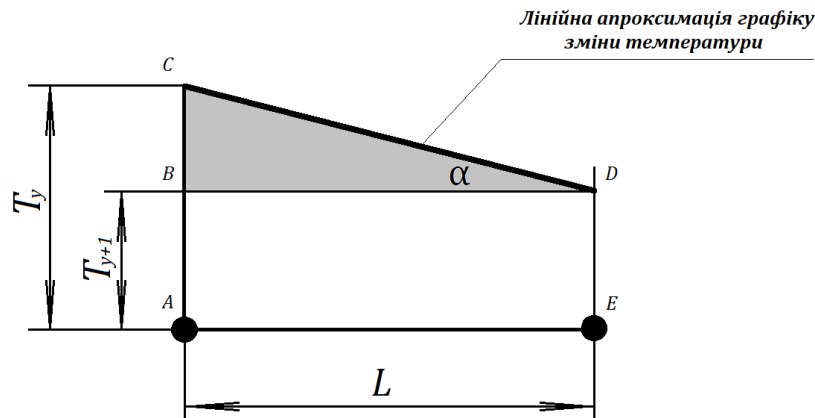


Рисунок 3 – Схема зміни температури між сусідніми ТП ТАВ (об'ємна витрата палива $Q=\text{const}$): T_y – температура, що реєструється ТП в точці А; ; T_{y+1} – температура, що реєструється ТП в точці Е

Авторська розробка

З рис. 3 видно, що під час руху палива від ТП y до ТП $y+1$ його температура знижується на величину:

$$\Delta T = T_y - T_{y+1} \quad (4)$$

При цьому для відносно малих значень L між ТП важко зареєструвати зміну температури ΔT , тому величину L необхідно обирати такою, щоб для даної постійної швидкості потоку можна було виміряти величину ΔT з задовільною точністю. Для малих значень L в режимах змінних витрат величини швидкостей руху палива також можна вважати в точках А та В практично однаковими.

Зміна внутрішньої енергії нагрітого палива для заданої відстані L відбувається пропорційно площі трикутника BCD, тобто пропорційно величині ΔT , яка дорівнює:

$$\Delta T = L \operatorname{tg} \alpha \quad (5)$$

Треба підкреслити, чим більша площа трикутника BCD для заданої відстані між ТП (більша величина ΔT , яка реєструється між двома ТП), тим більша чутливість ТАВ на даній ділянці трубки. Звідси постає логічний висновок про те, що більшу точність вимірювання витрати БП за заданими значеннями L можна досягнути на ділянках з найбільшими різницями температур між сусідніми ТП, що повинно бути враховано в алгоритмі роботи ТАВ.

При збільшенні витрати палива температура, яку реєструє перетворювач T_{y+1} , буде збільшуватись за рахунок зменшення часу на відведення тепла від палива (рис. 4.).



можна розрахувавши суму різниць температур між всіма сусідніми ТП для відомої витрати БП.

Висновки.

Встановлено залежність часу виходу витратоміра на робочій режим від питомої теплоємності БП для заданих параметрів нагрівача. Запропоновано схему зміни чутливості ТАВ, з якої доведено, що чутливість ТАВ залежить від поточного значення витрати БП та відстані між ТП, що необхідно враховувати для забезпечення заданого значення чутливості.

Література:

1. Ел ресурс: <http://prock.com.ua/cowell-to-oval/>
2. 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>.
3. 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.
4. 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.
5. Безвесільна О.М. Розроблення калориметричного витратоміра моторного палива з підвищеною точністю вимірів регулюванням температури на вході / О.М. Безвесільна, А.В. Ільченко // Восточно-європейський журнал передових технологій. - Харків. – 2014. – № 6/7(72). – С. 50-54.
6. 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.
7. 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.
8. Ільченко А.В. Шляхи зменшення похибки вимірювання витрат палив тепловим витратоміром / А.В. Ільченко, О.О. Багінський // Технічна інженерія. № 1(91). 2023. Житомир. – с. 207-213.

Abstract. The paper examines the process of changing the sensitivity of the thermo-anemometric biofuel flow meter depending on the fuel consumption, the distance between the heater and the heat converters. It is shown that in order to improve the sensitivity of the device, it is necessary to coordinate the specified parameters among themselves. The dependence of the time when the flow meter goes into operation on the specific heat capacity of biofuel for the given parameters of the heater is given.

