

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

**ПРАЦІ**

Таврійського державного  
агротехнологічного  
університету



ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

**Випуск 24, том 2**  
Наукове фахове видання  
*Технічні науки*



Запоріжжя – 2024 р.

# МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО



DMYTRO MOTORNYI TAVRIA STATE  
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY



## ПРАЦІ

**Таврійського державного  
агротехнологічного університету**  
*Технічні науки*

**PROCEEDINGS OF TAVRIA STATE  
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY**  
*Technical sciences*

*Виходить 3 рази на рік  
Видається з 1998 р.*

**Випуск 24, том 2  
Issue 24, volume 2**

**WEB:** <https://oj.tsatu.edu.ua>

**DOI:** 10.32782/2078-0877-2024-24-2

**Запоріжжя  
2024**



УДК [631.3+621.3+004+663/664]

Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Запоріжжя: ТДАТУ, 2024. Вип. 24, т. 2. 206 с.

ISSN 2220-8674

Представлені результати наукових досліджень вчених у галузях галузевого машинобудування, енергетики, електротехніки, електромеханіки, харчових технологій, комп'ютерних наук та інформаційних технологій.

Видання призначене для наукових працівників, викладачів, інженерно-технічного персоналу і здобувачів вищої освіти, які спеціалізуються у відповідних або суміжних галузях науки та напрямках виробництва.

**Реферативні бази:** Crossref, Google Scholar, «Україна наукова», НБУ ім. В. І. Вернадського

**Головний редактор**

Кюрчев В. М., чл.-кор. НААН України,  
д-р техн. наук, проф. (Україна)

**Заступники головного редактора**

Надикто В. Т., чл.-кор. НААН України,  
д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Панченко А. І., д-р техн. наук, проф. (Україна)

**Відповідальний секретар**

Волошина А. А., д-р техн. наук, проф. (Україна)

**Технічний секретар**

Погорельцева Д. О. (Україна)

**Editor in chief**

Kyurchev V., corresponding member of NAAS of  
Ukraine, Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**Deputy editors in chief**

Nadykto V., corresponding member of NAAS of  
Ukraine, Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Panchenko A., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**Executive secretary**

Voloshina A., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**Technical secretary**

Pogoreltseva D. (Ukraine)

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ****ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ**

Белоев Христо, д-р техн. наук, проф. (Болгарія)  
Даманаускас Відас, д-р техн. наук, проф. (Литва)  
Івановс Семенс, д-р техн. наук (Латвія)  
Ольт Юрі, PhD, д-р техн. наук, проф. (Естонія)  
Паскуцці Сімоне, PhD, доц. (Італія)  
Финдура Павол, PhD, проф. (Словачія)  
Вершков О. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Дідур В. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Журавель Д. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Кувачов В. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Кюрчев С. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Скляр О. Г., канд. техн. наук, проф. (Україна)  
Скляр Р. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Тітова О. А., д-р пед. наук, проф. (Україна)

**ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА  
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**

Шафранець Анджей, д-р техн. наук, проф. (Польща)  
Кавакзех Мохаммед, PhD, проф. (Йорданія)  
Бур'ян С. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Галько С. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Карпалиук І. Т., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Квітка С. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Кузнецов М. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Лисенко О. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Мірошник О. О., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Мороз О. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Плюгін В. Є., д-р техн. наук, проф. (Україна)

**SECTORAL MACHINE BUILDING**

Beloev Hristo, Dr. Sci. Tech., Prof. (Bulgaria)  
Damanauskas Vidas, Dr. Sci. Tech. (Lithuania)  
Ivanovs Semjons, Dr. Sci. Tech. (Latvia)  
Olt Jüri, PhD, Dr. Sci. Tech., Prof. (Estonia)  
Pascuzzi Simone, PhD, Assoc. Prof. (Italia)  
Pavol Findura, PhD, Prof. (Slovakia)  
Vershkov O, Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Didur V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Zhuravel D., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Kuvachov V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Kiurchev S., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Sclyar O., Cand. Sci. Tech, Prof. (Ukraine)  
Sclyar R., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Titova O., Dr. Sci. Ped., Prof. (Ukraine)

**ELECTRICAL POWER ENGINEERING,  
ELECTRICAL ENGINEERING AND  
ELECTROMECHANICS**

Szafraniec Andrzej, Dr. Sci. Tech., Prof. (Poland)  
Qawaqzeh Mohamed, PhD, Prof. (Jordan)  
Burian S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Halko S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Karpaliuk I., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Kvitka S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Kuznietsov M., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Lysenko O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Miroshnyk O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Moroz O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Pluihin V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ**

Гавриленко Є. А., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Гнатушенко В. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Гумен О. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Дашкевич А. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Лубко Д. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Лясковська С. Є., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Малкіна В. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Мацулевич О. Є., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Холодник Ю. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Яблонський П. М., канд. техн. наук, доц. (Україна)

**ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ**

Дейниченко Г. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Євлаш В. В., д-р техн. наук проф. (Україна)  
Ломейко О. П., канд. техн. наук, доц (Україна)  
Паламарчук І. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Пилипенко Л. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Пріс О. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Самойчук К. О., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Сердюк М. Є., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Ялпачик В. Ф., д-р техн. наук, проф. (Україна)

**ПРАЦІ****Таврійського державного  
агротехнологічного університету****Випуск 24, том 2****Засновник**

Таврійський державний агротехнологічний  
університет імені Дмитра Моторного

Заснований у 1998 році

Свідоцтво про державну реєстрацію  
КВ №24285-14125ПР від 27.12.2019 р.  
Виходить 3 рази на рік

Рекомендовано до друку вченою радою  
Таврійського державного агротехнологічного  
університету  
імені Дмитра Моторного  
Протокол № 10 від 28.05.2024 р.

«Праці ТДАТУ» включено до **Категорії Б**  
Переліку наукових фахових видань України  
(науки: технічні), в яких можуть  
публікуватися результати дисертаційних  
робіт на здобуття наукових ступенів  
доктора наук і доктора філософії /  
кандидата наук (накази МОН України від  
17.03.2020 р. № 409)

**Адреса редакції**

Юридична: 72312, Запорізька обл.  
м. Мелітополь, пр. Б. Хмельницького, 18  
Фактична: 69600, Запорізька обл.  
м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 66  
<https://oj.tsatu.edu.ua>  
DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2

**COMPUTER SCIENCES**

Havrylenko Ye., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Hnatushenko V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Humen O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Dashkevych A., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Lubko D., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Liaskovska S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Malkina V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Matsulevych O., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Kholodniak Y., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Yablonskyi P., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)

**FOOD TECHNOLOGIES**

Deynichenko G., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Evlash V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Lomeiko O., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Palamarchuk I., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Pylypenko L., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Priss, O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Samoichuk K., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Serdyuk M., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Yalpachik V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**PROCEEDINGS OF TAVRIA STATE  
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY****Issue 24, volume 2****Founder**

Dmytro Motornyi Tavria State  
Agrotechnological University

Founded in 1998

Certificate of governmental registration  
KB No. 24285-14125ПР dated December 27, 2019  
Published 3 times a year

Recommended for publication by the Academic  
Board of Dmytro Motornyi Tavria State  
Agrotechnological University  
Record No. 10 dated May 28, 2024

Proceedings of TSATU is included in the List of  
scientific professional editions of Ukraine  
(technical sciences), category B, in which the  
results of theses for obtaining scientific degrees  
of Doctor of Sciences and Doctor of Philosophy /  
Candidate of Sciences can be published (order of  
the Ministry of Education and Science of Ukraine  
dated March 17, 2020, No. 409)

**Address of the Editorial office**

Legal address: 72312, Zaporizhzhia region  
Melitopol, 18, B. Khmel'nitskyi Ave.  
Actual address: 69600, Zaporizhzhia region  
Zaporizhzhia, 66, Zhukovskiy Str.  
<https://oj.tsatu.edu.ua>  
DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2



---

**ЗМІСТ / CONTENTS**

---

**ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ**

- Журавель Д. П., Бондар А. М.** Техніко-економічне обґрунтування доцільності використання адаптивного рульового керування колісного трактора 7  
**Zhuravel D., Bondar A.** Feasibility study of the feasibility of using adaptive steering of a wheeled tractor
- Самойчук К. О., Самохвал В. А., Червоткіна О. О.** Дослідження роботи багатосекційного пристрою формування паливних брикетів на гвинтових прес-екструдерах 18  
**Samoichuk K., Samokhval V., Chervotkina O.** Study of the operation of a multi-section device for forming fuel briquettes on screw press extruders
- Скляр О. Г., Скляр Р. В., Акулов В. Д.** Шляхи підвищення енергетичної ефективності біогазової установки 27  
**Skliar O., Skliar R., Akulov V.** Ways to increase the energy efficiency of a biogas installation
- Шарапов С. О., Євтушенко С. О., Хованський С. О.** Експериментальний стенд для дослідження процесів змішування в рідинно-парових струминних апаратів 37  
**Sharapov S., Yevtushenko S., Khovanskyi S.** Experimental stand for research of mixing processes in liquid-vapor jet devices
- Червоткіна О. О., Фучаджи Н. О., Верхоланцева В. О., Самохвал В. А.** Вплив різних параметрів на процес гранулювання рослинної сировини та якість гранул 51  
**Chervotkina O. O., Fuchadgi N. A., Verkholtantseva V. A., Samokhval V. A.** Influence of various parameters on the vegetable raw material pelleting process and pellets quality
- Бага В. М.** Підвищення ефективності проточних частин соплових пристроїв пневматичних систем на основі поглибленого дослідження робочого процесу 61  
**Baha V.** Increasing the efficiency of flow parts of nozzle devices of pneumatic systems on the basis of in-depth study of the working process

**ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**

- Мірошник О. О., Мороз О. М., Пазій В. Г., Миргород Д. Г., Ганус Р. О., Галько С. В.** Дослідження та порівняння характеристик мікропроцесорного пристрою релейного захисту та автоматики РС83-АВ3 компанії «РЗА СИСТЕМЗ» з пристроями електромеханічного типу 78  
**Miroshnyk O., Moroz O., Pazyi V., Myrgorod D., Hanus R., Halko S.** Research and comparison of characteristics of the microprocessor relay protection and automation device РС83-АВ3 company "RPA SYSTEMS" with electromechanical devices



- Трунова І. М., Мірошник О. О., Середа А. І., Дудніков С. М., Пазій В. Г., Мороз О. М., Савченко О. А., Попадченко С. А., Галько С. В., Ладжинський І. В.** Автоматизована система обґрунтування реконструкції об'єктів розподільних мереж 96
- Trunova I., Miroshnyk O., Sereda A., Dudnikov S., Pazii V., Moroz O., Savchenko O., Popadchenko S., Halko S., Ladyzhynskiy I.** Automated system of justification for reconstruction of distribution network objects
- Бабич М. І., Боярчук В. М., Сиротюк С. В., Коробка С. В., Михалюк М. А., Стукалець І. Г., Баранович С. М.** Визначення витрати води і напору дериваційних гідроелектростанцій для виробництва електроенергії на гірських річках 109
- Babych M., Boyarchuk V., Syrotyuk S., Korobka S., Mykhaliuk M., Stukalets I., Baranovych S.** Determination of water consumption and pressure of derivation hydro-electric power station for electricity production on mountain rivers
- Постол Ю. О., Гулевський В. Б., Постол О. О.** Підвищення енергоефективності житлового сектору 121
- Postol Y., Hulevskiy V., Postol O.** Increase of energy efficiency of the housing sector
- Савойський О. Ю., Сіренко В. Ф., Вольвач Т. С., Сіренко Ю. В.** Підвищення надійності районних трансформаторних підстанції за рахунок орнітологічного захисту ліній електропередачі 130
- Savoiskiy O., Sirenko V., Volvach T., Sirenko Y.** Enhancing the reliability of district transformer substations through ornithological protection of power lines

### КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

- Мацулевич О. Є., Вершков О. О.** Вдосконалення методики контролю якості розробки управляючої програми із застосуванням симулятора роботи токарного верстата з ЧПУ 140
- Matsulevych O., Vershkov O.** Improvement of the quality control methodology of control program development using a work simulator CNC lathe
- Стукалець І. Г., Коробка С. В., Скляр О. Г., Болтянський Б. В., Скляр Р. В.** Оформлення креслеників у середовищі solidworks відповідно до національних стандартів України та міждержавних стандартів 150
- Stukalets I., Korobka S., Skliar O., Boltianskyi B., Skliar R.** Design of engineering drawings in solidworks according to national standards of Ukraine and interstate standards
- Залевська О. В., Можаровський В. М., Суворов Л. В., Половий А. С., Оленєва К. Д.** Моделювання колінного суглоба з використанням методів геометричного моделювання та фрактальної геометрії на основі даних з магнітно-резонансної терапії 166
- Zalevska O., Mozharovsky V., Suvorov L., Polovyi A., Oleneva K.** Modeling of knee joint using geometric modeling and fractal geometry methods based on magnetic resonance therapy data



## ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

- Семко Т. В., Іваніщева О. А., Пахомська О. В., Корчак М. І.**  
Дослідження можливостей інноваційного обладнання АМС у ресторанних технологіях 176
- Semko T., Ivanishcheva O., Pahomska O., Korchak M.** Research of the possibilities of amc innovative equipment in restaurant technology
- Бандура В. М.** Ресторани – можливості для енергоефективності 186
- Bandura V. N.** Restaurants – opportunities for energy efficiency
- Фучаджи Н. О., Кузьмінська І. М.** Піноутворення в технологічних операціях шляхом збивання 196
- Fuchadzhi N., Kuzminska I.** Foam formation in technological operations through whipping



---

**ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ**

---

**DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2-1**

УДК 631.372.004.6

Д. П. Журавель<sup>1</sup>, д-р техн. наук

ORCID 0000-0002-6100-895X

А. М. Бондар<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID 0000-0002-4761-9084

*Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного*

e-mail: andriy.bondar@tsatu.edu.ua , тел.: +380969362877

**ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ  
ВИКОРИСТАННЯ АДАПТИВНОГО РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ  
КОЛІСНОГО ТРАКТОРА**

**Анотація.** В статті розглянуто питання техніко-економічного обґрунтування доцільності використання адаптивного рульового керування колісного трактора. Проаналізовані сучасні роботи, які пов'язані із визначенням ефективності впровадження науково-технічних рішень та обрані найбільш сучасні. В процесі проведення досліджень було встановлено, що запропонована система рульового керування з постійною чутливістю має високий рівень науково-технічного ефекту. При розрахунку терміну окупності додаткових капітальних вкладень було встановлено, що він становить 1,3 року, це є значно кращим терміном ніж рекомендовані нормативи, які розраховані на 7 років. Використання рульового керування транспортного засобу з постійною чутливістю дає можливість отримати річний економічний ефект в обсязі 161807,2 грн.

**Ключові слова:** колісний трактор, рульове керування, науково-технічний ефект, коефіцієнта ефективності інвестицій, експлуатаційні витрати, термін окупності.

**Постановка проблеми.** Задача полягає в підвищенні продуктивності тракторів у сільському господарстві за рахунок максимального використання їх тягово-потужносних властивостей шляхом збільшення робочих швидкостей. Проте робота на підвищених швидкостях може призвести до погіршення стабільності технологічних процесів через збільшення чутливості рульового керування.

Для оцінки ефективності витрат на наукові дослідження, розробку та впровадження системи рульового керування трактору з постійною чутливістю використовувався спільний наказ Міністерства економіки та з питань європейської інтеграції України та Міністерства фінансів України від 25 вересня 2001 року, №218/466. Такий підхід дозволяє забезпечити об'єктивну та достовірну оцінку науково-технічної розробки на всіх її стадіях життєвого циклу.





Результати оцінки ефективності науково-дослідних і науково-конструкторських робіт (НДДКР) використовуються для визначення фактичної економічної ефективності використання рульового керування транспортного засобу з постійною чутливістю у виробництві, а також для впливу на соціально-економічний стан сільськогосподарських суб'єктів господарювання та економіку країни в цілому.

У сучасних умовах ринкової економіки оцінка ефективності НДДКР розширюється, включаючи різні види ефективності, такі як:

1. Науково-технічний ефект: підвищення науково-технічного рівня дослідження, поліпшення параметрів техніки і технологій, відкриття нових закономірностей і законів, що впливають на різні напрямки досліджень та розробок нових технологічних засобів.

2. Економічний ефект: отримання економічних результатів від НДДКР для кожного виробничого підприємства та для народного господарства загалом. Це оцінка впливу нововведень на економіку країни в цілому, враховуючи інтереси різних регіонів, галузей та організацій.

3. Соціальний ефект: зміни умов праці, підвищення рівня життя населення, поліпшення побутових умов, можливостей для морального та духовного розвитку, а також зміни стану довкілля.

Розрахунок економічної ефективності НДДКР повинен враховувати інтереси різних секторів економіки та населення в цілому, а також соціальні та екологічні аспекти розвитку.

Інвестиціями був охоплений виробничий цикл створення системи рульового керування трактору з постійною чутливістю.

Джерелом фінансування науково-технічної розробки визначено залучені кошти із внутрішніх та зовнішніх джерел, що виділялися сільськогосподарським виробничим підприємством. Ключовими показниками інвестування є потенціальні зміни в грошових потоках замовника, дохідність та ризики інвестування.

*Аналіз останніх досліджень.* Сучасні конструкції рульових керувань, які використовуються в сільськогосподарській техніці мають деякі технічні недоліки: механічні рульові керування не дозволяють гнучко змінювати чутливість рульового привода залежно від технологічних потреб; існуючі схеми не дозволяють вносити коригуючий вплив в залежності від умов руху машино-тракторного агрегату під час виконання сільськогосподарських операцій. Розглядаючи тенденції розвитку рульових керувань мобільних машин сільськогосподарського призначення можна відмітити наступне: найбільш прийнятною є конструкція рульових механізмів з гідравлічним та гідрооб'ємним підсилюванням, тому що вони знімають фізичне навантаження з оператора МТА; особливо цікавими



з технічної точки зору є гідрооб'ємні рульові керування із вільним золотником, які дозволяють виконувати складання керуючих, коригуючих та перетворюючих впливів [1-5].

Проведений аналіз виявив наступні недоліки гідрооб'ємного рульового керування: несиметричність та неоднозначність кінематичної характеристики рульового керування призводить до «плаваючого» нейтрального положення рульового колеса; не забезпечується самоповернення та стабілізація керованих коліс в нейтральне положення; відсутній тактильний контроль повороту трактора; нераціональна конструкція привода рульового механізму призводить до надмірного силового навантаження його елементів (шарнірів, тяг, пальців, різьбових з'єднань тощо) [6-10].

До недоліків механічних та рульових керувань з підсилювачами відносять: постійне передаточне число; велике зусилля на рульовому колесі; нераціональна кінематика на рульовому колесі; нераціональна кінематична залежність передаточного відношення рульового механізму від повороту рульового колеса. Розв'язанням існуючих проблем не лінійних рульових керувань займалися багато дослідників: М. А. Подригало, Д. Р. Елліс, А.Т. Лебедєв, А. С. Литвинов, І. В. Ходес, М. Н. Лисов, Ч. М. Лавров, М. А. Бахмутський, В. О. Петров, та ін. Вони з'ясували, що найбільш ефективними є такі рульові керування, які мають не лінійчату характеристику, а найбільш перспективними, для подальшого вдосконалення, є гідрооб'ємні та гідравлічні рульові керування [11-23].

Так, двоканальна (комбінована) схема рульового керування є досить перспективною, оскільки вона надає можливість адаптувати функціональні властивості рульового привода транспортного засобу під різні технологічні потреби. Основні переваги цієї схеми включають зміну передаточного числа рульового механізму залежно від швидкості руху транспортного засобу. Це дозволяє покращити стабільність технологічних процесів та забезпечити ефективне керування на різних швидкостях руху. Такий підхід сприяє оптимізації ефективності використання транспортних засобів у різних умовах експлуатації. Наявність в рульових керуваннях з гідропідсилювачем та гідрооб'ємних рульових керуваннях низки технічних та експлуатаційних переваг дозволяє констатувати, що використання адаптивного рульового керування з перемінним передаточним відношенням рульового механізму дозволить забезпечити підвищення добротності процесу керування МТА, а також зменшити інформаційне навантаження на оператора [24-26].

*Формулювання мети статті.* Метою статті є техніко-економічне обґрунтування доцільності використання адаптивного рульового керування колісного трактору.



*Основна частина.* Для оцінки техніко-економічної ефективності системи рульового керування з постійною чутливістю можна використати такі показники:

– додаткова врожайність: розрахувати додатковий валовий прибуток, який отримується від збільшення врожайності кукурудзи. Це можна зробити, помноживши додаткову врожайність на ціну однієї тони кукурудзи.

– загальні експлуатаційні витрати: порівняти сумарні витрати на обраній технологічній операції для існуючого і проектного варіантів.

– вартість додаткового обладнання: врахувати витрати на придбання та впровадження нового обладнання для реалізації системи рульового керування з постійною чутливістю.

– додатковий валовий прибуток: розрахувати різницю між прибутком, отриманим від додаткової врожайності, і витратами на додаткове обладнання.

– показники науково-технічного рівня: порівняти результати та характеристики запропонованої системи рульового керування з аналогами, які використовуються світовою практикою.

За результатами порівняння ми можемо визначити, наскільки запропонована система перевершує або відповідає світовому рівню, а також оцінити її техніко-економічну доцільність в порівнянні з існуючими аналогами. Оцінку науково-технічного рівня системи рульового керування транспортногo засобу з постійною чутливістю наведені в таблиці 1.

Індекс науково-технічного ефекту (НТЕ), результатів НДДКР визначався наступним чином:

$$I_{НТЕ} = \sum_{j=1}^4 ОП \cdot K_B, \quad (1)$$

де  $I_{НТЕ}$  – індекс науково-технічного ефекту (НТЕ);

$ОП$  – рівень ознаки показника науково-технічного ефекту (НТЕ), бал;

$K_B$  – коефіцієнт важливості  $j$ -го показника НТЕ;

$j$  – кількість заданих показників НТЕ.

$$I_{НТЕ} = 4 \cdot 0,3 + 6 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,2 + 10 \cdot 0,1 = 5$$

Виходячи з результатів таблиці 1 ми можемо стверджувати, що індекс НТЕ буде знаходитись в наступних межах:

$$I_{НТЕmin} \leq I_{НТЕ} \leq I_{НТЕmax}, \quad (2)$$

де  $I_{НТЕmin}$  – мінімальне значення індексу науково-технічного ефекту,  $I_{НТЕmin} = 1,9$ ;

$I_{НТЕmax}$  – максимальне значення індексу НТЕ,  $I_{НТЕmax} = 10$ .

Тоді рівняння індексу науково-технічного ефекту можемо записати в числових значеннях:

$$1,9 \leq I_{НТЕ} \leq 10$$



Таблиця 1

## Технічні параметри науково-технічного рівня (НТР) результатів науково-дослідних і науково-конструкторських робіт

№	Показники НТЕ	Ознаки показників	Кількість балів	Обрана категорія	Коефіцієнт важливості показника
1	Науково-технічний рівень (НТР)	Перевищує найкращі світові аналоги Відповідає світовому рівню Нижчий від існуючих світових аналогів Перевищує вітчизняні аналоги Відповідає вітчизняному рівню Нижчий від вітчизняного рівня	10 7-9 5-6 3-4 1-2 0	- - - 4 - -	0,3-0,35
2	Перспективність	Першочергова важливість Важливі Корисні	10 5-7 1-3	- 6 -	0,35-0,4
3	Масштаби потенційного практичного використання	Світовий ринок Галузі національної економіки Галузь (регіон) Окреме підприємство	10 7-8 3-5 1-2	- - - 2	0,2
4	Ступінь імовірності досягнення позитивних результатів НДДКР	Великий (значний) Помірний (середній) Малий (слабкий)	10 5-6 1-3	10 - -	0,1

Порівнюючи гранично можливі значення з розрахунковим індексом науково-технічного ефекту, можемо зазначити його високий рівень при використанні запропонованої комбінованої (адаптивної) системи рульового керування транспортного засобу.

Вихідні дані для розрахунку чистого дисконтованого доходу (ЧДД):

- площа посівів кукурудзи у господарстві, га - 170;
- збільшення врожайності кукурудзи за рахунок зменшення агротехнічних строків виконання польових робіт, поліпшення розпушування ґрунту та підгортання рослин, ц/га – 1.9;
- вартість кукурудзи (на розрахунковий період), грн/т – 5412;
- вартість виготовленого обладнання та програмного забезпечення, грн – 65613,3.



Кількість врожаю, який буде зібраний за рахунок впровадження комбінованої (адаптивної) системи рульового керування транспортного засобу розраховуємо за формулою:

$$W = K \cdot N, \quad (3)$$

де  $W$  - обсяг врожаю, який буде зібраний за рахунок впровадження системи рульового керування транспортного засобу з постійною чутливістю, ц;

$K$  – площа обробітку одним культиватором, га;

$N$  – показник, який враховує підвищення врожайності кукурудзи, за рахунок зменшення строків виконання робіт та поліпшення підгортання рослин, ц.

$$W = 170 \cdot 1.9 = 323 \text{ ц.}$$

Розраховуємо кількість коштів, які надійдуть до господарства, за рахунок реалізації додатково отриманої кукурудзи:

$$S = W \cdot Ц, \quad (4)$$

де  $S$  - кількість коштів, які надійдуть до господарства, за рахунок реалізації додатково отриманої кукурудзи, грн;

$Ц$  – ринкова вартість зерна кукурудзи (на поточний момент), грн/т.

$$S = 32,3 \cdot 5412 = 174807,6 \text{ грн.}$$

Відповідно на один гектар надходження складуть:

$$R = \frac{S}{K}, \quad (5)$$

$$R = \frac{174807,6}{170} = 1028 \text{ грн/га}$$

*Чистим грошовим потоком* називають щорічні значення касової готівки, яка є різницею між сумою надходження та витратами грошей. В загальному вигляді формула має наступний вигляд:

$$P_{it} = Pt_i - Qt_i, \quad (6)$$

де:  $P_{it}$  – чистий грошовий потік у  $t_i$  – періоді реалізації проєкту;

$Pt_i$  – приток грошей у поточному періоді;

$Qt_i$  – відтік грошей у звітному періоді.

*Інтегральним чистим грошовим потоком* називають суму грошових потоків за весь період життєвого циклу проєкту, тобто:

$$P_T = \sum_{t=0}^T (Pt - Qt), \quad (7)$$

де  $P_T$  – інтегральний чистий грошовий потік, грн.

Відповідно до таблиці 2 цей показник складатиме:

$$Pt_i = 85455,3 \text{ грн.}$$

Таблиця 2

Чистий дисконтований дохід від використання модернізованого  
рульового керування

Роки	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Чистий грошовий потік	117339,5	174807,6	174807,6	174807,6	174807,6	174807,6	174807,6
Чистий дисконтований дохід	10649,6	11608,5	15653,6	13975,6	12478,9	11141,7	9947,4
Разом							85455,3

При розрахунку коефіцієнта ефективності інвестицій не застосовують дисконтування, при його розрахунку для представленого проєкту коефіцієнт оцінюється відношенням середньорічного чистого прибутку до середньорічних інвестиційних вкладень. Іноді його називають показником рентабельності (в нашому інвестицій).

Для визначення оцінки коефіцієнта за повний цикл життя інвестиційного проєкту використали наступну розрахункову формулу:

$$\text{Кеф.інв} = \frac{P_{cp}}{1/2(I + R)} \quad (8)$$

де  $P_{cp}$  – середньорічний чистий прибуток від реалізації проєкту;  
 $I$  – повні проєктні інвестиції;  
 $R$  – ліквідаційна вартість проєкту.

$$\text{Кеф.інв} = 13,82 \%$$

Отримане значення більше 1, тому використання модернізованого рульового керування на міжрядному обробітку ґрунту є доцільним.

$$T_{OK} = \frac{Pt_i}{K_{доо}} \quad (9)$$

де:  $T_{OK}$  – термін окупності додаткових капітальних вкладень, рік;  
Відповідно до попередніх розрахунків термін окупності додаткових капітальних вкладень складатиме:

$$T_{OK} = 85455,3/65613,3 = 1,3 \text{ року}$$

Річний економічний ефект визначається наступним чином:

$$E_{фр} = \left[ \left( \frac{E_{в.іс}}{Q_{іс}} + E_n \frac{K_{іс}}{Q_{іс}} \right) - \left( \frac{E_{в.нр}}{Q_{нр}} + E_n \frac{K_{іс} + K_{доо}}{Q_{нр}} \right) \right] \cdot Q_{нр} + 3_{зб}, \quad (10)$$

де  $E_{фр}$  – економічний ефект річний, грн;  
 $E_{в.іс}$  – експлуатаційні витрати існуючі, дорівнюють 4554 грн.;



$E_{в.пр}$  – експлуатаційні витрати проектні, дорівнюють існуючим, грн.;

$Q_{ic}$  – обсяг виробництва кукурудзи зі 170 га, при існуючих умовах т;

$Q_{пр}$  – обсяг виробництва кукурудзи зі 170 га, при використанні проектних рішень, т;

$E_n$  – нормативний коефіцієнт ефективності використання капітальних вкладень, приймається до розрахунку  $E_n = 0,15$ ;

$Z_6$  – збиток від не впровадження рульового керування транспортного засобу постійної чутливості. Приймається до розрахунку  $Z_6 = S$ , грн.

Таким чином річний економічний ефект складатиме:

$$E_{эф} = \left[ \left( \frac{4554}{386} + 0,15 \frac{32460}{386} \right) - \left( \frac{4554}{418} + 0,15 \frac{32460 + 62613,3}{418} \right) \right] \cdot 418 + 174807,6$$
$$= 161807,2 \text{ грн.}$$

**Висновки.** 1. В даній роботі оцінка ефективності науково-технічних розробок розглядалась з точки зору ринкової економіки, а саме: науково-технічний ефект, економічний ефект, соціальний ефект. Технічні параметри науково-технічного рівня результатів НДДКР розглянуті за чотирма напрямками, а саме: потенційні масштаби практичного використання, перспективність, науково-технічний рівень, ступінь імовірності досягнення позитивних результатів НДДКР, і було встановлено, що запропонована система рульового керування з постійною чутливістю має високий рівень науково-технічного ефекту.

2. В результаті обчислення чистого дисконтованого доходу від використання модернізованого рульового керування встановлено, що він складатиме у перший рік використання 10649,6 грн., а за 7 років складе 85455,3 грн.

3. При розрахунку терміну окупності додаткових капітальних вкладень було встановлено, що  $Ток = 1,3$  року, це є значно кращим терміном ніж рекомендовані нормативи, які розраховані на 7 років.

4. Використання рульового керування транспортного засобу з постійною чутливістю дає можливість отримати річний економічний ефект в обсязі 161807,2 грн.

#### *Список використаних джерел*

1. Петров В. О. Постійна чутливість рульового керування мобільних машин у транспортному режимі. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. 2006. Вип. 43. С. 98–102.

2. Петров В. О. Постійна чутливість рульового керування мобільних машин у транспортному режимі. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. 2006. Вип. 43. С. 98.



3. Петров В. О. Синтез ергономічних рульових управлінь для мобільних машин. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. 2000. Вип. 1, т. 17. С. 60-64.

4. Лубяний М. М. Аналіз функціонування системи "водій-рульове керування" МТА. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. 2000. Вип. 1, т. 17. С. 21-27.

5. Петров В. О. Рульове управління колісного шасі яке реалізує керування напрямком руху по положенню. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. 2001. Вип. 1, т. 24. С. 83-86.

6. Журавель Д. П., Бондар А. М. Обґрунтування показників експлуатаційної надійності енергетичних засобів. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 467-473.

7. Galina Gritsaenko, Igor Gritsaenko. Mechanism for the Maintenance of Investment in Agriculture. *Modern Development Paths of Agricultural Production*. 2019. Ch. 1. P. 29-40.

8. Kyrylo Samoichuk, Olga Viunyk, Dmytro Milko. Research on milk homogenization in the stream homogenizer with separate cream feeding. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2020. Vol. 14. P. 142-148.

9. Dmitry Milko, Kyrylo Samoichuk, Yulia Postol. Revealing new patterns in resourcesaving processing of chromium-containing ore raw materials by solidphase reduction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2020. № 1/12(103). P. 24-29.

10. Dmytro Milko, Oleksandr Sclyar, Radmila Sclyar, Ganna Pedchenko. Results of the nutritional preservation research of the alfalfa laying on storage with two-phase compaction. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2020. Vol. 60(1). P. 269-274.

11. Kyrylo Samoichuk, Nadiya Palyanichka, Vadim Oleksiienko, Serhii Petrychenko. Improving the quality of milk dispersion in a counter-jet homogenizer. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2020. Vol. 14. P. 633-640.

12. Дашивец Г. І. Обґрунтування швидкісних параметрів роботи машино-тракторного агрегату. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2021. Вип. 11, т. 2. С. 85-97. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2021-2-16>.

13. Dmytro Zhuravel. Research of lubricant properties of used tractor motor oils. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2021. Вип. 11, т. 2. 18 с. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2021-2-5>.

14. Kuznetsov, M., Lysenko, O., Chebanov, A. (2021). Ensuring power balance in a hybrid power system with a backup generator. *Eastern-*





*European Journal of Enterprise Technologies*. № 6(8(114)). Р. 6–15. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245557>.

15. Дашивець Г. І. Методика обробки емпіричних даних якісних показників роботи колісної машини. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2022. Вип. 12, т. 2. Р. 3416. <https://doi.org/10.3390/en15093416>.

19. Журавель Д. П. Вплив технічного обслуговування і ремонту на надійність машин та обладнання при використанні біологічних рідин. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*. 2020. Вип. 10, т. 1. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2020-1-3>.

20. Журавель Д. П. Раціональне використання біологічних олив для мобільних енергетичних засобів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*. 2020. Вип. 10, т. 1. С. 1-9. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2020-1-9>.

21. Мілько Д. О. Методика складання раціону великої рогатої худоби на основі поживної цінності кормових компонентів. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2019. Вип. № 10(109). С. 91-96.

22. Дашивець Г. І. Дослідження адаптивної роботи рульового керування транспортного засобу в швидкісному режимі. *Сучасні наукові дослідження на шляху до Євроінтеграції: матеріали міжнар. наук.-практ. форуму (21-22 червня 2019 р.)*. Мелітополь, 2019. Ч. 1. С. 203-204.

23. Бондар А. М. Фактори поліпшення керованості МТА. *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*. 2009. №2-09. С. 150-160.

24. Бондар А. М. Надійність людини-оператора в складній технічній системі. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2009. Вип. 9, т. 5. С. 13-18.

25. Бондар А. М. Вдосконалення рульових механізмів із перемінним передаточним відношенням. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2010. Вип. 10, т. 2. С. 13-18.

26. Бондар А. М. Використання бальної оцінки для визначення економічної ефективності результатів наукової роботи. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2012. Вип. 12, т. 1. С. 172-176.

*Стаття надійшла до редакції 11.03.2024 р.*



**D. Zhuravel<sup>1</sup>, A. Bondar<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup>Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University**

**FEASIBILITY STUDY OF THE FEASIBILITY OF USING  
ADAPTIVE STEERING OF A WHEELED TRACTOR**

*Summary*

Powered wheeled tractors are currently widely used in all climate zones in approximately fifty transport, technological and agricultural operations. However, in operating conditions, all the capabilities of these wheeled tractors are not always used rationally. One of the main directions of increasing the productivity of tractors in agriculture is the maximum use of their traction and power properties. This is possible only when the working speeds of the power tool are increased. However, work at high speed modes leads to a deterioration in the stability of technological processes due to an increase in steering sensitivity, because with an increase in the speed of the machine-tractor unit, it is necessary to increase the gear ratio of the steering mechanism, and with a decrease in speed, accordingly, reduce it. To date, there is no such agricultural machinery, the steering of which would fully meet these requirements. Therefore, scientific work aimed at creating steering systems for agricultural machine-tractor units operating at high-speed modes and ensuring the adaptability of the steering gear ratio depending on the speed of its movement is relevant. The article deals with the issue of feasibility study of the feasibility of using adaptive steering on a wheeled tractor. Modern works related to determining the effectiveness of the implementation of scientific and technical solutions are analysed and the most modern ones are selected. During the research, it was established that the proposed steering system with constant sensitivity has a high level of scientific and technical effect. When calculating the payback period of additional capital investments, it was found that it is 1.3 years, which is a much better period than the recommended standards, which are calculated for 7 years. The use of vehicle steering with constant sensitivity makes it possible to obtain an annual economic effect in the amount of UAH 161807.2. The net discounted income from the use of modernized steering was also calculated and it was determined that it will amount to UAH 10,649.6 in the first year of use, and UAH 85455.3 in 7 years.

**Keywords:** wheeled tractor, steering, scientific and technical effect, investment efficiency ratio, operating costs, payback period.



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2-2

УДК 662.8.055:665.3

К. О. Самойчук<sup>1</sup>, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0002-3423-3510

В. А. Самохвал<sup>1</sup>, аспірант

ORCID: 0000-0001-5539-3647

О. О. Червоткіна<sup>1</sup>, інженер

ORCID: 0000-0002-6214-0566

<sup>1</sup> Таврійський державний агротехнологічний університет

імені Дмитра Моторного

e-mail: kyrylo.samoichuk@tsatu.edu.ua, тел.: +380978805485

## ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ БАГАТОСЕКЦІЙНОГО ПРИСТРОЮ ФОРМУВАННЯ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ НА ГВИНТОВИХ ПРЕС-ЕКСТРУДЕРАХ

*Анотація.* Актуальність даних досліджень зумовлена проблемою, з якою стикаються виробники паливних брикетів, при використанні більшості відомих прес екструдерів, які при роботі, особливо в теплий період року, мають сильне перегрівання обладнання та готової продукції що в свою чергу зменшує ресурс обладнання та погіршує якість продукції. З даною проблемою найчастіше стикаються виробники що використовують в якості сировини відходи провіювання таких культур як соняшник, соя, рапс, коріандр, льон. Дані культури в великих обсягах вирощуються в нашій державі тому сировинна база дуже велика, а отже і є велика доцільність досліджень в даному напрямку. Наші дослідження направлені на вирішення проблеми перегріву пристрою остаточного формування паливного брикету. Однією з головних цілей роботи є покращення якості продукції та стабілізувати роботу пресового обладнання в теплий період року. Проаналізувавши існуючі пристрої для формування паливних брикетів та їх недоліки було прийнято рішення розробити новий пристрій остаточного формування з обладнаною системою охолодження найбільш нагріваємих секцій пристрою.

*Ключові слова:* екструдування, охолодження, брикет паливний, прес, формування, стискання.

*Постановка проблеми.* Велика кількість паливних брикетів виготовляється на підприємствах які безпосереднім чином пов'язані з сільським господарством та використовують в якості сировини: відходи провіювання таких культур як соняшник, льон, соя, рапс, коріандр [1, 2]. Всі ці культури в своїй структурі містять рослинні олії а отже мають високу калорійність при згоранні [3]. При роботі з даним видом сировини найбільш оптимально показало себе пресове обладнання шнекового типу [4]. При роботі в теплий період часу даний для даного типу обладнання характерний надмірний нагрів – температурні показники перевищують 100 °С, що в свою чергу сильно



погіршує якість готової продукції. При цьому рідкі компоненти (олія та вода), які містяться в сировині, переходять до пароподібного стану, та починають інтенсивно виділятися, роблячи брикет крихким [5]. Для подолання даної проблеми більшість виробників роблять паливний брикет з центральним отвором через який в процесі виробництва виходить пар. Але даний вид брикету легше піддається розкрошуванню завдяки особливостям своєї форми. Також паливні брикети з центральним отвором на 25% згорають швидше ніж паливні брикети без центрального отвору [7]. При цьому пресове обладнання при роботі з високими температурами скорочує свій ресурс безвідмовної роботи [8].

Головною метою наших досліджень є розробка вдосконаленого обладнання, яке в свою чергу могло б забезпечити стабільну роботу з рослинним видом сировинної бази в теплий період року та забезпечити виготовлення паливних брикети без центрального отвору високої якості. В свою чергу обладнання повинно бути широкоуніверсальним та поєднувати в собі формуючий пристрій та охолоджувач і при цьому всьому забезпечувати максимальний період перебування стиснутої сировини в пристрої [9].

*Аналіз останніх досліджень.* Частина всіх досліджень напрямку виробництва паливних брикетів спрямована на вивчення процесів, що відбуваються при переробці різних видів сировини та на конструктивну будову безпосередньо обладнання під кожний конкретний вид сировини. Більшість науковців та виробників пресового обладнання працюють в парі та зосереджуються на розробці все нових більш досконалих зразків обладнання [10]. Дана галузь є дуже перспективною, адже економіці країн необхідно постійне зниження вартості джерел енергії та пошук альтернативних їх видів. З кожним роком вчені вносять великий вклад в розвиток даного напрямку. Для кожної країни та кожного регіону окремо виділяються свої сировинні бази та конкретні види обладнання що працюють з ними [11]. В нашій країні одна з найкращих сировинних баз в Європі, так як Україна є аграрною країною з великою територією де вирощуються культури, відходи переробки яких гарно підходять для виготовлення паливних брикетів, високої якості.

Для нашого регіону найбільш ефективним є шнекове обладнання так, як воно задовольняє більшість критеріїв по виготовленню брикетів гарної якості з сировини переробки сільського господарства [12]. Даний вид обладнання гарно зарекомендував себе при роботі в різних сферах вже багато років [13]. Проводячи аналіз літератури та новітніх розробок ми бачимо, що з кожним роком шнекове обладнання стає більш універсальним та інноваційним [14]. Існує велика кількість розробок та патентів на обладнання цього типу, під



кожний конкретний вид сировини, але ще дуже мало обладнання яке б могло забезпечувати стабільну роботу з більшістю видів сировини, та забезпечувати стабільну роботу в теплий період року при виготовленні паливного брикету без отвору [15].

Проводячи аналіз різних видів обладнання та всіх процесів що відбуваються при виготовленні паливних брикетів з таких культур як соняшник, льон, соя, рапс, коріандр потрібно розглянути фактори температури на кожному етапі формування брикету та час перебування сировини в формуючому пристрої а також ступінь її стиснення [16]. Більшість науковців та виробників для вирішення даного питання часто включають в лінію брикетування багато додаткового обладнання, що в свою чергу збільшує енергоємність та витрати на обслуговування, що призводить до збільшення собівартості готової продукції [17, 18].

*Формулювання мети статті (постановка завдання).* Метою статі є розробка більш універсального обладнання зі зниженою собівартістю з високими ресурсними показниками, здатного працювати в теплий період року з більшістю видів сировини регіону півдня України та забезпечувати високу якість готової продукції. При цьому пристрій повинен бути сумісним з більшістю видів шнекового обладнання та мати на кожному етапі формування сировини замкнутий контур для зменшення кількості охолоджуючої рідини.

*Основна частина.* Для досягнення мети дослідження, необхідно, щоб робочі органи установки, що розробляється, були взаємозамінні та доволі прості в обслуговуванні, а система охолодження – мала регулювання ступеня остаточного формування паливних брикетів та виконувалися в парі з двокамерним прес-екструдером [6]. Досліди проводилися в теплий період року та при максимально наближених до промислових умовах. Пресове обладнання перед виконанням дослідів прогрівалося та виводилося на стабільну роботу. Під час проведення експериментальних досліджень всі заміри проводилися за однаковий період часу та з використанням однорідної сировини [19].

Для проведення експериментальних досліджень розробили багатосекційний пристрій остаточного формування та обладнали його додатково системою охолодження певної кількості секцій, які з'єднали послідовно між собою для досягнення однорідної температурив всіх секціях та встановили радіатор охолодження та помпу [20].

Конструкція робочих органів зображено на (рис. 1) [6].

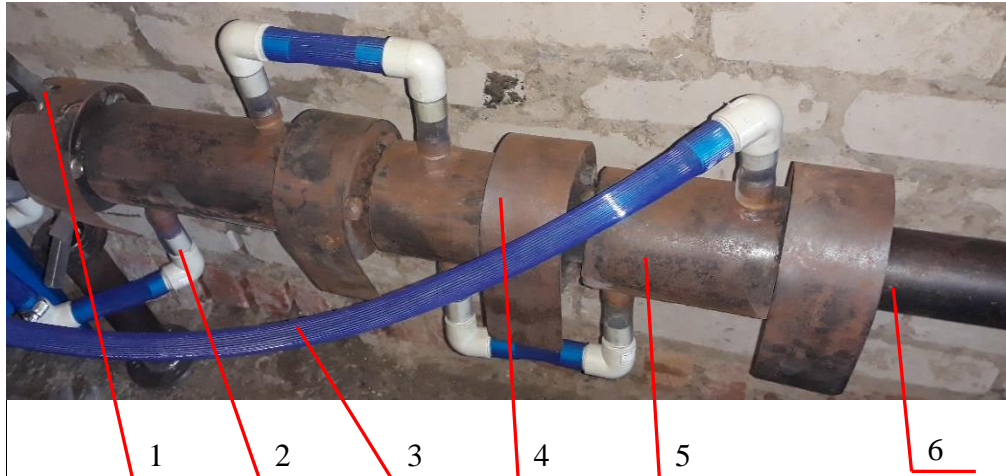


Рис. 1. фрагмент пристрою остаточного формування, з системою охолодження: 1 – регулятор тиску другої камери; 2 – патрубок подачі рідини після охолодження; 3 – патрубок відводу гарячої рідини ; 4 – кожух фланцевого з'єднання секцій; 5 – секція обладнані охолодженням; 6 – секція без додаткової системи охолодження

Для забезпечення необхідної точності кількість повторностей дослідів становила 5 разів, після чого визначали середнє значення. Грубі похибки вимірювань відсіювали за допомогою критерію максимальних розбіжностей [21]. Тривалість кожного дослідів становила не менше двох годин, щоб досягти стабільних та відтворюваних результатів. Всі заміри заносились в таблицю. Пристрій використовувався в парі з двоступеневим прес-екструдером, технічні характеристики якого приведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Технічна характеристика шнекового прес-екструдера

Технічні характеристики	Величина
Середня продуктивність, кг/год	110-150
Встановлена корисна потужність, кВт	до 7,5
Максимальна дозволена потужність, кВт	10
Частота обертання шнеків, об/хв	70-85

Головною метою експериментальної частини було дослідити розроблений пристрій та вплив системи охолодження на якість готової продукції [22]. Під час дослідів змінювали кількість секцій з охолодженням та заміряли температуру брикету на виході за допомогою безконтактного інфрачервоного пірометра Venetech GM333. З проведених дослідів ми отримали результати які занесли в таблицю 2.

Таблиця 2

## Показники температури брикету з застосуванням секцій обладнаних додатковим охолодженням

Кількість секцій, обладнаних додатковим охолодженням	1	2	3
Довжина секцій з охолодженням, мм	245	445	690
Температура брикету на виході з використанням кожної з секцій, °С	114	97	84

При проведенні дослідів з використанням лише однієї секції з охолодженням сировина піддавалася значному перегріву, так як температура брикету на виході становила більше 114°С. При цьому відбувалося виділення пари, яка деформувала брикет [23]. При збільшенні секцій з охолодженням температура готової продукції пропорційно знижувалась, а якість брикету, внаслідок відсутності пароутворення, поліпшувалась. З результатів поведеного дослідження видно, що достатньо встановити лише три секції з охолодженням щоб забезпечити стабільну роботу обладнання в теплий період року [24]. На рисунку 2 зображено продукцію з перегрівом та без перегріву сировини.



а) брикет при температурі 114°С      б) брикет при температурі 84°С

Рис. 2. Вироблені паливні брикети з перегрівом та без перегріву сировини

Наявність системи охолодження дало змогу виготовляти паливні брикети, в яких відсутній внутрішній отвір, високої щільності, при цьому збільшилася об'ємна вага брикету [25]. Тобто якість продукції, що характеризується тривалістю горіння, підвищилась.

*Висновки.* При проведенні аналізу і систематизації процесів виготовлення паливних брикетів, конструкцій закордонного та



вітчизняного пресового обладнання та оцінки їх взаємодії з різними видами сировини, отримані результати, завдяки яким було розроблено нове обладнання, яке покращує якісні показники паливних брикетів.

З проведених досліджень встановлено, що температурні показники пристрою та сировини, та час перебування сировини в стиснутому стані сильно впливають на якість готової продукції. Експериментальним шляхом підтвердили проведені раніше теоретичне твердження, що багатосекційний пристрій остаточного формування з системою охолодження окремих секцій забезпечує стабільну роботу обладнання навіть в теплий період року при виготовленні паливних брикетів які не містять центрального отвору. Для підтримання стабільної температури нижче за пароутворення достатньо використовувати 3 секції з охолодженням.

Розроблений нами пристрій забезпечив істотне підвищення показників щільності, об'ємної маси та тривалості горіння - тобто підвищення якості продукції. А також виключення застосування додаткового більш дорогого проміжного обладнання що знижує собівартість продукції.

#### *Список використаних джерел*

1. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії: підручник для енергет. і еколог. спец. вищих навчальних закладів / О. Адаменко, В. Височанський, В. Лютко, М. Михайлов; під ред. д.т.н., проф. В. Лютко. Івано-Франківськ: Полум'я, 2000. 225 с.

2. Єременко О. І., Василенков В. Є., Руденко Д. Т. Дослідження процесу брикетування біомаси шнековим механізмом. *Інженерія природокористування*. 2020. Вип. 3(17). С. 15-22.

3. Choton S., Gupta N., Vandral J.D., Anjum N. & Choudary A. Extrusion technology and its application in food processing: A review. *The Pharma Innovation Journal*. 2020. Vol. 9(2). P. 162-168. <https://doi.org/10.22271/tpi.2020.v9.i2d.4367>.

4. Полянський О. С., Д'яконов В. І., Д'яконов О. В. Комплексна оцінка і аналіз енергетичних показників існуючих технологій переробки рослинних відходів у паливні брикети. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. Серія Механізація сільськогосподарського виробництва*. 2018. Вип. 190. С. 192–202.

5. Bogaert L., Mhemdi H., & Vorobiev E. Residence time distribution and flow pattern modeling of oilseeds in a pilot screw press. *Oilseeds & Fats Crops and Lipids*. 2020. Vol. 27, № 65. <https://doi.org/10.1051/ocl/2020060>.





6. Шнековий прес-екструдер для отримання брикетів: пат. 127064, Україна, МПК A01D 41/02. a202007249: заявл. 13.11.2020: опубл. 30.03.2023, Бюл. № 13.
7. Процеси і апарати. Механічні та гідромеханічні процеси / В. С. Бойко, К. О. Самойчук, В. Г. Тарасенко [та ін.]. Київ: ПрофКнига, 2021. 468 с.
8. Indartono Y. S., Heriawan H. & Kartika I. A. Innovative and flexible single screw press for the oil extraction of Calophyllum seeds. *Research in Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 65. P. 91-97.
9. Mushtruk M., Gudzenko M., Palamarchuk I., Vasyliv V., Slobodyanyuk N., Kuts A., Nychyk O., Salavor O. & Bober A. Mathematical modeling of the oil extrusion process with pre-grinding of raw materials in a twin-screw extruder. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2020. Vol.14. P. 937–944. <https://doi.org/10.5219/1436>.
10. Кіндзера Д. П., Атаманюк В. М., Госовський Р. Р., Мотіль І. М. Дослідження процесу формування паливних брикетів із рослинної сировини та визначення їх характеристик. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип. 39. С. 138–146.
- 11 Самойчук К. О., Самохвал В. А. Розробка міні-лінії для виготовлення паливних брикетів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2021. Вип. 21, т. 1. С.152-159
12. Самойчук К. О., Самохвал В. А. Характеристики використання брикетування в переробній промисловості. *Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв*: матеріали міжнар. наук.-практ. інтернет-конференція, 24 листопада 2020 р. Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С. 182–184.
13. Pedretti F., Gatto D., Pieri S., Mangoni L., Iari A., Mancini M., Feliciangeli G., Leoni E., Toscano G. & Duca D. Experimental study to support local sunflower oil chains: Production of cold pressed oil in central Italy. *Agriculture*. 2019. Vol. 9(11), is. 231. <https://doi.org/10.3390/agriculture9110231>.
14. Alabi K., Busari R. & Joel O. Development and performance evaluation of a variable-pitch tapered-shaft screw press for palm oil extraction. *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*. 2022. 9(2). P. 49-61. <https://doi.org/10.54287/gujasa.1069996>.
15. Antoniassi R., Wilhelm A. E., Reis S. L. R., Regis S. A., Faria-Machado A. F., Bizzo H. R. & Cenci S. A. Expeller pressing of passion fruit seed oil: Pressing efficiency and quality of oil. *Brazilian Journal of Food Technology*. 2022. Vol. 25. no 2021168. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.16821>.
16. Самохвал В. А., Самойчук К. О. Виготовлення паливних брикетів на пресі екструдерного типу. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі*: матер. III



Міжнар. наук.-практ. конференція молодих учених (24 лютого 2023). Запоріжжя, 2023. С. 11.

17. Carré P. New approach for the elucidation of the phenomena involved in the operation of vegetable oil extraction presses. *Oilseeds & Fats Crops and Lipids*. 2022. Vol. 29(6). <https://doi.org/10.1051/ocf/2021048>.

18. Дідур В., Кюрчев В., Чебанов А., Асєєв А. Підвищення ефективності технологічного процесу переробки насіння рицини на рицинову олію. *Сучасні шляхи розвитку агропромислового виробництва*. 2019. С. 17-27. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5_3).

19. Самойчук К. О., Самохвал В. А. Підвищення ефективності виробництва паливних брикетів з оліємістких сировин в шнекових прес-екструдерах. *Раціональне використання енергії в техніці. TechEnergy 2023: зб. тез доп XIX Міжнар. наук. конференції (18-19 травня 2023 року, НУБіП)*. Київ, 2023. С. 56-59.

20. Самохвал В. А., Самойчук К. О. Дослідження ефективності роботи обладнання для інтенсифікації відтискання технічних олій в гвинтових прес-екструдерах для виготовлення паливних брикетів. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2023. Вип. 13, т. 1. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2023-1-16>.

21. Самойчук К. О., Самохвал В. А. Перспективи використання біопалива з рослинної сировини. *Інтеграційні та інноваційні напрями розвитку харчової індустрії: матер. VI між нар. наук.-практ.конференції (3-4 листопада 2022 р.)* Черкаси, 2022. С. 158–161.

22. Alonge A. F., Jackson N. Extraction of vegetable oils from agricultural materials: A review. *Proceedings of the 12th CIGR Section VI International Symposium*. Ibadan: CIGR – International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering. 2019. P. 1184-1206.

23. Bălțatu C., Mateescu M., Anghelache D., Tăbărașu A. The importance of moisture in extracting oils from oilseeds. A review. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara-International Journal of Engineering*. 2022. Vol. 2. С. 167-170.

24. Fakayode O. & Ajav E. Development, testing and optimization of a screw press oil expeller for moringa (*Moringa oleifera*) seeds. *Agricultural Research*. 2019. Vol. 8. P. 102–115. <https://doi.org/10.1007/s40003-018-0342-6>.

25. Gudzenko M. M., Vasylyv V. P., Mushtruk M. M., Zheplinska M. M., Palamarchuk I. P., Burova Z. A., Sarana V. V. Parameters of screw nozzles of twin-screw extruder-press on oil yield. *Animal Science and Food Technology*. 2021. Vol. 12(3). P. 5-17. <https://doi.org/10.31548/animal2021.03.001>.

Стаття надійшла до редакції 15.03.2024 р.



**K. Samoichuk<sup>1</sup>, V. Samokhval<sup>1</sup>, O. Chervotkina<sup>1</sup>**  
**<sup>1</sup>Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University**

**STUDY OF THE OPERATION OF A MULTI-SECTION DEVICE  
FOR FORMING FUEL BRIQUETTES ON SCREW PRESS EXTRUDERS**

*Summary*

The relevance of this research is due to the problem faced by manufacturers of fuel briquettes when using most of the known press extruders, which, especially in the warm season, have a strong overheating of equipment and finished products, which in turn reduces the life of the equipment and degrades the quality of products. This problem is most often encountered by producers who use waste from the processing of such crops as sunflower, soybeans, rapeseed, coriander, flax as these crops contain high levels of oil in their structure. These crops are grown in large volumes in our country, so the raw material base is very large, and therefore there is a great expediency of research in this direction. Our research is aimed at solving the problem of overheating of both the final molding device and the fuel briquette itself. One of the main goals of the work is to improve the quality of finished products and stabilize the operation of press equipment during the warm season and beyond. After analyzing patents and existing well-known devices for forming fuel briquettes and their components, operating principle and their shortcomings, it was decided to develop a new universal device for final forming of fuel briquettes with an equipped cooling system for the most heated sections of this device. The task was to produce a device that should have a low cost and be compatible with most of the known press extruders. All parts of the device should be interchangeable and fairly easy to maintain, and the cooling system should be controlled at each stage of the raw material molding and have a closed circuit to reduce the amount of coolant. This system should ensure the production of good quality fuel briquettes that do not contain internal holes from crops such as sunflower, flax, soybeans, rapeseed, coriander. The device we developed provided very good indicators of the stability of the equipment and ensured an increase in the quality of products. The device developed by us ensured the exclusion of the use of additional, more expensive intermediate equipment, which reduces the cost of production.

**Keywords:** extrusion, cooling, fuel briquette, press, forming, compression.



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2-3

УДК 662.767.2

О. Г. Скляр<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-0456-2479

Р. В. Скляр<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-1547-5100

В. Д. Акулов<sup>1</sup>, аспірант<sup>1</sup> Таврійський державний агротехнологічний університет

імені Дмитра Моторного

e-mail: radmila.skliar@tsatu.edu.ua, тел.: +38067-916-85-80

## ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

*Анотація.* В статті представлені технологічні схеми та конструктивні рішення способів підвищення виходу товарного біогазу при анаеробній переробці органічних відходів сільського господарства. При цьому проаналізовані наступні методи підвищення енергоефективності систем генерації енергії на основі анаеробної обробки відходів тваринництва, як: добавка до оброблюваних відходів високоенергетичних субстратів (зерно, силос, конюшинна суміш тощо); пряма рекуперація теплової енергії (субстрат/ефлюент); рекуперація теплової енергії із використанням термотрансформаторів; добавка до оброблених відходів високоенергетичних субстратів; попереднє аеробне нагрівання субстрату. Використання засобів підвищення енергетичної ефективності біогазових установок дозволить значно розширити сферу їх застосування в АПК при обробці органічних відходів різного складу, проте рішення про використання того чи іншого методу має прийматись виходячи з конкретних умов сільськогосподарського підприємства.

*Ключові слова:* біогаз, субстрат, установка, добрива, тепловий насос, пряма рекуперація, ефлюент, інфлюент, енергія.

*Постановка проблеми.* Альтернативні джерела енергії стають все більш затребуваними у повсякденному житті. До таких джерел енергії відноситься біогаз, який одержують у спеціальних біогазових установках [1]. Виробництво біогазу є ефективною та інвестиційно-привабливою технологією, що обумовлено наявністю значного сировинного потенціалу, сприятливими природно-кліматичними умовами та низьким рівнем собівартості цього виду енергії.

Перевагою біогазової установки є простота конструкції та обслуговування [2]. Наприклад, стаціонарні модульні установки дають можливість нарощування, зменшення виробничих потужностей завдяки модульності, на відміну інших альтернативних джерел енергії, можуть працювати за будь-яких погодних умов.



Використання БГУ має позитивний агротехнічний результат. Завдяки використанню біодобрих, як результату переробки цих установок, відновлюється родючість ґрунтів, що в майбутньому позитивно впливатиме на врожайність. Однак, незважаючи на позитивні ефекти анаеробної обробки гною в біогазових реакторах, серйозним гальмом їх використання в сільському господарстві є їх відносно низька енергетична ефективність при виробництві біогазу (до 60% біогазу, що виділився, використовується установкою для власних потреб) [3]. Водночас теплота, що міститься в ефлюенте, є додатковим резервом енергії, який слід по можливості використовувати для підігріву завантаженого субстрату і компенсації тепловтрат в реакторі [4].

*Аналіз останніх досліджень.* Питаннями виробництва біогазу в Україні займалися такі науковці, зокрема: Кучерук П. П., Ратушняк А. А., Гелетука Г. Г., Калетнік Г. М., Матвєєв Ю. Б., Токарчук Д. М., Скорук О. П., Пришляк Н. В. та ін. [1, 5-7] Існуючі системи підігріву субстрату недостатньо ефективні та мають низький коефіцієнт корисної дії [6,8]. Тому необхідно розробити технологічну лінію підігріву субстрату, здатну забезпечити ефективне перебіг процесів анаеробного зброджування за мінімальних витрат енергії.

Якщо відбувається переробка субстрату вологістю 90-95%, то анаеробне зброджування в цьому випадку енергоємний процес. При цьому витрачається значна кількість енергії біогазу. Проведені аналізи витрат енергії на підтримку процесу показують, що її основна частина витрачається на нагрівання субстрату до температури зброджування [6, 9].

*Формулювання мети статті.* Аналіз шляхів підвищення енергетичної ефективності біогазової установки.

*Основна частина.* Методи підвищення енергоефективності систем генерації енергії на основі анаеробної обробки відходів тваринництва [6, 9, 10]:

- добавка до оброблюваних відходів високоенергетичних субстратів (зерно, силос, конюшинна суміш тощо);
- пряма рекуперація теплової енергії (субстрат/ефлюент);
- рекуперація теплової енергії із використанням термо-трансформаторів;
- добавка до оброблених відходів високоенергетичних субстратів;
- попереднє аеробне нагрівання субстрату.

Насамперед, слід зазначити, що суттєвим аспектом виробництва біогазу є використання відновлюваних джерел енергії, що часто одночасно є відходами [11, 12]. Використання органічних відходів або аграрної сировини створюють середовище для утворення екологічних ефектів при їх транспортуванні, зберіганні та використанні.



Істотний екологічний вплив має сировина тваринного походження. Так зараз, в Україні стоїть гостре питання – утилізація та безпечне перероблення продуктів життєдіяльності птахофабрик, свинокомплексів та ферм ВРХ. З іншого боку, анаеробна переробка відходів тваринництва (окремо або у поєднанні з іншими косубстратами) може розглядатися як найкраща з наявних технологій, адже переробка відходів на біогазових заводах дозволяє частково зменшити екологічні проблеми та має суттєві економічні переваги у вигляді децентралізованого виробництва відновлюваної енергії [7, 9]. Активного обміну речовин та високої швидкості біохімічних обмінних процесів можна досягти, якщо оновлювати та підтримувати максимально можливе значення граничних поверхонь між рідкою та твердою фракціями. Тому, тверді матеріали рослинного походження, повинні бути підготовлені – подрібнені на розривних, ріжучих або плющильних пристроях. Від ефективного механічного впливу можливо отримати частки меншого розміру [13].

Ефективне змішування твердих часток у суміші, а також їх рівномірний розподіл значною мірою залежать від технологічних та технічних методів, які використовуються для ретельного перемішування, гідравлічного переміщення матеріалу та видалення газу [14, 15]. Використання сучасної техніки дозволяє переробляти субстрати із вмістом твердих речовин до 15%, якщо довжина частинок твердих компонентів не перевищує 32 мм. Подрібнення зеленої маси призводить до додаткових витрат енергії.

Тверді речовини, щільність яких суттєво відрізняється від щільності рідини, зумовлюють утворення осаду (седиментацію) або кірки, чому сприяє флоатція. Проблеми механіко-гідравлічного характеру, пов'язані з цим, а також зменшення продуктивності процесу утворення газу, можуть призвести до необхідності великих витрат технічних засобів і енергії для їх вирішення.

*Пряма рекуперація теплової енергії.* Теплота, що міститься в ефлюенте, є додатковим резервом енергії, який можна використовувати для підігріву завантаженого субстрату і компенсації тепловтрат в реакторі [15].

Найпростішим рішенням є встановлення на лінії вивантаження ефлюенту з біореактора рекуперативного теплообмінника типу «інфлюент-ефлюент» [16]. Ця схема забезпечує використання теплоти зброженого субстрату для часткового підігріву інфлюенту. Її застосування скорочує витрати енергії на метанове зброжування вихідного субстрату. Найбільш оптимальною стратегією може бути використання схеми в термофільному режимі біореактора для досягнення максимальної ефективності [17, 18].

Як теплообмінні апарати зазвичай застосовують спіральні теплообмінники типу «інфлюент-ефлюент». Однак схеми, в яких

інфлюент проходить через накопичувач ефлюента, мають простіше конструктивне рішення, але в цих випадках вдруге використовується порівняно невелика частина енергії внаслідок втрат у накопичувачі шламу. Приклад такої схеми наведено на рисунку 1.

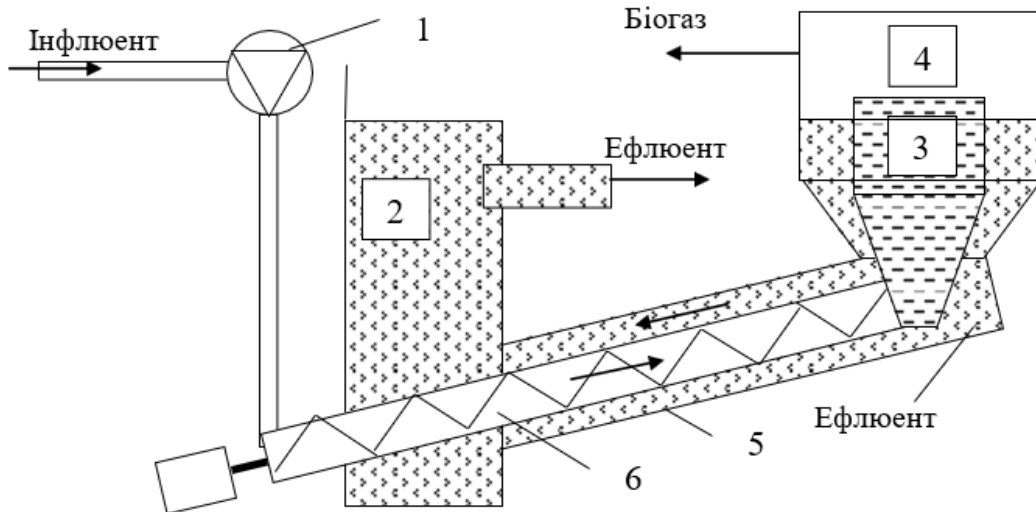


Рис. 1. Прямий підігрів інфлюенту за рахунок відкидної теплоти ефлюенту: 1 – насос; 2 – накопичувач ефлюенту; 3 – реактор; 4 – газовий простір; 5 – теплоізоляція; 6 – шнек.

Недоліками даної технології є те, що тваринницькі (птахівничі) органічні відходи, як правило, мають значну липкість, в'язкість та дуже різноманітні за дисперсним складом. Тому швидкість руху субстрату має бути не менше 3-5 м/с, через що теплота ефлюента не встигає передатися субстрату, що завантажується в метантенк. А також: складність у впровадженні, потенційні витрати на обслуговування; обмеження щодо температурних режимів, ризик замерзання або перегріву, потреба у додатковому обладнанні, ризик забруднення або корозії. Для ефективного впровадження прямої рекуперації може знадобитися додаткове обладнання, таке як теплообмінники, насоси або контрольні системи, що збільшить витрати.

*Рекуперація теплової енергії з використанням термотрансформаторів.* Рекуперація теплової енергії з використанням термотрансформаторів є важливим процесом у сфері енергоефективності. Термотрансформатори (або теплові насоси) використовуються для перетворення тепла з одного джерела на тепло вищої температури для використання в промислових процесах або для опалення [6,11]. Вони працюють на принципі циклу теплового насоса, де низькотемпературне тепло піднімається до вищої температури за допомогою відповідної робочої речовини і компресора.



Рекуперация теплової енергії за допомогою термотрансформаторів використовується у багатьох галузях, таких як промисловість, сільське господарство, будівництво та інші. Вона допомагає зменшити споживання енергії та викиди CO<sub>2</sub>, що сприяє покращенню екологічної стійкості процесів та зменшенню витрат на опалення та виробництво.

Субстрат, який пройшов анаеробний біореактор, подається до резервуара ефлюенту і в неперервному режимі проходить через теплообмінник-випарник теплового насоса. Теплова енергія з ефлюенту, через використання легкокиплячого теплоносія, підвищується у компресорі і передається через теплообмінник-конденсатор назад до вихідного субстрату, який циркулює в системі «біореактор – насос – теплообмінник-конденсатор – біореактор» [14]. Таким чином, теплова енергія, яка виходить із біореактора, ефективно використовується для підігріву вихідного субстрату. За умови коефіцієнта перетворення теплового насоса від 4 до 5, на кожні 3...4 кВт теплової енергії, яка відводиться з біореактора, може бути отримано 4...5 кВт теплової енергії, яка передається до вихідного субстрату. При цьому необхідно приблизно 1 кВт механічної потужності для приводу компресора.

Основним недоліком даного технічного рішення є утворення відкладень на теплообмінних поверхнях з боку гною, що призводить до суттєвих втрат теплової потужності або до необхідності суттєвого збільшення дорогих поверхонь теплообміну. Іншим недоліком є низька інтенсивність основних процесів, які визначають продуктивність технологічної лінії «приймальна ємність – біореактор – відстійник ефекту».

Схема використання відкидної теплоти ефекту за допомогою теплового насоса наведена на рисунку 2.

Через відсутність попередньої мікробіологічної обробки вихідного гною з метою підвищення ступеня розчинення органічної речовини та отримання вихідного субстрату з підвищеним вмістом компонентів, що сприяють інтенсивному метаногенезу, знижується питома продуктивність лінії з біогазу та субстрату [17, 19, 20]. У відстійнику ефлюента через залишкове газовиділення значно знижується інтенсивність процесу розподілу обробленого субстрату на тверду і рідку фракції, що у результаті призводить до збільшення масогабаритних показників відстійника ефлюента.

*Попереднє аеробне нагрівання субстрату.* Під час аеробного розкладання органічних речовин утворюється значна кількість теплоти, яка, за певних умов, може підняти температуру субстрату до 70°C (рис. 3). Оскільки ця теплова енергія виникає внаслідок тих же речовин, які видаляють біогаз, двоетапний процес бродіння, який



складається з аеробної фази для виробництва тепла та анаеробної фази для виробництва газу, завжди пов'язаний з меншою кількістю газу. Крім того, аеробне бродіння (або компостування) [21, 22] можливе без додаткових витрат енергії (окрім підготовки) лише у разі наявності твердого та вологого органічного матеріалу з пористою структурою, яка сприяє газообміну [23]. Навпаки, рідкі субстрати потребують великих витрат енергії для надання повітря з одночасним інтенсивним перемішуванням, а це, в свою чергу, негативно впливає на загальний енергетичний баланс. Додаткові витрати, як на енергію, так і на кошти, також значно зростають в цьому випадку [24].

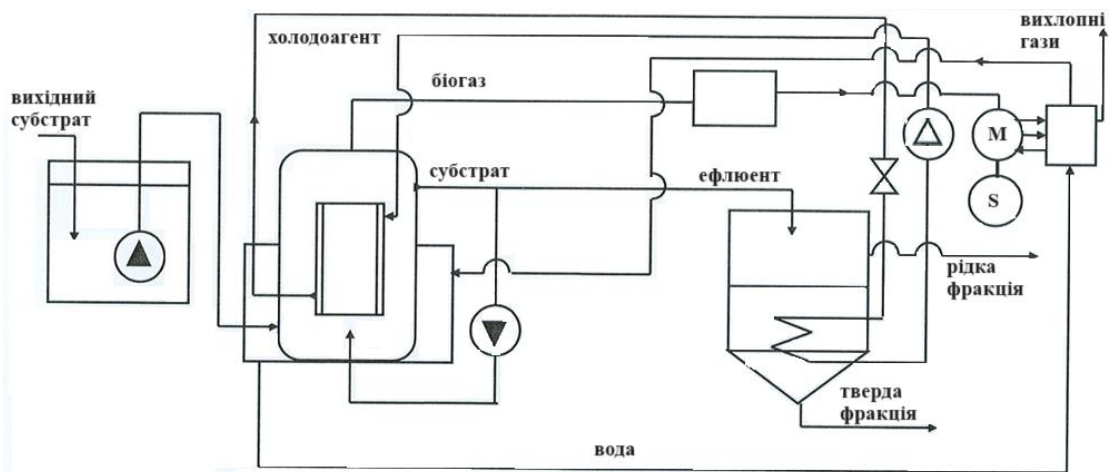


Рис. 2. Використання теплоти ефлюента за допомогою теплового насосу.

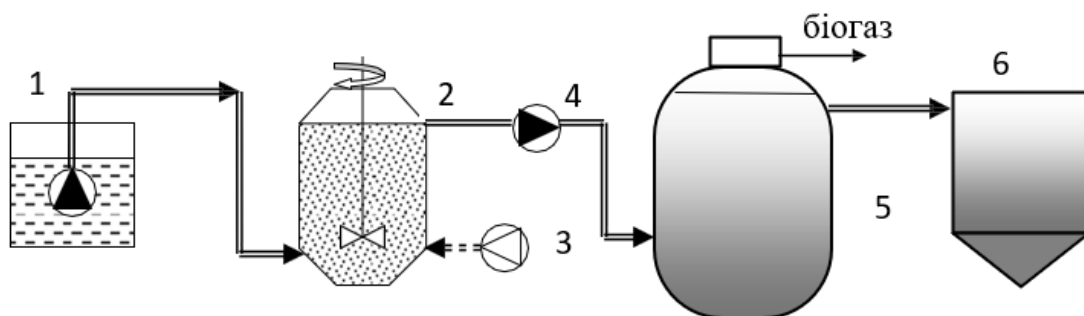


Рис. 3. Попереднє аеробне нагрівання субстрату:

1 – приймальна ємність із насосом; 2 – аеробний реактор; 3 – повітродувка; 4 – насос; 5 – анаеробний реактор; 6 – відстійник ефекту

Зважаючи на оптимізацію процесів виробництва біогазу, можна зосередитися на декількох ключових аспектах [17, 18, 20, 25, 26]:

1) розвиток нових технологій та методів для оптимізації всього процесу виробництва біогазу – вдосконалення конструкції біореакторів, оптимізацію процесів ферментації, удосконалення



систем контролю та автоматизації, а також впровадження інтелектуальних систем моніторингу та управління.

2) ефективне управління тепловими та масовими потоками всередині біореактора для забезпечення оптимальних умов ферментації – впровадження продуманих систем теплообміну, контроль температури та вологості, а також оптимізацію режимів подачі субстрату та повітря.

3) дослідження та розвиток методів використання різноманітних субстратів для виробництва біогазу – використання сільськогосподарських відходів, стічних вод, органічного сміття, а також спеціально вирощених енергетичних культур.

4) використання енергоефективного обладнання та технологій для зменшення споживання енергії в процесі виробництва біогазу – використання високоефективних компресорів, насосів та теплообмінників, а також впровадження систем енергозбереження та використання відновлювальних джерел енергії.

5) використання математичного моделювання та оптимізаційних методів для аналізу та покращення процесів виробництва біогазу дозволить прогнозувати ефективність різних стратегій управління та визначати оптимальні параметри роботи системи.

*Висновки.* Використання засобів підвищення енергетичної ефективності біогазових установок дозволить значно розширити сферу їх застосування в АПК при обробці органічних відходів різного складу, проте рішення про використання того чи іншого методу має прийматись виходячи з конкретних умов сільськогосподарського підприємства.

#### *Список використаних джерел.*

1. Гелетуха Г., Кучерук П., Матвеев Ю. *Перспективи виробництва біометану в Україні: аналітична записка UABIO*. 2022. № 29. С. 58. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2022/09/UA-Position-paper-UABIO-29.pdf> (дата звернення 22.02.2024).

2. Emmanuel Kweinor Tetteh, Sudesh Rathilal. Kinetics and Nanoparticle Catalytic Enhancement of Biogas Production from Wastewater Using a Magnetized Biochemical Methane Potential (MBMP) System. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4344/10/10/1200> (дата звернення 12.02.2024).

3. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві: підручник / Б. В. Болтянський [та ін.]. Київ: Видавничий дім «Кондор», 2020. 410 с.

4. Norazwina Zaino. Kinetics of Biogas Production from Banana Stem Waste. *Biogas* / Dr. Sunil Kumar (Ed.). 2012. P. 395-408.



5. Гелетуха Г. Г., Кучерук П. П., Матвеев Ю. Б. Перспективи виробництва та використання біометану в Україні. *Аналітична записка Біоенергетичної асоціації України*. 2014. № 11. 42 с.

6. Ратушняк Г. С., Лялюк О. Г., Кошечев І. А. Біогазові установки з відновлюваними джерелами енергії термостабілізації процесу ферментації біомаси. Вінниця: ВНТУ, 2017. 110 с.

7. Ткаченко С. Й., Степанов Д. В. Теплообмінні та гідродинамічні процеси в елементах енергозабезпечення біогазової установки: монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. 132 с.

8. Milbrandt A., Bush B., Melaina M. Biogas and Hydrogen Systems Market Assessment. 25 p. URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/63596.pdf> (дата звернення 17.02.2024).

9. Skliar A., Skliar R. Justification of conditions for research on a laboratory biogas plant. *MOTROL: Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa*. 2014. Vol.16(2). P. 183–188.

10. Muradin M., Joachimiak-Lechman K., Foltynowich Z. Evaluation of Eco-Efficiency of Two Alternative Agricultural Biogas Plants. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/8/11/2083> (дата звернення 02.02.2024).

11. Акулов В. Д. Щодо питання енергозбереження в біогазових установках. *Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві: XI Міжнар. наук.-техн. конференція. Глеваха-Київ, 2023*. С. 181-183.

12. Komar A. Definition of priority tasks for agricultural development. *Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. «Multidisciplinary research»*. Bilbao, Spain 2020. P. 431- 433.

13. Войтов В. А. Аналіз технологій утилізації відходів птахівництва за кордоном. *Праці ТДАТУ*. 2019. Вип. 19, т. 4. С. 100-109. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-19-4-100-109>.

14. Гураль І. В., Дивак М. П. Біохімічний аналіз процесів в біогазових установках та його застосування в задачі макромодельовання процесів виробництва біогазу. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2014. № 5. С. 152-158.

15. Skliar O. Directions of increasing the efficiency of energy use in livestock. *Current issues of science and education: Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference*. Rome, 2021. P. 171-176.

16. Акулов В. Д. Аналіз та напрями удосконалення теплообмінників біогазових установок. *Молодь і технічний прогрес в АПВ: матеріали Міжнар. наук.-прак. конференції*. Харків, 2023. С. 95-97.

17. Скляр О. Г., Скляр Р. В., Комар А. С. Огляд методів дослідження та оптимізації машинних технологій утилізації відходів



тваринництва. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2023. Вип. 13, т. 2. С. 9-13. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2023-2-9>.

18. Скляр О. Г., Комар А. С. Теоретичні аспекти моделювання машинної технології утилізації органічних відходів. *Праці ТДАТУ*: 2023. Вип. 23, т. 1. С. 104 – 114. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-2023-23-1-104-115>.

19. Komar A. S. Methodological approaches to the optimization of machine technologies of animal waste disposal. *Scientific research in the modern world: Proceedings of the 8th International scientific and practical conference*. Toronto, 2023. P. 194-198.

20. Скляр О. Г. Теоретичні дослідження режимів і параметрів метантенку біогазової установки. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2020. Вип. 10, т. 1. С. 1-14. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2020-1-14>.

21. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Біоконверсні технології прискореної переробки відходів тваринництва в екологічно безпечні добрива. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2021. Вип. 11, т. 2. № 3. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2021-2-3>.

22. Григоренко С. М. Аналіз технології пасивного компостування органічних відходів у буртах. *Сучасні проблеми землеробської механіки: збірник тез доп. XXIV Міжнар.наук. конференції*. Київ, 2023. С. 122-125.

23. Майстренко О. Ю., Куріс Ю. В., Калінцева Ю. С. Розробка математичної моделі процесів розвитку мікроорганізмів в рамках біоенергетики біомаси. *Новини Енергетики*. 2010. № 2. С. 32–39.

24. Григоренко С. М. Удосконалення технології метаногенерації пташиного посліду. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: Мат. II Міжнар. наук.-практ. конф.* Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 94-99.

25. Скляр Р. В. Основні принципи побудови та аналіз математичних моделей технологічних процесів. *Молодь і технічний прогрес в АПК: матеріали Міжнар. наук.-практ. конференції*. Харків: ХНТУСГ, 2021. С. 263-266.

26. Скляр Р. В. Доцільність використання економіко-математичних моделей в сільському господарстві. *Інноваційні технології в АПК: матеріали VII Всеукр. наук.-практ. конференції*. Луцьк: Луцький НТУ, 2021. С. 122-124.

*Стаття надійшла до редакції 13.03.2024 р.*



O. Skliar<sup>1</sup>, R. Skliar<sup>1</sup>, V. Akulov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

## WAYS TO INCREASE THE ENERGY EFFICIENCY OF A BIOGAS INSTALLATION

### *Summary*

The work presents technological schemes and constructive solutions for ways to increase the yield of marketable biogas during anaerobic processing of organic agricultural waste. At the same time, the following methods of increasing the energy efficiency of energy generation systems based on the anaerobic treatment of animal husbandry waste were analyzed, such as: addition to processed waste of high-energy substrates (grain, silage, clover mixture, etc.); direct heat energy recovery (substrate/effluent); thermal energy recovery using thermotransformers; additive to processed waste of high-energy substrates; preliminary aerobic heating of the substrate. Solid substances, the density of which is significantly different from the density of the liquid, lead to the formation of sediment (sedimentation) or crust, which is facilitated by flotation. Mechanical-hydraulic problems associated with this, as well as a decrease in the productivity of the gas generation process, may lead to the need for large expenditures of technical means and energy to solve them. The main disadvantage of heat energy recovery using thermotransformers is the formation of deposits on heat exchange surfaces from manure, which leads to significant losses of thermal power or the need for a significant increase in expensive heat exchange surfaces. Another disadvantage is the low intensity of the main processes that determine the productivity of the technological line "receiving tank - bioreactor - settling tank". The disadvantage of preliminary aerobic heating of the substrate is that liquid substrates require a lot of energy to provide air with simultaneous intensive mixing, and this, in turn, negatively affects the overall energy balance. Additional costs, both for energy and funds, also increase significantly in this case. The use of means of increasing the energy efficiency of biogas plants will allow to significantly expand the scope of their application in the agricultural sector in the treatment of organic waste of various composition, but the decision to use one or another method should be taken based on the specific conditions of the agricultural enterprise.

**Keywords:** biogas, substrate, installation, fertilizers, heat pump, direct recovery, effluent, influent, energy.



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2-4

УДК 621.694.2

С. О. Шарапов<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-8433-8580

С. О. Євтушенко<sup>1</sup>, аспірант

ORCID: 0000-0003-4536-4046

С. О. Хованський<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0003-2435-7787

<sup>1</sup> Сумський державний університет

e-mail: s.yevtushenko@kttf.sumdu.edu.ua, тел.: +380951925069

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЗМІШУВАННЯ В РІДИННО-ПАРОВИХ СТРУМИННИХ АПАРАТІВ

*Анотація.* У статті описано перспективи експериментальних досліджень рідинно-парових струминних апаратів з камерами змішування різної геометричної форми. Для формулювання завдань дослідження було проведено критичний аналіз сучасних досліджень вітчизняних та зарубіжних науковців, які досліджують ефективність процесів змішування в двофазних струминних апаратах. В результаті огляду літературних джерел, можна зробити висновок, що ступінь завершеності процесу змішування активного та пасивного потоків з досягненням необхідних кінцевих параметрів є досить складним процесом. Отже, отримані результати числових досліджень повинні бути доповнені додатковими експериментальними дослідженнями. У статті наведено схему та опис експериментальної установки для досліджень рідинно-парових струминних апаратів з камерами змішування різної геометричної форми. Програма та методика містять діапазон зміни режимних та геометричних параметрів при проведенні експериментальних досліджень. Запропоновано схему автоматики експериментальної установки та запропоновані контрольно-вимірювальні прилади в характерних точках циклах.

*Ключові слова.* рідинно-паровий струминний апарат, камера змішування, експериментальне дослідження, пасивний потік, геометричні параметри, ефективність процесу змішування.

*Постановка проблеми.* В сучасних технологічних системах широкого поширення набувають агрегати на базі двофазних струминних апаратів [1]. Їх основною перевагою перед іншими типами агрегатів є відсутність рухомих частин, що підвищує строк експлуатації, але водночас вони мають невисоку ефективність. Це пов'язано зі складністю їх робочого процесу, а саме ступенем завершеності змішування активного і пасивного потоків в камері змішування, яка може бути різної геометричної форми [2]. Рідинно-парові струминні апарати (РПСА), в яких реалізується принцип струминної термокомпресії (СТК), поєднують в собі декілька апаратів, а саме, парогенератора, тому що в соплі активного потоку



відбувається витікання недогрітої до насичення робочої рідини з пароутворенням в дифузійній частині сопла та безпосередньо струминного апарату, в якому відбувається процес ежекції пасивного потоку з подальшим змішування його з активним потоком в камері змішування [3].

Саме процес змішування цих потоків, його характер та ступінь завершеності визначають рівень показників ефективності РПСА та доцільність його застосування в різних технологічних схемах.

*Аналіз останніх досліджень.* РПСА, які є різновидом двофазних струминних апаратів, є порівняно новим видом апаратів. Їх дослідження та впровадження в промисловість відбувалося з першої половини ХХ ст. Вони створювалися для конкретних робочих параметрів певної технологічної схеми та не мали можливості регулювання та впливу на їх робочий процес. За останні десятиріччя різко зріс науковий та практичний інтерес до вивчення та вдосконалення їх робочого процесу, що пов'язано з питаннями енергоефективності та екологічної безпеки технологічних процесів, які реалізуються в сучасній промисловості.

Авторами робіт [4, 5] проведені теоретичні та експериментальні дослідження, які довели, що процеси змішування активного і пасивного потоків в камері змішування мають значний вплив на ефективність двофазних струминних апаратів та є одним з основних чинників, які необхідно враховувати при їх проектуванні. В роботах [6-8] основна увага приділяється геометричним параметрам камери змішування, а саме, довжині та куту конфузорності її звужуючої ділянки. В результаті цих досліджень були одержані емпіричні залежності для визначення основних геометричних параметрів, які відповідають оптимальним режимам роботи камери змішування.

Автори робіт [9, 10] досліджували зміну коефіцієнта ежекції в залежності від зміни геометрії камери змішування та встановили діапазон її параметрів, які відповідають максимальним значенням коефіцієнту ежекції при достатньо високих показниках ефективності РПСА в цілому. В роботах [11-13] вивчається робочий процес РПСА з різними типами камер змішування для однакових початкових параметрів активного і пасивного потоків та наводяться результати теоретичних та експериментальних досліджень з визначенням основних показників ефективності. В результаті цих досліджень доведено, що найбільш завершеним є процес змішування в камерах конічної форми з подальшою циліндричною ділянкою, ніж просто в циліндричних камерах, однак це спостерігається лише при значному ступені підвищення тиску пасивного потоку ( $\pi = 6-10$ ). Якщо ступінь підвищення тиску пасивного потоку знаходиться в межах  $\pi = 2-4$ , то з такою ж ефективністю будуть мати і циліндричні камери [14, 15].



Головним недоліком циліндричних камер змішування є висока швидкість потоків та незавершеність процесу змішування, що показано в результаті досліджень, проведених авторами робіт [16, 17]. Автори робіт [18-20] виконали моделювання процесів змішування потоків з різними термодинамічними та режимними параметрами та виявили оптимальні режими роботи камер змішування та визначили діапазон, в якому їх показники ефективності будуть максимальними.

Наведені вище дослідження не враховують особливості робочого процесу РПСА, який працює за принципом струминної термокомпресії. А саме особливостей змішування докритичних активного і пасивного потоків, що зводить до мінімуму втрати «на удар» та значно підвищує ефективність всього процесу. Саме тому, автори ставлять собі за мету створити експериментальний стенд для дослідження рідинно-парового струминного апарату з камерами змішування різної геометричної форми. Камера змішування буде виконана прозорою з можливістю безпосереднього спостереження за процесом змішування потоків.

*Формулювання мети статті (постановка завдання).* Для дослідження впливу геометричних параметрів камер змішування на ефективність рідинно-парового струминного апарату були сформульовані та потребують вирішення наступні завдання:

1. Створення експериментального стенду для дослідження рідинно-парового струминного апарату з камерами змішування різної геометричної форми.

2. Експериментальне дослідження особливостей робочого процесу рідинно-парового струминного апарату з камерами змішування різної геометричної форми, з метою уточнення математичної моделі його розрахунку.

3. Експериментальне дослідження залежності витратних та енергетичних показників рідинно-парового струминного апарату з камерами змішування різної геометричної форми від термодинамічних та режимних параметрів.

4. Аналіз факторів, які впливають на показники ефективності роботи рідинно-парового струминного апарату з камерами змішування різної геометричної форми, для коригування розрахунків математичної моделі.

5. Перевірка достовірності отриманих результатів шляхом порівняння розрахунків та даних експериментальних досліджень.

*Основна частина.* В науковій лабораторії кафедри технічної теплофізики Сумського державного університету був створений експериментальний стенд для дослідження РПСА з камерами змішування різної геометричної форми (рис. 1, 2). Він складається з самого РПСА, двох гріючих ємностей (в яких нагрівається робоча



рідина у вигляді проточної води), системи трубопроводів, різної запірної арматури з сервоприводами та системи зняття показників у вигляді датчиків, терморегуляторів (рис. 1, 2). Стенд обладнаний системою автоматичного керування, схема якої наведена на рис. 3.

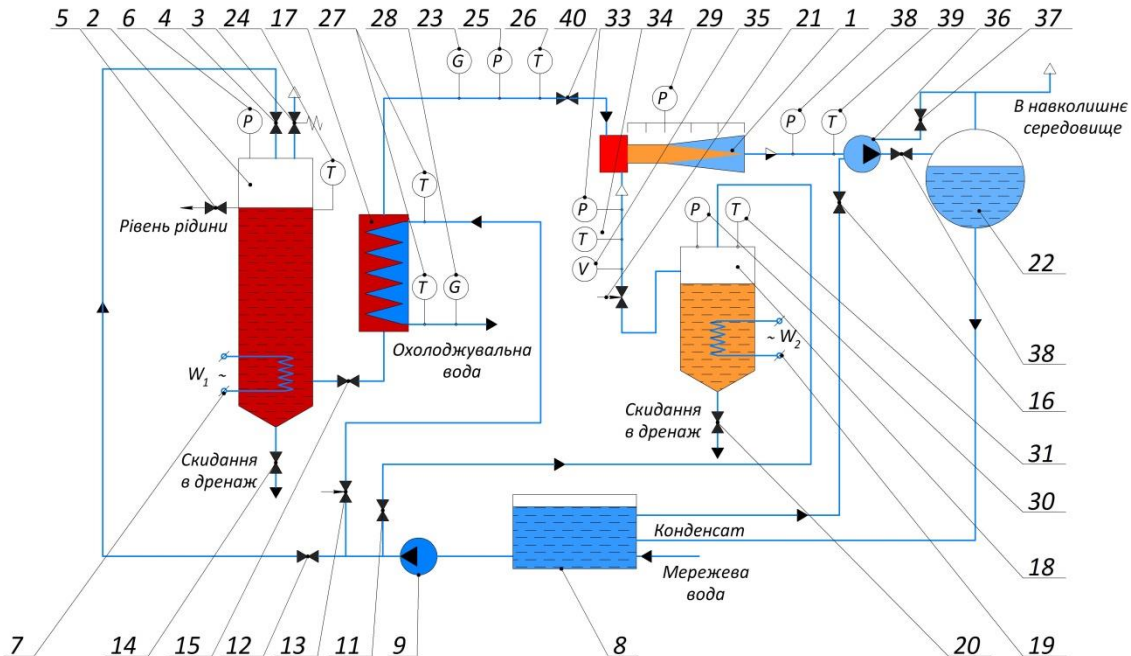


Рис. 1. Принципова схема експериментального стенду для дослідження характеристик камер змішування РПСА: 1 – РПСА; 2,18 – нагрівальна ємність; 3 – запобіжний клапан; 4, 5, 11, 12, 13, 15, 16, 20, 21, 24, 37, 38 – регулювальний вентиль з сервоприводом; 6, 25, 29, 30, 33 – датчики тиску; 26, 27, 31, 34 – датчики температури; 7, 19 – блок ТЕНів; 8 – ємність для води; 9 – насос подачі мережевої води; 17 – теплообмінник типу «труба в трубі»; 22 – сепаратор; 28 – лічильник витрати води; 35 – лічильник витрати пару; 36 – рідинно-кільцевий вакуумний насос

Спочатку робоча рідина нагрівається до необхідного нам тиску та температури за допомогою електричних водяних ТЕНів (7) у нагрівальній ємності (2). Цей процес регулюється та записується за допомогою електронної системи керування з датчиками температури та тиску (рис. 3). На випадок виникнення збою роботи системи керування та підвищення критичної температури та тиску був встановлений запобіжний клапан для аварійного скидання робочої рідини (3).

Робоча рідина через трубопровід та рекуперативний теплообмінник (17) під тиском подається з нагрівальної ємності (2) до вхідного отвору РПСА (1), через яке потрапляє в сопло активного потоку. Проходження робочої рідини через теплообмінник (17) перед

входом до РПСА (1) забезпечує на необхідну температуру і величину відносного недогрівання, при цьому тиск не змінюється. Подача охолоджуваної води регулюється також системою керування з датчиками температури, тиску та лічильником об'ємної витрати води (28) перед входом до РПСА (1). В залежності від показників датчиків система керування подає команду на насос подачі холодної води (9) у теплообмінний апарат (17), а також команда подається на регулюючий вентиль робочої рідини з сервоприводом.



Рис. 2. Фотографії експериментального стану для дослідження характеристик камер змішування РПСА

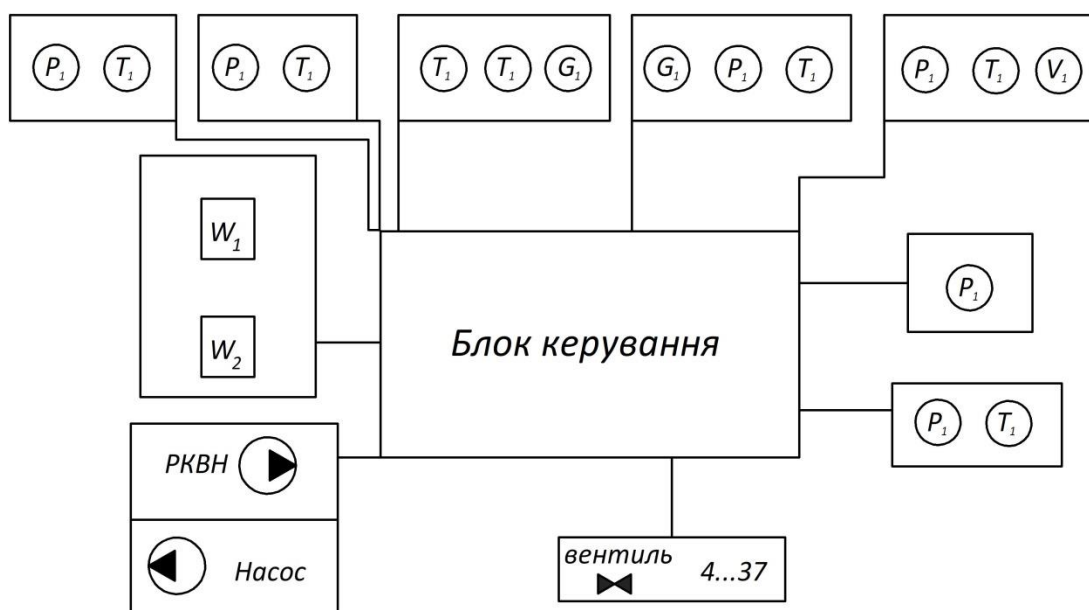


Рис. 3. Система автоматичного керування експериментального стану для дослідження характеристик камер змішування РПСА

Для генерації водяної пари, яка є робочим середовищем пасивного потоку, нам необхідно нагріти воду у нагриваючій ємності (18) за допомогою електричних ТЕНів (19). Тиск та температура в резервуарі контролюється показниками датчиків (30,31), які, в свою чергу, впливають на подачу напруги до електричних ТЕНів та регулювання вентиля з сервоприводом (21) для подачі пару пасивного потоку до камери змішування РПСА (1). Рівень подачі пасивного потоку до РПСА знімається показниками лічильника об'ємної витрати (35) та подаються на монітор електричної системи керування. Після змішування активного і пасивного потоків в камері змішування з подальшим стисненням в дифузори, потік потрапляє до сепаратору (22), для розділення на рідку та газоподібну фази. Рідина надходить до ємності для води (8), а пара скидається в навколишнє середовище. Насос (9) вмикається для швидкого відкачування в залежності від зазначеного нами рівня рідини у сепараторі. При проведенні експерименту знімаються значення тиску, температури потоків та величини вакууму в семи різних перерізах датчиками тиску (29).

Для збору показників з вимірюваних приладів та для регулювання процесу експерименту використовується електрична система керування Danfoss AK-SM 820A (рис. 4) [21].



Рис. 4. Електрична систему керування Danfoss AK-SM 820A

Блок моніторингу AK-SM 820A являє собою набір функцій для збору і моніторингу інформації необхідних даних та для безперервного контролю і керування декількома системами одночасно, за допомогою вбудованого мультиграфічного екрану, який відображає усі дані в режимі реального часу, а також за допомогою можливості віддаленого доступу керування системою через мобільний

додаток RemoteManagementTool і програму для ПК StoreView. Система управління виводить необхідні дані на панелі інструментів або у вигляді графіків, які генеруються автоматично, а також система дає можливість налаштовувати та оптимізувати різні функції в залежності від зміни параметрів датчиків. За це відповідає системний контролер C-Store з екраном RS485 (роздільна здатність 800x600 px) Блок моніторингу та централізованого керування з дисплеєм, 32 контролери, LON, Modbus, WEB інтерфейс, простий доступ через USB-кабель. Живлення блоку від 110В до 240В.

Для вимірювання температури при проведенні експериментальних досліджень використовуються високоточні датчики Danfoss MBT 3270 (рис. 5, а) [22].



Рис. 5. Датчики температури Danfoss MBT 3270 (а) та тиску Danfoss AKS33 (б)

Модель цього датчика використовується у різних сферах гідравлічної промисловості, а також має можливість точно вимірювати різні газові суміші, що як раз підходить для нашого парорідинного робочого середовища. Температурний діапазон вимірювання від  $-50$  до  $+150$  °С. Чутливий елемент Pt100, Pt1000, NTC, PTC. Допустима швидкість середовища повітря 25 м/с, води – 3 м/с. Максимальний зовнішній робочий тиск 600 Бар.

Для вимірювання тиску при проведенні експериментальних досліджень використовуються високоточні датчики Danfoss AKS33 (рис. 5, б) [23].

Серед переваг датчика тиску можна виділити: міцний суцільнометалевий корпус, нейтралізувальний гідроудар вбудований демпфер пульсацій, чудові показники електромагнітної сумісності, висока вібростійкість, для середніх і навколишніх температур до  $125$  °С, повністю зварна конструкція, де змочені частини виготовлені з нержавіючої сталі, захист від ЕМС до 100 В/м.

Для регулювання потоків рідини та пари під час проходження експерименту використовуються регулювальні клапани з редукторним електроприводом АМЕ 435 QM (MCV) виробництва Danfoss (рис. 6) [24].



Рис.6. Регулювальний клапан з редукторним електроприводом АМЕ 435 QM (MCV)

Ці клапани можна використовувати під час експерименту в нашій системі, в яких робочим середовищем є вода та пара. Основні характеристики цих клапанів наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Основні дані електроприводом клапану АМЕ 435 QM (MCV)

Напруга живлення	24 В
Керуючий сигнал – аналоговий	- (0(2)...10 В; - 0(4)...20 мА.
Сила приводу	400 Н
Хід штока	20 мм
Час переміщення штока на 1 мм (налаштовується)	7,5 сек./мм; - 15 сек./мм.
Максимальна температура теплоносія	120 °С

Для зняття показників активного та пасивного потоку РПСА в експерименті використовуються ультразвуковий лічильник води для закритих систем SHARKY 775 [25].

Тип витратоміра – ультразвуковий. Лічильник обладнаний архівом зберігання даних. Архів приладу містить до 1900 записів. При підключенні GPRS модему, формування архіву відбувається на сервері. Формування звітів з погодинними, подобовими, щомісячними даними. Збір даних відбувається в автоматичному режимі. Діапазон робочих температур для теплотлічильника: +5 – +130/150 °С.



Рис. 7. Ультразвуковий лічильник води для закритих систем SHARKY 775

Для прискорення виходу на робочий режим в системі РПСА використовується рідинно- кільцевий вакуумний насос PVM 115/050 ADKPK0 (рис. 8) [26]



Рис. 8. Рідинно-кільцевий вакуумний насос PVM 115\050 ADKPK0

Принцип роботи вакуумного насоса PVM 115\050 ADKPK0 вимагає постійного подавання потоку робочої (сервісної) рідини, без твердих частинок у підвищеному стані, що надходить у насос через спеціальне приєднання на корпусі насоса для поповнення кільця з рідини та охолодження насоса (зазвичай використовується чиста вода). Температура робочої рідини не має перевищувати 80 °С, а всмоктувального газу приблизно 100 °С. Густина робочої рідини має



бути в межах від 800 до 1200 кг/м<sup>3</sup>, продуктивність насоса складає 50 м<sup>3</sup>/год. Потужність двигуна 1,5 кВт (при 50 Гц). Частота обертання робочого колеса насоса 2950 об/хв. (при 50 Гц).

Під час проведення експерименту для визначення коефіцієнта інжекції в камері змішування РПСА оброблення одержаних результатів виконувалася за наступними формулами.

Показники температури робочої рідини активного потоку на вході до РПСА беруться з термодатчика, що вимірює цю величину і знаходиться безпосередньо у рухомому потоці. Показники абсолютного тиску робочої рідини в горлі сопла активного потоку беруться з датчику тиску. Температура робочої рідини пасивного потоку визначається аналогічно температурі робочої рідини активного потоку на вході.

Абсолютний тиск робочої рідини активного потоку на вході до РПСА, *Па*:

$$P_{01} = P_{атм} + 9,861 \cdot 10^4 \cdot P_{ман01}, \quad (1)$$

де  $P_{атм}$  – барометричний тиск,

$P_{ман01}$  – показання манометра, розміщеного на вході до апарату,

$$P_{атм} = 133,32 \cdot B, \quad (2)$$

де  $B$  – показання датчика атмосферного тиску, *мм рт. ст.*

Абсолютний тиск робочої рідини пасивного потоку в приймальній камері, *Па*:

$$P_{02} = P_{атм} - P_{вак02}, \quad (3)$$

де  $P_{вак02}$  – показники датчика, розташованого на вході до приймальної камери РПСА, *Па*.