Key words: internal combustion engine, biofuel, biodiesel, fuel consumption, thermo-anemometric method, thermo-anemometric flowmeter.

Статтю відправлено: 20.03.2024 р.

© Ільченко А.В.



УДК 656.025

METHOD FOR ANALYSING MOTOR VEHICLES' ENERGY EFFICIENCY AND THEIR TECHNICAL PARAMETERS CHANGES TO CONSIDER**МЕТОД АНАЛІЗУ ТРАНСПОРТНОЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З УРАХУВАННЯМ ЗМІНИ ЇХ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ****Khmelov I.V. / Хмельов І.В.***c.t.s., as. prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-9969-5230

Halona I.I. / Гальона І.І.*c.t.s., as. prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-1484-1682

Danylenko I.V. / Даниленко І.В.*assistant / асистент*

ORCID: 0000-0001-9674-2866

Dovbij V.Yu. / Довбій В.Ю.*postgraduate / аспірант***Mnyshenko R.V. / Мнишенко Р.В.***postgraduate / аспірант**National Transport University, Kyiv, Omelyanovycha-Pavlenka str., 1, 01010**Національний транспортний університет, Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, 01010*

Анотація. В роботі розглянуто існуючі показники оцінки ефективності роботи автомобілів, які засновані на розрахункових схемах доставки вантажів і в яких розглядаються автотранспортні засоби як саморушні кузови та їх віртуальне переміщення. На основі теорії енергоресурсної ефективності автомобіля запропоновано критерії його транспортно-технологічної досконалості, якими є показники транспортної енергоефективності та результативності технологічних впливів. Ці показники ефективності, на відміну від існуючих, дозволяють врахувати сутність транспортних технологій. Проведено аналіз впливу питомої витрати палива сідельного автопоїзда на вказані показники ефективності. Даний показник є дуже важливим для зменшення споживання палива та зниження забруднення довкілля. Результати статті можуть бути використані для оцінки досконалості конструкції автотранспортних засобів і техніко-технологічного аналізу майбутніх проектів перевезень.

Ключові слова: автотранспортний засіб, витрата палива, енергоефективні технології, конструктивні параметри, енергоефективність, умови експлуатації, паливна економічність.

Вступ.

Управління розвитком рухомого складу (РС) в автотранспортній системі базується на ідеї забезпечення збереження енергії та ресурсів при створенні та експлуатації автомобіля [1]. В умовах дорожнього руху енергоємність перевезень обумовлюється конструктивними параметрами автотранспортних засобів (АТЗ), режимами переривчасто-нерівномірного руху і характеристиками поверхні кочення. Недоліком існуючих методів технічного аналізу в теорії автомобіля [2] є те, що вони не дозволяють вирішити задачу оптимізації робочих процесів і конструктивних параметрів згідно з вищезгаданою концепцією збереження енергії та ресурсів, оскільки об'єктом дослідження в них є АТЗ як технічний засіб. Але для аналізу енергоресурсозбереження та оптимізації АТЗ необхідно розглядати його як науково-технічний товар та знаряддя



технологічних впливів [1]. Недоліками методів теорії транспортних процесів є припущення про незмінність параметрів техніки та технології перевезень, а також використання спрощеної схеми доставки вантажу, в якій етап руху автомобіля замінений проміжком часу між початковими та кінцевими операціями. Крім того, вони не дозволяють оцінити ефект технічної новизни конструкції АТЗ, оскільки в існуючих моделях враховується лише один конструктивний параметр – вантажопідйомність [3]. У зв'язку з цим, розроблено методику обґрунтування нових АТЗ, яка заснована на теорії енергоресурсної ефективності автомобіля і враховує зміну конструктивних параметрів у часі.

Основний текст.

Нова методика заснована на енергетичній схемі перетворення ресурсів у перевізному процесі [1]. Крім того, АТЗ розглядається не як однопараметричний пристрій вантажонесення, який характеризується лише одним технічним параметром (вантажопідйомністю), а як носій технічних ресурсів транспорту, який характеризується структурно-параметричною організацією його конструкції. Для врахування цих факторів імітується функціонування АТЗ у міському, магістральному та змішаному циклах. Енергетичні показники АТЗ у цих циклах порівнюються з енергетичними показниками еталонного прототипу в еталонній операції. В основу математичної моделі функціонування автомобіля у тестовій операції покладено аналітичні залежності його дискретної кінематики, динаміки та енергетики [1].

Новизна методики, яка дозволяє реалізувати цю мету, заключається у розгляді автомобіля як динамічного засобу транспортної праці з позицій споживача автотранспортної системи. Останньому необхідно комплексно оцінити технічну придатність АТЗ як складної машини, об'єкта управління рухом і перевізного засобу. Необхідність такого підходу обумовлена тим, що, з точки зору теорії економіки, під ресурсами розуміються запаси транспортної праці у спорядженому автомобілі [4].

Енерговитрати та витрати палива в тестовій операції визначаються з урахуванням закономірностей впливу робочих процесів конструкції АТЗ на потік його потужності $N(t)$, а також питомої витрати палива $g(t)$. Енерговитрати в тестовій операції визначаються наступним чином:

$$E_{II} = \sum_{i=1}^{n_y} \left(\int N_{yi} dt + c_{1i} \right) + \sum_{i=1}^{n-n_y} \left(\int N_i(t) dt + c_{2i} \right), \quad (1)$$

де N_y, N – потужність двигуна відповідно при сталому та несталому русі АП, кВт; n – кількість фаз тестової операції; n_y – кількість фаз сталого руху; t – тривалість фази тестової операції, с; c_1, c_2 – коефіцієнти інтегрування.

Витрати палива в тестовій операції визначаються за формулою:

$$Q_{II} = \sum_{i=1}^{n_y} \left(\int N_{yi} g_{yi} dt + c_{3i} \right) + \sum_{i=1}^{n-n_y} \left(\int N_i(t) g_i(t) dt + c_{4i} \right), \quad (2)$$

де g_y, g – питома витрата палива двигуна відповідно при сталому та несталому русі АП, $\frac{\Gamma}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$; c_3, c_4 – коефіцієнти інтегрування.



Одним з ключових показників ефективності дизельного двигуна є питома витрата палива. Питома витрата палива — це кількість палива, яку споживає транспортний засіб на кожен кілометр пройденого шляху або на кожну одиницю роботи [5]. Урахування та використання питомої витрати палива є дуже важливим для зменшення споживання палива та зниження забруднення довкілля. Знання цього параметру дозволяє ефективно планувати маршрути, вибрати найбільш економічні транспортні засоби, контролювати витрати на паливо та зменшувати викиди шкідливих речовин в атмосферу. Крім того, визначення питомої витрати палива є важливим критерієм при оцінці ефективності різних технологій та конструкцій транспортних засобів. Це дозволяє зменшити витрати на паливо та знизити вплив транспорту на навколишнє середовище [5].

Споживання палива дизельним навантажувачем залежить від кількох факторів, таких як тип двигуна, навантаження, швидкість руху, стан шин та дороги. У середньому дизельний двигун може споживати від 3 до 8 літрів палива на годину роботи. Значення питомої витрати палива g_n при максимальній потужності двигуна характеризує його паливну економічність [4]. Величина g_n залежить від типу двигуна і виду палива. Стратегія підвищення паливної економічності АТЗ при його проектуванні полягає в забезпеченні умови $g_n \rightarrow \min$. Чим менше g_n , тим вище ціна двигуна, що досягає до 40% вартості автомобіля. Однак АТЗ порівняно рідко працюють при повному навантаженні двигуна і мають великі запаси потужності.

В результаті імітаційного моделювання визначаються показники транспортно-технологічної якості автомобіля, до яких відносяться [4]:

1) K_{ec} – енергетичний коефіцієнт пробігу. Являє собою відношення витрат енергії для заданого та еталонного АТЗ.

2) K_{eq} – паливний коефіцієнт пробігу. Являє собою відношення витрат палива для заданого та еталонного АТЗ.

3) K_{vc} – коефіцієнт швидкості. Це відношення середньої швидкості в циклі до еталонної швидкості, яка приймається постійною (40 км/год).