Масова витрата робочої рідини пасивного потоку, *кг/с*:

$$\dot{m}_{02} = \frac{\dot{V}_{02}}{\rho_{02}}, \quad (4)$$

де  $\dot{V}_{02}$  – об'ємна витрата робочої рідини пасивного потоку,

$\rho_{02}$  – густина робочої рідини пасивного потоку,

Густина робочої рідини пасивного потоку,

$$\rho_{02} = \frac{P_{02}}{R \cdot T_{02}}, \quad (5)$$

де  $R$  – газова стала речовини пасивного потоку,

$T_{02}$  – температура пасивного потоку на вході до приймальної камери.

Тиск змішаного потоку на виході з камери змішування, *Па*:

$$P_{03} = P_{атм} - P_{вак03}, \quad (6)$$

де  $P_{вак03}$  – показники датчика розміщеного у перерізі на виході з камери змішування РПСА.

Тиск суміші на вході до дифузора, *Па*



$$P_3 = P_{атм} - P_{вак3}, \quad (7)$$

де  $P_{вак3}$  – показники датчика, розміщеного у перерізі на вході до дифузора.

Тиск змішаного потоку на виході з РПСА,  $P_4$ :

$$P_4 = P_{атм} + 9,861 \cdot 10^4 \cdot P_{ман4}, \quad (8)$$

де  $P_{ман4}$  – показники датчика, розміщеного на виході з РПСА.

Ступінь підвищення тиску пасивного потоку

$$\pi_n = \frac{P_4}{P_{02}}. \quad (9)$$

Коефіцієнт інжекції

$$u = \frac{\dot{m}_{02}}{\dot{m}_a}, \quad (10)$$

де  $\dot{m}_a$  – масова витрата активного потоку.

Під час проведення експерименту нас цікавлять величини похибок вимірювання температури та тиску робочої рідини активного та пасивного потоку РПСА в характерних перерізах та об'ємної витрати робочої рідини, яка подається до приймальної камери РПСА. Величини що визначаються в роботі є результатом непрямих вимірювань, де нам необхідно знати функціональні залежності, які зв'язують з результатами прямих вимірювань з похибками їх визначень, а для виключення випадкових похибок буде виконуватись не одне, а серія вимірювань.

*Висновки.* В результаті досліджень на експериментальному стенді можна отримати результати, які дозволяють сформулювати особливості робочого процесу рідинно-парового струминного апарату з камерами змішування різної геометричної форми та уточнити математичну модель його розрахунку на основі отриманих результатів. В результаті досліджень отримано розподіл тисків пасивного і змішаного потоків по довжині камери змішування. Похибка вимірювання не перевищує 5% при довірчій ймовірності 0,95, що є допустимим для технічних експериментів. Аналогічна точність вимірювань була досягнута і в роботах попередніх дослідників.

*Список використаних джерел*

1. Tashtoush B. M., Al-Nimr M. A., Khasawneh M. A. A comprehensive review of ejector design, performance, and applications. *Appl. Energy*. 2019. Vol. 240. P. 138–172.

2. Grazzini G., Milazzo A., Mazzelli F. Ejector for Efficient Refrigeration. Cham, Switzerland, 2018. 85 p.





3. Milazzo A., Mazzelli F. Future perspectives in ejector refrigeration. *Appl. Therm. Eng.* 2017. Vol. 121. P. 344–350.
4. Rahvard A. J., Lakzian E., Foroozesh F., Khoshnevis A. An applicable surface heating in a two-phase ejector refrigeration. *European Physical Journal Plus.* 2022. Vol. 137(2). P. 202.
5. Assari M., Tabrizi R., Basirat H., Beik A. Jafar Gholi, Shamesri K. Numerical study of water-air ejector using mixture and two-phase models. *International Journal of Engi-neering.* 2022. Vol. 35(2). P. 202-212.
6. Ayman G. M., Dincer I., Experimental performance evaluation of a combined solar system to produce cooling and potable water. *Solar Energy.* 2015. Vol. 122. P. 1066-1079.
7. Chen Y., Zou H., Dong J., Xu H., Tian C., Butrymowicz D. Experimental investigation on refrigeration performance of a CO<sub>2</sub> system with intermediate cooling for automobiles. *Applied Thermal Engineering.* 2020. Vol. 174. P. 466-480.
8. Colarossi M., Trask N., Schmidt D. P., Bergander M. J. Multidimensional modeling of condensing two-phase ejector flow. *International Journal of Refrigeration.* 2012. Vol. 35(2). P. 290–299. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2011.08.013>.
9. Tashtoush B., Nayfeh Y. Energy and economic analysis of a variable-geometry ejector in solar cooling systems for residential buildings. *Journal of Energy Storage.* 2020. Vol. 27. e101061.
10. Falsafioon M., Aidoun Z., Ameer K. Numerical Investigation on the Effects of Internal Flow Structure on Ejector Performance. *J. Appl. Fluid Mech.* 2019. Vol.114. P. 201-211.
11. Jimenez-Garcia J. C., Rivera W. Parametric analysis on the experimental performance of an ammonia/water absorption cooling system built with plate heat exchangers. *Applied Thermal Engineering.* 2019. Vol. 148. P. 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.11.040>.
12. Yang, X., Long, X. & Yao X. Numerical investigation on the mixing process in a steam ejector with different nozzle structures. *Original Research Article International Journal of Thermal Sciences.* 2012. Vol. 56. P. 95-106.
13. Dong J., Hu Q., Yu M., Han Z., Cui W., Liang D., Ma H., Pan, X. Numerical investigation on the influence of mixing chamber length on steam ejector performance. *Appl. Therm. Eng.* 2020. Vol. 169. P. 325-340.
14. Sutthivirode K., Thongtip T. Performance improvement of ejector refrigerator–based water chiller working with different mixing chamber profiles. *Alex. Eng. J.* 2021. Vol. 60(4). P. 3693-3707.
15. Zhang G., Dykas S., Majkut M., Smółka K., Cai X. Experimental and numerical research on the effect of the inlet steam superheat degree on the spontaneous condensation in the IWSEP nozzle. *Int. J. Heat Mass Transf.* 2021. Vol.165. P. 1020-1034.



16. Zhang G., Zhang X., Wang D., Jin Z., Qin X. Performance evaluation and operation optimization of the steam ejector based on modified model. *Appl. Therm. Eng.* 2019. Vol. 163. P. 368-380.

17. Marchenko V., Osipov V., Prokopov M., Sharapov S. Principle of stream thermocompression: conception of energetic efficiency and prospect of realization is in small heat energetic. *MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa.* 2009. Vol. 11. P. 70–76.

18. Sharapov S., Arsenyev V., Kozin V. Experimental investigation of liquid-vapor ejector with conical mixing chamber. *Technology audit and production reserves.* 2016. № 4/1(30). P. 50–55.

19. Sharapov S., Arsenyev V., Prokopov M., Kozin V. Influence of the passive flow initial parameters on the efficiency of liquid-vapor ejectors. *Lecture Notes in Mechanical Engineering: Advances in Design, Simulation and Manufacturing. DSMIE 2018.* 2019. P. 346–355. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-93587-4\\_36](https://doi.org/10.1007/978-3-319-93587-4_36).

20. Sharapov S., Mižáková J., Husiev D., Panchenko V., Ivanov V., Pavlenko I., Židek K. Vapor Overproduction Condition Monitoring in a Liquid–Vapor Ejector. *Processes.* 2022. Vol. 10. P. 2383. <https://doi.org/10.3390/pr10112383>.

21. Danfoss. Системний менеджер, АК-SM 820A 080Z4024 URL : <https://assets.danfoss.com/documents/255933/AQ444322069089en-000101.pdf> (дата звернення 24.01.2024).

22. Danfoss. Датчик температури, МВТ 3270, 30 мм, G,1/4 084Z2443. URL: <https://assets.danfoss.com/documents/197353/AI174986427610en-000602.pdf> (дата звернення 24.01.2024).

23. Danfoss. Перетворювач сигналу тиску, АКС 33, -1.00 бар – 12.00 бар, -14.50 фунт на дюйм<sup>2</sup> 060G2105 – 174.00 фунт на дюйм<sup>2</sup>. URL:<https://assets.danfoss.com/documents/186172/AI309147088294en-000301.pdf> (дата звернення 24.01.2024).

24. Danfoss. АМЕ 435, Напруга живлення [В] АС: 24, 20.00 мм 082H016. URL <https://assets.danfoss.com/documents/241855/AQ17528647551401-010502.pdf> (дата звернення 24.01.2024).

25. Теплолічильник SHARKY 775. Паспорт. Керівництво з експлуатації. URL: [https://lichilnik.com.ua/index.php?route=product/product/download&product\\_id=590&download\\_id=19](https://lichilnik.com.ua/index.php?route=product/product/download&product_id=590&download_id=19) (дата звернення 24.01.2024).

26. Водокільцеві вакуумні насоси, моноблочні серії PVM. URL: : <https://emerem.com.ua/industrial-pumps/vacuum-pumps/vakuumnyj-nasos-monoblock/#> (дата звернення 24.01.2024).

Стаття надійшла до редакції 20.02.2024 р



S. Sharapov<sup>1</sup>, S. Yevtushenko<sup>1</sup>, S. Khovansky<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Sumy State University

## EXPERIMENTAL STAND FOR RESEARCH OF MIXING PROCESSES IN LIQUID-VAPOR JET DEVICES

### *Summary*

The article describes the prospects for experimental studies of liquid-vapor jet apparatus with mixing chambers with different geometric shapes. To formulate the research objectives, a critical analysis of modern studies of Ukrainian and foreign scientists that studies the efficiency of mixing processes in two-phase jet apparatus was carried out. As a result of the literature review, it can be concluded that the degree of completeness of the process of mixing primary and secondary flows with the achievement of the required final parameters is a rather working process. That is why the purpose of this article is to experimentally verify the reliability of the results of the theoretical study of mixing chambers of different geometric shapes of a liquid-vapor jet apparatus. For this, it is necessary to create an experimental stand for studying a liquid-vapor jet apparatus with mixing chambers of different geometric shapes, to conduct experimental studies of the features of the working process of a liquid-vapor jet apparatus with mixing chambers of different geometric shapes in order to clarify the mathematical model of its calculation, the dependence of the flow and energy indicators of a liquid-vapor jet apparatus with mixing chambers of different geometric shapes on thermodynamic and operating parameters, and to determine the effectiveness of the process. Thus, the results of numerical studies should be supplemented by additional experimental studies. The paper presents a schematic diagram and description of the experimental stand for studying liquid-vapor jet apparatus with mixing chambers of different geometric shapes. The program and methodology of experimental studies contain a range of changes in the operating and geometric parameters during experimental studies. The scheme of automation of the experimental stand and the proposed control and measuring devices at the characteristic points of the cycles are proposed. The choice of instruments and equipment has been made, which will allow conducting an experimental study and calculating the values that are the results of indirect measurements with the required accuracy.

**Keywords:** liquid-vapor jet device, mixing chamber, experimental study, secondary flow, geometric parameters, efficiency of the mixing process.



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2-5

УДК 631.363.28

О. О. Червоткіна<sup>1</sup>, асистент

ORCID: 0000-0002-6214-0566

Н. О. Фучаджи<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-3423-3510

В. О. Верхованцева<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0003-1961-2149

В. А. Самохвал<sup>1</sup>, аспірант

ORCID: 0000-0001-5539-3647

<sup>1</sup> *Таврійський державний агротехнологічний університет**імені Дмитра Моторного*

e-mail: oleksandra.chervotkina@tsatu.edu.ua, тел.: +380677413346

## ВПЛИВ РІЗНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ПРОЦЕС ГРАНУЛЮВАННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ТА ЯКІСТЬ ГРАНУЛ

*Анотація.* Гранулювання кормів, отриманих шляхом змішування попередньо подрібненої сировини, сьогодні є стандартною технологічною операцією на великих і середніх комбикормових заводах і все частіше використовується сільськогосподарськими підприємствами в дрібнотоварному виробництві [1]. Використання кормових гранул на основі рослинної сировини в останні роки стало стандартом у птахівництві та свинарстві, але не набуло значного поширення в інших галузях тваринництва. У той же час, в аквакультурі гранулювання кормів, яке набуло широкого поширення в 20 столітті, було замінено екструзією. Тим не менш, гранулювання кормів залишається важливим для годівлі всеїдних риб у прісноводній аквакультурі, особливо коропа [3].

*Ключові слова:* грануляція, гранули, комбикорм, матриця, пресс-гранулятор

*Постановка проблеми.* Метою гранулювання рослинної сировини у кормовиробництві є перетворення однорідної суміші сировини на тверді частинки (гранули) з фізичними властивостями, придатними для згодовування певному виду або статевій групі тварин [2, 4].

Гранулювання сипучих кормів зменшує втрати під час транспортування та згодовування, подовжує термін зберігання та покращує поживну цінність [4]. Наразі зростає використання біопалива, виготовленого з рослинної сировини, тобто відходів деревини (наприклад, тирси, кори) та сільськогосподарських відходів (наприклад, лушпиння соняшника, соломи) у вигляді паливних гранул (пелет) [5]. Метою гранулювання рослинної сировини у виробництві біопалива є забезпечення ефективного транспортування, зберігання та використання в якості палива [6]. Відомо, що процес гранулювання полягає в тому, що сипуча сировина продавлюється через отвори (матриці) в матриці за допомогою пресувального ролика [5].



Попередня обробка сипучої рослинної сировини за допомогою пару, додавання води або, у випадку виробництва кормів і меляси, жирів і олій або інших зв'язуючих речовин, є необхідною умовою для успішного проходження процесу [4]. Операції гранулювання здійснюються в спеціальних грануляторах, оснащених вертикальними кільцевими або горизонтальними рифленими плоскими матрицями (фільтрами) [7].

Однак, незважаючи на широке використання операцій гранулювання в технологічних процесах виробництва комбікормів та біопалива, тривають дослідження, спрямовані на встановлення закономірностей процесу отримання гранул з рослинної сировини з метою зниження енергоємності процесу та удосконалення пов'язаної з ним технології і технічних засобів для підвищення якості гранул.

*Аналіз останніх досліджень.* Проведено систематичний огляд наукових статей з питань гранулювання рослинної сировини за методикою, представленою в роботах R. J. Torraso [10] та С. Okoli [11]. Проведено огляд змісту наукових журналів, які публікують статті за даною тематикою. При відборі статей для цього огляду пріоритет надавався публікаціям з найбільшою кількістю цитувань. Також були вивчені списки літератури відібраних статей з метою пошуку додаткових релевантних наукових джерел. Окрім робіт, присвячених гранулюванню сільськогосподарської сировини при приготуванні комбікормів, до огляду також були включені роботи, присвячені виробництву паливних пелет з рослинної сировини, оскільки ці технологічні процеси є дуже схожими.

Також були включені дослідницькі матеріали, що вивчають процес гранулювання в грануляторах з вертикальною кільцевою або горизонтальною плоскою матрицею. Інші типи грануляторів не розглядалися.

Наукові роботи, опубліковані до 2007 року, були включені в огляд лише за умови відсутності нових публікацій з конкретного досліджуваного аспекту.

*Формулювання цілей статті.* Узагальнено результати досліджень впливу різних параметрів на процес гранулювання рослинної сировини та якість отриманих кормових і біопаливних гранул, проаналізовано наукові праці та визначено актуальні результати і перспективні напрями досліджень у цій галузі.

Основними параметрами, що впливають на процес гранулювання рослинної сировини та якість гранул, є склад і розмір частинок сировини та вологість [4, 9]. Температура і тиск мають значний вплив на процес гранулювання та якість гранул з рослинної сировини. Процес також залежить від типу гранулятора і технічних



характеристик робочих органів, таких як пресувальні вальці, матриці і прес-форми.

Вплив розміру частинок сировини. Розмір частинок рослинної сировини впливає на продуктивність гранулювання та якість гранул [4, 13]. Дослідження показали, що зі зменшенням розміру частинок сировини збільшуються сили тертя в каналі матриці і площа її поверхні, зростає кількість і площа контактних майданчиків між частинками, що призводить до збільшення впливу внутрішньо-частинкової міжмолекулярної адгезії, особливо ван-дер-вальсових сил. Це призводить до збільшення щільності гранул, що позитивно впливає на якість.

Зменшення розміру частинок сировини збільшує капілярну дію між твердими і рідкими компонентами, що сприяє кращому і більш рівномірному проникненню води під час попереднього зволоження сировини. Крім того, підвищене тертя, яке відчувають частинки, нагріває їх, чому також сприяє менший розмір частинок і посилення капілярної дії. Все це призводить до зниження вологості готових пелет.

Результати експериментів показують, що зменшення розміру частинок рослинного матеріалу збільшує міцність готових пелет. Наприклад, D. Bergström та ін. виявили, що гранулювання рослинного матеріалу з розміром частинок менше 1 мм вимагало менше енергії і давало гранули з вищою міцністю на стиск, ніж при використанні матеріалу з розміром частинок 1-2 мм і 2-4 мм [18].

Волога в сировині, додана в змішувач під час змішування або введена у вигляді пари під час кондиціонування, допомагає зв'язати гранули між собою під час гранулювання. Зв'язуюча здатність цієї води базується на капілярних ефектах і поверхневому натягу; J. S. Moritz та ін. вивчали вплив додавання 0,25 і 50 г/кг води в змішувач і виявили значення PDI (індекс міцності гранул) 75,6 і 79,6% відповідно; M. R. Abdollahi et al. виявили, що PDI збільшився з 56,5% до 67,2% при додаванні 24 г/кг води до корму, відрегульованого при 60°C. Таким чином, попереднє зволоження рослинного матеріалу збільшує міцність отриманих гранул. Однак, коли вода надмірно зволожена, вона діє як мастило і зменшує тертя матриці під час процесу гранулювання, що негативно впливає на довговічність і міцність гранул. Це явище було детально вивчено Р. Коловичем, який виявив, що збільшення вологості сировини протидіє позитивному впливу на міцність гранул збільшення довжини каналу матриці [14].

Загалом, пелети з недостатньою вологістю мають тенденцію до висихання та руйнування, тоді як пелети з надлишком вологи є недостатньо зміцненими. Вплив вмісту жиру. Вміст жиру в сировині впливає на процес і результат гранулювання корму. Тиск, який



чиниться на частинки рослинного матеріалу під час гранулювання, змушує жири мігрувати на поверхню частинок. Поверхневий шар жиру діє як мастило і зменшує тертя матриці, тим самим знижуючи тиск гранулювання і споживання енергії. Масла і жири зменшують контакт сировини зі стінками каналу матриці, полегшуючи проходження сировини, тим самим зменшуючи ущільнення.

Тому до складу гранульованого корму К.К. Герінга (С.К. Gehring) обов'язково повинна входити певна кількість жиру – не менше 2%. (Gehring) встановили, що введення жиру в корм у змішувачі позитивно впливає на поживну цінність гранул. Це пояснюється тим, що жировий шар, який утворюється на поверхні гранул, допомагає знизити тиск і температуру під час процесу гранулювання та сприяє збереженню теплорозчинних речовин, таких як вітаміни [11].

Таким чином, збільшення вмісту жиру в сировині має позитивний ефект зниження енергоємності процесу гранулювання та підвищення поживної цінності корму з одного боку, і негативний ефект зниження щільності та міцності гранул з іншого. Тому більшість експертів зараз вважають, що кількість жиру в кормі, що підлягає гранулюванню, повинна становити не менше 2-3% і трохи більше 8-10%.

Якщо до складу корму потрібно включити велику кількість жиру, доцільно виконувати цю операцію після гранулювання методом вакуумного розпилення.

Тиск є одним з найважливіших змінних параметрів процесу гранулювання. Цей тиск створюється опором сировини, коли вона проштовхується через канавки матриці пресувальними роликками. Тиск гранулювання (пресування) також називають протитиском. Він викликаний внутрішнім тертям між частинками сировини через напруження зсуву і зовнішнім тертям між сировиною і стінками каналу матриці. Тиск гранулювання залежить від сировини, типу гранулятора та інших параметрів процесу і може безпосередньо контролюватися. Тиск гранулювання рослинної сировини зазвичай коливається в межах 20-200 МПа, причому вищі тиски характерні для гранул з біопалива.

В. Штельте та ін. виявили, що підвищення тиску гранулювання понад 200 МПа не призводить до збільшення щільності гранул [14]. Це узгоджується з результатами більш раннього дослідження М. О. Фаборода. Він розділив процес пресування волокнистих сільськогосподарських матеріалів під тиском на дисперсну та щільну фази. Дисперсна фаза пресування відбувається під дією інерційних сил окремих частинок сировини, а щільна – під дією пружних сил, оскільки пресований матеріал поводить себе як єдине ціле. Таким чином,



гранули формуються в каналі матриці під впливом тиску гранулювання. С. Мані вивчив і описав процес формування гранул з рослинної сировини з точки зору пресування. На його думку, початкова стадія формування гранул, також відома як перегруповування частинок, відбувається при низькому тиску, де частинки сировини рухаються і перегруповуються, заповнюючи порожнечі. На другій стадії, зі збільшенням тиску, щільність гранул збільшується, в результаті чого виникає міжмолекулярна адгезія, і частинки склеюються між собою. Результати досліджень С. Мані з гранулювання рослинної сировини (подрібненої соломи і стебел) також показали, що при гранулюванні під тиском 30... 160 МПа, було показано, що щільність гранул зростає зі збільшенням тиску в діапазоні 30. Однак щільність інтенсивно зростає в діапазоні тисків 30...80 МПа, а при тисках вище 90 МПа щільність гранул зростає незначно. Тому збільшення тиску гранулювання в діапазоні 20-150 МПа сприяє збільшенню щільності гранул.

Залежно від типу сировини, процес гранулювання характеризується вищевказаними параметрами. Механічна міцність сировини відіграє важливу роль у виробництві біопаливних гранул.

Доцільно включати не лише листяні породи дерев, але й хвойні породи та сільськогосподарську сировину: дослідження N. Y. Narun та M. Afzal показали, що змішування сільськогосподарської біомаси та деревини покращує механічні та фізичні властивості паливних гранул [13]; J. Koshak та A. Koshak, детально вивчали вплив складу корму для птиці на питому енергоємність процесу гранулювання [51]. Вони виявили, що збільшення вмісту зерна в кормі на 35,16% збільшує питому енергоємність процесу на 60,13%. Збільшення на 7,2% вмісту шроту та олії в кормі призводить до зниження питомої енергоємності на 18,1%.

Вплив кожного фактора на кінцевий результат може бути різним. [22]. За даними К. Мурамацу, внесок різних факторів у вплив на PDI (показник довговічності гранул) корму наступний: термічна обробка (кондиціонування) – 44%; вологість сировини – 16%; вміст жиру – 9%; розмір частинок сировини – 1%; інші фактори – 31%. Результати моделювання вказують на те, що кондиціонування сировини є найбільш ефективним для покращення якості пелет, далі йде додавання вологи, зменшення вмісту жиру і, нарешті, зменшення розміру частинок сировини. Вплив конструкції матриці на роботу гранулятора. Головним виконавчим органом гранулятора є матриця. Її основними конструктивними параметрами є площа, товщина, яка визначає довжину каналу матриці, а також кількість і розташування матриць. Оскільки гранулювання кормів менш трудомістке, ніж біопалива, міцність матриці гранулятора для паливних гранул слід





збільшувати за рахунок зменшення її ширини  $i$ , відповідно, площі та збільшення товщини [17].

Кількість і характер розподілу пресувальних каналів (матриць) в матриці має дуже важливе значення в процесі гранулювання; на думку В. Штельте, кількість отворів повинна бути якомога більшою, не порушуючи при цьому механічну цілісність самої матриці при проектуванні [14].

Фільєри в кільцевій фільєрі розташовані рядами в напрямку по нормалі до кола. Внутрішня поверхня матриці розділена на наступні зони

– Активна – загальна площа отвору циліндричного каналу пресування.

Внутрішня поверхня матриці поділяється на наступні зони

– Перехідна – сумарна площа проекції конічного входу каналу матриці;

– Неактивна – поверхня матриці.

За даними різних авторів, площа активної зони кільцевої матриці гранулятора становить 30-60% її внутрішньої поверхні.

Згідно з результатами досліджень N.P.K. Nielsen, неактивна зона матриці також впливає на тиск гранулювання. Це пояснюється тим, що в неактивній зоні матеріал рухається по колу навколо матриці, поки не досягне перехідної зони, тоді як круговий рух матеріалу збільшує напруження, що виникають в зоні між матрицею і роликком.

Вплив швидкості обертання кільцевої матриці. Кількість матеріалу, що ущільнюється при кожному проході вальців, залежить від швидкості подачі в гранулятор і швидкості обертання кільцевої матриці.

Швидкість обертання кільцевої матриці також визначає ступінь стиснення сировини [8]; J. Nu виявив, що збільшення швидкості стиснення з 44,5 мм/хв до 75,5 мм/хв збільшує енергоспоживання при гранулюванні; K. Wu також виявив, що збільшення швидкості обертання матриці збільшує енергоспоживання, але Він дійшов висновку, що сила, яка діє між матрицею і роликком, зменшується, а крутний момент обертання кільцевої матриці також зменшується.

*Висновки.* Підвищення ефективності процесу гранулювання рослинної сировини для виробництва біопаливних гранул та гранульованих кормів знаходиться в центрі уваги інженерів та науковців. Аналіз результатів досліджень показує, що попередня термічна обробка і зволоження рослинного матеріалу, а також його склад і розмір частинок є факторами, які мають найбільший вплив на якість кормів і біопаливних гранул. На якість кормових гранул також сильно впливає вміст жиру в сировині.



Щодо значень цих параметрів, то вчені вважають, що оптимальним розміром частинок для гранулювання рослинної сировини є 1-3 мм. Рослинна сировина для біопаливних пелет потребує вологості 10-15%, тоді як для кормових пелет – 15-20%. Рослинна сировина для кормових гранул повинна оптимально містити 2-10% жиру. Контроль температури і тиску в процесі гранулювання допомагає виробляти гранули високої якості: підвищення тиску в діапазоні 20-200 МПа збільшує міцність гранул, а температура матриці близько 100°C є оптимальною для виробництва щільних, високоякісних гранул з рослинної сировини.

Результати аналізу показують, що конструктивні параметри гранулятора відіграють важливу роль в отриманні гранул високої якості при переробці рослинної сировини. Багато вчених вважають, що виконання вхідної частини матриці у вигляді конічного конуса сприяє зниженню енергоспоживання і тиску гранулювання, а збільшення відношення довжини до діаметру  $L/D$  каналу матриці експоненціально збільшує тиск гранулювання і енергоспоживання. Конструкція пресувального ролика і вплив зазору між ним і матрицею є досить важливими факторами, що визначають перебіг процесу гранулювання, але для встановлення оптимальних значень цих параметрів необхідні подальші дослідження.

Однак, незважаючи на значний обсяг знань, накопичений за останні роки, подальші дослідження взаємодії факторів, що впливають на якість гранул, отриманих з рослинної сировини, все ще необхідні. Складні взаємодії між численними фізичними процесами, що відбуваються одночасно в грануляторі, ускладнюють інтерпретацію впливу кожного параметра на процес гранулювання. Тому внесок окремих факторів у виробництво високоякісних гранул оцінюється різними авторами по-різному. Тому необхідно заповнити прогалини в наших знаннях про взаємодію між окремими параметрами гранулювання та їх вплив на результати процесу.

#### *Список використаних джерел.*

1. Blagov D. A., Gizatov A. Y., Smakuyev D. R., Kosilov V. I., Pogodaev V. A., Tamaev S. A. Overview of feed granulation technology and technical means for its implementation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 613(1). e012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/613/1/012018>.
2. Regupathi E. R., Suriya A., Geethapriya R. S. On studying different types of pelletizing system for fish feed. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 2019. Vol. 7(2). P. 187-192. URL: <https://www.fisheriesjournal.com/archives/2019/vol7issue2/PartC/7-2-4-857.pdf> (дата звернення 04.02.2023).



3. Kumaraguru Vasagam K. P., Ambasankar K., Dayal J. S. An overview of aquafeed formulation and processing. *Advances in Marine and Brackishwater Aquaculture*. New Delhi, 2015. P. 227-240. [https://doi.org/10.1007/978-81-322-2271-2\\_21](https://doi.org/10.1007/978-81-322-2271-2_21).

4. Muramatsu K., Massuquetto A., Dahlke F., Maiorka A. Factors that affect pellet quality: a review. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2015. Vol. 9(2). P. 717-722. <https://doi.org/10.17265/2161-6256/2015.09.002>.

5. Nielsen S. K., Mando M., Rosenorn A. B. Review of die design and process parameters in the biomass pelleting process. *Powder Technology*. 2020. Vol. 364. P. 971-985. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.10.051>.

6. Gageanu I., Cujbescu D., Persu C., Tudor P., Cardei P., Matache M., Vladut V., Biris S., Voicea I., Ungureanu N. Influence of input and control parameters on the process of pelleting powdered biomass. *Energies*. 2021. Vol.14(14). P. 4104. <https://doi.org/10.3390/en14144104>.

7. Бойко В. С., Самойчук К. О., Тарасенко В. Г., Верхоланцева В. О., Паляничка Н. О., Михайлов Є. В., Червоткіна О. О. *Процеси і апарати. Механічні та гідромеханічні процеси* / В. С. Бойко, К. О. самоечук, В. Г. Тарасенко [та ін.]. Київ: ПрофКнига, 2021. 468 с.

8. Indartono Y. S., Heriawan H. & Kartika I. A. Innovative and flexible single screw press for the oil extraction of Calophyllum seeds. *Research in Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 65. P. 91-97.

9. Mustruk M., Gudzenko M., Palamarchuk I., Vasylyv V., Slobodyanyuk N., Kuts A., Nychyk O., Salavor O. & Bober A. Mathematical modeling of the oil extrusion process with pre-grinding of raw materials in a twin-screw extruder. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2020. Vol. 14. P. 937–944. <https://doi.org/10.5219/1436>.

10. Кіндзера Д. П., Атаманюк В. М., Госовський Р. Р., Мотіль І. М. Дослідження процесу формування паливних брикетів із рослинної сировини та визначення їх характеристик. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип. 69. С. 138–146.

11. Червоткіна О. О., Олексієнко В. О., Фучаджи Н. О. Обґрунтування параметрів робочого органу гранулятора для отримання гранул на основі овочевої сировини. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2013. Вип. 13, т. 7. С. 57-62.

12. Єременко О. І., Василенков В. Є., Руденко Д. Т. Дослідження процесу брикетування біомаси шнековим механізмом. *Інженерія природокористування*. 2020. № 3(17). С. 15-22.



13. Harun N. Y., Afzal M. Effect on particle size on mechanical properties of pellets made from biomass. *Procedia Engineering*. 2016. Vol.148. P. 93-99. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.44>.

14. Stelte W., Holm J. K., Sanadi A. R., Barsberg S., Ahrenfeldt J., Henriksen U. B. Fuel pellets from biomass: the importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing conditions. *Fuel*. 2011. Vol. 90(11). P. 3285-3290. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.05.011>.

15. Lyu F., Thomas M., Hendriks W. H., Van der Poel A. F. B. Size reduction in feed technology and methods for determining, expressing and predicting particle size: A review. *Animal Feed Science and Technology*. 2020. Vol. 261. e114347. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114347>.

16. Червоткіна О. О., Тарасенко В. Г. Аналіз умов залучення сировини до зони стиснення та обґрунтування довжини каналу пресування. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали III Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Мелітополь, 01-26 листопада 2021 р.)*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 360-363.

17. Самойчук К. О., Самохвал В. А. Розробка міні-лінії для виготовлення паливних брикетів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2021. Вип. 21, т. 1. С. 152-159.

18. Carré P. New approach for the elucidation of the phenomena involved in the operation of vegetable oil extraction presses. *Oilseeds & Fats Crops and Lipids*. 2022. Vol. 9(6). № 6. <https://doi.org/10.1051/ocl/2021048>.

19. Дідур В., Кюрчев В., Чебанов А., Асєєв А. Підвищення ефективності технологічного процесу переробки насіння рицини на рицинову олію. *Сучасні шляхи розвитку агропромислового виробництва*. 2019. Ч. 1. С. 17-27. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5_3).

20. Alonge A. F., Jackson N. Extraction of vegetable oils from agricultural materials: A review. *Proceedings of the 12th CIGR Section VI International Symposium: International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering*. 2019. P. 1184-1206.

21. Bălțatu C., Mateescu M., Anghelache D., Tăbărașu A. The importance of moisture in extracting oils from oilseeds. A review. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara-International Journal of Engineering*. 2022. Vol. 2. P. 167-170.

22. Fakayode O. & Ajav E. Development, testing and optimization of a screw press oil expeller for moringa (*Moringa oleifera*) seeds. *Agricultural Research*. 2019. Vol. 8. P. 102–115. <https://doi.org/10.1007/s40003-018-0342-6>.



23. Gudzenko M. M., Vasylyv V. P., Mushtruk M. M., Zheplinska M. M., Palamarchuk I. P., Burova Z. A., Sarana V. V. Parameters of screw nozzles of twin-screw extruder-press on oil yield. *Animal Science and Food Technology*. 2021. Vol. 12(3). P. 5-17. <https://doi.org/10.31548/animal2021.03.001>.

*Стаття надійшла до редакції 15.03.2024 р.*

**O. O. Chervotkina<sup>1</sup>, N. A. Fuchadgu<sup>1</sup>, V. A. Verkholtantseva<sup>1</sup>, V. A. Samokhval<sup>1</sup>**  
**<sup>1</sup>Dmytro Motorny Tavria state agrotechnological university**

### **INFLUENCE OF VARIOUS PARAMETERS ON THE VEGETABLE RAW MATERIAL PELLETING PROCESS AND PELLETS QUALITY**

#### *Summary*

Determining the regularities of the process of pelleting vegetable raw materials is relevant for the improvement of technologies and technical equipment in order to reduce energy intensity and improve the quality of pellets. The generalization of the results of the research aimed at studying the influence of various parameters on the process of pelleting vegetable raw materials and the quality of feed and biofuel pellets is the purpose of the research.

A selection and systematic review of the scientific literature on the subject of the study for the period of 2007-2022 has been carried out. The analysis has proved that heat pre-treatment and moistening of vegetable raw materials, as well as their composition and particle size are the factors that have the greatest impact on the quality of feed and biofuel pellets. Increasing the pressure in the range of 20...200 MPa results in increasing the pellets durability. A die temperature of around 100°C is optimum for obtaining dense pellets of high quality from vegetable raw materials. The design parameters of the pelletizer play an important role in obtaining high-quality pellets when processing vegetable raw materials. The design of the inlet in the form of a tapering cone helps to reduce energy consumption and pelleting pressure.

An increase in the ratio of the die channel length to its diameter exponentially increases the pelleting pressure and its energy intensity. The interplay between the physical processes occurring in the pelletizer makes it difficult to interpret the impact of each parameter on the pelleting process, so different authors have different assessments of the contribution of individual factors in producing high-quality pellets. Therefore, the interaction between the individual pelleting parameters and their influence on the results of the process should be examined more precisely.

**Keywords:** granulation, pellets, compound feed, matrix, press-granulator



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2-6

УДК 621.225.001.4:532.525

В. М. Бага<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0003-0258-695X

<sup>1</sup> Сумський Державний Університет

e-mail: v.baga@kttf.sumdu.edu.ua, тел.: +380667440608

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОТОЧНИХ ЧАСТИН СОПЛОВИХ ПРИСТРОЇВ ПНЕВМАТИЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ПОГЛИБЛЕНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ

*Анотація.* Процес дроселювання газу використовується в багатьох технічних пристроях, зокрема в ущільнювальній техніці, пневмообразивних установках, вимірвальних приладах, в сепараційних пристроях і т.д. Дроселем може вважатися будь який пристрій, який створює суттєву перешкоду течії робочого потоку, такий як звужений отвір, сопло, пориста перегородка, діафрагма, клапан, вентиль тощо. Пропускаючи робочий потік через дросель, можемо досягти необхідної зміни його газодинамічних параметрів. Ефект дроселювання робочого потоку використовується в лабіринтних та інших безконтактних ущільненнях. Одним з основних показників ефективності ущільнювальної техніки є коефіцієнт витрати щілини. Течія через лабіринтне ущільнення побудована по аналогії через ряд послідовно встановлених соплових пристроїв, які створюють ряд перешкод. Оцінювати ефективність роботи сопла можна також за коефіцієнтом його витрати. На значення коефіцієнта витрати будь якого пристрою впливають особливості робочого процесу, отже впливаючи потрібним чином на геометрію проточної частини можливе підвищення ефективності ущільнень та сопел в широкому діапазоні режимних параметрів. Вдосконалити ущільнення означає зменшити його пропускну здатність, а вдосконалити сопло пневмообразивної установки – отримати максимально можливе значення витрати робочого середовища та його швидкості на виході. На основі виконаних досліджень робочого процесу встановлено вплив геометричних та режимних параметрів на характеристики соплових пристроїв, що працюють на стисненому повітрі, та на повітряно-образивній суміші, що дало можливість підвищити ефективність соплових пристроїв.

*Ключові слова:* зазор, лабіринтне ущільнення, робоче сопло, пневмообразивна установка, робочий процес, проточна частина, коефіцієнт витрати

*Постановка проблеми.* Як міжступеневі ущільнення проточної частини турбомашин застосовують лабіринтні. Ці ущільнення не мають альтернативи за простотою, дешевизною і надійністю. Лабіринтні ущільнення працюють з постійною витратою. Особливо великих величин вона досягає у ступенях із малими поперечними перерізами проточних каналів. Робочий процес лабіринтних



ущільнень побудований на аналогії витікання через ряд послідовно встановлених сопел з гострими кромками.

Незважаючи на простоту конструкції лабіринтних ущільнень, робочий процес у них усе ще недостатньо вивчений. Достовірно не відомий вплив форми кільцевого зазору, ексцентриситету, обертання вала, масштабного фактора на величину протікання через ущільнення.

Варто зауважити, що сопла, які входять у склад ущільнень необхідно проектувати з мінімально можливими прохідними перетинами та з гострими кромками для забезпечення максимального збурення потоку та вихороутвореннями між соплами. Що стосується сопел, які використовуються в якості абразивооструминних, їх навпаки, треба проектувати так, щоб не створювати перешкод робочому потоку. Значення максимального прохідного діаметру сопла обмежується витратою стисненого повітря. Необхідні нові підходи щодо підвищення ефективності роботи сопел абразивооструменевих машин, які полягають в удосконаленні їх конструкції та подальшої розробки нової, відносно недорогій, проте ефективній технології їх виготовлення та експлуатації.

Таким чином, все ще існує резерв по підвищенню ефективності соплових апаратів за рахунок впливу на їх геометрію проточної частини.

*Аналіз останніх досліджень.* Під час проектування нових компресорів точність розрахунку величини протікання через ущільнення неприпустимо мала й іноді перевищує 30 %. Експериментальні коефіцієнти отримано на ідеалізованих фізичних моделях, як правило, плоских, без урахування обертання вала, ексцентриситету, впливу властивостей газів. Традиційно використовується модель ущільнення складається з низки послідовно встановлених сопел із гострими кромками, що є аналогом далеким від реального ущільнення: замість кільцевої щілини вводиться отвір такого самого перерізу; гострі кромки мають місце тільки на одній поверхні щілини (гребені), а інша поверхня утворена гладким валом. Суттєво різні й умови роботи: витікання з сопла передбачає необмежений простір на виході, а в ущільненні після кожної щілини виконується обмежена камера, в якій гасіння кінетичної енергії відбувається не повністю. Відомі дослідні дані отримано у спрощених моделях, які не описують у повному обсязі досліджувані фізичні процеси.

Під час розрахунків лабіринтного ущільнення припускається рівномірний розподіл перепаду тиску між камерами, густина газу вважається усередненою, вплив зміни стисливості, обертання, ексцентричності зазору не враховується.

Основним показником ефективності робочого сопла ежекторно-очисної установки є значення швидкості абразиво-повітряної суміші



на виході з сопла. Ця швидкість залежить від геометричних та режимних параметрів самого сопла. Геометрія сопла безпосередньо впливає на розподіл швидкості, тиску, температури та щільності робочого потоку. Внутрішні втрати сопла пов'язані з підвищеним тертям об його стінки завдяки абразивним частинкам. Таким чином підвищити ефективність сопла можна за рахунок використання оптимальної геометрії його проточної частини та зменшенням внутрішнього тертя. Для досягнення максимального ефекту треба застосувати обидва шляхи одночасно. У порівнянні зі звичайним ежектором при однакових умовах праці коефіцієнт захоплення збільшується на 8,1–19,2% [1]. Покращення продуктивності завдяки оптимальному профілю потоку є значним [2, 3].

В роботі [4, 5] використовують коефіцієнт захоплення (ER) як параметр для опису продуктивності парового ежектора і розраховується як маса захопленої пари робочого потоку, поділена на масову витрату рушійного потоку.

$$ER = \text{massflowrateofsecondaryfluid} / \text{massflowrateofprimaryfluid}$$
Чотири вкладки виражають геометрію конструкції ежектора, співвідношення площі ( $\sigma_p$ ), сопла діаметр горловини (Ntd), вихідний діаметр дифузора (Dod,) і робочий. На основі вказаних параметрів можлива оптимізація ежектора. В роботі [6] виконана перевірка CFD моделювання моделі при двох фазах в межах допустимого діапазону розбіжностей. Отримали до 30 відсотків позитивного ефекту за рахунок оптимізації геометричних параметрів сопла. Що підтверджує суттєву значимість впливу геометрії сопла на його витратні характеристики. В роботі [7] досліджувалася ерозія сопла в свердловині. Це явище подібне зносу абразивоструменевого сопла в процесі його роботи. Встановлено що розмір частинок і масова швидкість потоку є основними факторами, що впливають на ефект ерозії сопла, також положення установки насадки впливає на ефективність ерозії сопла. Варто ввідмітити, що нами був експериментально виявлений ефект залежності зносу абразивного сопла ежекторно-очисної установки від кута обробки матеріалу.

В роботі [8, 9] досліджувався процес мікроабразивного очищення. Встановлено що такі змінні, як тип частинок, діаметр сопла, тиск, відстань і час обробки впливають на шорсткість поверхні.

В роботі [10] Було виявлено, що наявність піщинок в соплі сприяє розвитку кавітаційного потоку, а діапазон сприяння концентрації стає меншим із збільшенням середнього діаметра.

У струминній холодильній системі проведено чисельне моделювання внутрішньої структури потоку пароежектора [11]. Виявлено, що діаметр горловини сопла є ключовим параметром, що впливає на продуктивність ежектора та структуру ударної хвилі й





внутрішнього потоку. В роботі [12] наведено результати досліджень геометричних характеристик багатоступневих пароструминних ежекторів.

Запропоновано умовний геометричний параметр, що дозволяє визначити положення «ефективної секції», розраховується за формулою:

$$\mu = F_{\text{eff}} / F_{\text{cyl}},$$

де  $F_{\text{eff}}$  – площа «ефективного перетину»;  $F_{\text{cyl}}$  – площа поперечного перерізу циліндричної частини в камері змішування.

В роботах [13-18] працювали над створенням та випробуванням робочого сопла ежекторно-очисної установки з пористим насадком, що дало змогу суттєво підвищити ефективність обробки матеріалу.

З вищенаведеного видно що ефективність сопла залежить від його геометричної форми а зносостійкість від матеріалу.

Залишився резерв по підвищенню ефективності робочих сопел абразивоструменевих установок за рахунок впливу на їх геометричні параметри та режими експлуатації [18-25].

При розрахунках донині використовують грубонаближені розрахунки протікання за формулою А. Стодоли [26], з експериментальними коефіцієнтами, отриманими для різних конструктивних виконань ущільнень.

Для досягнення поставленої мети необхідно провести серію чисельних та експериментальних досліджень режимних та геометричних параметрів робочого сопла. Виконати аналіз отриманих результатів.

*Формулювання мети статті (постановка завдання).* Метою цієї роботи є уточнення даних про робочий процес в соплових апаратах з використанням сучасних методів розрахункової гідродинаміки (CFD), що дадуть змогу підвищити ефективність соплових апаратів.

#### *Методи дослідження*

Як вихідне досліджуване ущільнення прийнято лабіринтне ущільнення типове для відцентрових компресорів з натурними розмірами та керамічне сопло пневмоабразивної установки з внутрішнім діаметром  $d=6,8$  мм та довжиною  $l=22$  мм.

Під час дослідження тиск на виході приймали рівним атмосферному, робоче середовище - повітря.

Ущільнення досліджувалося на експериментальному стенді, що забезпечує такі умови його роботи:

- частота обертання від 0 до 7000 об/хв;
- ущільнюваний перепад тиску від 1,05 до 1,25;
- діаметри вала 80, 240 мм;
- радіальні зазори 0,225, 0,37 мм;

– ексцентриситет від 0 до 1.

*Основна частина.* Поперечний розріз експериментальної установки представлений на рисунку 1.

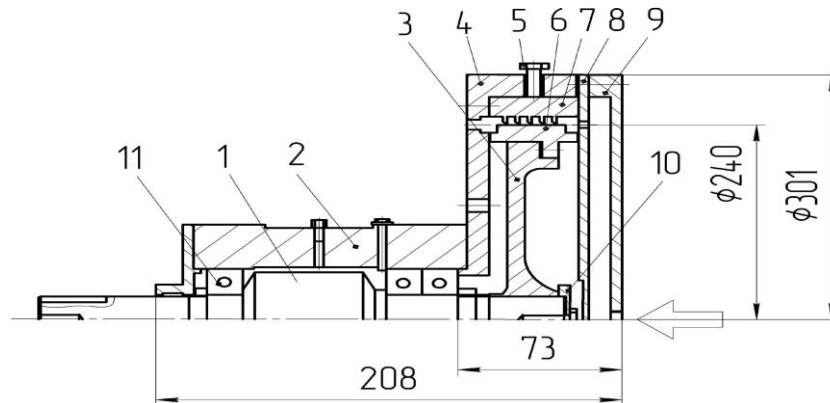


Рис. 1. Поперечний розріз експериментальної головки стенда  
1 – вал, 2 – блок підшипників, 3 – диск, 4 – корпус, 5 – регулювальний болт, 6 – роторна частина ущільнення, 7 – статорна частина ущільнення, 8 – передній фланець, 9 – задній фланець, 10 – фіксувальна шайба, 11 – підшипник.

Стенд складається зі встановлених на рамі вузла ступеневого регульованого приводу і випробувальної головки, щита водяних манометрів, компресора з ресивером, повітряного фільтра і запірно-регульовальної арматури. Загальний вигляд випробувального стенда представлений на (рис. 2).



Рис. 2. Загальний вигляд експериментального стенда



На стенді виконувалося визначення дійсного значення величини протікання через ущільнення шляхом вимірювання лічильниками типу РГ. Температуру вимірювали ртутним термометром, тиск у випробувальній голівці – водяними манометрами, барометричний тиск – барометром-анероїдом. Похибки вимірювань наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

## Похибки вимірювань

Параметр	Одиниці виміру	Номинальна величина	Похибки	
			Абсолютна	Відносна, %
Прямі виміри				
B	мм.рт.ст.	750	$\pm 0,5$	0,001
h	мм.вод.ст.	550-2000	$\pm 3$	0,0018-0,0005
$Q_{РГ=40}$	м <sup>3</sup> /ГОД	(0,2-1,2)40	-	1,5-2,5
$Q_{РГ=250}$	м <sup>3</sup> /ГОД	(0,1-0,2)250	-	2
$\tau$	с	60	$\pm 0,2$	0,0033
Непрямі виміри				
P	Па	103000-122000	$\pm 72,5$	0,04
$\rho$	кг/м <sup>3</sup>	1,27-1,5	$\pm 0,048$	3,5
$V_y$	м <sup>3</sup> /хв	0,46-1,5	$\pm 0,011-0,033$	2,36-2,2
$m_{y(РГ=40)}$	кг/с	0,009-0,019	$\pm 0,00022$	1,8
$m_{y(РГ=250)}$	кг/с	0,019-0,032	$\pm 0,0021$	4,7

Оскільки стенд не дає змоги отримати візуалізації течії в проточній частині ущільнення, використано переваги візуалізацій течії чисельного моделювання. Задачу розв'язували в осесиметричній постановці, модель течії – повністю стислива рідина, модель турбулентності k -  $\epsilon$ .

Обрано розрахункову сітку з урахуванням малої величини зазору таким чином, щоб у зазорі  $s = 0,225$  мм містилося близько 10 розрахункових осередків квадратної форми. Кількість розрахункових комірок  $N = 150000$  для сектора  $\gamma = 3^0$ . За менших значень розрахункових осередків отримуємо значення величини протікання, що не відповідає дійсності (рис. 3).

Розбіжності експериментальних і розрахункових значень величини протікання через ущільнення не перевищують 5% (рис. 4). Застосування моделі отвору з гострою кромкою потребує більш ретельного вивчення. Для підтвердження цієї гіпотези досліджено низку логічно послідовних моделей: отвір із гострою кромкою, плоска щілина, кільцева щілина з необмеженим і обмеженим виходом струменя, одиничний гребінь (з і без обертання), два гребені. У всіх

випадках спостерігаються суттєві відмінності у візуалізаціях витікання від моделі отвору з гострою кромкою (рис. 5). Формулу Стодола слід вважати штучною конструкцією, а не аналогією, а одержувані з використанням цієї формули коефіцієнти витрати є умовними і потребують уточнення.

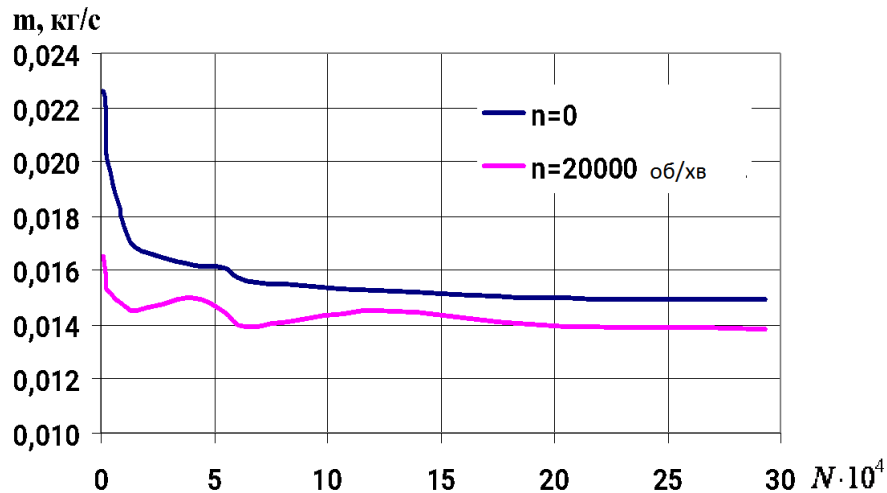


Рис. 3. Вплив кількості розрахункових осередків на величину протікання через ущільнення

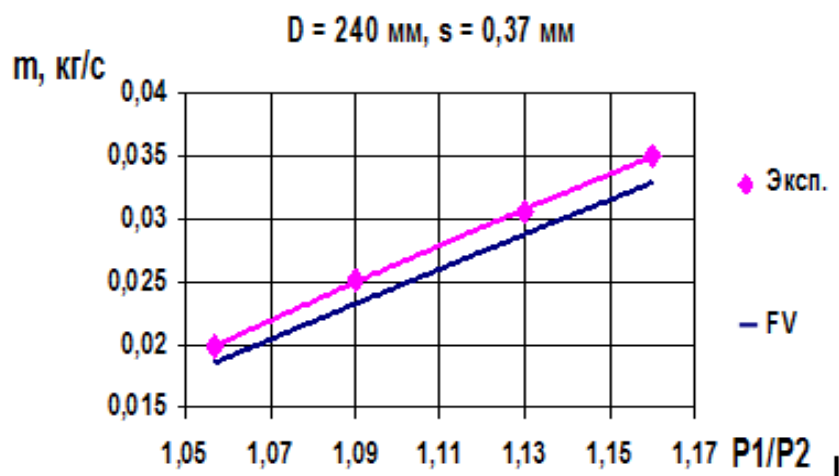


Рис. 4. Порівняння розрахункових та експериментальних значень величини масової витрати  $m$

Як ілюстрацію наведено деякі результати експериментального дослідження. (табл. 2) Досліди вимірювання розподілу тиску по довжині ущільнення за різних перепадів ущільнюваного тиску показали, що зі збільшенням частоти обертання спостерігається тенденція до зниження коефіцієнтів і  $m$ , що не враховується в наявних розрахункових методиках.

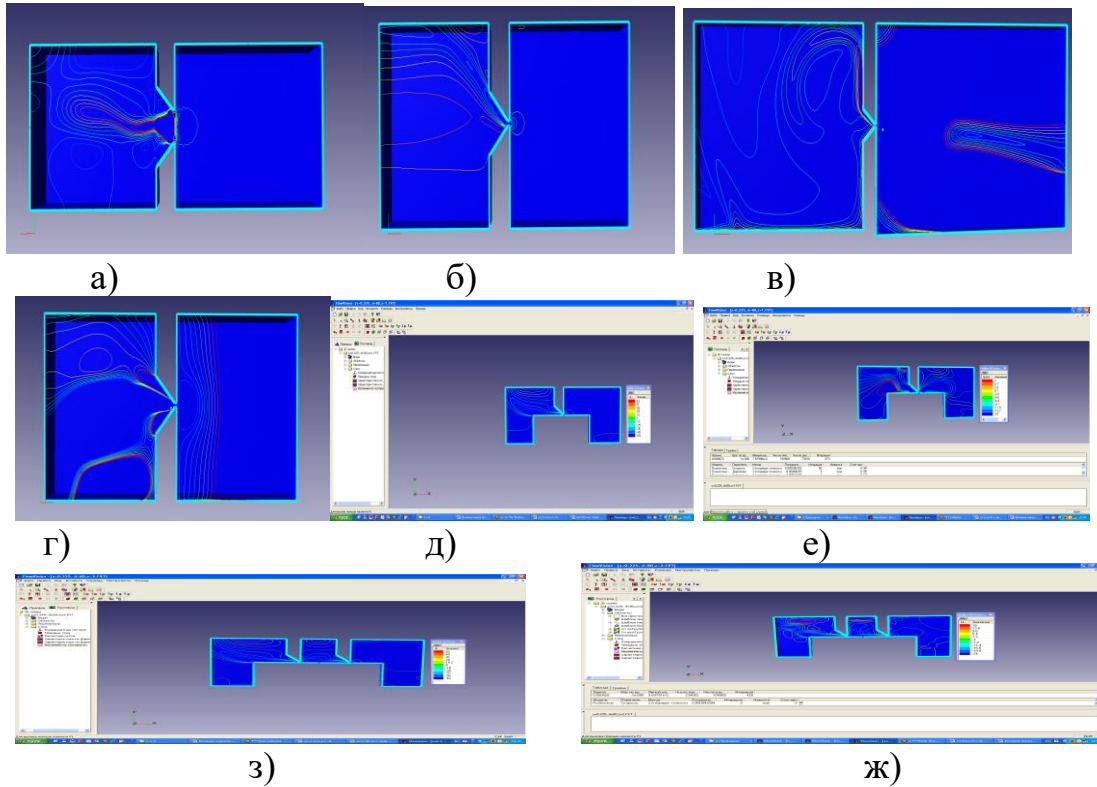


Рис. 5. Ізолінії різних моделей ущільнень ( $p_1 / p_2 = 1,21$ ): а) отвір з гострою кромкою ( $D = 2$  мм); б) плоска щілина ( $l = 1,6$  мм); в) кільцева щілина з необмеженим виходом; г) кільцева щілина з обмеженим виходом; д) щілину утворено одиничним гребенем і гладким валом ( $n = 0$ ); е) щілину утворено одиничним гребенем і гладким валом ( $n = 15000$  об/хв); ж) два гребені з гладким валом ( $n = 0$ ); з) два гребені з гладким валом ( $n = 15000$  об/хв)

Таблиця 2

Умовні коефіцієнти витрати  $m$  досліджуваного ущільнення ( $D = 240$  мм,  $z = 5$ ,  $s = 0,225$  мм)

№ досл.	$p_1/p_2$	n, об/хв	s = 0,225 мм		s = 0,37 мм	
			$\bar{\mu}$	$\bar{\sigma}$	$\bar{\mu}$	$\bar{\sigma}$
1	1,06	0	1,093	1,11	1,418	1,311
2		2910	1,087	1,09	1,369	1,271
3		4336	1,032	1,03	1,346	1,225
4		6693	0,924	0,92	1,277	1,053
5	1,12	0	1,083	1,05	1,449	1,338
6		2910	1,150	1,11	1,454	1,332
7		4336	1,133	1,103	1,398	1,264
8		6693	1,060	1,07	1,304	1,177
9	1,21	0	1,378	1,135	—	—
10		2910	1,197	1,1	—	—
11		4336	1,0895	1,06	—	—
12		6693	0,953	0,92	—	—



При порівнянні середньоарифметичного коефіцієнта витрати ущільнення  $\bar{\mu}$  з його інтегральним значенням  $\int$  виявилось, що мають місце розбіжності, які збільшуються зі збільшенням частоти  $n$ , і величини радіального зазору  $s$ . Розбіжність становить у деяких випадках понад 10%. Дані розбіжності говорять про наявність впливу додаткових факторів, які досі не враховуються. Зауважимо, що за звичайною розрахунковою методикою для всіх випробуваних варіантів слід набувати постійного значення  $\int$ , тоді як результати дослідів свідчать про його зміну в межах від 0,92 до 1,21 для  $s = 0,225$  мм і від 1,05 до 1,39 для  $s = 0,37$  мм, що еквівалентно різниці у величині протікання близько 24%.

Локальні коефіцієнти витрати  $\int_i$  (обчислені для кожного гребеня) по довжині ущільнення розподіляються вкрай нерівномірно рис. 6.

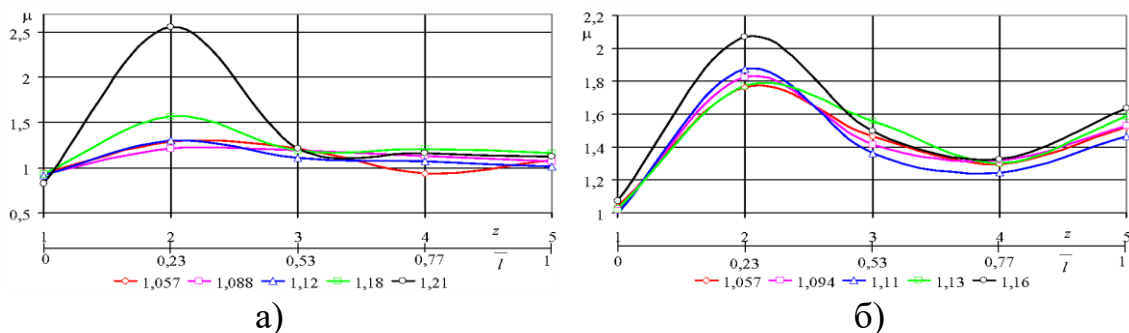


Рис. 6. Розподіл коефіцієнтів витрати  $\int_i$  за довжиною ущільнення при  $n = 0$  ( $D = 240$  мм,  $z = 5$ ): а –  $s = 0,225$  мм; б –  $s = 0,37$  мм

Спостерігається різке збільшення коефіцієнта щілини під другим гребенем, особливо стійке при великому зазорі. Для щілин під рештою гребенів коефіцієнти  $\int_i$  зберігають приблизно однакові значення.

Привертає увагу ефект впливу частоти обертання валу на характеристики ущільнення. На рис. 7 наведено експериментальні залежності впливу частоти обертання валу на величину коефіцієнтів витрати під кожним гребенем базового ущільнення.

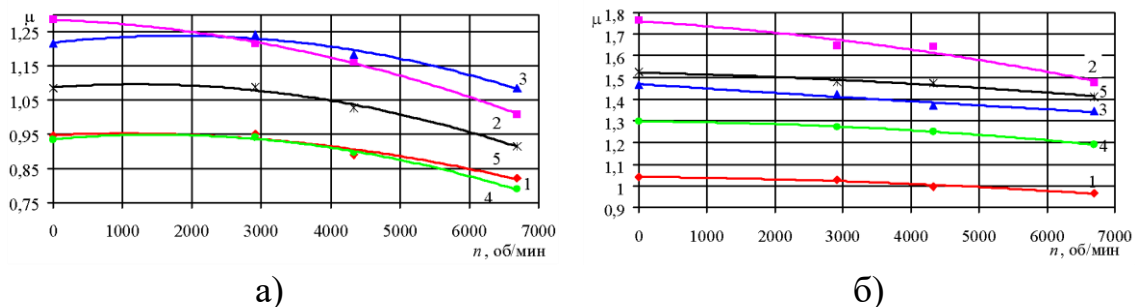


Рис. 7. Вплив обертання валу на локальні коефіцієнти витрати ущільнення  $\int_i$  ( $D = 240$  мм,  $z = 5$ ,  $p_1/p_2 = 1,06$ ): а –  $s = 0,225$  мм; б –  $s = 0,37$  мм. Цифрами вказані номери гребенів ущільнення

Ці результати підтверджують наявність та характер впливу частоти обертання на величину коефіцієнта  $\beta$ , отримані раніше для інтегрального значення  $\beta$ . Вплив обертання валу в досліджених межах оцінюється величиною порядку (10–20) % зменшення протікання.

З метою детальнішого дослідження нерівномірної зміни коефіцієнтів  $\beta_i$  було проведено дослідження ущільнень з різною кількістю гребенів  $z$  для  $D = 80$  мм,  $t = 4$  мм,  $h = 5$  мм. Відповідно до припущень падіння тиску за довжиною ущільнення маєтись на увазі ступінчастим і рівномірним. Для перевірки цього положення було проведено розрахункове дослідження ущільнення із  $z = 15$  гребенями, деякі результати якого показано на рис. 8. Слід зазначити, що падіння тиску вкрай нерівномірне за довжиною ущільнення. Відзначається суттєвий перерозподіл перепадів між гребенями при обертанні валу.

Графіки рис. 8 в цілому підтверджують дані таблиць 1 і 2: зменшення  $\otimes r_i$  на гребені відповідає збільшенню коефіцієнта  $\beta_i$  на цьому гребені і навпаки. Для порівняння на рис. 8 б наведено експериментально отриманий розподіл тиску в ущільненні з  $z = 5$  і  $D = 240$  мм, з якого випливають аналогічні висновки.

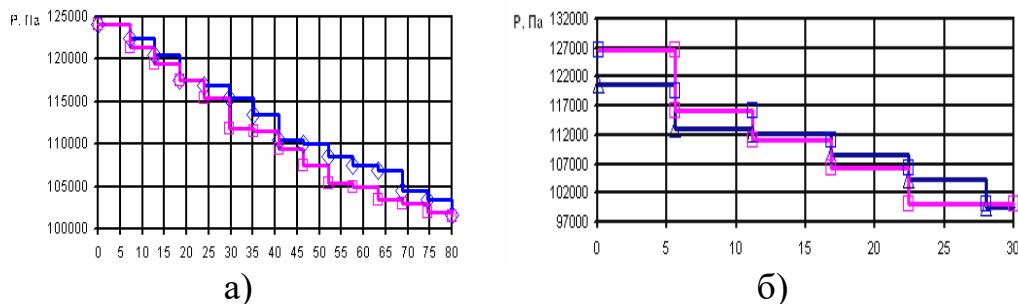


Рис. 8. Розподіл тиску вздовж ущільнення 1, мм: а – розрахунок ( $D = 80$  мм,  $s = 0,225$  мм,  $z = 15$ ,  $p_1/p_2 = 1,25$ ); б – експеримент ( $D = 240$  мм,  $s = 0,225$  мм,  $z = 5$ ,  $p_1 / p_2 = 1,21$ ) синім – без обертів, червоним -7000 об/хв

Уявлення про рівномірний розподіл перепадів тиску між гребенями не підтверджується і дослідями, і розрахунками (рис. 8).

В ущільненні з 5-ма гребенями мають місце характерні зони інтенсивних тороїдальних вихорів чергуються із зонами спокійного руху рис. 9.

Хвилеподібна зміна коефіцієнта  $\beta_i$  за довжиною ущільнення відбувається через сплески локальних значень  $\beta_i$  через кожні 2 – 3 гребені. При цьому збільшення  $\beta_i$  відбувається до 2,5 разів, а абсолютні значення перевищують 1, що фізично важко зрозуміло. Таким чином, з цього випливає висновок про нерівномірний розподіл навантаження по гребнях лабіринтного ущільнення. На рис. 10

виразно видно наявність чотирьох стрибків значень коефіцієнта  $\zeta_i$ , причому положення піків зсувається до виходу при обертанні валу. Це викликано нерівномірним вихроутворенням за довжиною ущільнення (рис. 11).

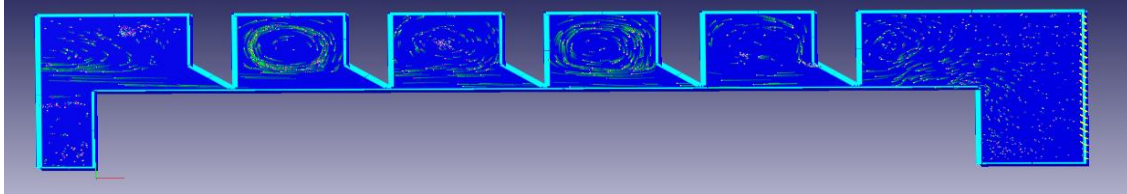


Рис. 9. Траєкторії руху частинок у ущільненні ( $D = 240$  мм,  $s = 0,225$  мм,  $n = 7000$  об/хв)

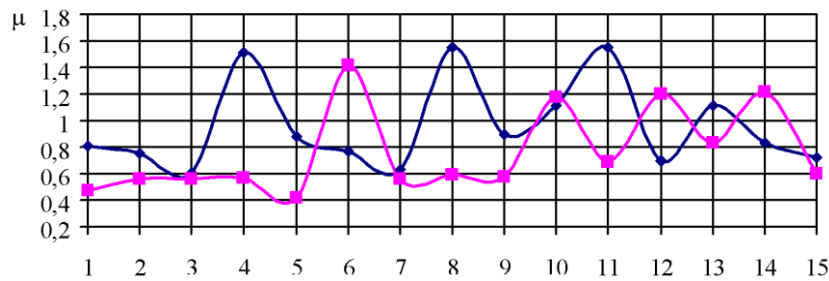


Рис. 10. Зміна умовного коефіцієнта витрати  $\zeta_i$  за довжиною ущільнення ( $D = 80$  мм,  $s = 0,225$  мм,  $z = 15$ ,  $p_1/p_2 = 1,25$ ) синім – без обертів, червоним -15000 об/хв

Розбіжності між отриманими значеннями коефіцієнтів  $\zeta_i$   $\bar{\mu}$ , що збільшуються із зростанням числа  $z$ . Зазначимо, що інтегральні та середньоарифметичні значення умовного коефіцієнта витрати менше одиниці, незважаючи на наявність пікових значень, що значно перевищують одиницю.

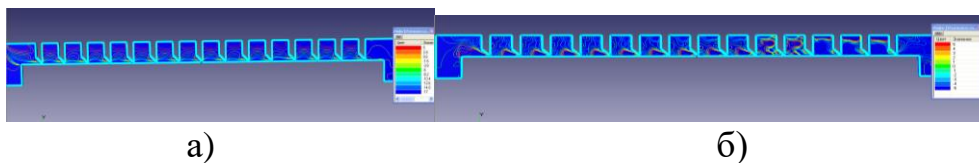


Рис. 11. Ізолінії швидкості потоку в ущільненні  $z = 15$ :  
а –  $n = 0$ ; б –  $n = 15000$  об/хв

Таблиця 3

Порівняння коефіцієнтів  $\zeta_i$   $\bar{\mu}$  ( $n = 0$  об/хв)

$z$	1	2	4	5	7	9	11	15
$\bar{\mu}$	0,76	0,755	1,031	0,878	0,928	0,917	0,942	0,961
$\zeta_i$	0,78	0,866	0,908	0,886	0,865	0,833	0,842	0,841



У ущільненні з 15 гребенями рис. 9, 10 при нерухомому валі структура потоку у всіх камерах ідентична, а при обертанні валу, спостерігаються флуктуації – одночасне існування зон без вихрової течії (перші три камери), перехідної (наступні дві камери) і зон стабільної вихрової структури (інші камери). Піки коефіцієнтів  $\zeta$  відповідають тим гребеням, перед якими відбувається перебудова потоку.

Зі зміною діаметра валу та за наявності обертання структури вихрових зон у камерах видозмінюються. Це говорить про вплив масштабного фактора та обертання валу на характеристики лабіринтного ущільнення.

З вищевикладеного видно, що в міру течії газу через ущільнення, необхідно збільшувати геометричні об'єми камер з-за розширення газу, що по видимому повинно сприяти більш повному гасінню швидкості струменя з під гребеня. Запропоновано конструкцію лабіринтного ущільнення зі змінним кроком (рис. 12).

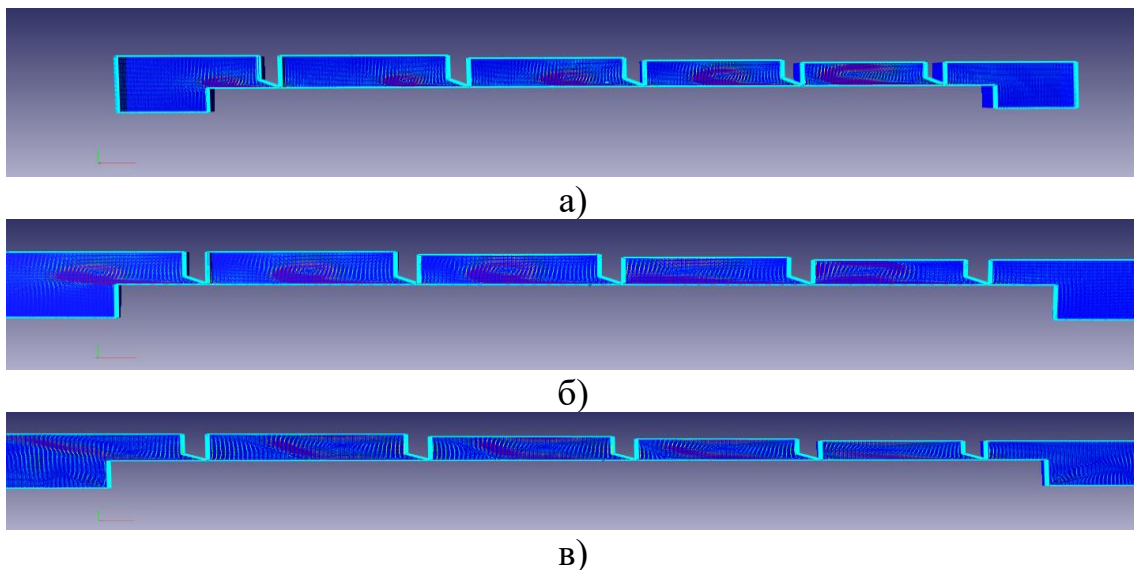


Рис. 12. Вектора швидкості: а)  $D = 240$  мм,  $n = 0$  об/хв,  $p_1 / p_2 = 1,06$ ;  
б)  $D = 80$  мм,  $n = 0$  об/хв  $p_1 / p_2 = 1,06$ ; в)  $D = 80$  мм,  $n = 6700$  об/хв  
 $p_1 / p_2 = 1,21$

Для  $D = 240$  мм коефіцієнт витрати  $\mu$  ущільнення зі змінним кроком нижчий порівняно з вихідним майже на 30 %, а для  $D = 80$  мм на 35 %.

З урахуванням особливостей течії повітряно-абразивної суміші в соплах різних геометричних форм була проведена серія додаткових чисельних досліджень циліндричного сопла з метою визначення більш раціональної конструкції сопла (таблиця 4).



Таблиця 4

Геометричні та режимні параметри роботи досліджуваних  
циліндричних сопел

№	r, м	d, мм	l, мм	мд	мт	с вх, м/с	с вих, м/с	μ
1	0,0035	7	44	0,02400	0,023111	288	453	1,038468
2	0,0070	14	44	0,10000	0,092444	270	481	1,081738
<b>3</b>	<b>0,0035</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>0,04400</b>	<b>0,023111</b>	<b>523</b>	<b>794</b>	<b>1,903858</b>
4	0,0030	6	22	0,01900	0,016979	262	470	1,118997
5	0,0025	5	22	0,01250	0,011791	279	463	1,060103
6	0,0020	4	22	0,00800	0,007546	273	457	1,060103
7	0,0010	2	22	0,00185	0,001887	244	466	0,980595
<b>8</b>	<b>0,0035</b>	<b>7</b>	<b>44</b>	<b>0,05250</b>	<b>0,023111</b>	<b>637</b>	<b>813</b>	<b>2,271741</b>

З таблиці 4 видно тенденцію до збільшення значення коефіцієнта витрати сопла зі збільшенням його внутрішнього діаметру. Середнє значення коефіцієнта  $\mu$  знаходиться біля 1. Вар. 8 має перфоровану вставку та є найкращим, оскільки має найбільше значення швидкості на виході та коефіцієнта витрати.

*Висновки.* За результатами чисельних та експериментальних досліджень різних конструктивних виконань лабіринтних ущільнень отримано нові дані:

1. Обертання валу призводить до зниження протікання через лабіринтне ущільнення тим більше, чим більше частота обертання (до 20%).

2. Структура течії в лабіринтних ущільненнях різних типів не однорідна, залежить від схеми та геометричних розмірів.

3. Збільшення протягом перебігу об'ємів камер дозволяє зменшити протікання до 30%.

4. Встановлена тенденція до непропорційного збільшення значення коефіцієнта витрати повітряно-абразивної суміші сопла та його витратної швидкості зі збільшенням його внутрішнього діаметру при сталих значеннях вхідних та вихідних параметрів  $p_1$ ,  $p_2$ .

5. Встановлено, що при збільшенні прохідного перетину сопла в два рази, величина витрати через нього збільшується в 4.5 рази.

6. Встановлено, що зменшення довжини сопла (до 4 мм) призвело до підвищення швидкості більше ніж вдвічі, що в свою чергу збільшило значення масової витрати суміші та коефіцієнта витрати сопла. Це створило умови до підвищення ефективності роботи ежекторно-очисної установки, а саме час обробки квадратного метра металу зменшився в 4,5 рази і складає 2 хвилини.

7. Застосування проникної вставки призводить до підвищення ефективності сопла більш ніж в два рази.

*Список використаних джерел*

1. Fesenko A., Basova Y., Ivanov V., Ivanova M., Yevsiukova F., Gasanov M. Increasing of equipment efficiency by intensification of technological processes. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering* 2019. Vol. 63(1). P. 67–73. <https://doi.org/10.3311/PPme.13198>.
2. Arana-Landín G., Uriarte-Gallastegi N., Landeta-Manzano B., Laskurain-Iturbe I. The contribution of lean Management—Industry 4.0 technologies to improving energy efficiency. *Energies*. 2023. Vol. 16(5). P. 2124. <https://doi.org/10.3390/en16052124>.
3. Kotliar A., Basova Y., Ivanov V., Murzabulatova O., Vasylytsova S., Litvynenko M., Zinchenko O. Ensuring the economic efficiency of enterprises by multi-criteria selection of the optimal manufacturing process. *Management and Production Engineering Review*. 2020. Vol. 11(1). P. 52–61. <https://doi.org/10.24425/mper.2020.132943>.
4. Rudawska A., Danczak I., Müller M., Valasek P. The effect of sandblasting on surface properties for adhesion. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 2016. Vol. 70. P. 176–190. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2016.06.010>.
5. Peñuela-Cruz C. E., Márquez-Herrera A., Aguilera-Gómez E., Saldaña-Robles A., Mis-Fernández R., Peña J. L., Caballero-Briones F., Loeza-Poot M., Hernández-Rodríguez E. The effects of sandblasting on the surface properties of magnesium sheets: a statistical study. *Journal of Materials Research and Technology*. 2023. Vol. 23. P. 1321–1331. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.01.117>.
6. Pruszczyńska E., Pietnicki K., Klimek L. Effect of the abrasive blasting treatment on the quality of the pressed ceramics joint for a metal foundation. *Archives of Materials Science and Engineering*. 2016. Vol. 78(1). P. 17–22. <https://doi.org/10.5604/18972764.1226310>.
7. Ahmed F., Chen W. Investigation of steam ejector parameters under three optimization algorithm using ANN. *Applied Thermal Engineering*. 2023. Vol. 225. e120205. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120205>.
8. Van den Berghe J., Dias B. R. B., Bartosiewicz Y., Mendez M. A. A 1D model for the unsteady gas dynamics of ejectors. *Energy*. 2023. Vol. P. 267. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.126551>.
9. Yan J., Li Z., Zhang H. Investigation on key geometries optimization and effect of variable operating conditions of a transcritical R744 two-phase ejector. *Applied Thermal Engineering*. 2023. Vol. 230. e120733. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120733>.
10. Xu Y., Li Q., Li B., Guan Z. Numerical simulation study of hydraulic fracturing nozzle erosion in deep well. *Frontiers in Physics*. 2022. Vol. 10. e947094. <https://doi.org/10.3389/fphy.2022.947094>.



11. Li A., Chen J., Xi G., Huang Z. Numerical investigation of the effect of primary nozzle geometries on flow structure and ejector performance for optimal design. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2023. Vol. 37(5). P. 2139–2148. <https://doi.org/10.1007/s12206-023-2101-2>.
12. Aronson K. E., Ryabchikov A.Y., Zhelonkin N. V., Brezgin D. V., Demidov A. L., Balakin D. Y. Features of the development and operation of multistage steam jet ejectors. *Thermal Engineering*. 2023. Vol. 70(4). P. 245–253. <https://doi.org/10.1134/S0040601523040018>.
13. Bañon F., Sambruno A., Batista M., Simonet B., Salguero J. Surface quality and free energy evaluation of S275 steel by shot blasting, abrasive water jet texturing and laser surface texturing. *Metals*. 2020. Vol. 10(2). P. 290. <https://doi.org/10.3390/met10020290>.
14. Kwon D.-K., Lee J.-H. Performance improvement of micro-abrasive jet blasting process for al 6061. *Processes*. 2022. Vol. 10(11). P. 2247. <https://doi.org/10.3390/pr10112247>.
15. Sychuk V., Zabolotnyi O., McMillan A. Developing new design and investigating porous nozzles for abrasive jet machine. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. 2015. Vol. 53(9-10). P. 600–605. <https://doi.org/10.1007/s11106-015-9655-1>.
16. Hao X., Yan J., Gao N., Volovyk O., Zhou Y., Chen G. Experimental investigation of an improved ejector with optimal flow profile. *Case Studies in Thermal Engineering*. 2023. Vol. 47. e103089. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103089>.
17. Kartal V., Emiroglu M. E. Effect of nozzle type on local scour in water jets: An experimental study. *Ocean Engineering*. 2023. Vol. 277. e114323. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114323>.
18. Xi X., Xin Y., Duan D., Zhang B. Experimental investigation on the performance of a novel resonance-assisted ejector under low pressurization. *Energy Conversion and Management*. 2023. Vol. 280. e116778. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.116778>.
19. Han X., Xiao J., Yu F., Zhao W. Relationships and mechanisms of sand grain promotion on nozzle cavitation flow evolution: A numerical simulation investigation. *Journal of Thermal Science*. 2022. Vol. 31(6). P. 2385–2410. <https://doi.org/10.1007/s11630-022-1568-y>.
20. Fesenko A., Yevsiukova F., Basova Y., Ivanova M., Ivanov V. Prospects of using hydrodynamic cavitation for enhancement of efficiency of fluid working medium preparation technologies. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*. 2018. Vol. 62(4). P. 269–276. <https://doi.org/10.3311/PPme.11877>.
21. Zabolotnyi O., Povstyanoy O., Somov D., Sychuk V., Svirzhevskyi K. Technology of Obtaining Long-Length Powder Permeable Materials with Uniform Density Distributions. *World Congress on*



*Engineering and Technology: Innovation and its Sustainability 2018. WCETIS 2018. 2022. Ch. 3. P. 63–78. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-20904-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-20904-9_5).*

22. Somov D., Zabolotnyi O., Polinkevich R., Valetskyi B., Sychuk V. Experimental Vibrating Complex for the Research of Pressing Processes of Powder Materials. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2020. Ch. 3. P. 321–329. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6_32).*

23. Zabolotnyi O., Sychuk V., Somov D. Obtaining of Porous Powder Materials by Radial Pressing Method. In: Ivanov, V., et al. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing. DSMIE 2018. Lecture Notes in Mechanical Engineering 2019. Springer, Cham, pp. 186–198. DOI: 10.1007/978-3-319-93587-4\_20* *Energies 2023, 16, x FOR PEER REVIEW 15 of 16*

24. Sychuk V., Zabolotnyi O., Somov D. Technology of Effective Abrasive Jet Machining of Parts Surfaces. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing. DSMIE 2018. Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2019. Ch. 1. P. 166–176. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-93587-4\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-319-93587-4_18).*

25. Povstyanoi O. Y., Sychuk V. A., McMillan A., Rud' V. D., Zabolotnyi O. V. Metallographic analysis and microstructural image processing of sandblasting nozzles produced by powder metallurgy methods. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics. 2015. Vol. 54(3-4). P. 234–240. <https://doi.org/10.1007/s11106-015-9705-8>.*

26. Bondarenko G., Baga V., Bashlak I. Flow simulation in a labyrinth seal. *Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 630. P. 234–239. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.630.234>.*

27. Merzliakov I., Pavlenko I., Chekh O., Sharapov S., Ivanov V. Mathematical modeling of operating process and technological features for designing the vortex type liquid-vapor jet apparatus. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2020. Ch. 3. P. 613–622. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6\\_61](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6_61).*

28. Merzliakov I., Pavlenko I., Ochowiak M., Ivanov V., Agarwal P. Flow modeling in a vortex chamber of a liquid–steam jet apparatus. *Processes. 2022. Vol. 10(5). P. 984. <https://doi.org/10.3390/pr10050984>.*

*Стаття надійшла до редакції 15.04.2024 р.*

**V. Baha<sup>1</sup>****<sup>2</sup> Sumy State University sciences of Ukraine****INCREASING THE EFFICIENCY OF FLOW PARTS OF NOZZLE DEVICES  
OF PNEUMATIC SYSTEMS ON THE BASIS OF IN-DEPTH STUDY  
OF THE WORKING PROCESS***Summary*

The process of gas throttling is used in many technical devices, in particular in sealing equipment, pneumatic abrasive installations, measuring devices, in separation devices, etc. Any device that creates a significant obstacle to the flow of the working flow, such as a narrowed opening, nozzle, porous partition, diaphragm, valve, valve, etc., can be considered a choke. By passing the working flow through the throttle, we can achieve the necessary change in its gas-dynamic parameters. The effect of throttling the working flow is used in labyrinth and other non-contact seals. One of the main indicators of the efficiency of the sealing technique is the coefficient of consumption of the gap. The flow through the labyrinth seal is constructed by analogy through a series of sequentially installed nozzle devices that create a series of obstacles. You can also evaluate the efficiency of the nozzle by its flow rate. The value of the flow rate of any device is affected by the peculiarities of the work process, therefore, by influencing the geometry of the flow part in the right way, it is possible to increase the efficiency of seals and nozzles in a wide range of operating parameters. To improve the seal means to reduce its throughput, and to improve the nozzle of the pneumatic abrasive unit means to obtain the maximum possible value of the flow rate of the working medium and its exit velocity. On the basis of the performed researches of the work process, the influence of geometric and mode parameters on the characteristics of nozzle devices operating on compressed air and on air-abrasive mixture was determined, which made it possible to increase the efficiency of nozzle devices.

The rotation of the shaft leads to a decrease in leakage through the labyrinth seal, the more the rotation frequency is higher (up to 20%). The flow structure in labyrinth seals of various types is not uniform, it depends on the scheme and geometric dimensions. Increasing the volume of the chambers over time allows to reduce leakage by up to 30%. A tendency to a disproportionate increase in the value of the flow coefficient of the air-abrasive mixture of the nozzle and its flow rate with an increase in its internal diameter at constant values of the input and output parameters  $p_1$ ,  $p_2$  was established.

It was established that when the passage cross-section of the nozzle increases by two times, the amount of flow through it increases by 4.5 times. It was established that reducing the length of the nozzle (to 4 mm) led to an increase in speed more than twice, which in turn increased the mass flow rate of the mixture and the coefficient of the nozzle flow rate. This created conditions for increasing the efficiency of the ejector-cleaning installation, namely, the processing time of one square meter of metal decreased by 4.5 times and is 2 minutes. The use of a permeable insert leads to an increase in the efficiency of the nozzle by more than two times.

**Keywords:** gap, labyrinth seal, working nozzle, pneumatic abrasive installation, work process, flow part, flow rate



---

**ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА  
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**

---

**DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2-7**

УДК 621.316

О. О. Мірошник<sup>1</sup>, д-р. техн. наук

ORCID: 0000-0002-6144-7573

О. М. Мороз<sup>1</sup>, д-р. техн. наук

ORCID: 0000-0002-8520-9211

В. Г. Пазій<sup>1</sup>, ст. викладач

ORCID: 0000-0002-7336-0854

Д. Г. Миргород<sup>1</sup>, аспірант

ORCID: 0000-0002-5494-6227

Р. О. Ганус<sup>2</sup>, аспірант

ORCID: 0009-0001-2442-6087

С. В. Галько<sup>3</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0001-7991-0311

<sup>1</sup>Державний біотехнологічний університет,<sup>2</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,<sup>3</sup>Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

email: omiroshnyk@btu.kharkiv.ua, тел.: +380979506033

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОРІВНЯННЯ ХАРАКТЕРИСТИК  
МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ПРИСТРОЮ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ  
ТА АВТОМАТИКИ РС83-АВЗ КОМПАНІЇ «РЗА СИСТЕМЗ»  
З ПРИСТРОЯМИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ТИПУ**

**Анотація.** В статті розглянуті автоматизовані системи релейного захисту та автоматики, які працюють на базі мікропроцесорних пристроїв, що поєднують багато видів захисту та протиаварійної автоматики. Показано, що один термінал релейного захисту та автоматики здатний виконувати велику кількість функцій. Важливою особливістю сучасних пристроїв релейного захисту та автоматики є можливість інтеграції їх в інформаційну мережу, що дозволяє реалізувати концепції «Цифрова підстанція» та «Smart Grid». Виконано порівняльний аналіз характеристик мікропроцесорного пристрою РС83-АВЗ та електромеханічних пристроїв релейного захисту для визначення ефективності, надійності та технічних переваг мікропроцесорних рішень у сучасних електроенергетичних системах.

**Ключові слова:** мікропроцесорний пристрій релейного захисту, Smart Grid, цифрова підстанція, електроенергетична система, коротке замикання.

**Постановка проблеми.** В процесі роботи електроенергетичної системи (ЕЕС) неминуче виникають аварійні ситуації, які порушують нормальну роботу обладнання та системи в цілому. Серед аварій, що мають найвищу небезпеку є короткі замикання (КЗ), які здатні охоплювати великі ділянки мережі та можуть мати досить тяжкі



наслідки для всієї ЕЕС. Особливо ризикованим подібні аварійні ситуації є під час воєнного стану, коли енергетична інфраструктура постійно піддається атакам, має знижений ресурс, знижену надійність, але вимоги що висуваються до неї навпаки підвищені, оскільки крім забезпечення роботи зв'язку, банків, державних установ необхідно також забезпечувати населення водопостачанням та тепlopостачанням особливо в зимовий період.

Для локалізації пошкоджених елементів і запобігання розвитку аварій в ЕЕС використовуються пристрої релейного захисту та автоматики (РЗА), які відіграють вирішальну роль у підтриманні стабільної та безпечної роботи ЕЕС та забезпеченні надійного електропостачання.

Релейний захист – це автоматична система, метою якої є оперативне виявлення та відокремлення пошкоджених елементів ЕЕС у разі виникнення аварійних ситуацій. Пристрій релейного захисту виявляє зону пошкодження і відключає її від працездатної частини ЕЕС з подальшим відновленням нормальної роботи решти елементів системи [1, 2].

Зараз існує три елементні бази, на яких будуються пристрої РЗА: електромеханічна, електронна та мікропроцесорна (цифрова). Найпершими і найстарішими є електромеханічні засоби. Проте досить велика їх кількість експлуатується і зараз і за оцінками з різних джерел на даний час їхня частка в ЕЕС України складає до 70% від загальної кількості. Електронні прилади були проміжними між електромеханічними і мікропроцесорними, але через певні особливості не набули поширення. Найсучаснішими є мікропроцесорні або цифрові пристрої РЗА. Дані пристрої останнім часом досить стрімко розвиваються та набувають поширення в Україні, с той час як за кордоном вони експлуатуються вже понад 30 років. Найбільш відомими зарубіжними фірмами в області розробок цифрових пристроїв релейного захисту та автоматики є ABB, SIEMENS, ALSTOM, GENERAL ELECTRIC. Таке широке використання цифрових терміналів РЗА викликане їх беззаперечними перевагами, що робить їх застосування в енергосистемах на даний час практично безальтернативним. Основними з них є:

– більш висока точність відтворення заданих характеристик функціонування пристрою. В цілому, апаратна похибка цифрових захистів може досягати до 2%. Так, один з основних параметрів вимірювальних органів захисту – коефіцієнт повернення – може мати значення 0,99. Досягнення такого значення коефіцієнта на напівпровідникових та електромеханічних реле потребує складних технічних рішень. Прикладом такого реле є захист від симетричного перевантаження статора генератора, виконаного на спеціальному реле





РТВК. Це реле виконано на напівпровідникових елементах і дозволяє збільшити коефіцієнт повернення до 0,99. Про те воно є дорогим та громіздким. Висока точність відтворення характеристик захистів дозволяє змінити деякі параметри узгодження між захистами суміжних елементів електричної мережі. Наприклад, можна зменшити ступінь селективності для максимальних струмових захистів суміжних елементів мережі, що в свою чергу зменшить час їх спрацювання і, як наслідок, час ліквідації аварії;

– отримання характеристик будь-якої складності. Це особливо є актуальним для дистанційних захистів, вимірні органи яких можуть мати які завгодно характеристики і враховувати будь-які особливості режимів, що можуть виникати в енергосистемі. При цьому зміна форми характеристик не потребує ніяких додаткових технічних переробок – вона змінюється на алгоритмічному рівні;

– запам'ятовування координат режиму під час спрацювання цифрового пристрою. Практично всі цифрові захисти запам'ятовують координати режиму аварійного та доаварійного режиму, що дає змогу експлуатаційному персоналу здійснювати глибокий аналіз аварійних ситуацій, визначати причини аварії і на основі цього при необхідності уточнювати та змінювати характеристики захистів та автоматики;

– можливість змінювати конфігурацію пристрою. В процесі розвитку мережі може виникнути необхідність в зміні характеристик пристроїв захисту – змінити уставки, ввести або вивести з роботи деякі функції тощо. Такі зміни не потребують ніяких технічних витрат, тому що вони здійснюються на програмному рівні;

– універсальність. Ця особливість цифрових пристроїв в більшій мірі стосується розробників, а не експлуатацію. Використовуючи універсальний процесорний модуль, відкоригувавши вхідні та вихідні кола, змінюючи алгоритм функціонування, можна створювати різні типи захистів та автоматики;

– значно менші габарити та менші затрати електротехнічних матеріалів. Один невеликий за розміром цифровий пристрій може замінити цілу групу складних реле, виконаних на напівпровідниках або електромеханічних елементах. Наприклад, напівпровідниковий дистанційний захист від міжфазних к.з. має дев'ять вимірних дистанційних органів, кожен з яких виконаний у вигляді окремого модуля. В цифровому ж пристрої характеристики всіх цих вимірних органів задаються на програмному рівні і реалізуються віртуально в процесорі;

– можливість самодіагностики. Алгоритми функціонування сучасних цифрових пристроїв захисту, особливо складних, обов'язково включають функцію самодіагностики, яка періодично здійснює контроль справності всіх складових пристрою – вхідних кіл,



вихідних кіл, цифрових елементів і при виявленні несправностей робота пристрою блокується з автоматичним повідомленням про це черговому персоналу. Традиційні ж пристрої релейного захисту, особливо електромеханічні, такої можливості не мають і є багато випадків в експлуатації, коли при виникненні аварії ці пристрої не спрацьовували і після аналізу виявлялось, що вони були несправними, про що оперативний персонал і не здогадувався;

- менше споживання енергії для функціонування, що суттєво зменшує потужність джерел енергії оперативного струму;

- менше навантаження та первинні вимірювальні трансформатори струму та напруги. Потужність споживання сучасних цифрових пристроїв релейного захисту складає до  $0,5 \text{ В}\cdot\text{А}$ . Це дає змогу під'єднувати до первинних вимірювальних трансформаторів струму та напруги більшу кількість пристроїв релейного захисту та автоматики, забезпечуючи при цьому роботу трансформаторів струму та напруги в заданому класі точності;

- простота в експлуатації. Під час проведення планових профілактичних робіт немає необхідності перевіряти характеристики окремих складових елементів, як в традиційних пристроях релейного захисту, тому що фізично їх немає, їхні характеристики реалізовані програмно. Тому перевіряються лише загальні характеристики функціонування. Це суттєво зменшує номенклатуру робіт і відповідно час перевірки пристроїв.

Таким чином, з огляду на зростання частки цифрових РЗА з кожним роком та наявністю вказаних переваг даних пристроїв досить актуальним завданням є знати принципи побудови пристроїв МП РЗА та вміти з ними працювати: підключати, налаштовувати та експлуатувати.

*Формулювання мети статті.* Провести комплексний порівняльний аналіз характеристик мікропроцесорного пристрою РС83-АВЗ та електромеханічних пристроїв релейного захисту для визначення ефективності, надійності та технічних переваг мікропроцесорних рішень у сучасних електроенергетичних системах.

*Аналіз останніх досліджень.* Забезпечення надійної та безаварійної роботи електроустановок тісно пов'язане з підвищенням технічного рівня РЗА, впровадженням комплексної автоматизації керування нормальними, аварійними та післяаварійними режимами роботи, що зумовлено безперервністю процесів виробництва, розподіл і споживання електроенергії.

Сучасні автоматизовані системи РЗА працюють на базі пристроїв МП, які поєднують багато видів захисту та протиаварійної автоматики. Один термінал РЗА здатний виконувати багато функцій, кількість яких може досягати сотень. Також важливою особливістю



сучасних пристроїв РЗА є можливість інтеграції їх в інформаційну мережу, що дозволяє реалізувати концепції «Цифрова підстанція» та «Smart Grid» [3,4].

Ще одна особливість сучасного РЗА – використання вільно-програмованої логіки. Ця технологія являє собою різновид мови програмування на основі логічних схем, що дозволяє задавати власні або змінювати існуючі програмні алгоритми пристрою. Тобто за рахунок даної технології з'являється можливість налаштувати пристрій під конкретні специфічні завдання, що можуть виникнути у користувача [5, 6].

Також причиною переходу на нову елементну базу є й те, що при цьому змінюються не принципи роботи захисту та автоматики, а лише розширюється їх функціональність, що робить експлуатацію більш зручною.

Щодо етапів розвитку систем РЗА від електромеханіки до цифрової підстанції, можна зазначити, що схемотехніка, логіка роботи (алгоритми) і розрахунок уставок – присутні в усіх системах РЗА незалежно від елементної бази, але ці складові мають різні частки.

В електромеханічних пристроях логіка роботи алгоритмів РЗА зрозуміла безпосередньо з принципової схеми; невеликий відсоток її прихований в самих реле. Однак самі схеми реле в основному прості, а алгоритми їх роботи очевидні. Таким чином, РЗ на електромеханіці є чітким і зрозумілим при вивченні.

У цифрових терміналах зовнішня електрична схема зменшена і спрощена, а складні логічні зв'язки переносяться всередину цифрового пристрою. Кількість алгоритмів, реалізованих в одному пристрої, різко зростає.

Також підвищуються вимоги до персоналу, що експлуатує і обслуговує МП термінали. Фахівці служби РЗА повинні знати всі аспекти електромеханіки, а також правила роботи з логічними схемами. Крім того, вони повинні розуміти особливості використання цифрових пристроїв, такі як призначення дискретних входів, правила роботи з програмним забезпеченням, оперативне живлення терміналу, електромагнітна сумісність (ЕМС) і т. д. Відповідно при роботі з МП пристроями пред'являються більш високі стандарти на кваліфікацію персоналу, ніж при використанні електромеханічних систем.

Цифрова підстанція є ключовим елементом розумної енергетики, де організація всіх інформаційних потоків при вирішенні задач моніторингу, аналізу та керування здійснюється в цифровому вигляді, а параметри такої передачі визначаються єдиним електронним файлом проекту [7]. В якості основного середовища передачі даних в цифровій підстанції використовується локальна мережа (LAN) на основі технології Ethernet і використовуються протоколи зв'язку,



описані стандартом IEC 61850 [8]. Основними характеристиками такої підстанції є інтелектуалізація основного обладнання, розвинена мережа зв'язку та автоматизація експлуатації та управління.

У концепції цифрової підстанції на основі стандартів IEC 61850 схемотехніка майже повністю скорочена, а логічна частина розширена. Через відсутність візуалізації стає надмірною ступінь абстрактності у поданні інформації і погіршується розуміння системи. Функції РЗ автономні і не прив'язані до конкретного обладнання; вони реалізовані у віртуальній моделі підстанції. Для роботи з таким обладнанням потрібні фахівці вищого рівня, ніж ті, хто має справу зі звичайними терміналами МП РЗА. Вони повинні знати про сучасну підстанцію з транспортними протоколами МП РЗА та IEC 61850.

Сучасна система автоматизації підстанцій, що ґрунтується на стандарті IEC 61850, є загальною технологією для забезпечення інфраструктури інтелектуальної мережі в системі передачі, але для реалізації цього необхідний постійний розвиток. IEC 61850 постійно використовується для модернізації або розширення існуючих підстанцій, а також для впровадження нових цифрових підстанцій, чим закладається основа для плавної інтеграції всієї системи. Завдяки цій технології можна досягти передового енергоменеджменту та управління в розумній мережі.

Проте основи РЗА однакові для стандартного релейного захисту та для цифрових підстанцій, оскільки IEC 61850 не вносить жодних істотних нововведень у цьому аспекті. Сфера застосування стандарту IEC 61850 – системи зв'язку всередині підстанції.

Незважаючи на переваги цифрової технології IEC 61850, у системі є вразливості з точки зору кібербезпеки. Зокрема це відсутність автентифікації та шифрування повідомлень, що дозволяє перехоплювати повідомлення та змінювати стани вимикачів на підстанції, здійснювати несанкціоновані відключення або включення та чинити загрозу навіть життю людей. [9].

Знання різних методів кібератак, а також застосовних, можливих і найсучасніших механізмів захисту можуть дозволити дослідникам ефективно їх вивчати та вдосконалювати різні методи боротьби з новими формами кібератак на енергетичні системи [9].

В процесі еволюції РЗА основні зміни відбулися в схемотехніці, де відбувся перехід від використання громіздких релейних систем на основі візуально зрозумілих елементів до компактних пристроїв, здатних підключатися до інформаційної мережі цифрової підстанції, як звичайний комп'ютер.

Останніми роками різко зріс попит на енергію у зв'язку зі швидким розвитком різноманітних галузей промисловості та суспільства. Незважаючи на довгострокове підвищення



енергоефективності, до 2050 року глобальне споживання енергії за базовим сценарієм зросте майже на 50% порівняно з 2020 роком [10]. З точки зору споживання енергії, зміна клімату на глобальному рівні збільшила потребу у використанні електричних пристроїв для зменшення споживання бензину та викидів парникових газів у всіх секторах економіки [11, 12].

Відбулися значні зміни у виробництві енергії. Основним рушієм цієї трансформації стало зростання частки відновлюваних джерел енергії. З розвитком сонячної, вітрової, гідроенергетики та інших відновлювальних технологій стало можливим широкомасштабне впровадження «зелених» технологій у виробництво енергії [13], що сприяло диверсифікації енергетичного портфеля багатьох країн та зменшенню залежності від нестабільні ринки та ціни на викопне паливо [14-16].

Крім того, важливу роль у новому підході до виробництва енергії відіграє тенденція до використання децентралізованої та розподіленої генерації [13]. Усі ці виклики спонукали електроенергетику до перетворення своїх електромереж із застарілих на розумні.

В останні десятиліття за кордоном активно обговорюється і розвивається ідея інтелектуальної енергетичної системи, відомої як Smart Grid. Він представлений як інноваційна ідея розвитку електроенергетики в майбутньому [3]. Інтелектуальні електромережі, які називаються Smart Grid, є модернізованою версією звичайних мереж за рахунок використання модернах систем автоматизації та зв'язку, які забезпечують двосторонній обмін як енергією, так і інформацією, за допомогою яких можна автоматично підвищувати ефективність, надійність, економічні вигоди, а також забезпечують сталість процесів виробництва та розподілу електроенергії в режимі реального часу [4].

Іншими словами, Smart Grid – це цифрова технологія, яка забезпечує двосторонній зв'язок між комунальним підприємством та його клієнтами, а також моніторинг ліній електропередач, що робить мережу «розумною».

На додаток до забезпечення зв'язку в реальному часі між усіма системами, від генерації та передачі до розподілу та кінцевих користувачів, розумні мережі впроваджують нові можливості, технології та різноманітне обладнання для моніторингу, яке постійно відслідковує, перевіряє та повністю контролює всю систему. Потреба в такій інфраструктурі привела до існуючої мережі концепцію Інтернету речей (IP) [17].

IP стає все більш важливою та поширеною концепцією в сучасному світі. Він охоплює широкий спектр пристроїв, починаючи від розумних термостатів і смарт-годинників до промислових датчиків

і медичних пристроїв. Основна ідея ІР полягає в тому, щоб дозволити пристроям збирати та обмінюватися даними через Інтернет, таким чином створюючи розумніші та ефективніші системи [17].

Все це накладає відбиток і на стабільність роботи мереж, їх надійність, безаварійність. В умовах коли від безаварійної роботи мережі залежить не лише робота окремого вузла, а і обмін інформацією, робота всіх елементів в цілому, вимоги до пристроїв РЗА, до функцій які повинні забезпечувати ці пристрої значно зростають.

*Основна частина.* Зараз на ринку України існує велика кількість пропозицій МП терміналів різних виробників, що відрізняються як за функціональністю так і за вартістю. Одним з таких пристроїв є пристрій РС83-АВ3 компанії РЗА-СИСТЕМЗ [18].

Пристрій РС83-АВ3 призначений для використання у схемах релейного захисту та протиаварійної автоматики ліній напругою 6...35 кВ, а також може бути використаний на приєднання інших класів напруг. Пристрій може встановлюватися в релейних відсіках КРУ, КРУН і КСВ, на панелях та шафах в релейних залах і на пультах управління, а також у релейних шафах зовнішньої установки на ОРУ. Пристрій може застосовуватися як самостійний пристрій, так і з іншими пристроями РЗА.

РС83-АВ3 – багатофункціональний цифровий пристрій, зібраний на сучасній елементній базі із застосуванням SMD монтажу, що поєднує різні функції захисту, контролю, керування та сигналізації. Загальний вигляд пристрою РС83-АВ3 наведено на рис. 1.



Рис. 1. Зовнішній вигляд пристрою РС83-АВ3

Пристрій забезпечує наступні експлуатаційні можливості:

– виконання функцій захисту, автоматики управління та сигналізації;



– локальне (місцеве) та дистанційне завдання внутрішньої конфігурації (введення захисту та автоматики, вибір захисних характеристик, кількості ступенів захисту, налаштування аварійного осцилографа, функцій світлодіодів та ін.) та її зберігання;

– дистанційне перемикавання наборів уставок;

– сигналізацію спрацьовування захистів та автоматики, положення комутаційних апаратів, несправності пристрою за допомогою реле та світлодіодів, що призначаються, а також по каналу АСУ;

– реєстрацію та зберігання осцилограм;

– можливість підключення до однієї з обраних точок функціональної логічної схеми за допомогою програмованих реле;

– контроль та індикацію положення вимикача, а також справності його ланцюгів керування, місцеве та дистанційне керування вимикачем, перемикавання режиму керування, діагностику вимикача;

– вимірювання поточних значень електричних параметрів об'єкта, що захищається;

– визначення виду аварії;

– безперервний оперативний контроль працездатності (самодіагностики) протягом усього часу роботи;

– гальванічну розв'язку входів і виходів, включаючи живлення, для забезпечення високої перешкоди;

– високий опір та міцність ізоляції входів та виходів щодо корпусу та між собою для підвищення стійкості пристрою до перенапруг, що виникають у вторинних ланцюгах КРУ;

У пристрої передбачені календар та годинник астрономічного часу з енергонезалежним харчуванням з індикацією року, місяця, дня місяця, години, хвилини та секунди з можливістю синхронізації ходу годинника по АСУ.

Пристрій забезпечує синхронізацію внутрішнього годинника від зовнішнього пристрою.

Даний пристрій здатний виконувати функції, наведені в табл. 1.

Аналізуючи функціональні особливості мікропроцесорних пристроїв РЗА в цілому, та зокрема пристрою РС83-АВЗ можна зазначити наступне. Якщо для захисту лінії використовуються МП термінали, то при відключенні автоматичного вимикача від системи захисту або при спрацьовуванні автоматики у внутрішній пам'яті пристрою зберігається інформація про момент спрацьовування, найменування спрацьованого захисту або автоматики, а також запис електричних параметрів в періоди до аварії, під час аварії та після її завершення. Завдяки цьому функціоналу можна точно відновити хід подій, що дає змогу проаналізувати стан мережі, коли відбуваються серйозні аварії. Реєстрація аварійних ситуацій здійснюється з високою



розподільною здатністю в часі. МП термінали здатні вимірювати події тривалістю кілька мілісекунд, що при аналізі роботи захисних пристроїв дозволяє правильно визначити послідовність їх спрацьовування, а також зробити висновок про відповідність роботи захисних механізмів із зазначеними налаштуваннями та умовами. Записи подій зберігаються пристроєм в його енергонезалежній пам'яті.

Термінал захисту має функцію самодіагностики, а також контролює роботу вхідних і вихідних кіл, що дозволяє швидко визначати несправності. У разі використання електромеханічного захисту порушення в роботі цих пристроїв часто залишаються непоміченими, а їх несправності часто виявляються лише тоді, коли система захисту працює неправильно або повністю виходить з ладу.

У пристрої МП РЗА зміна параметрів спрацьовування захисту здійснюється в меню шляхом вибору необхідних значень. У цьому випадку можна організувати кілька наборів параметрів і легко перемикатися між ними, що виявляється дуже зручним, коли потрібно тимчасово змінити задані значення.

Однією з додаткових переваг МП терміналів є можливість інтегрувати їх із системою диспетчерського керування та збору даних (SCADA), що дозволяє обслуговуючому персоналу підстанції контролювати стан комутаційних пристроїв, навантаження та напругу на шині, а також дистанційно керувати обладнанням безпосередньо з центрального командного пункту.

Таблиця 1

Перелік функцій, що виконуються пристроєм РС83-АВЗ [18]

№ п/п	Функція	Кількість ступеней захисту	Код ANSI
1	2	3	4
1	МСЗ направлена, з можливістю виводу направленості з вольтметровим блокуванням по $U_{\phi \min}$ , $U_{л \min}$ , $U_{1 \min}$ , $U_{2 \max}$ , із залежними і незалежними характеристиками	8	67(V), 50/51(V)
2	Захист від замикань на землю (ЗНЗ) по струму $3I_0$ або опору $Z_0$ , направлений з можливістю виводу направленості, з пуском по $3U_0$ або без пуску, із залежними і незалежними характеристиками	4	67N, 50/51N, 21N
3	Захист від замикання на землю із залежними характеристиками від суми вищих гармонік $3I_0$	2	-
4	Захист по напрузі ЗН (ЗМН $U_{\phi}$ , ЗМН $U_{л}$ , ЗПН $U_{л}$ , ЗПН $3 U_0$ , ЗМН $U_1$ , ЗПН $U_2$ )	4	27, 59, 59N, 27-1, 59-2





Продовження таблиці 1.

1	2	3	4
5	Захист струму зворотної послідовності ОБР ( $I_2, I_2/I_1$ )	2	46
6	Логічний захист шин (ЛЗШ)	2	
7	АЧР по частоті мережі	2	
8	ЧАПВ по частоті мережі	2	
9	Логіка АЧР-ЧАПВ по дискретному входу	1	
10	УРОВ	2	50BF
И	АПВ	2	79
12	БНН	1	VTS
13	Визначення місця пошкодження (ВМП)	+	
14	Керування вимикачем (АУВ)	+	
15	Контроль ресурсу вимикача	+	
16	Технічний облік електроенергії	+	
17	Вимірювання, розрахунок, відображення на дисплеї та передача по мережі всіх аналогових величин з якими працює пристрій	+	
18	Розрахунок, відображення на дисплеї та передача по мережі активної та реактивної потужності, коефіцієнта потужності	+	

Сучасні прилади РЗА поєднують в одній системі функції РП, вимірювання, регулювання та контролю електроустановки. У складі автоматизованих систем керування технологічними процесами енергооб'єктів вони виступають кінцевими пристроями збору інформації.

Проведемо порівняльний аналіз функціональних можливостей пристроїв РЗА на основі електромеханічних реле та мікропроцесорних РЗА на прикладі пристрою РС83-АВЗ. Порівняння характеристик електромеханічних реле і МП пристроїв наведено у табл. 2.

Електромеханічні реле – це традиційні пристрої релейного захисту, що працюють на основі фізичних принципів електромагнетизму і механіки. До їх складу входять контакти, пружини та електромагніти, які реагують на зміну електричних параметрів мережі. Дані пристрої мають наступні переваги:

– простота і надійність: електромеханічні реле привабливі простотою конструкції, що забезпечує їх розуміння інженерами і техніками;



Таблиця 2

## Порівняння характеристик електромеханічних реле та мікропроцесорних пристроїв

№	Параметр	Електромеханічні реле	Мікропроцесорні пристрої
1	2	3	4
1	Принцип дії	Ґрунтується на використанні контактів і електромагнітів. При зміні параметрів електричної мережі релейний механізм реагує на електромагнітне поле перемиканням контактів.	Працюють за алгоритмами, заданими програмою. Мікропроцесор обробляє дані від датчиків і приймає рішення відповідно до заданих параметрів.
2	Швидкість реакції	Обмежена механічними процесами швидкість реакції обмежена часом, необхідним для руху механізму	Забезпечує високу швидкість обробки та відповіді завдяки швидким обчисленням, що робить їх ефективними в середовищах, що швидко змінюються
3	Гнучкість і налаштування	Обмежені налаштування параметрів і функціональності, їх здатність змінюватись обмежена механічною конструкцією	Вони мають високу гнучкість конфігурації та програмування. Параметри захисту, часові затримки та логіку роботи можна легко змінити
4	Складність алгоритмів захисту	Може забезпечити базові алгоритми захисту, але обмежено у реалізації складних алгоритмів, таких як диференціальний захист або гармонічний аналіз	Дозволяє реалізувати широкий спектр складних алгоритмів, включаючи диференціальний і гармонічний аналіз, а також інтегровані функції моніторингу та діагностики
5	Надійність	Надійний, витримує тимчасові перевантаження. Однак з віком і зношеністю механізмів і контактів їх надійність може знижуватися	Від цього залежить надійність електронних компонентів. Може виникати несправність через перенапругу, електромагнітні перешкоди або помилки програмного забезпечення
6	Інтеграція та дистанційне керування	Як правило, не мають вбудованої інтеграції та можливостей дистанційного керування	Легко інтегрується в системи управління, моніторингу та діагностики, що дозволяє дистанційно налаштовувати та контролювати їх роботу
7	Технічне обслуговування	Вимагають періодичного калібрування та обслуговування для надійної роботи	Потрібна технічна підтримка та оновлення програмного забезпечення



– перешкодостійкість: ці пристрої демонструють певний рівень стійкості до електромагнітних перешкод і коливань напруги, що робить їх цінними в ситуаціях, коли електрична мережа не дуже стабільна.

Проте їм властивий і ряд недоліків:

– обмежена швидкість і точність: електромеханічні реле мають обмежену швидкість спрацьовування та час відгуку, що може бути недостатнім для забезпечення захисту від швидких подій, таких як короткі замикання;

– необхідне технічне обслуговування: реле потребують періодичного обслуговування та калібрування для забезпечення надійної роботи. Через механічну природу складових частин вони зношуються і з часом можуть потребувати заміни;

– обмежені можливості: складні сучасні системи електропостачання можуть потребувати більш складних алгоритмів захисту, які важко або неможливо реалізувати за допомогою електромеханічних реле.

На відміну від електромеханічних пристроїв, мікропроцесорні термінали релейного захисту мають такі переваги:

– висока точність і швидкість: пристрої МП мають можливість виконувати обробку даних з підвищеною швидкістю і точністю, що полегшує реалізацію складних алгоритмів захисту і швидке реагування на події;

– гнучкість і налаштування: можна налаштувати параметри захисту відповідно до унікальних системних вимог, що стає важливим для адаптації до різноманітних умов роботи;

– інтеграція та контроль: пристрої МР легко інтегруються з іншими системами автоматизації, моніторингу та управління, що дозволяє досягти більш глибокого рівня контролю над роботою системи електропостачання.

Також їм властиві певні недоліки:

– висока вартість: використання пристроїв МП передбачає інвестиції в електронні компоненти та програмне забезпечення, що може призвести до збільшення витрат порівняно з використанням електромеханічних реле;

– неремонтопридатність: при виході з ладу функціонального вузла його можна замінити тільки в цілому;

– залежність від електронних компонентів: МП пристрої можуть стати вразливими, коли в електронних компонентах виникають проблеми або дефекти;

– для програмування, налаштування та обслуговування пристроїв МП необхідні спеціалісти відповідної кваліфікації;



- можливість навмисного дистанційного впливу на РЗ МП з метою порушення його нормальної працездатності;
- крім того, термінали МП РЗА різних виробників не можуть бути взаємозамінними через відсутність єдиного стандарту на обладнання.

Електромеханічні реле підходять лише для невеликих систем захисту, де мало компонентів і потрібна висока надійність та є обмеження в ціні. МП пристрої дозволяють використовувати більш складні та гнучкі алгоритми захисту, легко інтегрувати їх в автоматизовані системи, а також більш точно налаштовувати параметри захисту.

Вибір між цими типами пристроїв залежить від конкретних вимог системи захисту:

- якщо необхідно забезпечити високу точність, складні алгоритми захисту та інтеграцію з іншими системами, то вибір за МП пристроями;
- якщо необхідний захист має просту схему та обмежений бюджет, то можна розглянути використання електромеханічних реле.

У сучасних системах РЗА поширене поєднання електромеханічних реле і пристроїв МП, що дозволяє поєднати переваги обох підходів: точність, гнучкість і можливість інтеграції МП пристроїв, високу надійність електромеханічних реле.

В сучасних умовах просування концепції Smart Grid, що є складним і масштабним процесом та вимагає змін на різних рівнях енергетичної системи, використання сучасних технологій та інновацій, спрямованих на підвищення ефективності, надійності та стійкості електроенергетики, використання МП РЗА є однією з ключових вимог побудови захисту мереж.

Уміння фахівців правильно розрахувати параметри роботи систем РЗА і налаштувати їх підвищує надійність роботи і безпеку експлуатації електрообладнання. Тому важливо ще на етапі навчання у вищому навчальному закладі отримати не лише теоретичні знання, а й практичні навички роботи з сучасним обладнанням.

#### *Висновки.*

Порівнюючи сучасні МП РЗА на прикладі пристрою РС83-АВЗ та електромеханічні реле можна зробити такі висновки:

1. Електромеханічні реле, безсумнівно, відігравали важливу роль в електроенергетиці, але вони мали певні обмеження: вони були відносно однофункціональними та вимагали ручного налаштування для різних сценаріїв. Крім того, вони піддаються зносу, що зумовлює необхідність їх постійного (регулярного або періодичного) обслуговування.



2. При прийнятті рішення про перехід від електромеханічних реле до мікропроцесорних релейних пристроїв слід враховувати вимоги до системи, її складність, швидкість відгуку та рівень інтеграції. У деяких випадках спільне використання цих двох типів пристроїв дозволяє досягти оптимального балансу між надійністю і функціональністю системи захисту.

3. Сьогодні на зміну традиційному релейному захисту приходять пристрої МП, які поєднують функції захисту, автоматики, контролю та сигналізації. Їх використання підвищує чутливість захисту і скорочує час спрацьовування, що зменшує збитки від відключень електроенергії. Також можливе створення автоматизованих систем управління підстанціями та їх інтеграція з АСУ верхнього рівня. Це відкриває перспективи використання МП терміналів як основних пристроїв релейного захисту в електричних мережах для подальшого просування до ідеальної моделі Smart Grid.

4. Ефективний вибір обладнання МП РЗА для підстанції потребує оптимізації витрат та ефективності. Необхідно врахувати початкові та загальні витрати на обслуговування терміналів МП РПА за 10 років. Також важливо враховувати витрати на оновлення програмного забезпечення та послуги спеціалістів від виробника.

5. Дослідження, проведені в процесі тестування пристрою РС83-АВЗ показали відповідність його функціональності та характеристик до використання в сучасних умовах, а також високу надійність роботи і порівняно нескладний процес освоєння даного пристрою, що дозволяє рекомендувати його для використання в сучасних електричних мережах.

#### *Список використаних джерел.*

1. Al Issa H. A., Pazyi V., Miroshnyk O., Moroz O., Savchenko O. Halko S. Determination of a Line with a Single-Phase Short Circuit in the Distribution Network Using the Method of Signal Input. *2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2023. P. 1-6. <https://10.1109/KhPIWeek61412.2023.10312925>.

2. Pazyi V., Miroshnyk O., Shchur T., Halko S., Nikolov M., Idzikowski A. Development of Simulation Model of Single-Phase Circuit Lock in the DigSilent Powerfactory Program. *System Safety: Human – Technical Facility – Environmen*. 2023. Vol. 5(1). P. 350–358. <https://doi.org/10.2478/czoto-2023-0038>.

3. Miroshnyk O., Moroz O., Shchur T., Chepizhnyi A., Qawaqzeh M., Kocira S. Investigation of Smart Grid Operation Modes with Electrical Energy Storage System. *Energies*. 2023. Vol. 16(6). P. 2638. <https://doi.org/10.3390/en16062638>.



4. Xiong C., Su Y., Zhang D., Chen L., Zhang H., Li Q. A New Distributed Robust Power Control for Two-Layer Cooperative Communication Networks in Smart Grids with Reduced Utility Costs. *Energies*. 2023. Vol. 16(6). P. 2911. <https://doi.org/10.3390/en16062911>.
5. Siemens вебсайт. 2024. URL: <https://support.industry.siemens.com> (дата звернення 28.12.2023).
6. Schneider Electric вебсайт. 2024. URL: <https://www.se.com/ww/en/> (дата звернення 04.01.2024).
7. Liu Y., Gao H., Gao W., Peng F. Development of a Substation-Area Backup Protective Relay for Smart Substation. *IEEE Trans. Smart Grid*. 2017. Vol. 8. P. 2544–2553.
8. Lima D. A. C., Bernardon D. P., Morais A. P., Oliveira A. L., Hokama W. S., Conceição J. B. R., Sartori Â. F. Review of Bus Differential Protection Using IEC 61850. *Energies*. 2022. Vol. 15(24). P. 9537. <https://doi.org/10.3390/en15249537>.
9. Kim M.-S., Kang S.-H. Centralized Multiple Back-Up Protection Scheme with Sharing Data between Adjacent Substations Based on IEC 61850. *Energies*. 2022. Vol. 15(12). P. 4195. <https://doi.org/10.3390/en15124195>.
10. International energy outlook 2023 – U.S. energy information administration (EIA). URL: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/index.php> (дата звернення 11.01.2024).
11. Popescu C., Apostu S. A., Rădulescu I. G., Mureșan J. D., Brezoi A. G. Energizing the Now: Navigating the Critical Landscape of Today’s Energy Challenges – An In-Depth Review. *Energies*. 2024. Vol. 17(3). P. 675. <https://doi.org/10.3390/en17030675>.
12. Hassan Q., Abdulateef A. M., Hafedh S. A., Al-samari A., Abdulateef J., Sameen A. Z., Salman H. M., Al-Jiboory A. K., Wieteska S., Jaszczur M. Renewable energy-to-green hydrogen: A review of main resources routes, processes and evaluation. *Int. J. Hydrogen Energy*. 2023. Vol. 48. P. 17383–17408.
13. Лежнюк П. Д., Рубаненко О. Є., Гунько І. О. Оптимізація режимів електричних мереж з відновлюваними джерелами електроенергії: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2018. 174 с.
14. Галько С. В. Експериментальне дослідження і визначення параметрів когенераційного фотоелектричного модуля для гібридних сонячних електростанцій. *Традиційні та інноваційні підходи до наукових досліджень: матеріали Міжнар. наук. конф., 10 квіт. 2020 р. Луцьк: МЦНД, 2020. Т. 1. С. 83-90.* <https://doi.org/10.36074/10.04.2020.v1.10>.
15. Галько С. В. Використання когенераційних фотоелектричних модулів для зарядки акумуляторів електромобілів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні*



науки. 2019. Вип. 19, т. 3. С. 130-141. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-19-3-130-141>.

16. Halko S., Halko K. Research of electrical and physical characteristics of the solar panel on the basis of cogeneration photoelectric modules. *Integración de las ciencias fundamentales y aplicadas en el paradigma de la sociedad post-industrial: Colección de documentos científicos «ΛΟΓΟΣ» con actas de la Conferencia Internacional Científica y Práctica*, 24 de abril de 2020. Barcelona, España: Plataforma Europea de la Ciencia, 2020. Vol. 2. P. 39-44. <https://doi.org/10.36074/24.04.2020.v2.10>.

17. Teca G., Natkaniec M. StegoBackoff: Creating a Covert Channel in Smart Grids Using the Backoff Procedure of IEEE 802.11 Networks. *Energies*. 2024. Vol. 17(3). P. 716. <https://doi.org/10.3390/en17030716>.

18. Мікропроцесорні пристрої релейного захисту та автоматики серії РС83. Пристрій РС83-АВ3. URL: <https://rzasystems.com/product/rs83-av3/> (дата звернення 08.01.2024).

*Стаття надійшла до редакції 15.02.2024 р.*

**O. Miroshnyk<sup>1</sup>, O. Moroz<sup>1</sup>, V. Pazyi<sup>1</sup>, D. Myrgorod<sup>1</sup>, R. Hanus<sup>2</sup>, S. Halko<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>State Biotechnological University,

<sup>2</sup>National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute",

<sup>3</sup>Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

**RESEARCH AND COMPARISON OF CHARACTERISTICS  
OF THE MICROPROCESSOR RELAY PROTECTION AND AUTOMATION  
DEVICE PC83-AB3 COMPANY "RPA SYSTEMS"  
WITH ELECTROMECHANICAL DEVICES**

*Summary*

The article discusses automated systems of relay protection and automation, which work on the basis of microprocessor devices, combining many types of protection and emergency automation.

During the operation of the electric power system, emergencies inevitably arise that disrupt the normal operation of the equipment and the system as a whole. Among the most dangerous accidents are short circuits, which can cover large areas of the network and can have quite serious consequences for the entire electricity system. Such emergencies are especially risky during martial law, when the energy infrastructure is constantly under attack, has a reduced resource, reduced reliability, but the requirements for it, on the contrary, are increased, since in addition to ensuring the operation of communications, banks, and government agencies, it is also necessary to provide the population with water supply and heat supply, especially in winter.

To localize damaged elements and prevent the development of accidents in the electric power system, relay protection and automation devices are used, which play a



decisive role in maintaining stable and safe operation of the electric power system and ensuring reliable power supply.

Today, traditional relay protection is being replaced by microprocessor devices that combine protection, automation, control and alarm functions. Their use increases the sensitivity of protection and shortens the response time, which reduces the damage from power outages. It is also possible to create automated substation control systems and integrate them with automated control systems of the upper level. This opens up prospects for the use of microprocessor terminal devices as the main relay protection devices in electrical networks for further advancement to the ideal Smart Grid model.

It is shown that one relay protection and automation terminal is capable of performing a large number of functions. An important feature of modern devices of relay protection and automation is the possibility of their integration into the information network, which allows to implement the concepts of "Digital Substation" and "Smart Grid". A comparative analysis of the characteristics of the PC83-AB3 microprocessor device and electromechanical relay protection devices was performed to determine the efficiency, reliability and technical advantages of microprocessor solutions in modern power systems.

**Keywords:** microprocessor relay protection device, Smart Grid, digital substation, electric power system, short circuit.





DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2-8

УДК 621.315

І. М. Трунова<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0001-7510-4291

О. О. Мірошник<sup>1</sup>, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0002-6144-7573

А. І. Середа<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-7670-6822

С. М. Дудніков<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-0337-0707

В. Г. Пазій<sup>1</sup>, ст. викладач

ORCID: 0000-0002-7336-0854

О. М. Мороз<sup>1</sup>, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0002-8520-9211

О. А. Савченко<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-6401-0852

С. А. Попадченко<sup>1</sup>, ст. викладач

ORCID: 0000-0003-2537-9769

С. В. Галько<sup>2</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0001-7991-0311

І. В. Ладижинський<sup>1</sup>, магістр

ORCID: 0009-0009-1538-4776

<sup>1</sup>Державний біотехнологічний університет, м. Харків<sup>2</sup>Таврійський державний агротехнологічний університет

імені Дмитра Моторного

email: trunova\_iryna@btu.kharkov.ua, тел.: +380965906690

## АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ОБҐРУНТУВАННЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ ОБ'ЄКТІВ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ

*Анотація* Запропоновані рекомендації щодо використання баз даних, які існують для складання форм звітності Operatorів систем розподілу та які можливо сформулювати за результатами розрахунків та за довідниковими даними, для створення консолідованої інформації, що може використовуватися в процесах підтримки прийняття рішень щодо інвестиційних планів для виконання робіт технічної експлуатації об'єктів розподільних мереж. Розглянутий приклад використання визначених баз даних в автоматизованій системі обґрунтування реконструкції об'єктів розподільної мережі електропостачання. Розроблена структурна схема баз даних Operatorа систем розподілу для розрахунків технічних показників реконструкції об'єктів розподільних мереж електропостачання.

*Ключові слова:* інтеграція баз даних, реконструкція, розподільна мережа електропостачання, інвестиційні плани.

*Постановка проблеми.* В Україні напередодні повномасштабної війни почалося реформування електроенергетичної галузі, впроваджено ринок електричної енергії та РAB-регулювання. Згідно з останніми розпорядженнями Регулятора, а в Україні це Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП), кожний Operator системи розподілу (ОСР) розробляє п'ятирічний План розвитку системи розподілу, де



наводять фактичні та прогнозовані обсяги попиту на електричну енергію, показники якості електропостачання, втрати електричної енергії тощо. При цьому використовуються (або формуються) відповідні бази даних в автоматизованій системі управління підприємством, які використовуються і для заповнення різних форм звітності (щорічних, щоквартальних тощо). За результатами аналізу (до закриття цієї інформації на сайтах ОСР внаслідок воєнного стану) ці бази даних не в повній мірі використовуються ОСР у щорічному обґрунтуванні інвестиційних програм, зокрема, щодо реконструкції об'єктів розподільних мереж. Особливо це стосується показників якості електропостачання, що характеризують надійність електропостачання та якість електричної енергії, наприклад, зміни напруги, System Average Interruption Duration Index (SAIDI) та Energy Not Supplied (ENS) тощо.

*Формулювання мети статті.* Метою дослідження є розробка рекомендацій щодо можливості автоматизованого інформаційного забезпечення обґрунтування реконструкції об'єктів розподільних мереж на основі використання наявних баз звітних, фактичних, розрахункових та довідникових даних ОСР.

*Аналіз останніх досліджень.* В Україні, як і в багатьох інших європейських країнах, що відмічено у 6-ому бенчмаркінг-звіті CEER про якість електро- та газопостачання [1], створена система регулювання якості електропостачання, де передбачено підвищення загальних рівнів безперервності електропостачання та підтримання стандартних характеристик напруги завдяки інвестиційним рішенням, в тому числі завдяки впровадження відновлюваних джерел енергії на основі вітрових [2-4] і сонячних [5-8] електростанцій, що під'єднуються до розподільчих мереж. Також передбачені компенсації споживачам за недотримання гарантованих стандартів якості електропостачання [9]. Тобто створені економічні важелі впливу, звідси, цю складову слід враховувати в обґрунтуванні реконструкції розподільних мереж.

Застосування програмного забезпечення, в тому числі з використанням електронних таблиць Microsoft Excel, для аналізу проектування низьковольтних розподільних мереж з метою запобігання низької якості електроенергії у споживачів розглядалося в багатьох дослідженнях [10-17]. Зокрема, у [10-12] представлена структура програмного забезпечення та блок-схема, яка передбачає ввід даних щодо навантаження та лінійних даних. При цьому, не уточнюється в запропонованій структурі програмного забезпечення та блок-схемі яким чином ці дані вводяться (автоматизовано чи вручну), з яких баз даних.



Що стосується надійності електропостачання, то, як відмічалось у багатьох публікаціях [18-21], однією з причин перерв в електропостачанні в Україні є фізичний знос обладнання та його незадовільний або непридатний технічний стан, коли потрібна реконструкція окремих об'єктів або будівництво нових розподільних мереж.

Згідно [22] реконструкція об'єктів розподільних мереж – ліній електропередачі (ПЛ), трансформаторних підстанцій (ТП), розподільних пунктів (РП), передбачає такі роботи, як підвищення пропускної здатності ПЛ за рахунок збільшення перерізу проводів, підвищення її механічної міцності (за рахунок установа додаткових опор задля зменшення довжини прольотів тощо), оснащення ПЛ пристроями автоматики, телемеханіки і дистанційних визначень місць пошкодження, роботи з модернізації або заміни основного устаткування ТП на устаткування більшої потужності або більш високої номінальної напруги, зміни електричної схеми ТП тощо.

Питанню проектування розподільних мереж з використанням баз даних автоматизованої системи побудови типових графіків навантажень розглядалось у статті [23], однак не були опрацьовані питання використання цих даних в техніко-економічному обґрунтуванні технічних рішень реконструкції. А фактичне та перспективне навантаження є основою для визначення необхідного перерізу проводів, втрат напруги та електроенергії.

ОСР на сьогодні використовують автоматизовані системи управління активами. У [24] обґрунтовувалось, що, як правило, вони застосовуються не в повній мірі, але не запропоновані рекомендації щодо зміни цієї ситуації. Як відомо за роботами [25,26] сучасні сервісно-орієнтовані ERP-системи дозволяють компаніям (в тому числі ОСР) адаптувати та налагоджувати інформаційні потоки та інтегрувати різноманітні інформаційні системи, інтегрувати дані різних баз, що створені на підприємстві. У дослідженні [27,28] були опубліковані рекомендації щодо інтеграції певних баз даних ОСР для створення консолідованої інформації, що може використовуватися в процесах підтримки прийняття рішень у інвестиційних планах забезпечення виконання робіт технічної експлуатації об'єктів розподільних мереж, але не враховані зими у останніх постановках НКРЕКП та деякі можливі розширення переліку баз даних та їхнього використання в автоматизованій системі обґрунтування реконструкції об'єктів розподільних мереж.

*Основна частина.* Як показав аналіз прикладів обґрунтування реконструкції об'єктів розподільних мереж, що на момент дослідження був у вільному доступі на сайтах ОСР, до технічних



аспектів, як правило, ОСР відносять: оцінку технічного стану об'єктів розподільних мереж, що визначається згідно [22]; показники якості електропостачання; технологічні втрати електричної енергії; пропускну здатність системи розподілу тощо.

Висновок про технічний стан розподільних мереж електропостачання роблять за чинним в Україні стандартом [22]. Щорічно кожний ОСР має звітувати перед Держенергонаглядом щодо якісної та кількісної оцінки технічного стану розподільних мереж за формою 56-енерго [29]. Відповідно, в кожному ОСР формується база даних для цієї звітності, яку позначимо через DB-56, де крім висновків про технічний стан кожного об'єкта розподільної мережі, є їхні технічні характеристики (довжина ділянок ПЛІ з проводом певного перерізу, типи опор, потужність трансформаторів тощо).

Аналіз показав, що в обґрунтуванні реконструкції об'єктів розподільних мереж не враховується кількісна оцінка технічного стану розподільних мереж, а лише якісна оцінка. Тобто на основі зафіксованих дефектів визначається коефіцієнт дефектності (КД) об'єктів розподільних мереж. Якщо він в межах від 25 до 50%, то робиться висновок, що цей об'єкт потребує реконструкції, так як об'єкт або сукупність об'єктів знаходяться у незадовільному технічному стані. В інших випадках приймається рішення залежно від значення КД про технічне обслуговування, або про капітальний ремонт, або про повну заміну об'єкту розподільних мереж.

Однак в цієї статті розглядається саме випадок автоматизованого прийняття рішення про реконструкцію, що має бути обґрунтованим в інвестиційних програмах ОСР (хоча загальний підхід та частка рекомендацій розповсюджуються і на інші варіанти). Висновок про те, в якому технічному стані знаходяться об'єкти розподільних мереж (доброму, задовільному, незадовільному або непридатному) – це якісна оцінка.

Кількісна оцінка дозволяє зробити прогноз ймовірної кількості відмов в наступному році за наявності зафіксованих дефектів на 31 грудня попереднього року. Це можна використовувати, наприклад, для визначення ймовірної тривалості відключення електропостачання внаслідок термінового усунення відмов та врахування у прогнозованому загальному показнику обсягу недовідпущеної електроенергії.

Розглянемо приклад застосування наявних баз даних ОСР (розрахункових, звітних, довідникових) для використання кількісної оцінки технічного стану ПЛІ у визначенні ймовірної тривалості ремонтів для термінового усунення відмов (за умови, що реконструкцією не будуть виконувати, а дефекти, що були зафіксовані



на 31 грудня попереднього року, залишається до усунення після відмови).

Скористаємося вихідними даними прикладу у [24] з однієї з інвестиційних програм АТ «Чернігівобленерго». Перелік та кількість дефектів, які зафіксовано на 31 грудня звітного року на ПЛ напругою 0,38 кВ «ТП-1 – вул. Воровського», технічний стан якої визначений як незадовільний з КД = 43,6 (тобто ця ПЛ потребує реконструкції). Відповідні найменування дефектних елементів та кількість дефектів одного типу (з бази даних DB-56) зведені до таблиці 1 як вихідні дані для розрахунків.

Також як вихідні дані з DB-56 до таблиці 1 вносяться дані щодо ймовірності відмови об'єкта (відн. од/рік) – це довідникові дані стандарту [24]. Вони використовуються для складання звітності за формою 56-енерго, коли розраховується прогнозна кількість відключень ПЛ на наступний рік  $VO_{ПЛ}$  (відкл./рік) – це кількісна оцінка технічного стану ПЛ.

Таблиця 1

Приклад використання наявних баз даних для визначення ймовірної тривалості ремонтів після прогнозованої відмови ПЛ

Найменування дефектного елемента	DB-56			DB-PM		DB-11 <sub>060</sub>
	Кількість дефектів одного типу	Ймовірність відмови об'єкта, відн. од/рік	$VO_{ПЛ}$ , відкл./рік	Норма часу, люд.год	Необхідна кількість електромонтерів для усунення дефекту	Ймовірна тривалість ремонту, год.
Стійки дерев'яні	5 шт.	0,8	4	7,62	3	10,2
Опори залізобетонні	17 шт.	0,2	3,4	0,99	3	1,1
Провід неізольований	4,874 км	0,8	3,9	11,35	3	14,8
Відгалуження від опор ПЛ до введів	54 шт.	0,4	21,6	2,8	2	30,2

З бази даних DB-PM модулю РМ «Техобслуговування й ремонт обладнання» ERP-системи до розрахунків залучаємо інформацію типових технологічних карт, зокрема, зі стандарту [30] щодо норм часу та необхідної кількості електромонтерів для усунення причини відмови.



Формуємо результати розрахунків ймовірної тривалості ремонту (год.) у разі аварійної відмови об'єкту внаслідок наявних дефектів, що були зафіксовані на 31 грудня звітного року, у ДВ-11<sub>060</sub>. Пропонується так позначити цю базу даних, бо вона створюється для врахування часу на проведення аварійних відновлювальних робіт (в даному випадку прогнозне значення), а у формі звітності №11-НКРЕКП-якість-розподіл «Звіт щодо показників надійності (безперервності) електропостачання» фактичні значення звітного періоду заносяться до графі 060. Як показав аналіз, ОСР використовують для техніко-економічного обґрунтування реконструкції об'єктів розподільних мереж саме звітні фактичні дані. А цей приклад у таблиці 1 (визначення ймовірної тривалості ремонтів для термінового усунення причини відмови ПЛ із залученням інформації наявних баз даних та з формуванням бази даних для наступного етапу техніко-економічного обґрунтування реконструкції ПЛ) ілюструє можливість прогнозних розрахунків на основі кількісної оцінки технічного стану об'єктів розподільних мереж, з використанням певних баз даних, яку ОСР не використовують.

Важливим етапом обґрунтування реконструкції об'єктів розподільних мереж є визначення технологічних втрат електроенергії ( $\Delta W^{(p)}$ ) згідно з [31] та втрат напруги ( $\Delta U$ ) після реконструкції.

На рис. 1 приведена блок-схема прикладу розрахунків  $\Delta W^{(p)}$  та  $\Delta U$  з використанням наявних та з формуванням нових баз даних для наступного врахування в обґрунтуванні реконструкції ПЛ напругою 10 кВ із заміною проводів.

На рис. 1 використовуються такі позначення:

$U_n$  – номінальна напруга;

$I_j$  – струм на  $j$ -тій ділянці ПЛ;

$k_\phi$  – коефіцієнт форми графіка навантаження;

$S_j$  – повна потужність на  $j$ -тої ділянці ПЛ;  $l_j$  – довжина  $j$ -тої ділянки ПЛ;

$r_{0j}$ ,  $x_{0j}$  – питомі, відповідно, активний та індуктивний опори  $j$ -тої ділянки ПЛ;

$T_p$  – час роботи ПЛ під навантаженням протягом розрахункового періоду;

ДВ-АСКОЕ – база даних автоматизованої системи комерційного обліку електричної енергії;

ДВ- $\Delta W^{(p)}$  та ДВ- $\Delta U$  – сформовані бази даних результатів розрахунку відповідно технологічних втрат електричної енергії та втрат напруги;

ДВ-RX – база довідникових даних щодо технічних характеристик проводів, яка може бути окремою базою даних або складовою ДВ-56.

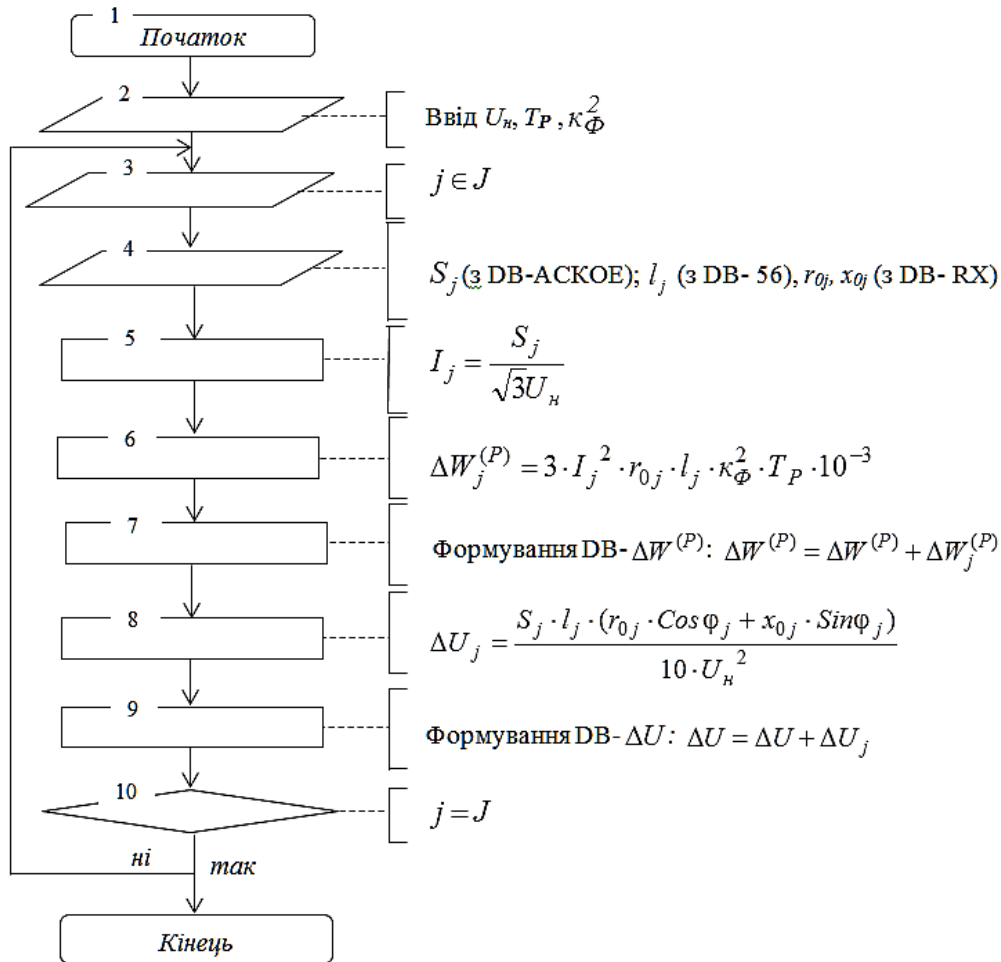


Рис. 1. Блок-схема алгоритму розрахунків  $\Delta W^{(p)}$  та  $\Delta U$  з використанням наявних баз даних та з формуванням баз даних результатів розрахунків

Узагальнюючи, на рис. 2 представимо структурну схему з відповідними базами даних як джерелами інформації для визначення основних технічних показників, які можуть використовуватися в наступному обґрунтуванні інвестиційних програм реконструкції об’єктів розподільних мереж.

На схемі, що представлена на рис. 2, розглядаються такі технічні показники:

КД – коефіцієнт дефектності;

$\Delta W^{(p)}$  – технологічні втрати електричної енергії;

W – обсяг розподілу електричної енергії;

$\Delta U$  – втрати напруги;

SAIDI, SAIFI та ENS – показники якості електропостачання.

Крім вже згаданих баз даних DB-56, DB-АСКОЕ, DB-RX, DB-PM, DB- $\Delta W^{(p)}$ , DB- $\Delta U$ , DB-11<sub>060</sub> на рис. 2 також приведені такі умовні позначення баз даних:

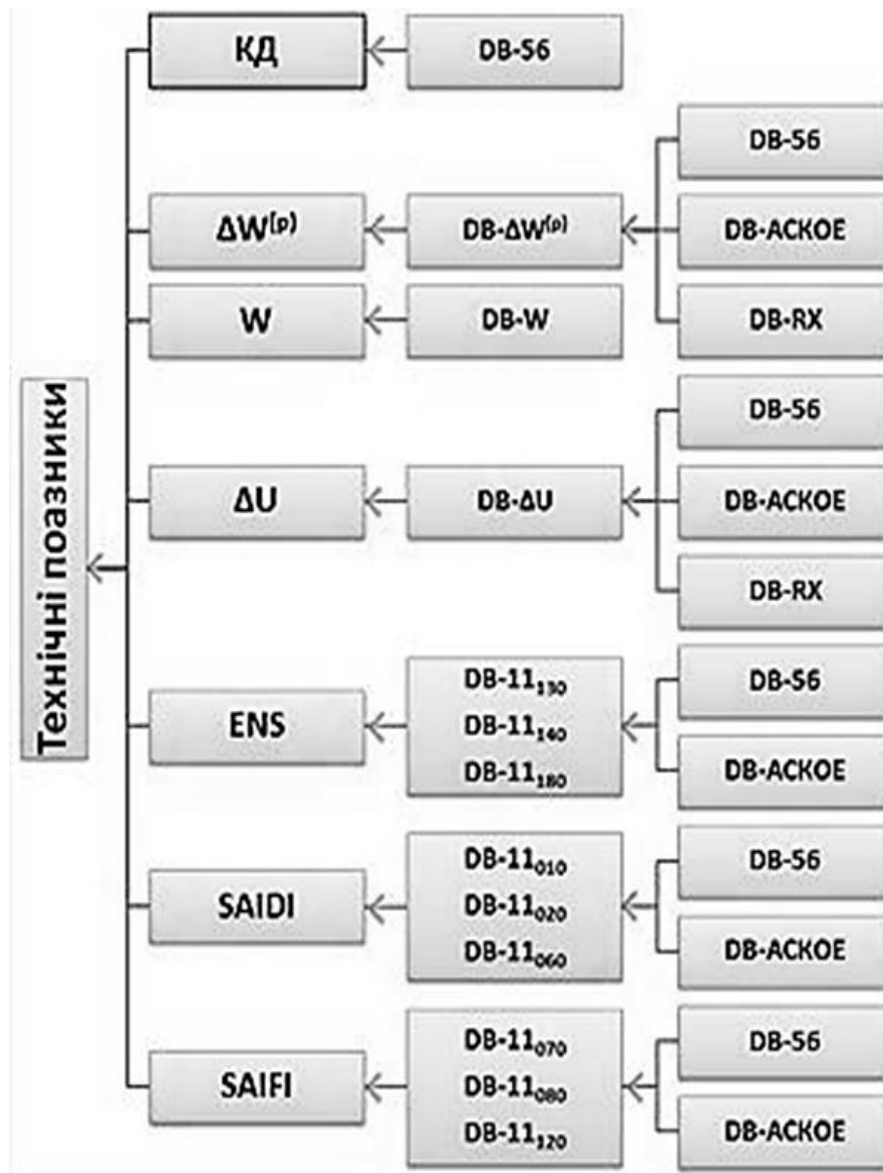


Рис. 2. Узагальнена структура баз даних для розрахунків технічних показників в обґрунтуванні реконструкції об'єктів розподільних мереж

DB-11<sub>010</sub> – база даних для врахування часу на проведення планових ремонтних робіт (у формі звітності №11-НКРЕКП-якість-розподіл «Звіт щодо показників надійності (безперервності) електропостачання» це графа 010);

DB-11<sub>130</sub> – база даних для врахування невідпуску електричної енергії внаслідок запланованих перерв на проведення ремонтів з відключенням споживачів (у формі звітності №11-НКРЕКП-якість-розподіл це графа 130);

DB-11<sub>180</sub> – база даних для врахування невідпуску електричної енергії внаслідок технологічних порушень в електричних мережах ОСР (у формі звітності №11-НКРЕКП-якість-розподіл це графа 180);

DB-W – база даних щодо обсягів розподілу електричної енергії;





DB-1175 – база даних для розрахунку тарифу на розподіл електричної енергії, яка формується в кожному ОСР згідно [32].

Збільшення пропускної здатності системи розподілу (відповідно і в перспективі – збільшення обсягів розподілу електричної енергії  $W$ ) відбувається після реконструкції об'єктів системи розподілу, наприклад, якщо замінюють трансформатори на ТП на трансформатори більшої потужності, або замінюють проводи ПЛ на проводи більшого перерізу. Відповідно, це можна враховувати в обґрунтуванні реконструкції об'єктів розподільної мережі, визначивши прогнозовані обсяги розподілу електричної енергії. При цьому, сформована база даних DB-W може бути складовою відповідної бази даних для розрахунку тарифу на розподіл електричної енергії згідно з Постановою НКРЕКП №1175 [32] (DB-1175). Однак, збільшення пропускної здатності системи розподілу не є вирішальним фактором щодо збільшення обсягів розподілу електричної енергії, на це впливають і інші фактори (показники зростання ділової активності, насамперед). Тому, якщо термін окупності інвестицій незначний, то при розрахунках також використовують і фактичні обсяги розподілу електричної енергії попереднього року з DB-АСКОЕ.

*Висновки.* Приведені результати дослідження використання баз даних, що існують для звітності ОСР, та які формуються за результатами розрахунків та за довідниковими даними, можуть бути корисними для інтеграції цих даних до консолідованого інформаційного простору компанії для щорічного автоматизованого обґрунтування інвестиційних програм реконструкції об'єктів розподільних мереж. Також може бути корисною для цієї мети розроблена та запропонована до використання блок-схема алгоритму розрахунків технологічних втрат електричної енергії та втрат напруги з використанням наявних баз даних.

*Список використаних джерел.*

1. 6th CEER Benchmarking Report on the Quality of Electricity and Gas Supply – 2016, CEER, August 2016.
2. Qawaqzeh M. Z., Szafraniec A., Halko S., Miroshnik O., Zharkov, A. Modelling of a household electricity supply system based on a wind power plant. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2020. Vol. 96(11). P. 36-40. <https://doi.org/10.15199/48.2020.11.08>.
3. Szafraniec A., Halko S., Miroshnik O., Figura R., Zharkov A., Vershkov O. Magnetic field parameters mathematical modelling of wind-electric heater. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2021. Vol. 97(8). P. 36-41. <https://doi.org/10.15199/48.2021.08.07>.



4. Галько С. В., Жарков В. Я., Жарков А. В. Технології та засоби перетворення відновлюваних джерел енергії для приватних домогосподарств: монографія. Мелітополь: Люкс, 2019. 215 с.

5. Галько С. В. Експериментальне дослідження і визначення параметрів когенераційного фотоелектричного модуля для гібридних сонячних електростанцій. *Традиційні та інноваційні підходи до наукових досліджень*: матеріали Міжнар. наук. конф., 10 квіт. 2020 р. Луцьк: МЦНД, 2020. Т. 1. С. 83-90. <https://doi.org/10.36074/10.04.2020.v1.10>.

6. Галько С. В. Використання когенераційних фотоелектричних модулів для зарядки акумуляторів електромобілів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки*. Мелітополь: ТДАТУ. 2019. Вип. 19, т. 3. С. 130-141. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-19-3-130-141>.

7. Halko S., Halko K. Research of electrical and physical characteristics of the solar panel on the basis of cogeneration photoelectric modules. *Integración de las ciencias fundamentales y aplicadas en el paradigma de la sociedad post-industrial: Colección de documentos científicos «ΛΟΓΟΣ» con actas de la Conferencia Internacional Científica y Práctica*, 24 de abril de 2020. Barcelona, España: Plataforma Europea de la Ciencia, 2020. Vol. 2. P. 39-44. <https://doi.org/10.36074/24.04.2020.v2.10>.

8. Savchenko O., Miroshnyk O., Moroz O., Trunova I., Sereda A., Dudnikov S., Kozlovskiy O., Buinyi R., Halko S. Improving the efficiency of solar power plants based on forecasting the intensity of solar radiation using artificial neural networks. *2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2021. P. 137-140. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570009>.

9. Про затвердження Порядку забезпечення стандартів якості електропостачання та надання компенсацій споживачам за їх недотримання: Постанова НКРЕКП від 12.06.2018 № 375. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0375874-18#Text> (дата звернення 15.03.2024).

10. Du M. Q., Li Y., Liu C. F., Liang T. J. Low-Voltage Analysis of Distribution Network Software Design and Application. *Energy and Power Engineering*. 2017. Vol. 9. P. 183–188. <https://doi.org/10.4236/epe.2017.94B022>.

11. Bertling L., Allan R., Eriksson R. A reliability-centered asset maintenance method for assessing the impact of maintenance in power distribution systems. *IEEE Trans. Power Syst.* 2005. Vol. 20(1). P. 75–82. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2004.840433>.

12. Pan J., Qi M. Study on short-term load forecasting of distributed power system based on wavelet theory. *10th International Conference on*



*Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA)*. Changsha, China. 2018. P. 170-173.

13. Мирошник А. А. Анализ состояния проблемы качества электрической энергии в сельских сетях. *Вестник НТУ «ХПИ». Серия «Энергетика: надежность и энергоэффективность»*. 2011. Вып. 41. С. 100–104.

14. Самойленко І. О. Методичні засади щодо економічної оцінки впливу якості електроенергії на організацію економічної діяльності на регіональному рівні. *Сталий розвиток економіки*. 2013. № 2. С. 153-158.

15. Tang Z. The Influence of Decentralized Charging Pile Connection on Voltage Deviation of Distribution Network. *Journal of Physics Conference Series*. 2023. Vol. 2592(1). e012095. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2592/1/012095>.

16. Song H., Lee S. Study on the Systematic Design of a Passive Balancing Algorithm Applying Variable Voltage Deviation. *Electronics*. 2023. Vol. 12(12). P. 2587. <https://doi.org/10.3390/electronics12122587>.

17. Yingyuan Z. L., Zhao L. L., Fan Y. Study on Influence of Voltage Deviation on Loss of Low Voltage Distribution Network. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 440(3). e032030. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/440/3/032030>.

18. Pazyi V., Miroshnyk O., Moroz O., Trunova I., Savchenko O., Halko S. Analysis of technical condition diagnostics problems and monitoring of distribution electrical network modes from smart grid platform position. *2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2020. e9250080. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250080>.

19. Мартиненко Д. О., Трунова І. М. Аналіз передвоєного стану надійності електропостачання розподільними мережами. *Молодь і індустрія 4.0 в XXI столітті: матер. XIX Міжнар. форуму молоді*. 2023. URL: <https://btu.kharkov.ua/novini/mizhnarodnyj-forum-molodi-molod-i-industriya-4-0-v-xxi-storichchi/> (дата звернення 14.03.2024).

20. Трунова І. М., Мірошник О. О., Мороз О. М. Аналіз ефективності використання інвестицій для підвищення надійності електропостачання. *Енергетика. Енергозбереження. Енергоаудит*, 2020. № 10(152). С. 23-29.

21. Зінов'єв О. Д. Аналіз технічного стану розподільних мереж. *Молодь і сільськогосподарська техніка в XXI столітті: зб. матеріалів XVII-ого Міжнародного форуму молоді*. Харків: ХНТУСГ, 2021. С. 163.

22. Методичні вказівки з обліку та аналізу в енергосистемах технічного стану розподільних мереж напругою 0,38—20 кВ з



повітряними лініями електропередачі: СОУ-Н МПЕ 40.1.20.576:2005. Офіц. вид. Київ: М-во палива та енергетики України, 2005. 67 с.

23. Trunova I., Miroshnyk O., Moroz O. The analysis of use of typical load schedules when the design or analysis of power supply systems. *IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2020. e9250120. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250120>.

24. Трунова І. М., Дишлевський А. В., Куліш Л. О. Вдосконалення методики обґрунтування реконструкції об'єктів розподільних мереж. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*. Серія: Енергетика, надійність та енергоефективність. 2020. № 1(1). С. 84-88.

25. Georges E. K. Building a Service-Oriented ERP from an Open Source Software. *Fourth International Conference on Software Engineering Advances*. Porto, Portugal, 2009. <https://doi.org/10.1109/ICSEA.2009.14>.

26. Arachchi S. M., Chong S. C., Kathabi A. System Implementation Failures in the ERP Development Process. *Journal of Computer and Communications*. 2019. 7. P 112-127. <https://doi.org/10.4236/jcc.2019.712011>.

27. Al Issa H. A., Trunova I., Miroshnyk O. Databases Case Study in Substantiation of Reconstruction of Power Distribution Networks Objects. *IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*. 2021. e9598684. <https://doi.org/10.1109/MEES52427.2021.9598684>.

28. Trunova I., Miroshnyk O., Moroz O., Savchenko O., Pazyi V., Sereda A., Halko S., Buinyi R. The substantiation of reconstruction of power distribution networks objects. *2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2021. P. 126-131. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570107>.

29. Перелік форм відомчої статистичної звітності. Офіційний веб-портал Державної служби статистики України. URL: [https://ukrstat.gov.ua/metod\\_zv\\_doc/min\\_paluva.html](https://ukrstat.gov.ua/metod_zv_doc/min_paluva.html) (дата звернення 14.03.2024).

30. Типові технологічні карти на капітальний ремонт та технічне обслуговування електричних мереж напругою 0,4-20 кВ: СОУ-Н МПЕ 40.1.20.663:2005. Офіц. вид. Київ: М-во палива та енергетики України, 2005. 167 с.

31. Методичні рекомендації визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання: СОУ-Н ЕЕ 40.1-37471933-82:2013. Офіц. вид. Київ: М-во палива та енергетики України, 2013. 61 с.

32. Про затвердження Порядку встановлення (формування) тарифів на послуги з розподілу електричної енергії: Постанова



НКРЕКП від 05.10.2018 № 1175. URL:  
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v1175874-18#Text> (дата звернення  
14.03.2024).

*Стаття надійшла до редакції 21.03.2024 р.*

**I. Trunova<sup>1</sup>, O. Miroshnyk<sup>1</sup>, A. Sereda<sup>1</sup>, S. Dudnikov<sup>1</sup>, V. Pazi<sup>1</sup>, O. Moroz<sup>1</sup>,  
O. Savchenko<sup>1</sup>, S. Popadchenko<sup>1</sup>, S. Halko<sup>2</sup>, I. Ladyzhynskyi<sup>1</sup>,**  
<sup>1</sup>State Biotechnological University  
<sup>2</sup>Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

## **AUTOMATED SYSTEM OF JUSTIFICATION FOR RECONSTRUCTION OF DISTRIBUTION NETWORK OBJECTS**

### *Summary*

Proposed recommendations on the use of databases that exist for drawing up reporting forms of distribution system operators to state regulatory and activity control bodies (in particular, the National Commission for State Regulation in the Energy and Utilities Sectors and the State Energy Supervision Inspection of Ukraine), which can be created by the results of certain calculations of technical indicators and by reference data, to create consolidated information. The information obtained from various databases constitutes an adequate information model that can be used in decision-making support processes regarding the content of investment plans for the technical operation of distribution network facilities – reconstruction, overhaul, etc. of power lines, transformer substations, and distribution points. An example of the use of specified databases in the automated justification system for the reconstruction of power distribution network facilities is considered. A structural diagram of the use of databases of the Distribution Systems Operator for calculating the technical indicators of the reconstruction of power distribution network facilities has been developed. For practical implementation in an automated system, a block diagram of algorithms for calculating voltage losses and technological losses of electric energy with integration of existing databases of operators of electric energy distribution systems is proposed. The basis for the further development of the block diagram of the economic justification of the reconstruction of the overhead power line with the integration of the database of economic costs of the previous year before the reconstruction is laid. The presented results of the study of the use of databases that exist for DSO reporting, and which are formed based on the results of calculations and reference data, can be useful for the integration of these data into the consolidated information space of the company for the annual automated justification of investment programs for the reconstruction of distribution network facilities. A block diagram of the algorithm for calculating technological losses of electrical energy and voltage losses using existing databases may also be useful for this purpose.

**Keywords:** database integration, consolidated information, reconstruction, power supply distribution network, investment plans.



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2-9

УДК 621.91

М. І. Бабич<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID 0000-0003-1295-4162

В. М. Боярчук<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID 0000-0002-2192-0143

С. В. Сиротюк<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID 0000-0001-9966-6299

С. В. Коробка<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID 0000-0002-4717-509X

М. А. Михалюк<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID 0000-0003-3521-1302

І. Г. Стукалець<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID 0000-0001-7107-4865

С. М. Баранович<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID 0000-0001-8671-6517

<sup>1</sup> Львівський національний університет природокористування

e-mail: m.babych@ukr.net, тел.: +380977635832

## ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ВОДИ І НАПОРУ ДЕРИВАЦІЙНИХ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ГІРСЬКИХ РІЧКАХ

*Анотація.* В статті розглянуто особливості використання гідроелектростанцій на гірських річках. Наведено принципову схему та принципи дії дериваційної гідроелектростанції. Обґрунтовано режими роботи гідроелектростанції на гірській річці. Означено основні складові гідроенергетичного потенціалу гірської річки, а саме витрати води і статичного напору. Описано методика для визначення витрати води на прикладі гірської річки. Запропоновано формулу, за якою можна прогнозувати витрату води в створах річки де відсутні щоденні спостереження за стоком. Визначено витрату води та статичний напір в створах річки, що є основою для обґрунтування параметрів дериваційної гідроелектростанції.

Доведено, що застосування дериваційної схеми створення напору дає змогу ефективніше використати потенціал гірської річки з мінімальним екологічним впливом та меншими капіталовкладеннями.

*Ключові слова:* річка, витрата води, напір, дериваційний канал, гідроелектростанція.

*Постановка проблеми.* Україна, яка має величезні гідроенергетичні ресурси, але використовує їх лише на 50%. Зокрема щороку на гідроелектростанціях (ГЕС) України виробляється біля 11 млрд. кВт·год. чистої електроенергії. Ці показники можна подвоїти в основному за рахунок гідроенергетичного потенціалу малих річок, який складає 2 млн. кВт, з яких 30 % зосереджено у Карпатському регіоні [3]. Найоптимальнішими для малої гідроенергетики є саме гірські річки Карпатського регіону, які практично неосвоєні. Завдяки різким перепадам місцевості тут можливо створити необхідний



напір без вкладання великих коштів і без використання гребель і водосховищ.

Неосвоєність гірських річок насамперед пов'язана з невивченістю їх витрат води і напорів з позиції гідроенергетики. Для ефективного освоєння гідроенергії річок насамперед необхідно розробити відповідні методики, які давали б змогу визначити витрату води та напір досліджуваної річки для обґрунтування параметрів ГЕС.

*Аналіз останніх досліджень.* Аналіз літератури щодо обґрунтування основних показників ГЕС для виробництва електроенергії на рівнинних і гірських річках свідчить про належне опрацювання даної теми. Проаналізовані дослідження можна розділити на дві групи. До першої групи входять роботи присвячені визначенню гідроенергетичного потенціалу річок [4, 6] та вимірюванню витрати води [10]. До другої групи віднесемо роботи присвячені обґрунтуванню параметрів ГЕС, зокрема гідротурбін [5, 7-9, 11].

У роботах [4, 6] здійснено аналіз гідропотенціалу річок України. Зокрема в [4] проведено розрахункові дослідження потенціалу гідроенергетичних ресурсів основних малих річок України, а в [6] здійснено огляд стану малої гідроенергетики України і обґрунтовано перспективні зони для спорудження ГЕС. Однак в роботах не враховувалось питання мінливості витрати води протягом сезону, а наведені значення середньорічних значень витрат води.

У роботі [5] розглядається електрозабезпечення автономного споживача у важкодоступних районах Ірану за рахунок визначення оптимального місця розташування і потужності мікро-ГЕС. Визначення водного потенціалу було розглянуто лише частково.

У праці [7] розглянуто перспективи застосування мікро-ГЕС для електрозабезпечення віддалених споживачів Узбекистану. Проте методика є дуже загальною та більше стосується процесу перетворення гідравлічної енергії потоку рідини в електричну енергію, а саме узгодження асинхронного генератора з гідротурбіною.

У роботі [8] обґрунтовано використання мікро-ГЕС для конкретних умов регіону в Узбекистані. Зокрема наведена методика визначення основних параметрів ГЕС – витрати води, напору, потужності. Але питання визначення витрати води не розкрито, адже в дослідженні використано мікро-ГЕС на готових водозабірних спорудах, зокрема на гідрозатворах, де вже є відомою витрата води.

У роботі [9] обґрунтовано використання різних типів турбін залежно від гідрологічних характеристик річки та прийнятих умов роботи мікро-ГЕС. Результати можна застосувати лише частково, оскільки в роботі для створення напору розглянуто греблю, а не деривацію, що передбачає відмінності в розрахунках параметрів ГЕС.



Цікавою є робота [10], в якій розглядаються існуючі методи вимірювання витрати води на гідроелектростанціях та їх ефективність, що допомагає аналізувати продуктивність гідротурбін.

У [11] представлені результати дослідження та методика розрахунку водовідвідних споруд низького напору ГЕС зі встановленою поперечно-реактивною гідротурбіною, на яку вода подається за допомогою безнапірної деривації. Нажаль дослідження не має прив'язки до конкретних умов, питання мінливості витрати води не враховується, а також є відмінності між застосованою безнапірною деривацією в порівнянні з нашою напірною, тому результати можна використати тільки частково.

Отже, проаналізувавши доступну літературу [12-23], приходимо до висновку, що для ефективного використання гідроенергетичного потенціалу малих річок необхідне застосування підходів, поєднаних єдиною методологією з використанням системного підходу – починаючи від визначення основних характеристик річки і закінчуючи обґрунтуванням параметрів ГЕС.

*Формулювання мети статті (постановка завдання).* Метою даного дослідження є розроблення відповідних методик, які давали б змогу визначити витрату води та напір на прикладі гірської річки, для обґрунтування параметрів дериваційної ГЕС. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити методику визначення миттєвої витрати води на прикладі гірської річки;
- визначити статичний напір та середньорічну витрату води для досліджуваної ділянки гірської річки;
- розробити методику визначення робочого напору дериваційної ГЕС та розглянути режими її роботи.

*Основна частина.* Обґрунтування параметрів ГЕС, це насамперед узгодження діапазону робочих показників гідротурбіни з характеристиками досліджуваної ділянки річки. Основними характеристиками річки є витрата води і ухил ділянки для можливого встановлення гідроелектростанції від якого буде залежати напір. Основними показниками гідротурбін є робочі діапазон витрати води і напору. На підставі узгодження витрат води і напорів гідротурбіни і річки обґрунтовують параметри гідротурбіни [2]:

$$\begin{cases} q_{\min} \leq q \leq q_{\max}; \\ H_{\min} \leq H \leq H_{\max}; \\ P \leq N_{\max}, \end{cases} \quad (1)$$

де  $q$ ,  $q_{\min}$ ,  $q_{\max}$  – відповідно розрахункова, мінімальна і максимальна допустимі витрати води обраної гідротурбіни, м<sup>3</sup>/с;  $H$ ;



$H_{min}$ ,  $H_{max}$  – відповідно робочий, мінімальний і максимальний напори гідротурбіни, м;

$P$ ,  $N_{max}$  – відповідно вироблена і максимальна потужності ГЕС, кВт.

Ефективність роботи гідротурбіни залежить від забезпечення безперебійної подачі води при постійному напорі.

Використання витрати води на потреби ГЕС на малих річках має свої особливості. Якщо ми розглядаємо дериваційну схему створення напору без накопичувальних резервуарів і водосховищ, тоді доступним є тільки природний стік, тобто реальна витрата води у часі. Також потрібно врахувати, що не можна використовувати всю воду з річки на потреби ГЕС, а тільки дозволену частину.

Принципова схема дериваційної ГЕС (рис. 1) складається з водозабору, напірного резервуару, дериваційного каналу, турбінного трубопроводу, турбіни, генератора, водозливу [1].

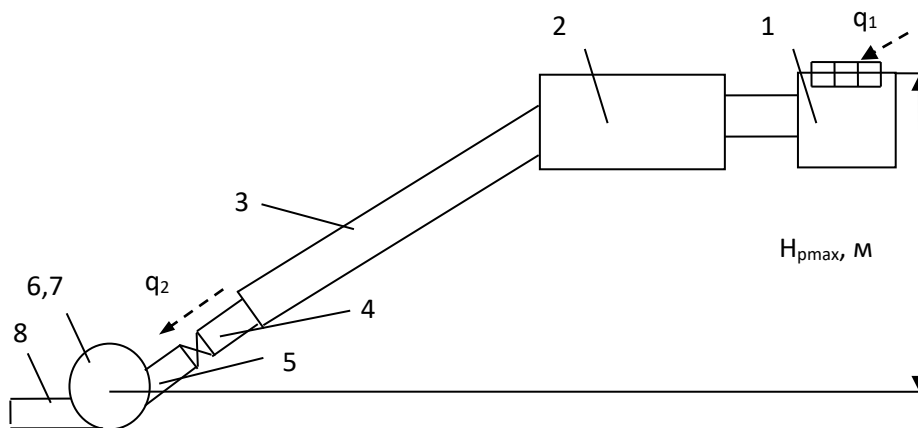


Рис. 1. Схема дериваційної ГЕС:

1 – водозабір; 2 – напірний резервуар; 3 – деривація; 4 – турбінний трубопровід; 5 – заслінка; 6 – турбіна; 7 – генератор; 8 – водозлив

Принцип дії дериваційної ГЕС полягає в наступному – вода з річки через решітки потрапляє в водозабірний басейн 1, звідки очищена від каміння і різного бруду надходить у напірний резервуар 2. З напірного резервуару дериваційним каналом 3 і турбінним трубопроводом 4 вода подається в спіральну камеру турбіни на направляючий апарат, а потім на робоче колесо, де здійснюється відбір потужності водяного потоку. Після робочого колеса вода через водозлив знову відводиться в річку.

Зважаючи на мінливість витрати води протягом року, можна виділити два основні режими роботи дериваційної ГЕС (рис. 2). ГЕС працює в першому режимі за умови  $H^{max} \geq H_p > H^{min}$ . У такому разі робочий напір  $H_p$  відповідає встановленому діапазону робочих напорів турбіни.

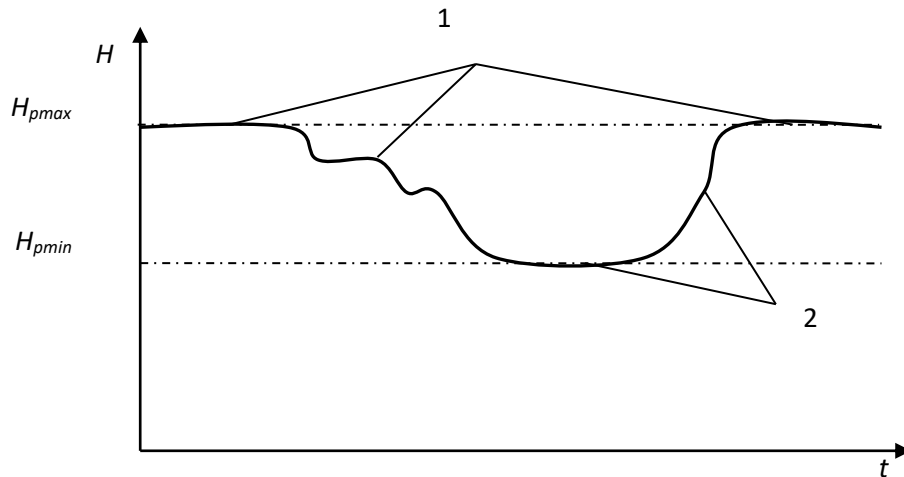


Рис. 2. Графік зміни робочого напору дериваційної ГЕС

Об'єм води  $\Delta V$  (рис. 3), яким може заповнюватися дериваційний канал за час  $\Delta t$ , визначається:

$$\Delta V^{(1)} \leq (q_1 - q_2) \cdot \Delta t, \quad (2)$$

де  $q_1 = Q_1 - \alpha \cdot Q_{1min}$  – витрата води, яка може відбиратися водозабором з врахуванням екологічних вимог ( $Q_1$  – витрата води в річці в точці відбору,  $m^3/c$ ,  $\alpha$  – відсоток використання мінімального потоку ( $\alpha$  – 10% від мінімального потоку),  $Q_{1min}$  – розрахункова мінімальна витрата води на початку деривації,  $m^3/c$ ;

$q_2$  – витрата води крізь турбіну,  $m^3/c$ .

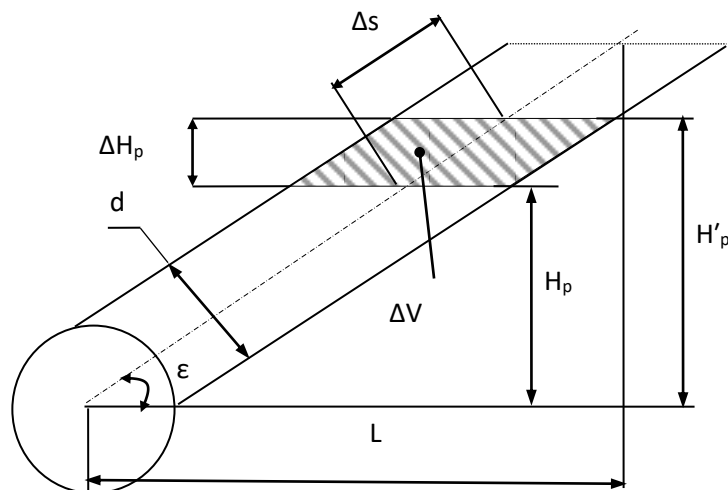


Рис. 3. Поперечний переріз дериваційного каналу

Приріст робочого напору  $\Delta H_p$  в першому режимі роботи ГЕС за час  $\Delta t$  розраховується:



$$\Delta H_p^{(1)} = \Delta V^{(1)} \cdot \frac{4}{\pi \cdot d^2} \cdot \sin \varepsilon. \quad (3)$$

Тоді робочий напір у момент часу  $(t + \Delta t)$  становитиме:

$$H_p(t + \Delta t) = H_p^{(t)} + \Delta H_p^{(1)} \leq H_{p \max}. \quad (4)$$

Під час зимових місяців і посушливих періодів року обсяг води в річках є незначним. Витрата води в річці може не відповідати діапазону робочих витрат турбіни  $q < q_{T \min}$  і відповідно  $H_p < H_p^{\min}$ . При цьому станція відключається автоматично. ГЕС працює в другому режимі, який починається з точки  $H_p = H^{\min}$  (рис. 2).

Оскільки дериваційний канал перекритий автоматично і, відповідно, витрата води через турбіну  $q_2 = 0$ , то об'єм води  $\Delta V^{(2)}$ , яким наповнюється дериваційний трубопровід за час  $\Delta t$ , у цьому режимі розраховується:

$$\Delta V^{(2)} = q_1 \cdot \Delta t. \quad (5)$$

Наповнення дериваційного каналу відбуватиметься доти, поки не виконається умова  $H_p = H^{\max}$ , після чого ГЕС знову вводиться в дію.

У формулах (3) і (4) використовується робочий напір, який для дериваційної схеми визначають, м:

$$H_p = H^{\text{br}} - h_w, \quad (6)$$

де  $H^{\text{br}}$  – статичний напір бруто, м;

$h_w$  – втрати напору у дериваційному каналі (відповідно втрати напору на подолання сил тертя, на зварних стиках трубопроводу, на місцеві опори тощо), м.

Напір бруто – статичний напір, визначають на підставі досліджень топографічних характеристик місцевості річки.

Визначення основних гідроенергетичних показників розглянемо на прикладі гірської річки Турички. Для дослідження витрати води використано багаторічні дані спостережень у створі річки де є водомірний пост. За результатами аналізу щоденних спостережень за даними водомірного посту (2018-2021р.) побудовано графік динаміки зміни витрати води протягом року (рис. 4).

Використовуючи дані за досліджуваний період для кожного місяця року сформовано вибірку, з метою врахування коливань витрати води. Застосовано методи математичної статистики для опрацювання даних, і встановлено що кожену з вибірок можна описати законом розподілу Вейбулла (рис. 5) [1, 2].

Густину функції розподілу витрати води (рис. 5) визначимо:

$$f(Q) = 0,86 \cdot \left( \frac{Q - 1,02}{1,238} \right)^{0,069} \cdot e^{-\left( \frac{Q - 1,02}{1,238} \right)^{1,059}}. \quad (7)$$

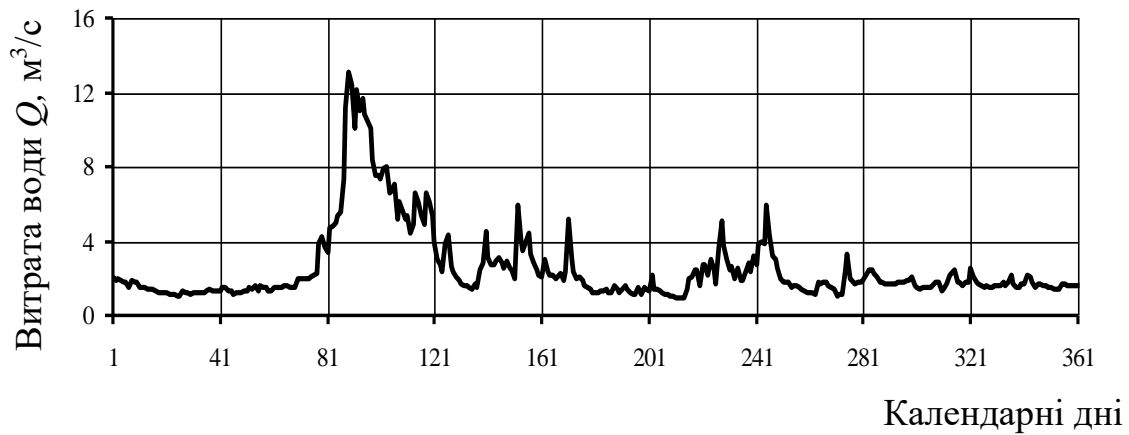


Рис. 4. Дані стоку річки Туричка

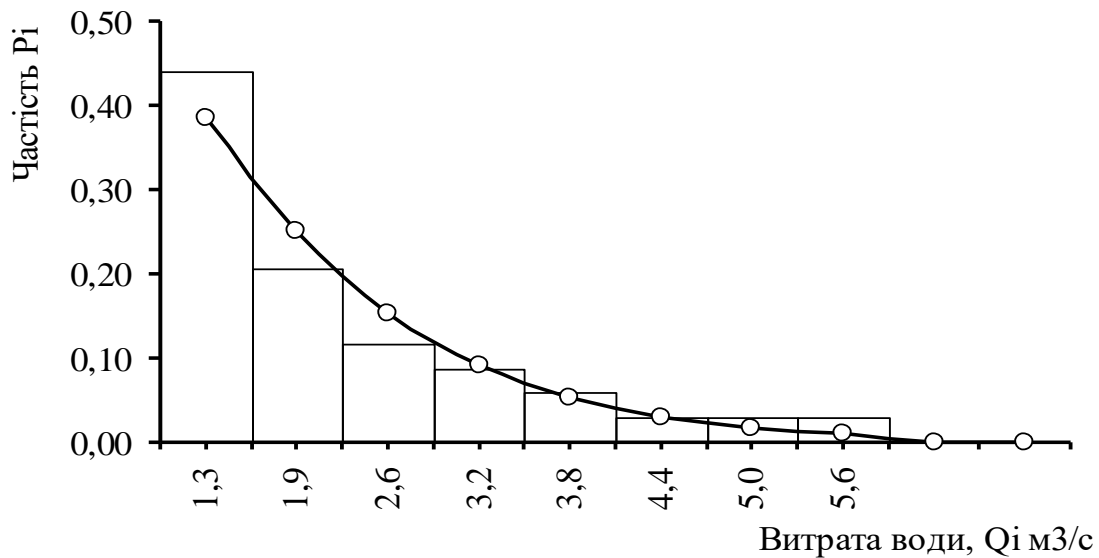


Рис. 5. Гістограма та теоретична крива розподілу витрати води річки Туричка (вересень 2018-2021 рр.)

Таким чином отримані числові характеристики розподілів витрат води для всіх місяців календарного року.

Для прогнозування витрати води в досліджуваному створі річки Турички, відповідно до закону розподілу Вейбулла, визначимо функцію генератора випадкової величини витрати води [1]:

$$Q = \left[ -\ln \cdot (1 - \xi)^{\frac{1}{b_m}} \right] \cdot a_m + Q_{\min} . \quad (8)$$

Оскільки на гірських річках витрата води різко змінюється вздовж русла, у зв'язку з різницею опадів в низовині та високогір'ї, ухилом русла тощо, функція (8) не зовсім придатна для створів вздовж

русла де немає спостережень по витраті води. Тому для визначення витрати води і напору по довжині річки Туричка використаємо результатами топографічних досліджень поздовжніх профілів гірських річок Карпатського регіону. Нами проаналізовано зміну середньої витрати води у річці за її протяжністю і побудовано графік, який наведено на рисунку 6. За нуль прийнято місце розташування водомірного поста. Також дослідивши топографічні характеристики місцевості річки, визначено зміну статичного напору за довжиною річки (рис. 6).

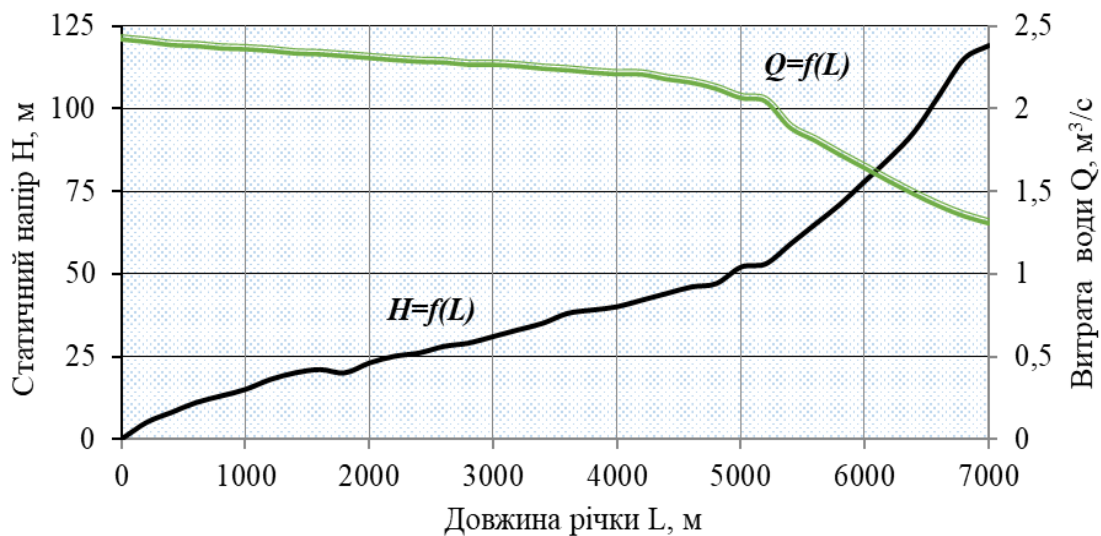


Рис. 6. Зміна статичного напору та середньорічної витрати води за довжиною річки Туричка

Якщо припустити, що потік води в річці взаємопов'язаний у різних перерізах, то і розподіл витрати води є подібним. Тому користуючись отриманими значеннями середньої витрати води за довжиною річки і параметрами розподілу (7) можемо прийняти, що витрата води  $\tilde{Q}$  з (8) відноситься до середнього значення витрати води  $\bar{Q}$  у створі  $L_1$  як  $\tilde{Q}(L_0)/\bar{Q}(L_0)$  [1]. Тоді у створі річки  $L_1$  витрата води:

$$\tilde{Q}(L_1) = \tilde{Q}(L_0) \cdot \frac{\bar{Q}(L_1)}{\bar{Q}(L_0)}. \quad (9)$$

Тоді функція генератора випадкової величини витрати води для інших недосліджуваних перерізів річки Туричка прийме вигляд [1]:

$$\tilde{Q}_1 = \left( \left[ -\ln \cdot (1 - \xi)^{\frac{1}{b}} \right] \cdot a + Q_{min} \right) \cdot \frac{\bar{Q}(L_1)}{\bar{Q}(L_0)}. \quad (10)$$

Отриману формулу (10) можна застосовувати для визначення та прогнозування витрати води у недосліджуваних створах річки.

*Висновки.* Обґрунтовано, що застосування дериваційної схеми створення напору дає змогу ефективніше використати потенціал



гірської річки з мінімальним екологічним впливом та меншими капіталовкладеннями. Запропонована методика визначення витрати води і напору є основою для обґрунтування оптимальних параметрів дериваційної ГЕС на річці та може бути використана для дослідження інших малих гірських річок.

Обґрунтування витрати води у створах річки за допомогою методів математичної статистики, дає можливість об'єктивно відобразити стохастичну поведінку витрати води в часі та її вплив на системні функціональні показники дериваційної ГЕС під час моделювання її роботи.

#### *Список використаних джерел*

1. Бабич М. І., Коробка С. В. Методика обґрунтування параметрів турбіни та дериваційного каналу мікрогідроелектростанції для умов гірської річки. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2023. № 13(1). 8 с. <https://doi.org/10.31388/sbtsatu.v13i1.388>.

2. Бабич М. І. Обґрунтування системних функціональних показників малих дериваційних гідроелектростанцій. *Технологічний аудит і резерви виробництва*. 2015. № 6/1(26). С. 31-36. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2015.56648>.

3. Вовчак В., Тесленко О., Самченко О. Мала гідроенергетика України. Аналітичний огляд. Том І. Київ: Інститут проблем екології та енергозбереження, 2018. 181 с.

4. Васько П. Ф., Мороз А. В. Потенціал використання гідроенергетичних ресурсів основних малих річок України. *Відновлювальна енергетика*. 2016. № 3. С. 50-56.

5. Ghadimi A., Razavi F., Mohammadian B. Determining optimum location and capacity for micro hydropower plants in Lorestan province in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. Vol. 15(8). P. 4125–4131. DOI:10.1016/j.rser.2011.07.003.

6. Halych O., Bilkova E., Nowak P., Riabenko O. Analysis of hydropotential and Prospects for Small Hydropower Development in Ukraine. *Environmental and Climate Technologies*. 2023, vol. 27, no. 1. p. 763–774. <https://doi.org/10.2478/rtuect-2023-0056>.

7. Ismailov A. I., Samatov N. A., Bakhranov Sh. K., Rayimjanov B. N., Sharipov I. F. Substantiation of parameters of hydro turbines of microhydroelectric stations with an asynchronous generator. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 12th-14th May 2021, Tashkent, Uzbekistan*. 2021. Vol. 868. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/868/1/012025>.

8. Mukhammadiev M. M., Dzuraev K. S., Abduaziz A., Murodov H. The Use of Micro Hydroelectric Power Plants with Existing Hydraulic



Systems. *AIP Conference Proceedings*. 2023. Vol. 2552. e050031-8. <https://doi.org/10.1063/5.0111916>.

9. Nasir B. A. Design Considerations of Micro-Hydro-Electric Power Plant. *Energy Procedia*. 2014. Vol. 50. P. 19–29. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.003>.

10. Urquiza G., Basurto M., Castro L., Adamkowski A., Janicki W. Flow Measurement Methods Applied to Hydro Power Plants. *Flow Measurement*. 2012. № 7. P. 151-168.

11. Zakharov Y. Y. Method of calculation of water-diverting structures of low-head hydroelectric power plant for power supply of small power consumers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1211. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1211/1/012012>.

12. Korobka S., Syrotyuk S., Zhuravel D., Boltianskyi B., Boltianska L. Solar dryer with integrated energy Unit. *Problems of the Regional Energetics*. 2021. Vol. 2. P. 60-75.

13. Syrotyuk S., Boyarchuk V., Syrotyuk V., Korobka S., Syrotyuk H., Boltianskyi B. Peculiarities of modeling heat pumps in the labview environment. *Інформаційні технології в енергетиці та агропромисловому комплексі: матеріали XI Міжнар. наук. конференції (Львів, 04-06 жовтня 2022 р.)*. Львів: ЛНУП, 2022. С. 16-18.

14. A. Skliar, B. Boltianskyi, N. Boltianska, D. Demyanenko. Research of the cereal materials micronizer for fodder components preparation in animal husbandry. *Modern Development Paths of Agricultural Production*. 2019. Ch. 2. С. 249-259.

15. Болтянська Л. О., Болтянський Б. В. Аспекти механізму інвестиційного забезпечення інновацій у відновлюваній енергетиці АПК України. *Аграрна галузь сучасної України: проблеми та перспективи розвитку: матеріали I Міжнар. наук.-практ. конф., 14 трав. 2021 р. Слов'янськ, 2021. С. 63-68.*

16. Скляр Р. В. Доцільність використання економіко-математичних моделей в сільському господарстві. *Інноваційні технології в АПК: матеріали VII Всеукр. наук.-практ. конференції*. Луцьк: Луцький НТУ, 2021. С. 122-124.

17. Korobka S., Babych M. Substation of the constructive-technological parameters of a solar fruit dryer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. №. 1/8(85). С. 13-19.

18. Болтянський Б. В., Болтянська Л. О., Сиротюк С. В. Аналіз структури витрат енергії при виробництві сільськогосподарської продукції. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали I Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Мелітополь, 01-24 квітня 2020 р.)*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 436-442.



19. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві: підручник для здобувачів вищої освіти закладів вищої освіти / Б. В. Болтянський, О. Г. Скляр, Р. В. Скляр, Н. І. Болтянська, С. В. Дереза. Київ: Кондор, 2020. 410 с.

20. Дереза О. О., Болтянський Б. В., Дереза С. В. Використання VR-технологій в наукових дослідженнях. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2022. Вип. 12, т. 1. № 28. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2022-1-28>.

21. O. Dereza, S. Movchan, B. Boltianskyi, S. Dereza. Methods of construction of three-dimensional models of details. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2020. Вип. 20, т. 3. С. 231-239. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-2020-20-3-231-239>.

22. Karlan M., Klimek K., Maj G., Zhuravel D., Bondar A., Lemeshchenko-Lagoda V., Boltianskyi B., Boltianska L., Syrotyuk H., Syrotyuk S. [et al.]. Method of Evaluation of Materials Wear of Cylinder-Piston Group of Diesel Engines in the Biodiesel Fuel Environment. *Energies*. 2022. Vol. 15. P. 1-29. <https://doi.org/10.3390/en15093416>.

23. Болтянський Б. В., Комар А. С. Проблеми енерго- та ресурсозбереження в АПК України. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали V Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Запоріжжя, 01-24 листопада 2023 р.)*. Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. С. 324-327.

*Стаття надійшла до редакції 25.03.2024 р.*

**M. Babych<sup>1</sup>, V. Boyarchuk<sup>1</sup>, S. Syrotyuk<sup>1</sup>, S. Korobka<sup>1</sup>, M. Mykhaliuk<sup>1</sup>,  
I. Stukalets<sup>1</sup>, S. Baranovych<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Lviv National University Environmental University

## **DETERMINATION OF WATER CONSUMPTION AND PRESSURE OF DERIVATION HYDRO-ELECTRIC POWER STATION FOR ELECTRICITY PRODUCTION ON MOUNTAIN RIVERS**

### *Summary*

The article examines the peculiarities of the use of hydroelectric power stations on mountain rivers. It is substantiated that for this region it is advisable to use hydroelectric power plants of the derivation type without the use of dams and reservoirs. The schematic diagram and principle of operation of the derivation hydroelectric power station are given. The main modes of operation of a derivation hydroelectric power plant on a mountain river are substantiated.

The peculiarities of filling the derivation channel with water are considered. The main components of the hydropower potential of a mountain river are defined, namely, water consumption and static pressure.

The method of determining the water flow and head on the example of a mountain river is proposed, which is the basis for substantiating the optimal parameters of a derivation hydroelectric power plant. The water consumption in the river reaches is





substantiated using the methods of mathematical statistics, which allows to objectively reflect the stochastic behavior of the water consumption over time and its influence on the system functional indicators of the derivative hydroelectric power plant during the simulation of its operation.

Using the methods of mathematical statistics for data processing, the numerical characteristics of the distribution of river water consumption for all months of the calendar year were obtained. A formula is proposed, which can be used to predict the flow of water in the river reaches where there are no daily observations of the flow. Based on the results of research into the topographical characteristics of the area, the average annual water flow and static pressure along the length of the studied river were determined and corresponding graphs were constructed.

It has been proven that the use of the derivation scheme for the creation of pressure allows more efficient use of the potential of a mountain river with minimal environmental impact and smaller capital investments.

The substantiation of the water flow in the river reaches using the methods of mathematical statistics makes it possible to objectively reflect the stochastic behavior of the water flow over time and its influence on the system functional indicators of the derivative hydropower plant during the simulation of its operation.

**Keywords:** river, water flow, head, derivation channel, hydroelectric power station.



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2-10

УДК 621.311:699.86

Ю. О. Постол<sup>1</sup>, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-0749-3771

В. Б. Гулевський<sup>1</sup>, к.т.н.

ORCID: 0000-0003-1434-9724

О. О. Постол<sup>2</sup>, інженер<sup>1</sup> Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного<sup>2</sup> ДП "ЗАПОРІЖЖЯСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ"

e-mail: yulia.postol@tsatu.edu.ua

## ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЖИТЛОВОГО СЕКТОРУ

*Анотація.* Приймаючи до уваги нинішній стан України, де багато зруйновано інфраструктури, пошкоджені житлові будинки в населених пунктах, енергосистема країни, підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів (або енергоефективність) у розумінні використання їх меншої кількості – становиться особливо актуальною. Потрібно звернути увагу на проблеми енергоефективності житлового сектору в Україні, не тільки будування нових енергоефективних житлових будинків, а і приділити увагу термомодернізації вже збудованого житлового фонду. Проаналізувавши споживання енергоресурсів в житловому секторі, провівши класифікацію домів згідно норма вітчизняних нормативних баз та спираючись на опит європейських країн, сформулювати напрямки вирішення питань забезпечення енергоефективності житлового сектору. Система енергоефективності на рівні держави повинна включати в себе не тільки постачання енергії, но і її виробництво. Також роботу важливих сфер таких як промислові підприємства, транспорт та інше. Один з найважливіших для побуду суспільства сектор, це житловий. Підвищення енергоефективності в цьому секторі передбачає ряд реформ енергетичного ринку, сфери будівництва, субсидій та підтримку вразливих споживачів. Тому потрібен системний підхід до цієї проблеми.

*Ключові слова:* енергоефективність, електропостачання, енергозбереження, енергоресурси, енергоаудит, альтернативна енергетика, відновлювальні джерела енергії.

*Постановка проблеми.* Завдання по підвищенню енергоефективності є однією з найважливіших для більшості галузей нашої країна, таких як виробництва і життєдіяльності людини. Модернізація та проектування енергоефективних будівель робота не проста. Потрібно долучати фахівців різних галузей та підходити комплексно. Потрібно при цьому враховувати забезпечення максимальних показників з енергоефективності, та приділяти увагу екологічної та економічної ефективності будівель.



Зараз в країні дуже обмежені ресурси, тому пріоритетність в енергоефективності на пряму пов'язана з економкою в будівельній галузі та націлена на збереження енергоресурсів. Цією проблемою потрібно займатися не тільки на державному рівні, но і на регіональному.

Безумовно, в підвищенні енергоефективності велику роль відіграють інноваційні матеріали, обладнання та технології, використовувани при будівництві будівель і модернізації устаткування в існуючих будівлях, а також сучасні методи і підходи до енергозбереження. Чимало уваги приділяють екологічності матеріалів, використовуваних при будівництві, тому що це важливо для комфортного проживання людей, їх здоров'я, і є перспективним для розвитку енергетичної галузі [1].

*Аналіз останніх досліджень.* Займаючись питаннями енергоефективності багато хто з вітчизняних науковців присвятили цьому багато своїх праць. Енергоефективністю житлових будівель та впровадженням методів енергозбереження в житловому секторі розглянуті в роботах Абелешова В. І. [2], Лівінського О. М., Євтушенка В. А. [3], Нечепуренко Д. С., Єпіфанцевої С. В. [4], Микита Є. О., Дешко В. І. [5] але це питання потребує подальшого детального вивчення.

Результати аналізу структури кінцевого споживання енергії, наведені в табл. 1, свідчать, що на такі сектори як транспортний, побутовий та промисловий припадає споживання енергії в Україні більш ніж 80% загального енергоспоживання, у світі цей показник менше 80%, у ЄС – 75%. [6].

Таблиця 1

Структура кінцевого споживання енергії за секторами економіки України, ЄС та світу

Споживачі	Кінцеве споживання енергії за секторами економіки, %					
	Промисловий сектор	Транспортний сектор	Побутовий сектор	Торгівля та послуги	Сільське господарство та інші сектори	Разом
Україна	32,3	17,2	32,6	7,6	10,3	100
ЄС	22,8	28,1	24,7	13,2	11,2	100
Світ	28,9	28,8	21,9	8,1	12,3	100
США-2018р.	24	35	20	14	7	100

Низька енергоефективність вітчизняної економіки погіршується також за рахунок значних втрат в електро – та тепломережах. За даними проекту оновленої Енергетичної стратегії України [7], втрати електроенергії під час її транспортування від постачальника до



споживача становили близько 12%, а що стосується тепломереж, то величина втрат у зазначений період становила більше 20%. Інвестиції потрібні спрямовувати пріоритетні галузі в Україні, а це промисловість та побутовий сектор. Це відповідає й загальносвітовим тенденціям, оскільки, за даними ІЕА [7], у 2016 р. 57% (або 133 млрд. доларів) світових інвестицій в енергоефективність було спрямовано на підвищення енергоефективності будівель, 26% (або 61 млрд. дол.) – транспорту; 16% (або 38 млрд. дол.) – промисловості.

А також з урахуванням того, що на частку імпортованих енергоресурсів в Україні в 2015 р. припало 51,6% загального первинного постачання енергії (ЗППЕ) [8], можна зробити висновок, що саме побутовий сектор в Україні заслуговує уваги по залученню інвестицій для підвищення енергоефективності діючих будинків, а також відбудови зруйнованих та пошкоджених будівель. Саме зараз в багатьох державах світу накладаються арешти на рахунки РФ, підприємств та громадян РФ за участь або пособництво в агресії проти України. Європейський Союз, країни G7 та Австралія заморозили близько 282 млрд доларів у вигляді цінних паперів та готівки: міністр фінансів США Джанет Єллен [9]. Найбільші країни з розвинутою економікою намагаються знайти спосіб використання заморожених російських активів, щоб допомогти зміцнити захист України та для довгострокової реконструкції після війни, відновлення зруйнованих міст, селищ в тому числі житлових будинків.

*Основна частина.* В Україні більше ніж 150 тисяч пошкоджених будівель та споруд, приблизно 20 тисяч із них – багатоповерхові. Такі дані під час прес-конференції в Укрінформі на тему “Відновлення: оцінка збитків, завданих РФ, на кейсах Бучі” навів директор ДП “Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій. Як повідомлялося, прямі збитки, завдані інфраструктурі України через повномасштабне російське вторгнення, за оцінками Київської школи економіки (KSE Institute), перевищили \$150 млрд, майже \$56 млрд із них – втрати житлового фонду [10].

Але житловий фонд України становить 10,2 млн будинків, з них 93% приватної форми власності [11]. 60,7 тис. житлових будинків віднесено по Україні до категорії ветхих та аварійних житлових будинків. Приблизно чверть будинків житлового фонду будинків мають незадовільний технічний стан, низькі експлуатаційні якості та вичерпали свій експлуатаційний ресурс. В них недостатня комфортність, низька енергоефективність, їх значний фізичний і моральний знос потребують вирішення проблеми капітального ремонту (реконструкції) житла із застосуванням сучасних енергозберігаючих технологій, матеріалів та обладнання. Для вирішення цих проблем необхідна окрема Державна програма з



великими фінансовими вливаннями. Якщо відокремити ці сектори житлових будинків, то залишається 7,6 млн приватних житлових будинків, в яких доцільно планувати і проводити термомодернізацію будівель, а саме – комплекс робіт на цих об'єкті, результатом яких є підвищення показників енергетичної ефективності будинку. Тому в Україні необхідно посилювати роль домогосподарств та приватного сектору у сфері самостійного інвестування в енергетичний комплекс (термомодернізацію свого будинку) шляхом формування сприятливого інвестиційного клімату [12, 13].

По підрахункам 21% платіжездатних господарив приватних будинків здатні інвестувати свої заощадження та доходи в термомодернізацію свого будинку. Дехто самостійно уже це робить, але більшість не наважується із-за наших повсякденних звичок (інертність, іноді лінь, сумніви – недовіра, передбачуваний «фактор клопоту», відкладення на завтра те, що потрібно зробити сьогодні та інше), а також недостатності інформації та розуміння з чого потрібно починати і що треба робити. Для виведення з цього стану необхідно зовнішнє втручання в поведінку людини (поведінкові інтервенції). Мета цих втручань полягає в тому, щоб викликати соціально бажану поведінку – або шляхом усунення перешкод для такої поведінки, або шляхом створення стримуючих факторів для соціально шкідливої поведінки. По відношенню до підвищення енергоефективності необхідно брати закордонний досвід впровадження політики та програм, спрямованих на навчання споживачів і заохочення їх змінити свої повсякденні звички.

Цілі та переваги формування політики з урахуванням поведінки в енергетичній сфері детально обговорюються в останньому звіті IEA та UsersTCP. До речі, 19 липня 2022 р Україна офіційно приєдналася до Міжнародного енергетичного агентства (IEA) як країна асоціації. Спираючись на відповідні міжнародні тенденції та найкращі практики, у жовтні 2023 року MEA також опублікувало звіт про ефективні інтерактивні будинки з електромережами, який визначає шляхи вдосконалення країнами політики щодо будівель майбутнього шляхом підвищення енергоефективності та гнучкості. Для нас корисно і необхідно вивчати, використовувати і проваджувати в Україні досвід країн MEA (IEA) по підвищенню енергоефективності будинків [11].

SEAI, яке є національним енергетичним органом Ірландії, визначило, що проведення заходів з енергетики вдома може потенційно збільшити кількість і глибину модернізації енергоефективності, проведеної в будинках в Ірландії. На заходи на тему домашньої енергетики залучають людей із місцевої громади, які запрошують своїх сусідів, друзів та родину до своїх домівок, щоб дізнатися більше про важливість модернізації енергоспоживання.



Незалежний енергетичний експерт надає інформацію про енергоефективність під час заходу, а згодом проводить безкоштовний енергоаудит будівлі [14]. Ірландія, наприклад, оцінює, що помірні зміни в поведінці, такі як коригування налаштувань температури в приміщенні, призведуть до значного скорочення споживання енергії: 2,4 ТВт-год на рік лише у випадку житлових будинків [14].

Наприклад, BC Hydro, канадське електроенергетичне підприємство, використовує численні поведінкові стимули для залучення споживачів до своєї добровільної програми енергозбереження Team Power Smart, яка вимагає від учасників скоротити споживання енергії на 10% протягом одного року. Програма передбачає фінансові та матеріальні винагороди (зокрема спеціальні пропозиції в магазинах-партнерах, а також участь у спеціальних заходах). Вони також використовують соціальні норми, заохочуючи учасників ділитися своїми історіями успіху як спосіб підтримки мотивації. Регулярні підказки та сезонні виклики також використовуються для підтримки імпульсу. За чотири з половиною роки програма залучила понад 91 000 домогосподарств і зменшила їх сукупне споживання електроенергії на 25,6 ГВт-год порівняно з контрольною групою. Цей тип програми демонструє, що часте залучення великої кількості споживачів, яке поєднує регулярний зворотний зв'язок з іншими поведінковими важелями, призводить до більшої економії енергії.

Досвід досліджень організацій, працюючих в цьому напрямку, показує, що найбільш ефективних результатів в досягненні залучення власників будинків для проведення енергозберігаючих заходів своїх будинків може бути тільки при безпосередньому контакту з власником фахівців, які зможуть доказати необхідність і результативність цих заходів. Такі фахівці в багатьох організаціях України у нас є. Наприклад, органи з підтвердження відповідності (сертифікації) акредитовані НААУ (Національне Агентство Акредитації України) мають фахівців – аудиторів, здатних провести аудит, в тому числі енергетичний аудит будинку [15]. Краще залучати органи, які в своєму складі мають випробувальні лабораторії, метрологічне обладнання необхідне для такого енергоаудиту. Межі такого аудиту будуть відрізнятися від вимог ДСТУ ISO 50002:2016 «Енергетичні аудити. Вимоги та настанова щодо їх проведення» в сторону розширення задач, та зменшенню обсягів (об'ємів) робіт, що дозволить зменшити (мінімізувати) витрати на цей аудит. Такий аудит повинен проводитись по такому плану:

– проведення безпосередньо на об'єкті (житловому будинку) в присутності власника, бажано й членів його сім'ї, своїх сусідів, друзів. Це обов'язкова умова;



– проведення роз'яснювальної роботи необхідності і вигоди здійснення енергозберігаючих заходів свого будинку в форматі бесіди, навчання, як угоднo можна це називати, зрозуміло донести максимум інформації з показом фото, відео, розповіді оснований на закордонних і місцевих прикладах можливості досягнути бажаних результатів;

– на етапі в процесі проведення огляду об'єкта з зовні аудиторю необхідно показувати – де і від чого є втрати енергії і як їх усунути, які заходи по термомодернізації будинку (утеплення огорожувальних конструкцій: стін, стелі, горища тощо, а також утеплення конструкцій, які відкриваються: вікна, двері, балкони) треба виконати. Рекомендується провести виміри температури поверхні стіни ззовні і всередині. Надати приблизний розрахунок і показати яка частка тепла (енергії) втрачається. Розрахувати точку роси [16]. Показати, що вона (в неутеплених стінах) буде знаходитись в внутрішній половини товщини стіни, а іноді і на внутрішній стороні (під штукатуркою), що приводить до руйнівних дій конструкції, появи цвілі та інше.

– бажано, сумісно з володарем оселі провести аналіз платіжок за оплату опалення будинку. Зробити приблизний розрахунок різниці затрат на опалення в сьогодні і після можливого виконання термомодернізації будинку. Привести приклади по іншим будинкам. Надати господарю інформацію, які крім фінансових можуть бути вигоди (отримання привабливого виду будинку, що буде позитивно впливати на настрій всієї сім'ї, збільшення терміну його експлуатації та інше).

– пояснювати як модернізація житла, а особливо ізолюючи його, може призвести до кількісних переваг та допомогти у вирішенні проблем які можуть бути визначені присутніми. Наприклад, цвіль може виникнути, коли якась область будинок не утеплена належним чином, через накопичення вологи. Утепленням стін та монтажем достатньої вентиляції власники будинків можуть зменшити цвіль, підвищити комфорт і покращити здоров'я своїх сімей, покращити якість повітря в оселі.

– пояснення на прикладах, що модернізація більш енергоефективних приладів (встановлення термостатичного вентиля на радіатор, який дозволить контролювати температуру в будинку) і модернізація існуючого побутового обладнання в оселі ще більше зменшує попит на енергію для житлових будинків.

Чим більше буде надано інформації, тим більш переконливо буде донесено до власника імпульс необхідності прийняття рішення по проведенню енергозберігаючих заходів його будинку.

Але найбільш переконливо буде тоді, коли аудитор зможе запросити власників будинків – претендентів на показ будинку на якому уже проведені ці заходи.



Запропонований об'єм і план аудиту відрізняється від енергетичного аудиту згідно ДСТУ ISO 50002:2016 тим, що об'єм вимірювань буде обмежений, необхідний для роз'яснювальних цілей, але недостатній для визначення конкретних робіт підрядником (виконавцем робіт) [17]. Також під час аудиту будуть проводитись додатково роз'яснювальні дії аж до навчання з ціллю популяризації діяльності з підвищення енергетичної ефективності будівель серед їх власників (вимога статті 5 Закону України «Про енергетичну ефективність будинків»).

Виконання подібних заходів (програм) які тут запропоновані з залученням фахівців дасть можливість всім нам внести свій помірний вклад в енергозбереження нашої Держави, збереження енергоресурсів і поліпшення екології.

*Висновки.* Ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів в Україні багато в чому залежить від проведеної політики держави. В нашій країні на законодавчому рівні закріплені основні аспекти ефективного використання енергоресурсів. При вирішенні проблем фінансування будівництва енергоефективних житлових будинків можливе використання досвіду західноєвропейських країн. Лідерами тут є Данія, Німеччина та Фінляндія. У цих країнах прийняті і ефективно працюють цільові державні програми з енергозбереження та будівництва енергозберігаючих будинків, є багатий досвід в області стимулювання підвищення енергоефективності будівництва житла.

#### *Список використаних джерел*

1. Мельконова І. В., Романченко Ю. А. Підвищення енергоефективності житлових будівель. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля*. 2021. № 5(269). С. 17–19.
2. Абелешов В. І. Дослідження деяких аспектів підвищення ефективності енергозберігаючих заходів у житлових будинках. *Енергосбережение. Энергетика. Энергоаудит*. 2011. № 3. С. 23–29.
3. Лівінський О. М., Євтушенко В. А. Технічне обстеження та енергоаудит будинків і споруд. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2010. № 2. С. 159 – 170.
4. Нечепуренко Д. С., Єпіфанцева С. В. Способи підвищення енергоефективності житлових мікрорайонів при комплексній реконструкції та вторинній забудові. URL: <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/technical-sciences-113/repair-andreconstruction-113/16559-113-1157> (дата звернення 25.02.2024).
5. Микита С. О., Дешко В. І. Розподільний облік теплової енергії на опалення багатоквартирних будинків: технічні, методичні, поведінкові аспекти. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2023. № 4(74). С. 38-46.





6. Панкова М. В. Ефективність використання енергетичних ресурсів в Україні. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Серія «Економіка і менеджмент»*. 2017. № 28. С. 53-57.

7. Проект Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»: схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р). URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/605-2017> (дата звернення 02.03.2024).

8. Майже 160 тисяч будівель і споруд в Україні зруйновані через війну. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-vidbudova/3780899-majze-160-tisac-budivel-i-sporud-v-ukraini-zrujnovani-cerez-vijnu.html> (дата звернення 06.03.2024)

9. Глава Мінфіну США закликає знайти спосіб передати Україні заморожені активи. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-vidbudova/3833050-glava-minfinu-ssa-zaklikae-znajti-sposib-peredati-ukraini-zamorozeni-gosijski-aktivi.html> (дата звернення 27.02.2024)

10. Проекти з енергоефективності в Україні. Energy Efficiency Projects in Ukraine. Електронний ресурс. Режим доступу. – <http://www.eeib.org.ua>

11. МЕА, Найбільше кінцеве використання енергії за секторами в окремих країнах МЕА, 2018, МЕА, Париж. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/largest-end-uses-of-energy-by> (дата звернення 27.02.2024).

12. T. Taylor, J. Counsell, S. Gill. Energy efficiency is more than skin deep: Improving construction quality control in new build housing using thermography. *Energy and Buildings*. 2013. Vol. 66. P. 222–231. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813004428> (дата звернення 11.03.2024).

13. Korniyenko S. V. The Experimental Analysis and Calculative Assessment of Building Energy Efficiency. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 618. P. 509–513. URL: <http://www.scientific.net/AMM.618.5096> (дата звернення 17.03.2024).

14. Головні енергетичні події Ірландії. URL: <https://www.seai.ie/publications/SEAI-Home-Energy-Events-Evaluation-Report.pdf> (дата звернення 16.03.2024).

15. Офіційний сайт Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. URL: <http://minregion.gov.ua> (дата звернення 05.03.2024).

16. Постол Ю. О., Стручаєв М. І. Підвищення енергоефективності та енергозбереження використання низькопотенційних джерел енергії в органічному циклу Ренкіна. *Сучасні проблеми інноваційного розвитку електричної інженерії*: матеріали II Всеук. наук.-практ. інтернет-конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 74–77.



17. Комеліна О. В., Щербініна С. А. Сучасні проблеми забезпечення енергоефективності житлового будівництва в Україні *Проблеми економіки*. 2014. № 3. С. 108-114.

*Стаття надійшла до редакції 01.04.2024 р.*

**Y. Postol<sup>1</sup>, V. Hulevskyi<sup>1</sup>, O. Postol<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University**

**<sup>2</sup>SE "ZAPORIZHZHYASTANDARTMETROLOGY"**

## **INCREASE OF ENERGY EFFICIENCY OF THE HOUSING SECTOR**

### ***Summary***

Taking into account the current state of Ukraine, where a lot of infrastructure is destroyed, residential buildings in populated areas are damaged, the country's energy system, increasing the efficiency of using energy resources (or energy efficiency) in the sense of using less of them – becomes especially relevant.

It is necessary to pay attention to the problems of energy efficiency of the housing sector in Ukraine, not only the construction of new energy-efficient residential buildings, but also to pay attention to the thermal modernization of the already built housing stock. After analyzing the consumption of energy resources in the residential sector, classifying houses according to the norms of domestic regulatory bases and relying on the experience of European countries, formulate directions for solving the issues of ensuring energy efficiency of the residential sector.

The system of energy efficiency at the state level should include not only the supply of energy, but also its production. Also, the work of important areas such as industrial enterprises, transport and others. One of the most important sectors for building society is the housing sector. Improving energy efficiency in this sector involves a number of reforms in the energy market, the construction sector, subsidies and support for vulnerable consumers. Therefore, a systematic approach to this problem is needed.

To ensure the energy efficiency of residential construction in Ukraine, it is necessary to determine at the state level: legislative and regulatory requirements for energy efficiency indicators; economic incentives to increase the energy efficiency of buildings; typical technical solutions for thermal modernization of buildings and methods of evaluating their energy efficiency. The main tasks for construction enterprises are: the production of domestic highly efficient heat-insulating materials, the introduction of energy-efficient technologies at the stage of construction of new residential facilities, the use of modern engineering networks and systems, equipment, metering devices, as well as the thermal modernization of the existing housing stock. Increasing the energy efficiency of residential construction will have a positive effect on solving a number of current problems, namely: the cost of operating residential buildings will decrease under the condition of more rational and efficient use of energy resources, the country's energy dependence on the import of scarce fuel and energy resources will decrease, the processes of using alternative energy sources will be activated, and the economic conditions for development will improve of Ukraine.



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2-11

УДК 621.311:502.22

О. Ю. Савойський<sup>1</sup>, ст. викладач

ORCID: 0000-0002-6459-4931

В. Ф. Сіренко<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0003-0831-6563

Т. С. Вольвач<sup>1</sup>, асистент

ORCID: 0000-0002-8890-6901

Ю. В. Сіренко<sup>1</sup>, PhD

ORCID: 0000-0003-1818-3653

<sup>1</sup> Сумський національний аграрний університет

e-mail: o.savoiskyi@gmail.com, тел.: +380976553778

## ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РАЙОННИХ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ ЗА РАХУНОК ОРНІТОЛОГІЧНОГО ЗАХИСТУ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

*Анотація.* В роботі проведено аналіз аварійних відключень районних трансформаторних підстанцій напругою 35/10 кВ. Виявлено характерні причини на частку яких припадає найбільша кількість пошкоджень та аварійних відключень системи електропостачання. Встановлено, що близько 11 % від сумарної тривалості аварійних відключень досліджуваних підстанцій припадає на вплив птахів, що значно погіршує загальні показники надійності їх роботи. З метою зменшення аварійних відключень, які виникають внаслідок життєдіяльності птахів, розглянуто типи сучасних птахозахисних пристроїв та можливість їх застосування для ліній електропередачі. Таке рішення дозволить значно підвищити надійність роботи систем електропостачання при мінімальних грошових витратах.

*Ключові слова:* система електропостачання, аварійні відключення, тривалість відключень, повітряна лінія електропередачі, механізми впливу птахів на повітряні лінії, птахозахисний пристрій.

*Постановка проблеми.* Насьогодні електроенергія є однією з найважливіших складових життя суспільства, оскільки вона використовується практично у всіх сферах господарської діяльності. Трансформаторні підстанції відіграють ключову роль у постачанні електроенергії від джерела генерації до кінцевих споживачів. Районні трансформаторні підстанції напругою (РТП) є важливими ланками в цій системі, оскільки вони відповідають за розподіл і зниження напруги для подальшого постачання електроенергії до міст, сіл, та промислових підприємств.

У зв'язку зі зростаючими потребами в електроенергії та змінами в структурі електричних навантажень, а також впровадженням нових технологій, трансформаторні підстанції стають більш завантаженими та вимагають постійного підвищення їхньої надійності та ефективності. Такі заходи необхідні для запобігання аваріям,



мінімізації перерв у постачанні електроенергії та забезпечення якісного обслуговування споживачів [1, 2].

Аналіз та оцінка надійності роботи районних трансформаторних підстанцій вимагає детального розгляду різних аспектів, що включають в себе технічний стан обладнання, ефективність системи управління, планування профілактичних робіт та реагування на аварійні ситуації [3, 4]. Підвищення надійності роботи РТП є важливою задачею для забезпечення стабільності електромереж та надійного постачання електроенергії споживачам. Тому проведення досліджень, які направлені на підвищення надійності функціонування систем електропостачання є актуальною задачею.

*Аналіз останніх досліджень.* Серед найпоширеніших причин аварійних відключень систем електропостачання, таких як атмосферні перенапруги, вітрові та ожеледні навантаження, значний відсоток становить вплив птахів на роботу електротехнічного обладнання та лінії електропередачі [5–7].

Окрім негативного впливу птахів на систему, що тягне за собою відключення як силових трансформаторів, так і повітряних ліній електропередачі, питання взаємодії птахів та систем електропостачання також розглядається з екологічної точки зору. Електроустановки часто виступають як аналоги природних субстратів, які необхідні для життєдіяльності птахів. Результатом такої взаємодії птахів і систем електропостачання можуть бути «біоушкодження» електроенергетичного обладнання, що викликається діями організмів, а також «біоцидна» дія електротехнічних пристроїв на живі організми [8–10].

Вартість заміни, ремонту та технічного обслуговування пошкодженого обладнання, недовідпущеної електричної енергії та збитки виробництва від перерв в електропостачанні обумовлюють обґрунтування належних заходів щодо запобігання аварійних відключень, пов'язаних із життєдіяльністю птахів.

В Україні були розроблені засоби захисту від птахів та проведено їх встановлення на кількох лініях електропередачі, але результатів їх функціонування з точки зору підвищення надійності системи електропостачання поки що не отримано [11].

*Формулювання мети статті (постановка завдання).* Метою роботи є обґрунтування заходів щодо підвищення надійності роботи районних трансформаторних підстанцій.

Для досягнення мети поставлені наступні завдання:

- провести статистичний аналіз аварійних відключень районних трансформаторних підстанцій на прикладі регіональних РТП 35/10 кВ;
- обґрунтувати заходи, спрямовані на забезпечення орнітологічної безпеки повітряних ліній для підвищення надійності роботи РТП 35/10 кВ.



*Основна частина.* Дослідження аварійних відключень районних трансформаторних підстанцій проводили на двох РТП 35/10 кВ регіональної електропостачальної компанії. Досліджувані РТП призначені для живлення побутових та виробничих споживачів Сумського регіону всіх трьох категорій по надійності електропостачання.

Для аналізу аварійних відключень РТП 35/10 кВ використовувалися акти розслідування аварій, які були проведені відповідними районами електричних мереж (РЕМ) протягом 2021-2023 років.

Результати дослідження загальної кількості аварійних відключень та сумарна їх тривалість для досліджуваних підстанцій наведені в таблиці 1.

*Таблиця 1*

Показники аварійності досліджуваних підстанцій

Досліджувана РТП	2021 рік		2022 рік		2023 рік	
	К-ть аварій	Тривалість відкл., год	К-ть аварій	Тривалість відкл, год	К-ть аварій	Тривалість відкл, год
РТП 35/10 кВ №1	13	16,25	6	4,51	3	2,23
РТП 35/10 кВ №2	12	17,57	18	17,25	5	3,8

Аналіз отриманих результатів дослідження дозволив виявити характерні причини на частку яких припадає найбільша кількість пошкоджень та аварійних відключень РТП. Для обох підстанцій найбільше аварій стається через атмосферні перенапруги, тривалі вітрові перевантаження та вплив на роботу повітряних ліній (ПЛ) птахів. Водночас близько 65 % всіх пошкоджень та аварій стається в весняно-літній період з травня по серпень.

На рис. 1 показано структуру сумарної тривалості аварійних відключень, виражених у відсотках, в залежності від виду пошкоджень для обох досліджуваних підстанцій.

Найбільший відсоток технологічних порушень роботи РТП мають лінії електропередачі (близько 73 %), порушення роботи безпосередньо обладнання підстанцій становить близько 9 %. Інші аварії пояснюються пошкодженням обладнання споживачів електричної енергії. Водночас слід відмітити, що згідно даних РЕМ 39 % всіх аварій не призводили до перерв в електропостачанні за рахунок правильного резервування та роботи апаратів автоматики.

Близько 11 % від сумарної тривалості аварійних відключень досліджуваних підстанцій припадає на вплив птахів, що досить значно впливає на загальні показники роботи РТП.

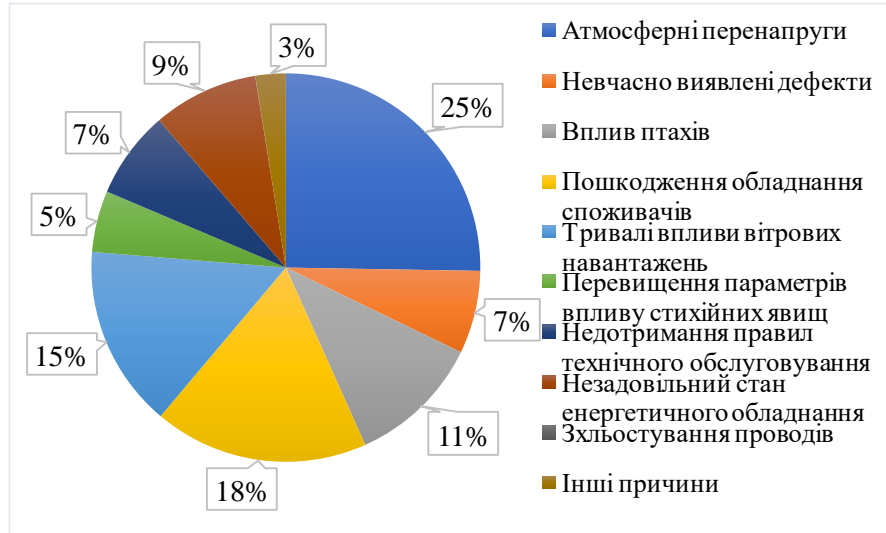


Рис. 1. Структура сумарної тривалості аварійних відключень для досліджуваних РТП 35/10 кВ, виражених у відсотках

На рис. 2 наведено дані щодо частки відключень РТП 35/10 кВ Сумського регіону через птахів від загальної кількості аварій.

Авізуючи отримані дані (рис. 2), можна зробити висновок, що кількість аварійних відключень через життєдіяльність птахів в системі з кожним роком зростає. В 2021 році даний показник був на рівні 3 %, а в 2023 році – виріс практично в 3 рази.



Рис. 2. Частка відключень через птахів від загальної кількості аварій підстанцій Сумського регіону

На рис. 3. наведено дані щодо частки відключень через птахів на досліджуваних РТП №1 та №2 від загальної кількості аварій по підстанціям Сумської області за останні три роки.

Аналіз даних рис. 3 показує, що частка відключень через птахів на РТП №1 дещо більша в порівнянні з досліджуваною РТП №2. Загальний відсоток аварій досліджуваних підстанцій через птахів в 2021 році склав 49,4 % від загального числа відключень по РТП 35/10 кВ Сумської області, в 2022 році – 19,2 %, а в 2023 році – 5,2 %.

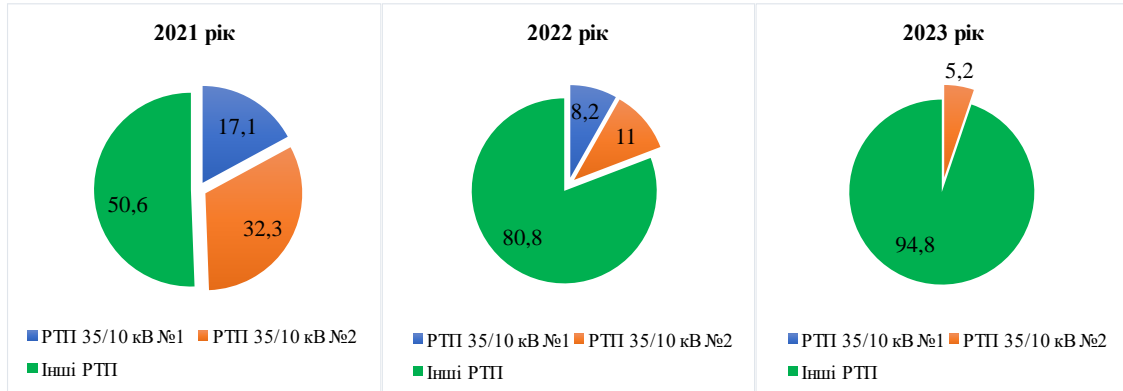


Рис. 3. Частка відключень досліджуваних РТП через птахів від загальної кількості аварій підстанцій Сумського регіону

Встановлено, що за останні роки спостерігається тенденція щодо зниження аварій на досліджуваних РТП через птахів, однак даний відсоток має достатньо високе значення. Тому розробка заходів щодо зменшення кількості відключень РТП через життєдіяльність птахів є важливим питанням для надійного функціонування РТП.

Можливі механізми ураження електричним струмом птахів на лініях електропередачі наведені на рис. 4 [12].

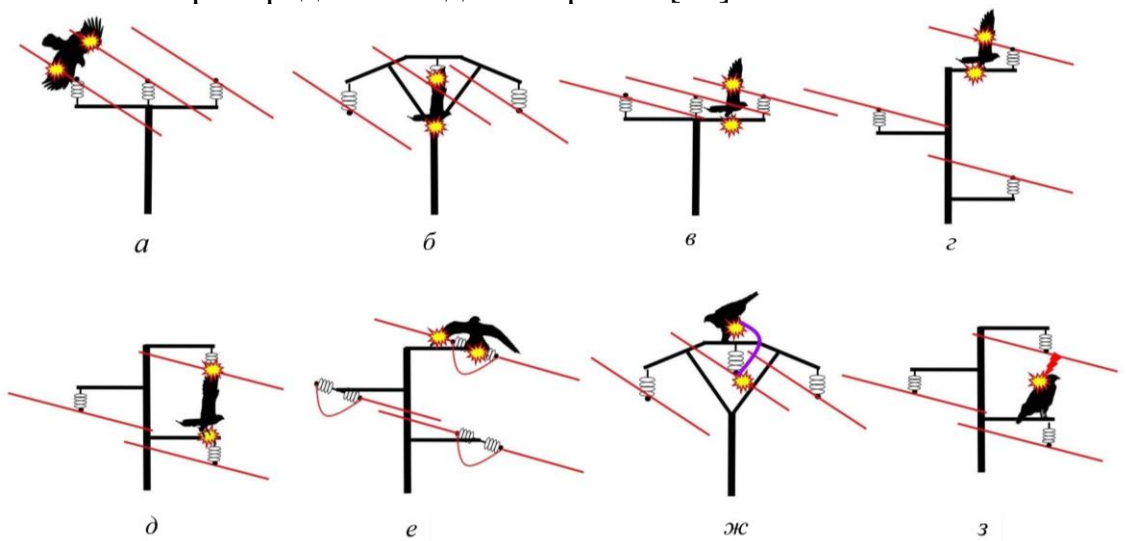


Рис. 4. Механізми ураження електричним струмом птахів на лініях електропередачі: а – закорочування тілом птаха проміжку між двома фазовими провідниками; б–е – замикання в результаті розташування птахів між заземленим елементом опори та проводом; ж – перекриття ізоляції в результаті випорожнень птахів; з – електричний пробій через наближення сидячого на заземленій конструкції птаха до фазного провідника

Потенційна небезпека ураження птахів електричним струмом на ЛЕП та супутніх електроустановках полягає в наявності доступних для птахів неізольованих струмопровідних елементів (проводів) та



заземлених конструкцій (опорних стійок, траверс та ін.). При цьому вирішальну роль відіграють габарити та взаємне розташування зазначених конструктивних елементів.

Ураження електричним струмом може відбуватися в момент замикання ланцюга в результаті розташування птахів між заземленим елементом і проводом (рис. 4, б–е) або в момент, коли птах закорочує своїм тілом проміжок між двома фазними струмоведучими провідниками (рис. 4, а). Забруднення ізоляторів, а також випорожнення результатів життєдіяльності птахів призводять до перекриття ізоляції (рис. 4, ж) та відключень ПЛ, що тягне за собою великі збитки від перерв в електропостачанні споживачів, пошкодження електрообладнання. Причинами міжфазного короткого замикання та перегорання дротів можуть бути перекриття ізолюючого повітряного проміжку через коливання проводу, які викликані одночасним злетом з нього зграї птахів. Також в результаті цього може виникати зхльостування провідників через створені коливання проводів різних фаз. Іноді великі зграї птахів спричиняють обрив і падіння проводів на землю.

Орнітологічна безпека електропостачання визначається відсутністю негативної взаємодії між птахами та електроенергетичними об'єктами. Заходи, які спрямовані на забезпечення орнітологічної безпеки, впроваджуються з метою захисту електроустановок від негативного впливу птахів, скорочення тривалості перерв у електропостачанні та збереження рідкісних та зникаючих видів птахів. Прогресивним способом модернізації об'єктів електропостачання є застосування самонесучих ізольованих проводів, які суттєво знижують ризик ураження птахів електричним струмом. Але враховуючи значну протяжність побудованих ПЛ, даний метод економічно необґрунтований.

Простим та дешевим варіантом вирішення даного питання є використання спеціальних птахозахисних пристроїв, що являють собою діелектричний виріб, який призначений для запобігання ураження птахів електричним струмом на повітряних лініях від 6 кВ та вище. Слід зауважити, що птахозахисні пристрої, насамперед, є засобом захисту саме птахів, а не повітряних ліній. Різновиди птахозахисних пристроїв наведені нижче на рис. 5.

Пристрої захисту птахів ізолюючого типу (рис. 5, а) ізолюють птахів від прямого контакту з проводами, арматурою ПЛ та іншими елементами обладнання ПЛ, такими як ізолятори, вводи та виводи трансформаторів. Пристрої сідалоподібного типу (рис. 5, б) створюють умови для безпечної посадки птахів та захищають їх від контакту зі струмоведучими та заземленими частинами опор ПЛ. Вони розташовуються на горизонтальних полицях траверс ПЛ. Повітряні кулі-маркери (рис. 5, в) використовуються як візуальні



позначення для проводів і тросів ПЛ, роблячи їх помітнішими для птахів під час польоту.

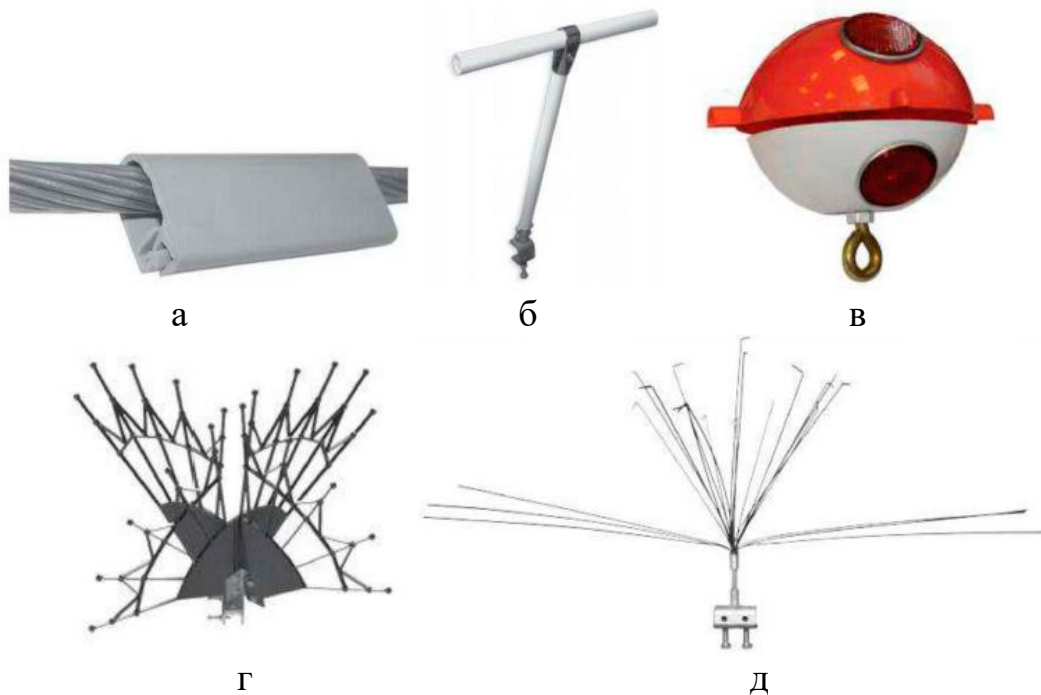


Рис. 5. Різновиди птахозахисних пристроїв:  
а – ізолюючого типу; б – сідалоподібного типу; в – маркерного типу; г, д – антипосадкового типу

Пристрої антипосадкового типу (рис. 5, г, д) призначені для захисту гірлянд ізоляторів від забруднення продуктами життєдіяльності птахів і самих птахів від ураження електричним струмом на ПЛ напругою від 6 кВ до 750 кВ. Вони встановлюються на траверсі ПЛ поруч із місцем кріплення ізолятора або гірлянди ізоляторів та заважають птахам сідати на траверсі в зоні захисту.

Для мінімізації аварій, які виникають внаслідок впливу птахів на роботу ліній електропередачі напругою 6-10 кВ, рекомендується використовувати сучасні птахозахисні пристрої ізолюючого типу ПЗУ-6-10кВ (рис. 6).

Будова та матеріали даних птахозахисних пристроїв мають декілька важливих переваг:

- дозволяють проводити низовий огляд ліній електропередачі без необхідності демонтажу пристрою;
- надають можливість повертати виріб вздовж поздовжньої осі без демонтажу, що сприяє проведенню повноцінного верхнього огляду лінії, включаючи контроль цілісності ізолятора та стану в'язки дроту;
- запобігають накопиченню льоду, снігу, води, пилу та залишків пташиного посліду як на опорно-підвісному устаткуванні, так і під самим пристроєм;

- можливість встановлення птахозахисних пристроїв на лініях електропередачі з комбінованим використанням натяжних і штирьових ізоляторів;
- мають розрахунковий термін служби приблизно 45 років.



Рис. 6. Птахозахисні пристрої ізолюючого типу ПЗУ-6-10кВ:  
а – для проміжних опор; б – для анкерно-кутових опор

*Висновки.* Аналіз отриманих результатів досліджень дозволив виявити характерні причини, на частку яких припадає найбільша кількість пошкоджень та аварійних відключень районних трансформаторних підстанцій. Встановлено, що близько 11 % від сумарної тривалості аварійних відключень досліджуваних підстанцій припадає на вплив птахів, що досить значно впливає на загальні показники надійності їх роботи.

Для мінімізації аварій, які виникають внаслідок впливу птахів, рекомендується використовувати сучасні птахозахисні пристрої ізолюючого типу для ліній електропередачі напругою 6-10 кВ, які дозволять значно підвищити надійність роботи системи електропостачання при мінімальних грошових витратах.

#### *Список використаних джерел*

1. Гриб О. Г., Карпалюк І. Т., Швець С. В., Захаренко Н. С.. Підвищення надійності системи електропостачання за рахунок безпілотних літальних апаратів. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. 2020. Вип. 2. <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2020-2-11-16>.
2. Ахромкін А. О. Сучасні характеристики електричних мереж України: регіональний аспект. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2015. Вип. 6 (223). С. 7–10.
3. Бондаренко Р. В., Довгалюк О. М., Омеляненко Г. В., Піротті О. Є., Сиромятнікова Т. В. *Вісник Харківського національного*



технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2018. Вип. 195. С. 69–71.

4. Буйний Р. О., Діхтярук І. В., Зорін В. В. Застосування роз'єднувачів нового покоління у схемах автоматизованого секціонування розподільних мереж напругою 6–10 кВ. *Технічна електродинаміка*. 2014. Вип. 3. С. 70–75.

5. Polat Ö., Yumak K., Atilla N. E., Bağrıyanık M. An overview of bird related issues in electrical power systems. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016. Vol. 161. e012091. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/161/1/012091>.

6. Bernardino J., Bevanger K., Barrientos R., Dwyer J. F., Marques A. T., Martins R. C., Shaw J. M., Silva J., Moreira F. Bird collisions with power lines: State of the art and priority areas for research. *Biological Conservation*. 2018. Vol. 222. P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.02.029>.

7. Chevallier C., Hernández Matías A., Real J., Vincent Martin N., Ravayrol A., Besnard A. Retrofitting of power lines effectively reduces mortality by electrocution in large birds: an example with the endangered Bonelli's eagle. *Journal of Applied Ecology*. 2015. Vol. 52(6). P. 1465–1473. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12476>.

8. D'Amico M., Catry I., Martins R. C., Ascensão F., Barrientos R., Moreira F. Bird on the wire: Landscape planning considering costs and benefits for bird populations coexisting with power lines. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. 2018. Vol. 47(6). P. 650–656. <https://doi.org/10.1007/s13280-018-1025-z>.

9. Loss S. R., Will T., Marra P. P. Refining estimates of bird collision and electrocution mortality at power lines in the United States. *PLOS ONE*. 2014. Vol. 9(7). e101565. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101565>.

10. Silva J., Palmeirim J. M., Alcazar R., Correia R. A., Delgado A., Moreira, F. A spatially explicit approach to assess the collision risk between birds and overhead power lines: A case study with the little bustard. *Biological Conservation*. 2014. Vol. 170. P. 256–263. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.12.026>.

11. Пономаренко О. Л. Біологічне обґрунтування «Оцінка впливу ліній електропередач 330 кВ ТОВ «Юрокейп Юкрейн 1» на орнітофауну в межах території біля ріки Молочна, Мелітопольського району Запорізької області та розробка заходів по запобіганню можливості загибелі птахів і внаслідок цього аварійних відключень на лініях електропередач». Дніпро, 2018. 12 с.

12. Ferrer M., Iglesias-Lebrija J., Álvarez E., Morandini V. Wildlife and Power lines. *Electrocutions*. 2022. Ch. 5. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2022.10.en>.

Стаття надійшла до редакції 04.04.2024 р.



O. Savoiskyi<sup>1</sup>, V. Sirenko<sup>1</sup>, T. Volvach<sup>1</sup>, Y. Sirenko<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Sumy National Agrarian University

## ENHANCING THE RELIABILITY OF DISTRICT TRANSFORMER SUBSTATIONS THROUGH ORNITHOLOGICAL PROTECTION OF POWER LINES

### *Summary*

Due to the increasing needs of electricity and changes in the structure of electrical loads, as well as the introduction of new technologies, transformer substations are becoming more loaded and require constant improvement of their reliability and efficiency. Such measures are necessary to prevent accidents, minimize interruptions in the supply of electricity and ensure high-quality service to consumers. Increasing the reliability of district transformer substations is an important task of ensuring the stability of power grids and reliable supply of electricity to consumers. Therefore, conducting research aimed at increasing the reliability of the operation of power supply systems is an urgent task.

The purpose of the work is the substantiation of measures to increase the reliability of district transformer substations. In the work, an analysis of emergency disconnected district transformer substations with a voltage of 35/10 kV was carried out. The analysis of the research results allowed us to identify the characteristic reasons that account for the largest number of damaged and emergency disconnected district transformer substations. Transmission lines have the highest percentage of technological malfunctions (about 73%), malfunctioning of transformer substation equipment directly accounts for about 9%. The rest of the accidents are explained by damage to the equipment of consumers of electrical energy. It was established that about 11% of the total duration of emergency shut-downs of the investigated substations is due to the influence of birds, which significantly affects the overall reliability of their work.

Ornithological safety of power supply is determined by the absence of negative interaction between birds and power facilities. Measures aimed at ensuring ornithological safety are taken to protect electrical installations from the negative impact of birds, reduce the duration of power supply interruptions and preserve rare and endangered bird species. A progressive way to modernize power supply facilities is the use of self-supporting insulated wires, which significantly reduce the risk of electric shock to birds. But, given the significant length of the constructed power lines, this method is not economically justified.

A simple and cheap solution to this issue is the use of special bird protection devices, which are dielectric products designed to prevent birds from being electrocuted on overhead lines of 6 kV and above. The paper discusses the main types of modern bird protection devices and their application for power lines. This solution will significantly increase the reliability of power supply systems at minimal cost.

**Keywords:** power supply system, emergency outages, duration of outages, overhead power lines, mechanisms of birds' influence on overhead lines, bird protection device.



---

**КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ**

---

**DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2-12**

УДК 004.896: 621.941

О. Є. Мацулевич<sup>1</sup>, канд. техн. наук ORCID: 0000-0001-5553-709XО. О. Вершков<sup>1</sup>, канд. техн. наук ORCID: 0000-0001-5137-3235<sup>1</sup> *Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного*

e-mail: oleksandr.matsulevych@tsatu.edu.ua, тел.: +380972604374

**ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ  
РОЗРОБКИ УПРАВЛЯЮЧОЇ ПРОГРАМИ ІЗ  
ЗАСТОСУВАННЯМ СИМУЛЯТОРА РОБОТИ  
ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА З ЧПУ**

*Анотація.* У будь якій галузі сучасного машинобудування переважна частина складових деталей вузлів та агрегатів являє собою деталі циліндричної форми, які, як правило, обробляються на токарних верстатах. В залежності від складності таких виробів для їхнього виготовлення використовуються як звичайні (ручні) токарні верстати, так і токарні верстати з числовим програмним управлінням (ЧПУ). В цьому випадку верстати з числовим програмним управлінням (ЧПУ) доцільно використовувати у системах автоматизованого проектування (САПР) в якості основного верстатного обладнання для виконання токарних операцій будь якої складності. Для використання токарного обладнання з ЧПУ при обробці багатоступінчастих валів вкрай необхідне застосування CAD/CAM-систем технологічної підготовки виробництва. За допомогою використання таких систем стає можливим автоматизувати процес створення траєкторії формоутворення потрібної поверхні з потрібною якістю обробки за рахунок підбору оптимальних режимів різання та обертів токарного верстата. Однак, все ж таки, токарний верстат з ЧПУ не може реалізовувати якісно реалізувати автоматизоване управління всіма елементами режимів механічної обробки багатоступінчастого вала. В цьому випадку необхідне втручання технолога. Він (технолог), в цьому випадку, власноруч призначає необхідні режими обробки опираючись на власний досвід при виборі ріжучого інструменту користуючись рекомендаціями виробника інструменту. Такий підхід до вибору інструмента викликає зниження ефективності процесу токарної обробки багатоступінчастих валів. Для уникнення помилок, які допускає технолог при проектуванні технологічного процесу та розробці управляючої програми в роботі запропонована методика контролю якості розробки управляючої програми із застосуванням віртуального симулятора.

*Ключові слова:* нуль системи координат верстата (НС), нуль системи координат деталі (НД), управляюча програма, лінійна інтерполяція, кругова інтерполяція, швидкість супорта, швидкість шпинделя, параметри інструмента, імітація токарної обробки, імітатор (симулятор).



*Постановка проблеми.* Інтегровані CAD/CAM/CAPP – системи являють собою сучасне програмне забезпечення для наскрізного автоматизованого проектування. В рамках одного програмного продукту можна реалізувати весь процес проектування та виготовлення виробу від розробки робочого креслення до створення управляючої програми (УП) для верстата з числовим програмним управлінням (ЧПУ) з послідовним завантаженням УП на верстат.

*Аналіз попередніх досліджень та формулювання цілей статті.*

Для успішної реалізації завдань забезпечення мобільності технічної підготовки виробництва нової, конкурентноспроможної, проєкції на підприємствах сільськогосподарського машинобудування (і не тільки) важливою складовою є професійна підготовка фахівців, спроможних вирішувати поставлені завдання в найкоротші терміни з максимальною користю.

Нажаль, на теперішній час, не існує структурованої системи професійної підготовки фахівців – операторів верстатів з числовим програмним управлінням (ЧПУ).

Професійно-технічна освіта в чому напрямку потребує, для забезпечення якості підготовки фахівців, наявності в своєму арсеналі сучасних верстатів з ЧПУ для забезпечення безпосередньої практичної підготовки майбутніх фахівців.

Зараз, процес оновлення матеріально-технічної бази навчальних закладів для практичної підготовки фахівців значно уповільнився у порівнянні із оновленням матеріально-технічної бази провідних підприємств. Виходячи з цього виникає проблема поєднання вимог якісної підготовки фахівців з недостатньою кількістю сучасного матеріально-технічного оснащення у вищих навчальних закладах.

Для вирішення зазначеної проблеми пропонується використання спеціалізованих програмних продуктів (симуляторів), які спроможні забезпечити візуалізацію роботи на або з устаткуванням, діючи зразки яких, неможливо використовувати у виробництві.

*Основна частина.* В роботі пропонується методика застосування віртуального симулятора роботи верстату з числовим програмним управлінням для перевірки коректності та правильності роботи пропонованої розробником управляючої програми для токарної обробки виробу. Користувач в спромозі скласти будь яку управляючу програму та побачити на екрані монітора процес виконання встановленої операції. Після освоєння, за допомогою пропонованого симулятора, навчок роботи на верстаті з числовим програмним управлінням, фахівець, який проходить навчання, завжди зможе досить швидко адаптуватися до вимог виробництва, технологій та наявного на підприємстві устаткування.

Розглянемо основні прийоми настроювання та роботи імітатора токарної обробки на верстаті з ЧПУ на прикладі створення

управляючої програми обробки шахової фігури «Тура». На рис. 1 представлено робочий кресленик пропонованої деталі (Рис. 1а) та схема налаштування симулятора (Рис. 1б) де основними параметрами налаштування виступають параметри: «Ноль верстата» ( $O_v$ ); «Ноль деталі» ( $O_d$ ); «Ноль інструменту (в даному випадку різця)» ( $O_p$ ).

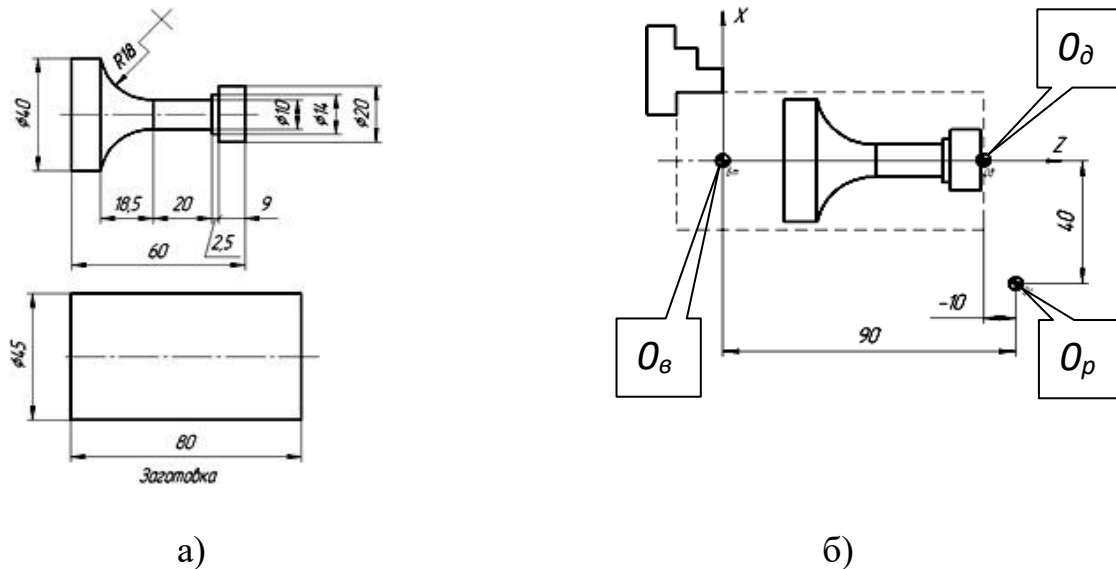


Рис. 1. Робочий кресленик а – пропонованої деталі та б – схема налаштування симулятора

Заготовкою для даної деталі є пруток круглого перетиндіаметром 45 мм і довжиною 80 мм (рис. 1а).

Задаємо параметри заготовки, для цього входимо в меню *Токарний верстат* і вибираємо пункт *Розмір заготовки* (рис. 2а), а у полях розмірів заготовки встановлюємо діаметр 45 мм і довжину 80 мм (рис. 2б):

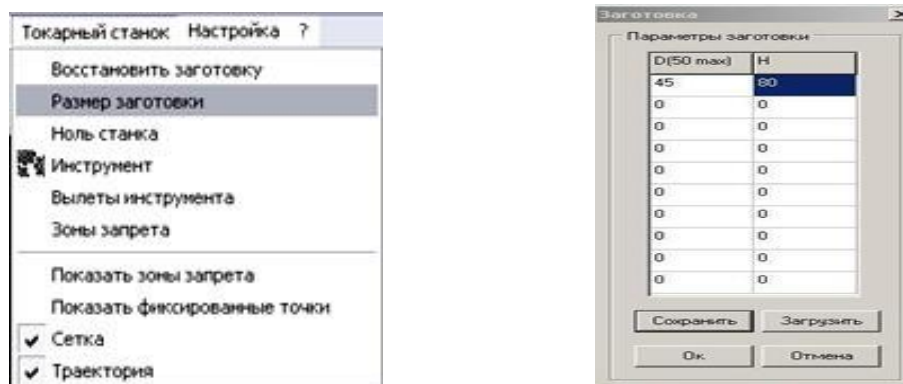
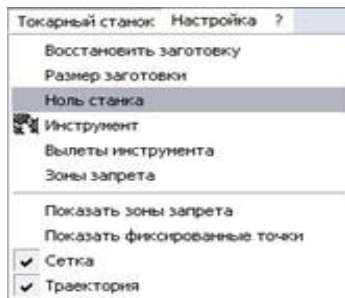


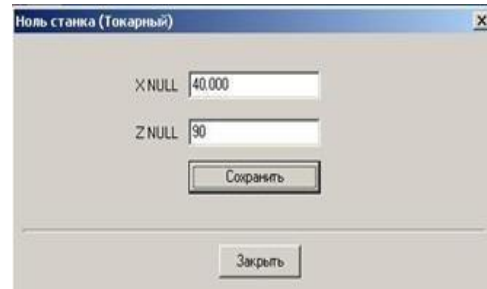
Рис. 2. Параметри заготовки

Після натискаємо *Зберегти*, і, після того, як на екрані заготовка прийме габаритні розміри, натискаємо ОК.

Наступним етапом настроювання симулятора є встановлення нуля верстата. Для цього входимо в меню *Токарний верстат*, вибираємо пункт *Ноль верстата* (рис. 3а) і в полях X NULL і Z NULL виставляємо потрібні для нас значення, натискаємо *Зберегти* (рис. 3б)



а)



б)

Рис. 3. Встановлення нуля верстата

Для подальшого налаштування симулятора встановлюємо систему координат деталі. Для цього вибираємо команду G92 та виставляємо необхідні значення трьох координат деталі (рис. 4). Далі слід вибрати різальний інструмент. Для цього входимо в меню *Токарний верстат* і натискаємо на вкладку *Інструмент* (рис. 5)..

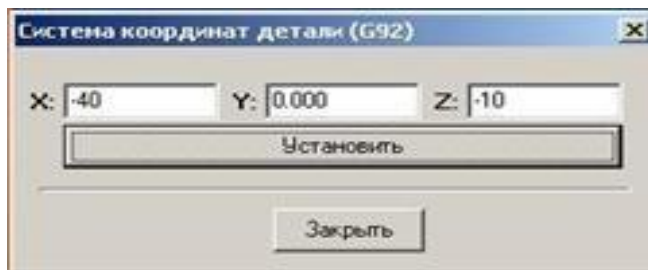


Рис. 4.

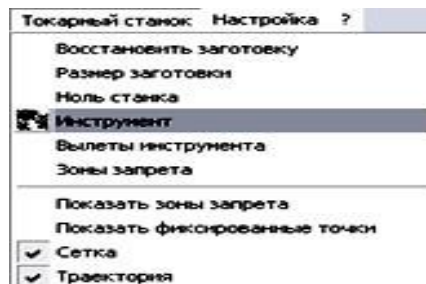


Рис. 5.

У вікні, що відкрилося, вибираємо вкладку *Вибір інструмента*, вибираємо тип різця, встановлюємо його в потрібну позицію револьверної головки віртуального верстату (рис. 6а та 6б). Потім переходимо у вкладку *Встановити інструмент* і натискаємо кнопку *Зберегти* (рис. 6в).

Слід зазначити, що симулятори токарної обробки на верстатах з ЧПУ, як було зазначено вище, можна використовувати для навчання роботі на верстатах з числовим програмним управлінням практично всіх популярних типів. Однак, нажаль, при висвітленні цього питання у сучасних довідкових інтернет-посібниках, дуже мала увага



приділяється застосуванню мінігабаритних верстатів з ЧПУ. Але сучасний стан робітнику так званого «малого бізнесу», не потребує мати «повнорозмірний» верстатний парк. Для вирішення цієї проблеми, коли габариті розміри продукції є досить невеликими, а об'єми виробництва продукції – одиничні або дрібносерійні, доцільно використовувати мінігабаритні верстати. Тому, при навчанні роботи на верстатах з ЧПУ, слід зосереджувати увагу і на цих питаннях.

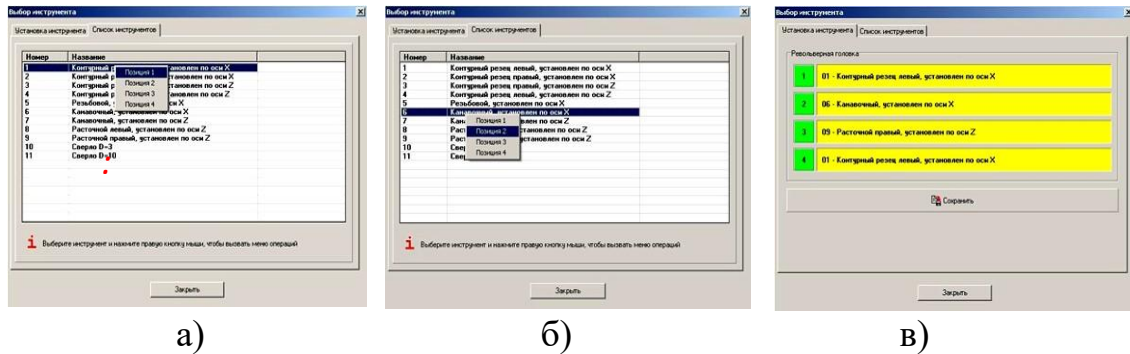


Рис. 6. Вибір інструмента

Якщо планується використання малогабаритних верстатів з ЧПУ, то при налаштуванні симулятора більш доцільнішим буде використання функції системної паузи (G500). За її допомогою на моніторі буде відображатися відповідне повідомлення для користувача.

Після узгодження питання вибору верстату переходимо безпосередньо до розробки управляючої програми.

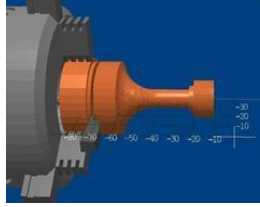
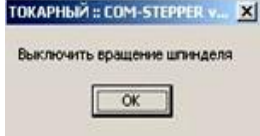
У таблиці 1 наведені основні етапи ілюстрації та виконання розробленої управляючої програми.

Таблиця 1

Програмний код операції	Опис дії	Ілюстрація
<b>N10 M04 S1500</b>	Режими обертання шпінделя: Напрямок обертання – проти годинникової стрілки; Частота обертання - 1500 об/хв	
<b>N20 G500 P1</b>	Пропозиція оператора	
<b>N30 M06 T1</b>	Встановлення першого інструменту у револьверну головку	
<b>N40 G00 X21.5 F300</b>	Підведення першого інструмента до нуля деталі із встановленою швидкістю.	



Програмний код операції	Опис дії	Ілюстрація
<i>N50 G01 Z66.F60</i>	Перший (чорновий) прохід різця на всю довжину деталі зі швидкістю 60мм/хв	
<i>N60 G00 X22.5</i>	Виконання операції «Підрізання торця»	
<i>N90 G00 Z0</i>	Східчасте зняття припуску для мінімізації припуску при наступній обробці радіусної поверхні	
<i>N560 G00 X40. Z10</i>	Розташування ріжучого інструмента в положенні «Нуль верстата»	
<i>N570 M06 T2</i>	Переустановка іншого інструмента	
<i>N580 G00 X11</i>	Розташування інструмента у початковій точці обробки	
<i>N600 G01 Z – 42</i>	Операція зняття припуску	
<i>N770 G00 X40</i>	Відвід інструмента в положення «Нуль верстата»	
<i>N790 M06 T1</i>	Операція зміни інструмента	
<i>N800 G00 Z – 31.5</i>	Формування вибраним інструментом радіусної поверхні	
<i>N830 G00 X40. Z10</i>	Відвід інструмента в положення «Нуль верстата»	
<i>N840 M06 T2</i>	Операція зміни інструмента	

Програмний код операції	Опис дії	Ілюстрація
<b>N850 G00 X21. Z – 64</b>	Виконання операції «Відрізання готової деталі»	
<b>N870 G00 X40</b>	Відвід інструмента в положення «Нуль верстата»	
<b>N20 G500 P1</b>	Інформація для оператора	

*Висновки.* Для уникнення помилок, які допускає технолог при проектуванні технологічного процесу та розробці управляючої програми в роботі запропонована методика контролю якості розробки управляючої програми із застосуванням віртуального стимулятора.

При застосуванні пропонованої методики контролю якості розробки управляючої програми користувач в спроможності скласти будь яку управляючу програму та побачити на екрані монітора процес виконання встановленої операції. Після освоєння, за допомогою пропонованого симулятора, навичок роботи на верстаті з числовим програмним управлінням, фахівець завжди зможе досить швидко адаптуватися до вимог виробництва, технологій та наявного на підприємстві устаткування.

#### *Список використаних джерел*

1. Казак І. О. Сучасні методи проектування: конспект лекцій. Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. 65 с.
2. Системи автоматизованого програмування верстатів з ЧПК : навчальний посібник / С. Л. Міранцов, В. І. Тулупов, С. Г. Онищук, Ю. Б. Борисенко, Є. В. Мішура, О. С. Ковалевська. Краматорськ : ДДМА, 2011. 152 с.
3. Гавриленко Є. А., Холодняк Ю. В. Моделювання складних функціональних поверхонь в пакеті тривимірного параметричного моделювання SolidWorks: методичні вказівки до виконання самостійної роботи з дисципліни ОПГ для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки». Мелітополь, 2016. 29 с.
4. Дмитрієв Ю. О., Мацулевич О. Є., Щербина В. М., Холодняк Ю. В. Проектування керуючих програм для верстатів



токарної групи з пристроєм числового програмного керування: навч. посібник. Мелітополь: ВПЦ «Люкс», 2018. 132 с.

5. ДСТУ 2391:2010. Система технологічної документації. Терміни та визначення основних понять. Київ, 2001. 24 с. (Інформація та документація).

6. ДСТУ ГОСТ 2.612:2014. Єдина система конструкторської документації. Електронний формуляр. Загальні вимоги (ГОСТ 2.612-2011, IDT). Київ, 2001. 54 с. (Інформація та документація).

7. Havrylenko Y., Kholodniak Y., Vershkov O., Naidysh A. Development of the method for the formation of one-dimensional contours by the assigned interpolation accuracy. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 1.1(4(91)). P. 76-82.

8. Havrylenko Ye., Kholodniak Yu., Halko S., Vershkov O., Miroshnyk O., Suprun O., Dereza O., Shchur T. AndŠrutek M. Representation of a Monotone Curve by a Contour with Regular Change in Curvature. *Entropy (Basel)*. 2021. Vol. 23(7). P. 923. <https://doi.org/10.3390/e23070923>.

9. Alrefo I. F., Matsulevych O., Vershkov O., Halko S., Suprun O., Miroshnyk O. Designing the working surfaces of rotary planetary mechanisms. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023. Vol. 4. P. 82-88. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-4/082>

10. Мацулевич О. Є., Щербина В. М., Залевський С. В. Автоматизація процесу геометричного моделювання робочих поверхонь насадок для фонтанів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2019. Вип. 8, т. 1. С. 55-68.

11. Мацулевич О. Є., Щербина В. М. Використання пакету прикладних програм NETCRACKER. *Фундаментальна підготовка фахівців у природничо-математичній, технічній, агротехнологічній та економічній галузях: матеріали Всеукраїнської наук.-практ. конференції з міжнар. участю (м. Мелітополь, 11 -13 вересня 2017 р.)*. Мелітополь, 2017. С. 107-108.

12. Корчинський В. М., Свиначенко Д. М., Мацулевич О. Є. Методи підвищення інформаційних показників багатоспектральних зображень на основі ортогоналізації даних. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2014. Вип. 14, т. 2. С. 264-270.

13. Щербина В. М., Холодняк Ю. В., Івженко О. В. Впровадження комп'ютерної графіки в навчальний процес при підготовці фахівців інженерних спеціальностей. *Удосконалення освітньо-виховного процесу в закладі вищої освіти*. 2020. Вип. 24. С. 554-558.



14. Мацулевич О. Є., Зінов'єва О. Г. Розв'язання задач аналізу тренд- сезонних часових рядів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2019. Вип. 19, т. 2. С. 264-270.

15. Мацулевич О. Є., Щербина В. М., Антонова Г. В. Програмне забезпечення для автоматизованого визначення параметрів різального інструменту фрезерної обробки корпусних деталей. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2020. Вип. 20, т. 3. С. 275-281.

16. Мацулевич О. Є., Вершков О. О., Холодняк Ю. В., Чаплінський А. П. Розробка мурашиного алгоритму для оптимізації оперативного планування робіт по збиранню врожаю кісточкових. *Плодовий сад – новітнє в теорії та практиці: матеріали V Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 106-110.

17. Гавриленко Є. А., Чаплінський А. П., Тетервак І. Р. Розробка функціональної моделі процесу створення САПР геометричних поверхонь зубозаточувального інструменту. *Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації: матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф. (Запоріжжя, 29-31 травня 2023 р.)*. Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. С. 48-56.

18. Дереза О. А., Антонова Г. В., Тетервак І. А., Валієва К. М. Аналітичні дослідження методики інтелектуального аналізу даних. *Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації: матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф. (Запоріжжя, 29-31 травня 2023 р.)* Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. С. 147-153.

19. Вершков О. О., Бондаренко Л. Ю., Антонова Г. В., Тетервак І. Р. Аналіз дослідної експлуатації програмного модулю розрахунку норм часу обробки деталей сільськогосподарської техніки. *Сучасні комп'ютерні та інформаційні системи і технології: матеріали III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. (Запоріжжя, 12-19 грудня 2022р.)* Запоріжжя: ТДАТУ, 2022. С. 94-100.

20. Івженко О. В., Антонова Г. В., Чаплінський А. П., Михайленко О. Ю. Спеціалізований програмний модуль розрахунку операційних норм часу обробки деталей сільськогосподарської техніки за умов індивідуальної організації праці. *Сучасні комп'ютерні та інформаційні системи і технології: матеріали III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. (Запоріжжя, 12-19 грудня 2022 р.)* Запоріжжя: ТДАТУ, 2022. С. 361-368.

21. Холодняк Ю. В., Гавриленко Е. А. Моделирование каркаса динамических поверхностей. *Інноваційні технології в агропромисловому комплексі: матеріали II Всеукраїн. наук.-практ. Інтернет-конференції*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 21-24.



22. Козина К. В., Дуков В. О., Вершков О. О. Виготовлення прес-форми для масового виробництва. *Збірник наукових праць магістрантів та студентів ТДАТУ*. Мелітополь, 2021. С. 30-31.

23. Bondarenko L., Halko S., Matsulevych O., Tetervak I, Vershkov O., Mirosnyk O., Nitsenko V., Havrysh V. Experimental Research on Unit Operation for Fruit Crops' Bones Calibration. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13(1). P. 21.

24. Холодняк Ю. В., Гавриленко Є. А., Зінов'єва О. Г. Розробка алгоритму моделювання кривих з заданими властивостями. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2023. Вип. 13, т. 1. № 41.

25. Тетервак І. Р. Проблема наявності патогенів у компості. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2023. Вип. 13, т. 2. № 16.

**О. Matsulevych<sup>1</sup>, О. Vershkov<sup>1</sup>,**

**<sup>1</sup>Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University**

**IMPROVEMENT OF THE QUALITY CONTROL METHODOLOGY  
OF CONTROL PROGRAM DEVELOPMENT USING  
A WORK SIMULATOR CNC LATHE**

*Summary*

In any field of modern mechanical engineering, the majority of component parts of assemblies and units are cylindrical parts, which are usually machined on lathes. Depending on the complexity of such products, ordinary (manual) lathes are used for their manufacture. and numerically controlled lathes. In this case, it is advisable to use numerically controlled (CPU) machines in automated design (CAD) systems as the main machine tool for performing turning operations of any complexity. For the use of CNC turning equipment in the processing of multi-stage shafts, the use of CAD/CAM systems for technological preparation of production is extremely necessary. With the help of such systems, it becomes possible to automate the process of creating the trajectory of forming the desired surface with the desired quality of processing due to the selection of optimal cutting modes and revolutions of the lathe. However, all the same, a CNC lathe cannot implement high-quality automated control of all elements of the multi-stage shaft machining modes. In this case, the intervention of a technologist is necessary. In this case, he (technologist) personally assigns the necessary processing modes based on his own experience when choosing a cutting tool using the recommendations of the tool manufacturer. This approach to tool selection causes a decrease in the efficiency of the turning process of multi-stage shafts. In order to avoid mistakes made by the technologist when designing the technological process and developing the control program, the method of quality control of the development of the control program with the use of a virtual simulator is proposed in the work.

**Keywords:** zero of the machine coordinate system (NC), zero of the part coordinate system (ND), control program, linear interpolation, circular interpolation, caliper speed, spindle speed, tool parameters, simulation of turning processing, simulator (simulator).



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2-13

УДК [744:004.9](477)

І. Г. Стукалець <sup>1</sup> , канд. техн. наук	ORCID 0000-0001-7107-4865
С. В. Коробка <sup>1</sup> , канд. техн. наук	ORCID 0000-0002-4717-509X
О. Г. Скляр <sup>2</sup> , канд. техн. наук	ORCID 0000-0002-0456-2479
Б. В. Болтянський <sup>2</sup> , канд. техн. наук	ORCID 0000-0003-2072-4025
Р. В. Скляр <sup>2</sup> , канд. техн. наук	ORCID 0000-0002-1547-5100

<sup>1</sup> Львівський національний університет природокористування<sup>2</sup> Таврійський державний агротехнологічний університет

імені Дмитра Моторного

e-mail: igorstukalets@gmail.com, тел.: +380974936424

## ОФОРМЛЕННЯ КРЕСЛЕНИКІВ У СЕРЕДОВИЩІ SOLIDWORKS ВІДПОВІДНО ДО НАЦІОНАЛЬНИХ СТАНДАРТІВ УКРАЇНИ ТА МІЖДЕРЖАВНИХ СТАНДАРТІВ

*Анотація.* В статті розглянуто можливості системи автоматизованого проектування *SolidWorks*, яка містить *CAD*-, *CAE*, *CAM*-модулі та дозволяє виконувати широкий спектр інженерних задач, зокрема оформлення креслеників та створення конструкторської документації. Під час дослідження проблематики стосовно оформлення креслеників у середовищі *SolidWorks* виявлено, що стандартні шаблони файлів моделей деталей та складаних одиниць, які є в переліку шаблонів моделей *SolidWorks*, потребують додаткових налаштувань для ефективного використання в інженерній практиці машинобудівного виробництва в плані узгодженості файлів моделей виробів з файлами креслеників цих моделей. Досліджено що, незважаючи на наявність шаблонів креслеників відповідно до стандартів ГОСТ у стандартному переліку шаблонів *SolidWorks*, такі шаблони не відповідають ані вимогам ГОСТ, ані вимогам національних стандартів України, ані міждержавних стандартів, які чинні в Україні. У статті доведено необхідність у створенні шаблонів моделей деталей і складаних одиниць креслеників та описано послідовність створення шаблонів для оформлення специфікації виробу в *SolidWorks* відповідно до вимог чинних в Україні стандартів.

*Ключові слова:* *SolidWorks*, *Property Tab Builder*, ДСТУ, кресленик, конструкторська документація.

*Постановка проблеми.* Однією з найпопулярніших у світі систем автоматизованого проектування (САПР) є *SolidWorks*, яка містить *CAD*-, *CAE*-, *CAM*-модулі, та дозволяє виконувати широкий спектр інженерних задач, пов'язаних з життєвим циклом виробу. Сучасні підходи до конструювання технічного виробу передбачають створення тривимірної моделі виробу, її інженерний аналіз, а також оформлення пакету технічної документації, який включає в тому числі



й оформлення робочих креслеників деталей, креслеників складаних одиниць та специфікацій до них [4].

В Україні сьогодні чинними є національні стандарти України, зокрема ідентичні переклади міжнародних стандартів *ISO*, а також міждержавні стандарти ГОСТ, ДСТУ ГОСТ. Ці стандарти регламентують вимоги до оформлення креслеників. Поряд з тим, що переважна більшість конструкторських робіт виконуються з використанням САПР, в тому числі *SolidWorks*, існує ціла низка невідповідностей налаштувань програми до вимог чинних в Україні стандартів [5-17].

Крім невідповідності вимогам стандартів існує ще й проблема відсутності в програмі стандартних шаблонів документів, які б можна було легко адаптувати до потреб та умов конкретного підприємства чи установи.

Сьогодні у тематичних форумах, чатах, спільнотах соціальних мережах є чимало запитів на україномовні шаблони креслеників, а також запитань стосовно заходів з адаптації програми до вимог ЄСКД, національних стандартів чи стандартів *ISO*, які б полегшували та пришвидшували роботу користувача. У навчальних закладах, в яких здійснюється підготовка фахівців інженерного профілю з використанням *SolidWorks*, також постійно виникає потреба у додатковому налаштуванні програми. Якщо на підприємствах ці проблеми вирішуються шляхом створення інженерами власних шаблонів документів відповідно до потреб виробництва, то в навчальних закладах такі задачі часто залишаються невирішеними.

З огляду на викладене вище, виникає необхідність у розробленні додаткових файлів-шаблонів, файлів властивостей моделей та стандартів з певними налаштуваннями *SolidWorks*, які б відповідали вимогам чинних в Україні стандартів на оформлення конструкторської документації.

*Аналіз останніх досліджень.* На жаль, сьогодні питанням оформлення конструкторської документації в середовищі САПР *SolidWorks* приділяється надто мало уваги, що негативно відображається як на якості підготовки фахівців інженерного профілю в навчальних закладах, так і на рівні виконання конструкторської документації в умовах виробництва. Це передовсім, на думку авторів, пов'язано з браком кадрів з ґрунтовною підготовкою з курсу рисової геометрії та інженерної графіки і які б на достатньо високому рівні володіли сучасними *CAD*-системами. Крім того, з огляду на постійну зміну тенденцій в системі стандартизації, важливим є постійний моніторинг таких змін.

В навчально методичних виданнях, пов'язаних з оформленням креслеників у *SolidWorks*, здебільшого використовуються стандартні



російськомовні шаблони форматів креслеників, а питання синхронізації кресленика з тривимірною моделлю виробу, якщо й розглядається, то дуже поверхнево. В окремих виданнях питання оформлення креслеників зовсім упускається, основна увага акцентується лише на створенні тривимірних моделей та вивченні інструментарію програми [1-3, 18-20].

Праці наукового чи науково-практичного характеру, які присвячені проблемам оформлення креслеників у *SolidWorks* відповідно до національних стандартів України та міждержавних стандартів, а також налаштування програми і створенню україномовного діалогового середовища та заповнення форм основного напису чи специфікації сьогодні, на жаль, практично відсутні.

*Формулювання мети статті (постановка завдання).* Метою проведених у статті досліджень є приведення налаштувань системи автоматизованого проектування *SolidWorks* та її шаблонів документів у відповідність до вимог національних стандартів України та міждержавних стандартів.

*Основна частина.* Оформленню конструкторської документації в середовищі *SolidWorks* передуює створення тривимірної моделі виробу. Стандартно в *SolidWorks* передбачено три типи документів: деталь, складанна одиниця та кресленик (рис. 1) [4].

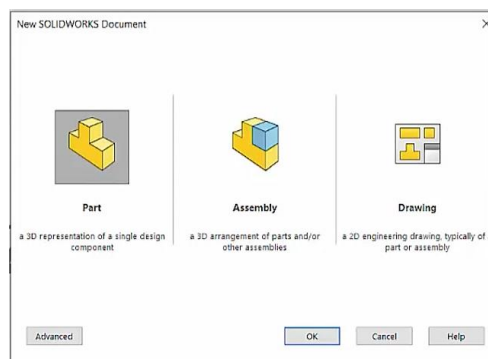


Рис. 1. Стандартні типи документів *SolidWorks*

Для того, щоб файл моделі деталі був синхронізований з файлом кресленика цієї ж деталі, він, окрім геометричних параметрів, повинен володіти цілим набором параметрів, які призначаються у властивостях моделі. Якщо розглянути стандартний перелік таких властивостей (рис. 2), то він порожній, оскільки не передбачений розробниками.

Для створення властивостей моделі рекомендуємо використовувати утиліту *Property Tab Builder*, яка інтегрована в стандартний пакет *SolidWorks*, її піктограма розміщена на панелі задач *SolidWorks*. Утиліта являє собою конструктор для створення

діалогового вікна властивостей тривимірної моделі. Вікно утиліти поділено на три стовпці (рис. 3).

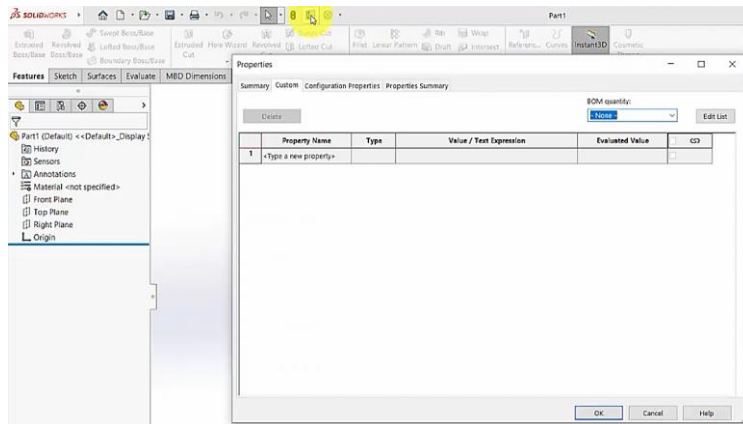


Рис. 2. Вікно властивостей моделі деталі (стандартна версія)

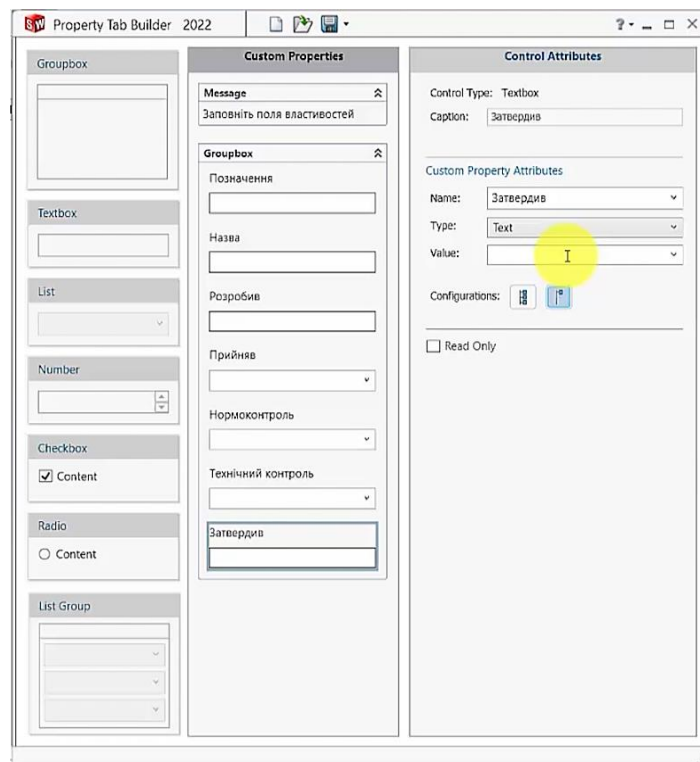


Рис. 3. Вікно утиліти *Property Tab Builder*

У першому з них розміщено набір інструментів для створення діалогового вікна користувача. Набір інструментів містить інструмент створення текстового поля, поля списку, поля введення числових значень, чекбоксу, радіокнопки та поля списку. В другому стовпці відображаються власне властивості, які задано користувачем. Третій стовпець призначено для редагування атрибутів моделі.

За допомогою утиліти *Property Tab Builder* можна створити діалогове вікно властивостей моделі деталі, складанної одиниці, кресленика, а також зварної конструкції.

Для моделі деталі перелік властивостей повинен відповідати змісту полів основного напису, які потрібно заповнити під час оформлення кресленика на цю деталь, а саме: позначення; назва деталі; відомості про розробника, нормоконтроль, технічний контроль та відповідальну особу, яка затверджує кресленик; перелік розділів специфікації; відомості про заготовку, типорозмір та матеріал деталі; маса деталі; організація або установа, де виконується робота. Такі параметри як маса та матеріал, потрібно задавати як стандартні параметри *SolidWorks*. В такому випадку ці властивості моделі будуть розраховуватися та призначатися програмою автоматично без участі користувача.

Файл властивостей моделі потрібно зберегти в окремий файл та розмістити у системній директорії з файлами властивостей моделей *SolidWorks*. У статті запропоновано варіант діалогового вікна властивостей моделі, розроблений для закладу освіти і в кінцевому результаті має вигляд, представлений на рис. 4.

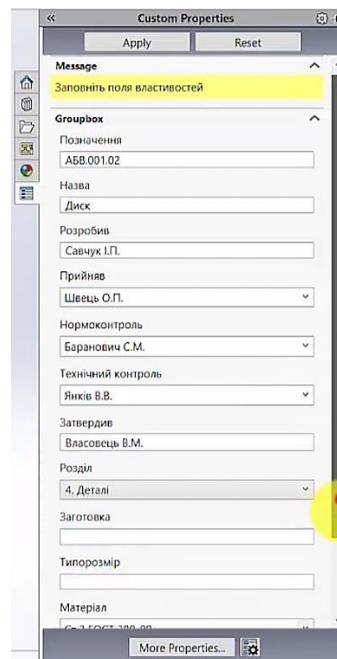


Рис. 4. Діалогове вікно властивостей моделі деталі

Схожі налаштування необхідно виконати і для файлу властивостей складанної одиниці. Для цього можна використати уже наявний файл властивостей моделі, відредагувати його та зберегти під новою назвою. Для цього у вікні *Property Tab Builder* потрібно вибрати тип файлу «Збірка» (рис. 5).

Поле «Матеріал» потрібно вилучити зі списку властивостей, оскільки для кресленика складанної одиниці це поле не заповнюють. Натомість необхідно додати нове поле списку «Код документа» (рис. 6).

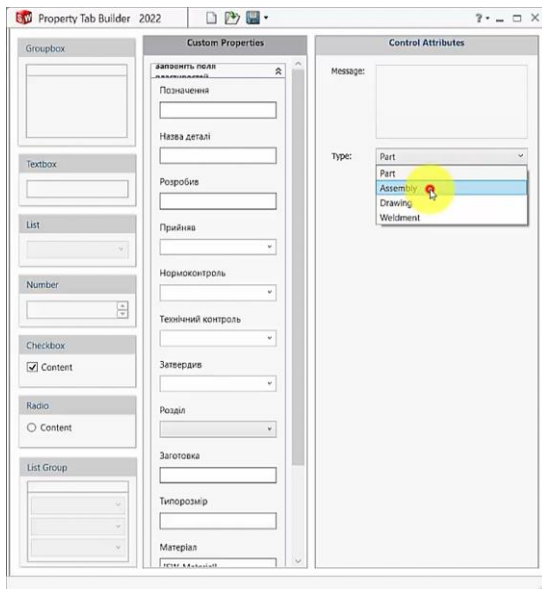


Рис. 5. Вибір типу документа «Збірка»

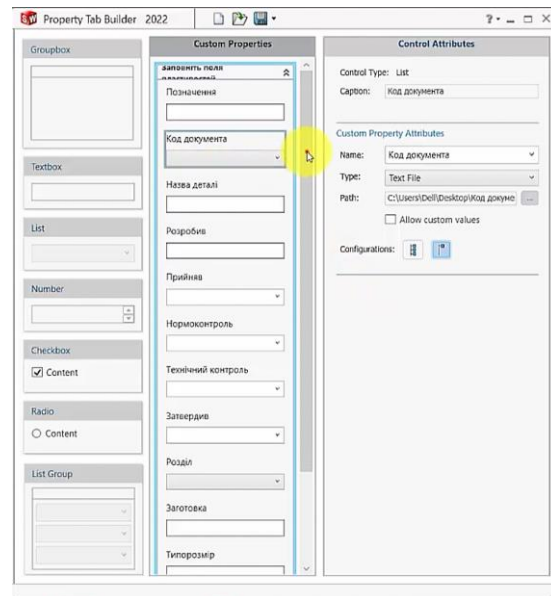
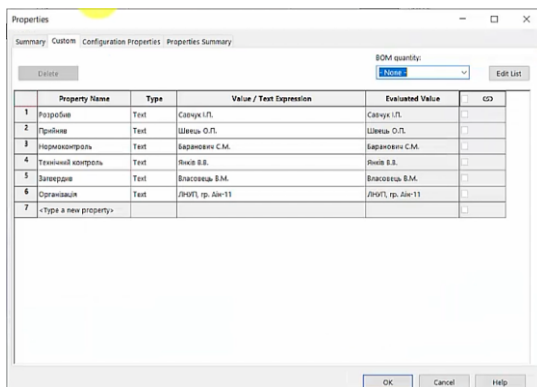
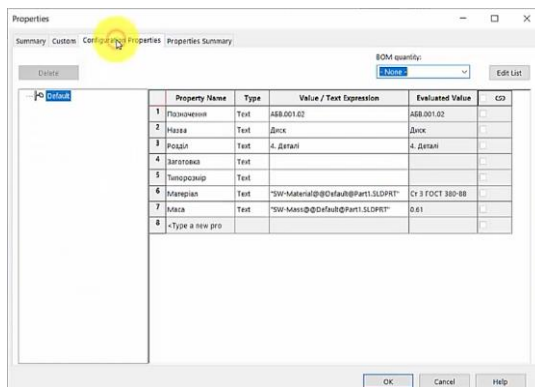


Рис. 6. Перелік властивостей для файлу складанної одиниці

Після заповнення полів властивостей необхідною текстовою інформацією, вікно властивостей моделі матиме вигляд, зображений на рис. 7.



а)



б)

Рис. 7 Вікно властивостей моделі деталі:

а) – вкладка властивостей користувача;

б) – вкладка властивостей конфігурацій

Задання властивостей моделі є необхідним не лише для підвищення автоматизації оформлення креслеників, але й для так званої безпаперової технології виробництва, яка не передбачає оформлення креслеників на креслярських форматах, але вимагає чіткого задання властивостей тривимірної електронної моделі виробу.

У зв'язку з тим, що україномовний ринок користувачів САПР *SolidWorks* у світі порівняно невеликий, українізація цього

програмного продукту відсутня і впровадження її розробниками програми у найближчій перспективі, на жаль, не передбачається. Однак, при бажанні користувач має змогу самотужки перейменувати деякі стандартні позиції дерева конструювання програми, наприклад – «Історія», «Давачі», «Примітки», «Площина спереду», «Площина зверху», «Площина зліва» та «Початок координат».

Файл моделі варто налаштувати відповідно до потреб конкретного користувача. Це стосується як інтерфейсу програми, так і матеріалу деталі, який використовується найчастіше. Обов'язковим налаштуванням є встановлення системи одиниць користувача – міліметри, кілограми секунди (рис. 8) для того, щоб маса в основному написі кресленника відображалася в кілограмах, як це передбачено чинним стандартом.

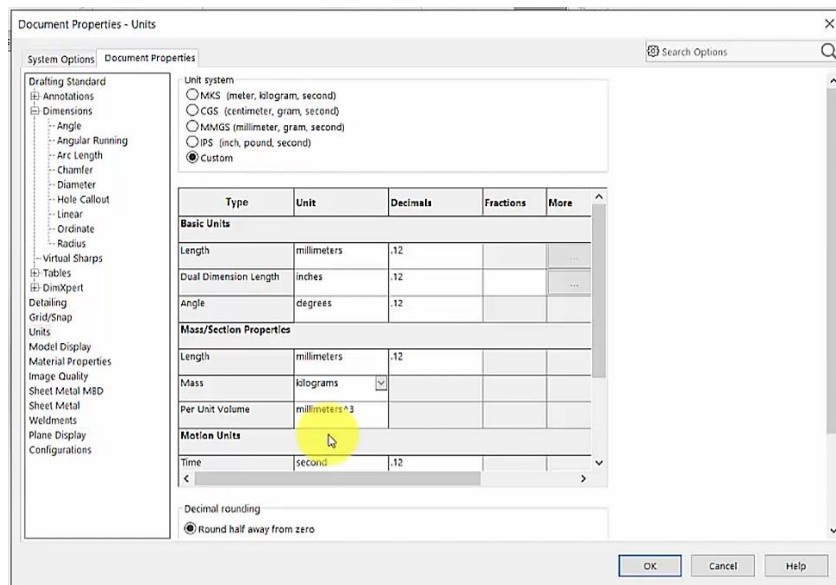


Рис. 8. Налаштування системи одиниць користувача

Після налаштувань файл необхідно зберегти у форматі шаблону деталі та зберегти у директорії шаблонів *SolidWorks*.

Стандартні формати креслеників та оформлення основного напису розробниками програми орієнтовані на російськомовний ринок та не зовсім відповідають навіть міждержавним стандартам ГОСТ. Тому необхідним є створення форматів з відповідним оформленням та шаблонів креслеників.

Для створення формату кресленника згідно з вимогами ДСТУ ГОСТ 2.104:2006 необхідно створити новий файл кресленника, налаштувати розміри потрібного формату, розграфити його відповідно до вимог стандарту та ввести у графі основного напису текст українською мовою (рис. 9).

Зм.	Аркци	№ документа	Підпис	Дата	Литера	Маса	Масштаб
Розробив							
Прийняв							
Н. контр.					Аркци	Аркци	
Т. контр.							
Затвердив							

Рис. 9. Таблиця основного напису, розроблена користувачем відповідно до ДСТУ ГОСТ 2.104:2006

Після оформлення формату файл необхідно зберегти з розширенням «\*slddrt» у директорії форматів креслеників *SolidWorks*. Такі файли варто створити для усіх розмірів форматів, які використовує користувач.

Після цього потрібно створити файл шаблону кресленника. Насамперед необхідно створити файл стандарту, відповідно до якого користувач оформлятиме кресленик. Для цього в діалоговому вікні налаштувань системи у вкладці «Властивості документа» (рис. 10) потрібно у кожному розділі налаштувати кожен з параметрів відповідно до вимог стандарту. Наприклад, для розділу «Розміри» потрібно виконати такі налаштування:

- шрифт – *Gost Type A*;
- розмір шрифту – 3,5 мм;
- вибрати стиль відображення стрілки розмірної лінії;
- відстань від контуру деталі до розмірної лінії – 10 мм;
- відстань між розмірними лініями – 7 мм;
- відключити незначущі нулі в розмірних числах;
- вибрати стиль та розміщення тексту в позначенні фасок;
- вибрати тип позначення діаметральних розмірів – на полиці з відображенням двох стрілок розмірної лінії;
- позначення радіуса – на полиці.

Після завершення налаштувань їх зберігають в окремому зовнішньому файлі стандарту кресленника в директорію з шаблонами *SolidWorks*. Таким чином, в процесі оформлення кресленника буде дотримано всіх вимог відповідно до обраного стандарту. Такі налаштування вимагають досить ґрунтовних знань вимог чинних стандартів щодо оформлень креслеників.

Для того, щоб синхронізувати заповнення полів тексту основного напису, необхідно налаштувати посилання властивостей кожного поля на відповідну властивість моделі деталі чи складанної одиниці. Для цього на панелі менеджера властивостей (рис. 11) за

допомогою інструменту «Посилання на властивість» вказують модель і пункт, на який потрібно дати посилання властивості.

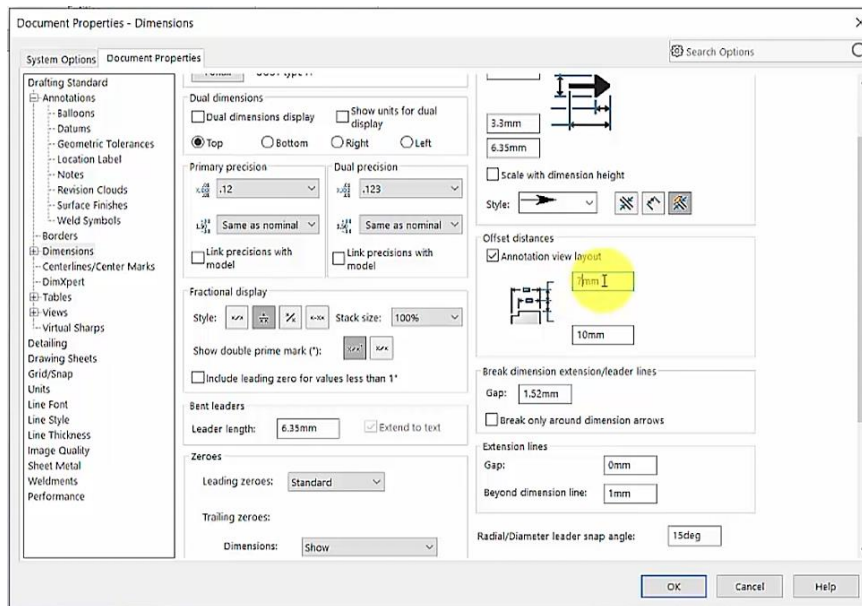


Рис. 10. Налаштування параметрів розділу «Розміри» у властивостях документа

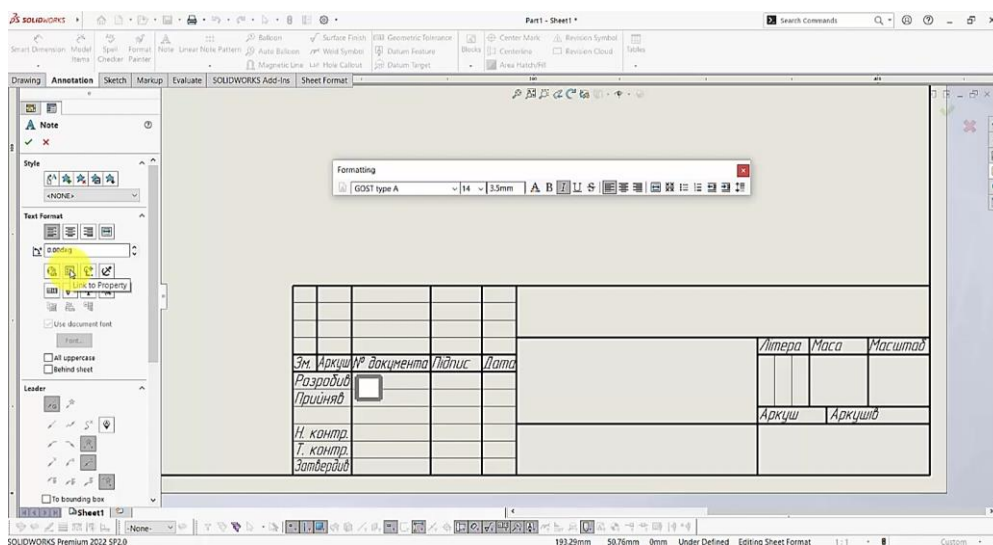


Рис. 11. Задання посилання на властивість моделі

Важливим елементом налаштувань шаблону кресленика є призначення європейської системи відображення видів моделі на кресленику. В Україні прийнято першооктантний метод проєціювання, який відповідає європейській системі представлення видів (*ISO-E*), однак розробниками *SolidWorks* за замовчуванням встановлено американську систему представлення видів. Тому для приведення у відповідність до національного стандарту необхідно здійснити налаштування властивостей аркуша кресленика –

встановити тип проєкції по першому куту у вікні налаштувань (рис. 13).

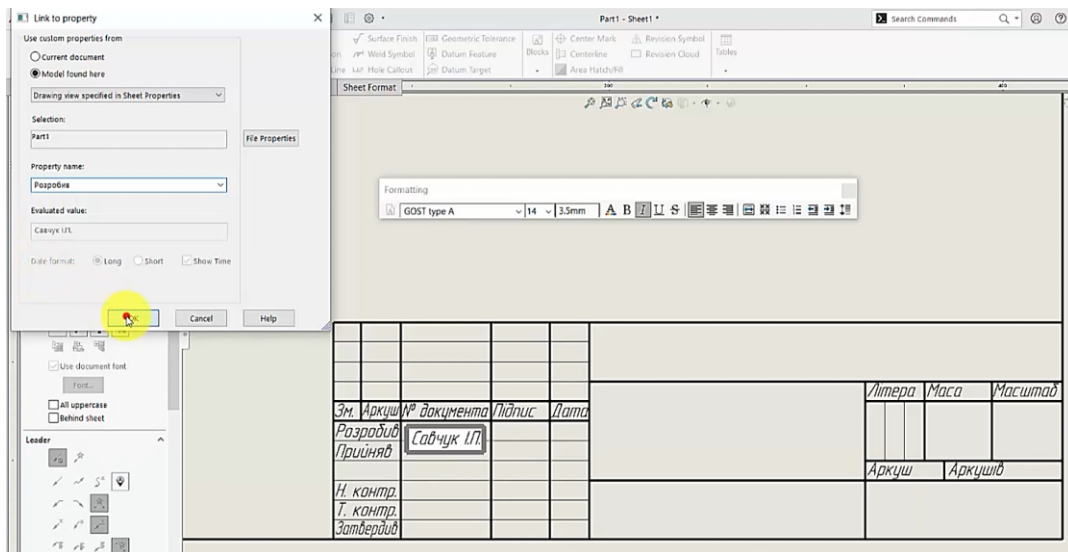


Рис. 12. Призначення властивості моделі

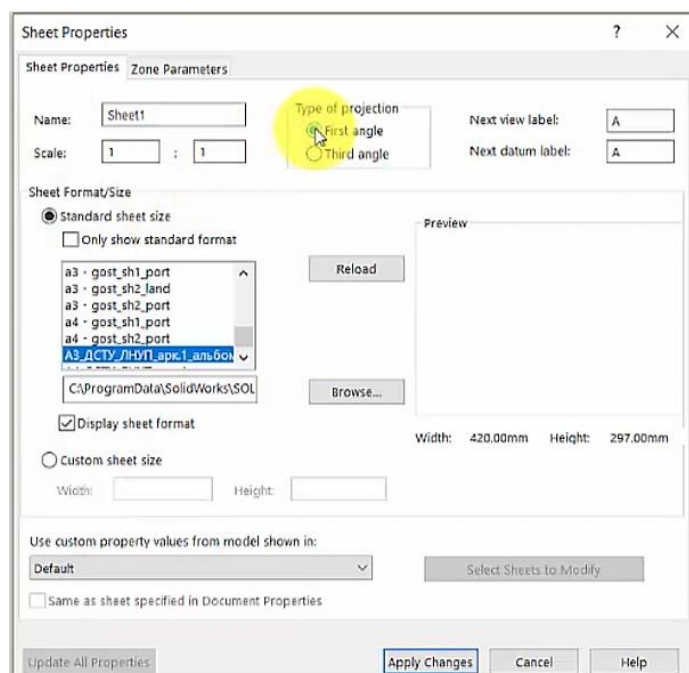


Рис. 13. Встановлення європейської системи відображення видів моделі

Після завершення усіх налаштувань файлу його необхідно зберегти як шаблон кресленника з розширенням «*\*drwdot*» у директорію шаблонів *SolidWorks*. Якщо всі описані вище налаштування виконано правильно, то заповнення основного напису відбуватиметься автоматизовано, а оформлення кресленника буде відповідати вимогам чинних стандартів (рис. 14).



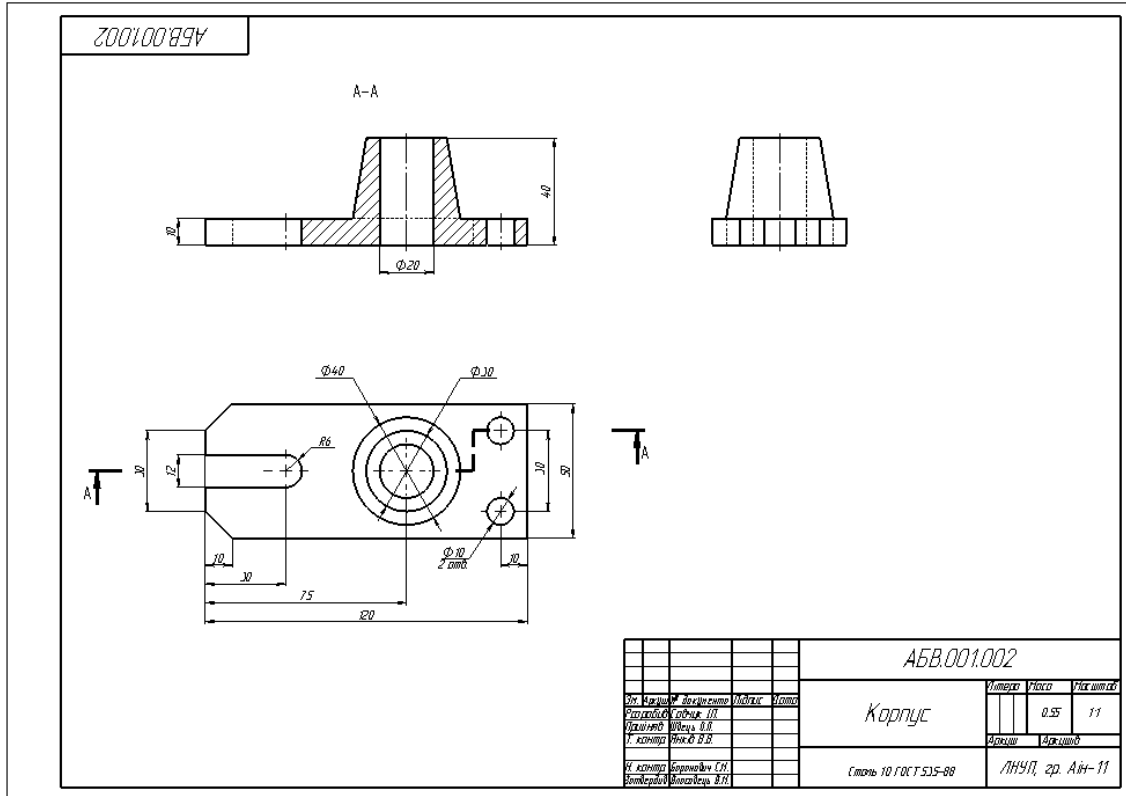


Рис. 14. Оформлений кресленик з використанням шаблону та налаштувань користувача

Аналогічні налаштування необхідно виконати для файла шаблону кресленника складанної одиниці. Для оформлення специфікації складанної одиниці відповідно до чинного в Україні міждержавного стандарту ГОСТ 2.106-96 потрібно також створити шаблон (рис. 15).

Стандартно в *SolidWorks* таблиця специфікації не відповідає вимогам ГОСТ 2.106-96 (рис. 16). Тому вона потребує додаткового налаштування з додаванням необхідних стовпців та сортування переліку елементів відповідно до розділів специфікації, як цього вимагає стандарт.

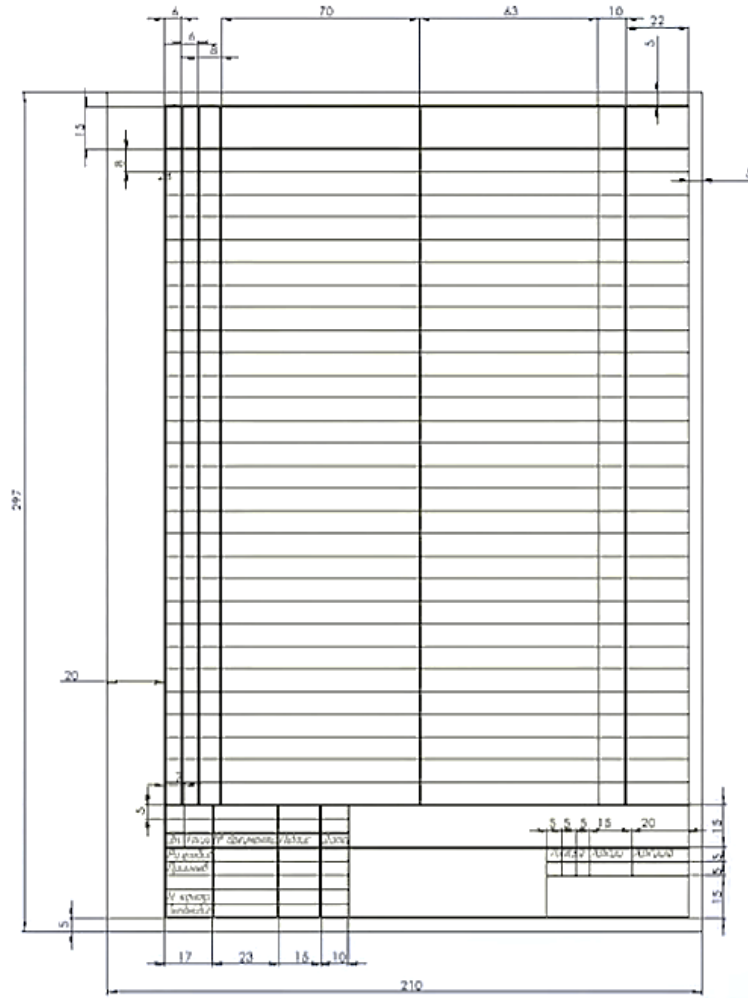


Рис. 15. Шаблон специфікації

ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	M400.8100.01		1
2	M400.8100.02		1
3	M400.8100.03		1
4	M400.8100.04		1
5	M400.8100.05		1
6	Болт М6х60 ГОСТ Р 50792-95		4
7	Шайба А.6.31АМ25 ГОСТ 11371-78		4
8	Гайка М6 ГОСТ 5915-70		4
9	ISO 2338 - 5 m6 x 10 - S1		1
10	Винт М5х8 ГОСТ 28964-91		2

Рис. 16. Стандартна специфікація *SolidWorks*

Після завершення усіх налаштувань специфікація складанної одиниці має вигляд, представлений на рис. 17.

Формат	Знак	Розмір	Позначення	Назва	К-сть	Примітка
				<i>Документація</i>		
			M400.8100.00	Складальний кресленик		
				<i>Складанні одиниці</i>		
				<i>Деталі</i>		
			1 M400.8100.01	Стрижень	1	
			2 M400.8100.02	Кришка	1	
			3 M400.8100.03	Напіввкладиш лівий	1	
			4 M400.8100.04	Напіввкладиш правий	1	
			5 M400.8100.05	Втулка	1	
				<i>Стандартні вироби</i>		
			6	Болт М6х60 ГОСТ Р 50792-95	4	
			7	Гайка М6 ГОСТ 5915-70	4	
			8	Гвинт М5х8 ГОСТ 28964-91	2	
			9	Шайба А.6.31.АМ25 ГОСТ 11371-78	4	
			10	Штифт ISO 2338 - 5 т6 х 10 - S1	1	
M400.8100.00						
Зм.	Архив	№ документа	Підпис	Дата		
Розробив	Студент І.В.					
Перевірив	Студент І.В.					
Н. контр.	Швець О.П.					
Затвердив	Власовець В.М.					
Тяга					Літера	Аркуш
					ЛНУП	гр. Маш-11

Рис. 17. Специфікація, створена на основі шаблону користувача

Описані вище дії з налаштування системи *SolidWorks* та створення власних шаблонів користувача вимагають певних затрат часу, однак в кінцевому результаті підвищують ефективність роботи та дають змогу оформляти кресленики у повній відповідності до чинних в Україні національних та міждержавних стандартів.

**Висновки.** За підсумками досліджень, описаних у статті можна зробити низку висновків, які полягають у наступному:

1. Стандартні шаблони файлів моделей деталей та складаних одиниць, запропоновані розробниками САПР *SolidWorks*, потребують додаткових налаштувань для адаптації їх до ефективного використання в інженерній практиці машинобудівного виробництва в плані узгодженості файлів моделей виробів з файлами креслеників цих моделей.

2. Ефективним інструментом для задання властивостей моделі є утиліта *Property Tab Builder*, процедуру використання якої описано в статті. Використання такого конструктора діалогового вікна задання



властивостей моделі виробу як *Property Tab Builder* є актуальним як для оформлення конструкторської документації у вигляді креслеників, так і в «безпаперовій» технології виробництва, яка не передбачає створення креслеників, а створення лише електронної моделі виробу.

3. Дослідження показали, що, незважаючи на наявність шаблонів креслеників відповідно до стандартів ГОСТ у стандартному переліку шаблонів *SolidWorks*, такі шаблони не відповідають ані вимогам ГОСТ, ані вимогам національних стандартів України, ані міждержавних стандартів, які чинні в Україні.

4. Під час оформлення специфікації у *SolidWorks* відповідно до вимог чинного в Україні міждержавного стандарту ГОСТ 2.106-96 необхідним є створення власного файлу шаблону таблиці специфікації та файлу формату специфікації, приклади створення яких наведено в публікації.

#### *Список використаних джерел*

1. Антонович Є. А., Василишин Я. В., Шпільчак В. А. Креслення: навч. посібник для студ. ВНЗ. Львів: Світ, 2006. 512 с.

2. Ванін В. В., Блюк А. В., Гнітецька Г. О. Оформлення конструкторської документації : навч. посібник. 4-те вид., випр. і доп. Київ : Каравела, 2012. 200 с.

3. Виходець В. В., Качмар Б. П., Стукалець І. Г. Інженерна графіка. Проекційне креслення: навч. посібник. Львів: ЛНАУ, 2009. 193 с.

4. Довідка SolidWorks. URL : <https://help.solidworks.com/2024/English/SolidWorks/sldworks/HelpViewerDS.htm> (дата звернення: 23.03.2024).

5. ГОСТ 2.106-96. Єдина система конструкторської документації. Текстові документи. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 39 с.

6. ДСТУ 3321:2003. Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 54 с.

7. ДСТУ ГОСТ 2.104:2006. Єдина система конструкторської документації. Основні написи. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 23 с.

8. ДСТУ EN ISO 7200:2005. Розроблення технічної документації. Графи у штампах та основних написах. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 10 с.

9. ДСТУ ISO 128-22:2005. Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 22. Основні положення та правила застосування ліній-виносок і полиць ліній-виносок. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 13 с.



10. ДСТУ ISO 128-34:2005. Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 34. Види на машинобудівних креслениках. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 17 с.

11. ДСТУ ISO 128-40:2005. Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 40. Основні положення про розрізи та перерізи. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 11 с.

12. ДСТУ ISO 3098-2:2007. Документація технічна на виробі. Шрифти. Частина 2. Латинська абетка, цифри і знаки. Київ: Держспоживстандарт України, 2009. 10 с.

13. ДСТУ ISO 3098-6:2007. Документація технічна на виробі. Шрифти. Частина 6. Кирилична абетка. Київ: Держспоживстандарт України, 2009. 10 с.

14. ДСТУ ISO 5455:2005. Кресленики технічні. Масштаби. Київ, Держспоживстандарт України, 2006. 7 с.

15. ДСТУ ISO 5456-2:2005. Кресленики технічні. Методи проєціювання. Частина 2. Ортогональні зображення. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 15 с.

16. ДСТУ ISO 5457:2006. Документація технічна на виробі. Кресленики. Розміри та формати. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 11 с.

17. ДСТУ ISO 7573:2018. Кресленики технічні. Специфікація. Київ: Держспоживстандарт України, 2018. 10 с.

18. Ковбашин В. І., Пік А. І. Інженерна графіка. Тернопіль: Підручники і посібники, 2023. 240 с.

19. Михайленко В. Є., Ванін В. В., Ковальов Ю. С. Інженерна графіка. Київ: Каравела, 2002. 284 с.

20. Основи технічної документації : навч. посібник для студ. техн. спеціальностей / Т. В. Терлецький, О. Л. Кайдик, А. А.Ткачук, О. Ю. Речун; під заг. ред. Т. В. Терлецького. Луцьк: ІВВ Луцького НТУ, 2021. 126 с.

*Стаття надійшла до редакції 01.04.2024 р.*



I. Stukalets<sup>1</sup>, S. Korobka<sup>1</sup>, O. Skliar<sup>2</sup>, B. Boltianskyi<sup>2</sup>, R. Skliar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lviv National Environmental University

<sup>2</sup>Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

## DESIGN OF ENGINEERING DRAWINGS IN SOLIDWORKS ACCORDING TO NATIONAL STANDARDS OF UKRAINE AND INTERSTATE STANDARDS

### *