4) P_{ep} – показник енергетичної ефективності. Це відношення транспортної енерговіддачі заданого та еталонного АТЗ.

5) P_{epq} – показник паливної ефективності. Це відношення транспортної паливовіддачі заданого АП до паливовіддачі еталонного АТЗ.

На рисунку 1 зображено графіки залежності показників функціональної ефективності автопоїзда VOLVO FH-12 + FRUEHAUF DSND-32 від зміни питомої витрати палива двигуна g_n . Виявлено, що величина g_n практично не впливає на показники швидкості K_{vc} і енергетичний коефіцієнт пробігу K_{ec} . Разом з тим, зі збільшенням g_n зростає паливний коефіцієнт пробігу K_{eq} . Це означає, що величина g_n впливає тільки на паливну складову змінних витрат.

Зважаючи на те, що питома витрата палива залежить від багатьох факторів, її можна зменшити шляхом дотримання наступних правил: регулярний технічний огляд та обслуговування двигуна; використання високоякісного палива; відповідна заміна фільтрів повітря та палива; регулярне очищення впускних та випускних систем від коксу; раціональне використання навантажувача з урахуванням оптимальної швидкості руху та навантаження.

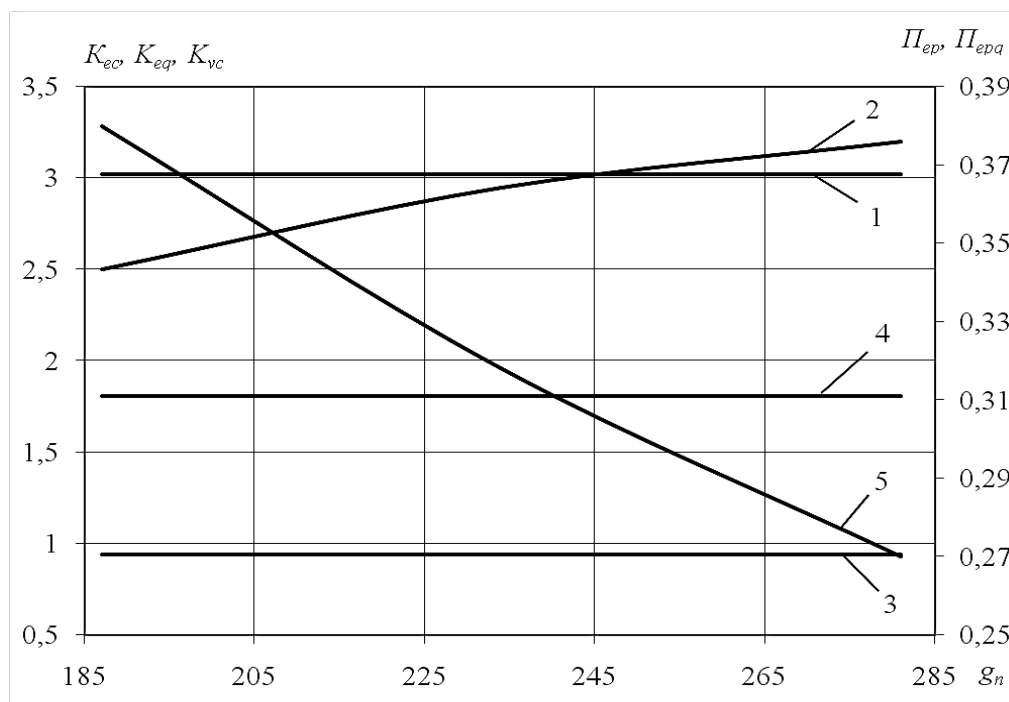


Рисунок 1 – Графік залежності показників енергетичної ефективності автопоїзду VOLVO FH-12 + FRUEHAUF DSND-32 від питомої витрати палива двигуна g_n (г/кВт·год): 1 – K_{ec} , 2 – K_{eq} , 3 – K_{vc} , 4 – Π_{ep} , 5 – Π_{epq}

Джерело: авторська розробка

Висновки.

Були розглянуті існуючі методи аналізу організації та технології перевезень, виявлені їх недоліки. Запропоновано для розвитку рухомого складу в автотранспортній системі використовувати теоретичні положення і математичні моделі теорії енергоресурсної ефективності автомобіля. Досліджено вплив зміни питомої витрати палива на показники транспортно-технологічної якості автомобіля. Питома витрата палива є важливим фактором, який впливає на ефективність дизельного двигуна і транспортну енергоефективність автомобіля. Обчислення максимального теоретичного споживання палива та правильний розрахунок витрати палива допоможуть економити на пальному та збільшити продуктивність роботи техніки. Одержані результати можуть бути використані для оцінки досконалості конструкції автотранспортних засобів і техніко-технологічного аналізу майбутніх проектів перевезень.

Література:

1. Хабутдінов Р.А. Принципи і методи концептуального підвищення енергоресурсної ефективності автотранспортних засобів і послуг в їх життєвих циклах / Р.А. Хабутдінов // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». – К. : НТУ, 2022. – Вип. 3 (53). – С. 389 – 398.
2. Автомобілі. Теорія експлуатаційних властивостей / В.В. Біліченко, О.Л. Добровольський, В.О. Огневий, Є.В. Смирнов. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 163 с.
3. Основи теорії транспортних процесів і систем / Дмитриченко М. Ф., Яцківський Л. Ю., Ширяєва С. В. Київ : Видавничий Дім «Слово», 2009. – 336 с.
4. Хмельов І. В. Метод аналізу енергетичної ефективності транспортних



операцій / І. В. Хмельов, І. І. Гальона, І. В. Даниленко // Вісник Національного транспортного університету. – К : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55). – С. 287 – 294.

5. Питома витрата палива: розрахунок витрати пального на дизельному навантажувачі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sciencedebate2008.com/pitoma-vitrata-paliva-rozrahunok-vitrati-palnogo-na-dizelnomu-navantazhuvachi/>. Дата звернення: 19.03.2024.

Abstract. *The paper considers the existing indicators for assessing the efficiency of vehicles, which are based on the calculated schemes of cargo delivery and which consider vehicles as self-propelled bodies and their virtual movement, and, therefore, they allow solving only organizational tasks of transportation. On the basis of the theory of energy and resource efficiency of a vehicle, the article proposes criteria for their transport and technological perfection, which are indicators of transport energy efficiency and effectiveness of technological impacts. These performance indicators, unlike the existing ones, allow taking into account the essence of transport technologies. The article analyses the influence of specific fuel consumption of a fifth-wheel road train on these efficiency indicators. This indicator is very important for reducing fuel consumption and reducing environmental pollution. Knowledge of this parameter allows for effective route planning, selection of the most economical vehicles, control of fuel costs and reduction of emissions of harmful substances into the atmosphere. The results of the article can be used to assess the perfection of the vehicle design and technical and technological analysis of future transportation projects.*

Key words: *motor vehicle, fuel consumption, energy efficient technologies, design parameters, energy efficiency, operating conditions, fuel efficiency.*

Стаття відправлена: 20.03.2024 р.

© Хмельов І.В., Гальона І.І., Даниленко І.В.,
Довбій В.Ю., Мнищенко Р.В.

**CONTENTS****Innovative engineering, technology and industry**

- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-001> 3
NEW TECHNOLOGICAL PROCESSES OF RESTORATION OF PARTS
BY FUSION WITH THE USE OF MODIFICATION WITH IMPURITIES
OF NATURAL ORIGIN
Tihonov O.V., Rybalko I.M.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-006> 11
THE LATEST TECHNOLOGIES IN THE PRODUCTION OF VODKA
Boiko P.M., Dvirko A.O.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-008> 18
PROSPECTS OF USING LOCAL PLANT RAW MATERIALS IN
LACTOSE-FREE DRINK LASSI
Sylka I., Petrov Y.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-009> 24
METER OF WEAK ALTERNATING CURRENTS
Startsev V.I., Derevyagin Y. V. , Bekirov V. Y., Chudnovsky V. Y.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-021> 30
ANALYSIS OF WAYS TO STABILIZE THE QUALITY OF SOUR
CREAM
Ryzhkova T.M., Lysenko H.L., Heida I.M.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-025> 35
INCREASING OF THE ENERGY EFFICIENCY OF THE
COMBINATION OF HYDROCARBON FUEL THROUGH
ELECTROACTIVATION OF REAGENT MOLECULES
Kovalyshyn B.M.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-032> 43
DIGITIZATION PROBLEMS AND PERSPECTIVES IN SUPPLY
CHAINS IN THE CONTEXT OF INDUSTRY 4.0 CHALLENGES
Sudziuviene R., Sudziute I., Beniusiene G., Jukniene D.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-046> 55
COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE QUALITY OF
CHILDREN'S FISH CUTLETS OF INCREASED
BIOLOGICAL VALUE
Ditrikh I.V.



- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-061> 62
CONTROL OF THE TECHNICAL CONDITION OF HYDRAULIC TRANSMISSION UNITS OF MOBILE MACHINES ON THE BASIS OF MONITORING THE LEVEL OF CLEANLINESS OF THE WORKING FLUID
Melyantsov P.T., Dobryanskyi I. M., Losikov O. M., Sidorenko V. K.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-075> 77
TRENDS IN THE FLOUR PRODUCTS SECTOR
Kravcheniuk R. U., Kravcheniuk H. U., Stadnyk I.Y., Piddubnyi V.A.
- Computer science, cybernetics and automatics**
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-022> 83
STUDY OF THE MULTICOLINEARITY OF THE EFFICIENCY CRITERIA OF THE OIL AND GAS WELL DRILLING PROCESS USING PDC-TYPE BITS
Skripyuk R.B., Kilishtof I. R.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-027> 89
ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF OUTPUT SIGNALS OF AUTOMATED ACTIVE POWER CONTROL OF ELECTRIC DRILL ENGINES
Dmytryk T.B., Shavranskyi M.V.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-039> 95
OPTIMIZATION OF THE PARAMETERS OF DIGITAL FUZZY-REGULATORS
Lahoida A., Mateik H., Lahoida L., Zvarych H.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-045> 101
RESEARCH AND OPTIMIZATION OF TEST DESIGN IN THE DEVELOPMENT OF BANKING SYSTEMS
Samofalova H.M., Kalyta N.I.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-058> 111
OPERATION ORGANIZING ALGORITHM OF DISTRIBUTED DSS UNDER HEAVY LOAD CONDITIONS
Gulak N.K., Dubchak E.V.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-062> 120
VISUALIZING THE CONTROL ALGORITHM FOR FOUR MECANUM WHEELS
Kotvytskyi A.T., Horenko D.V.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-068> 125
IMPROVED HEAT SUPPLY CONTROL SYSTEM
Savka N.Ya., Pohorilets A.V.



<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-073> 135

ARCHITECTURE OF INFORMATION SYSTEM OF DIAGNOSTICS
OF TECHNICAL CONDITION OF BUILDING FOUNDATIONS

*Terentyev O.O., Gorbatyuk Ie.V., Tyslenko O.B.
Zubrij I.M., Makarchuk O.V.*

Development of transport and transportation systems

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-011> 144

FEATURES OF THE METHODOLOGICAL APPROACH TO THE
STUDY OF THE DYNAMICS OF THE GAS DISTRIBUTION
MECHANISM OF TRANSPORT POWER INSTALLATIONS

Lohvinenko O.A.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-056> 151

CHANGE IN THE SENSITIVITY OF THE THERMANOEMOMETRIC
BIOFUEL FLOWMETER

Ilchenko A.V.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj24-00-069> 161

METHOD FOR ANALYSING MOTOR VEHICLES' ENERGY
EFFICIENCY AND THEIR TECHNICAL PARAMETERS
CHANGES TO CONSIDER

*Khmelov I.V., Halona I.I., Danylenko I.V.
Dovbij V.Yu., Mnyshenko R.V.*



Scientific publication

International periodic scientific journal

ScientificWorldJournal

Issue №24
Part 1
March 2024

Indexed in
INDEXCOPERNICUS
high impact factor (ICV: 87)

Articles published in the author's edition

*Academy of Economics named after D.A. Tsenov
Bulgaria jointly with SWorld*

Signed: March 30, 2024

e-mail: editor@sworldjournal.com
site: www.sworldjournal.com



www.sworldjournal.com

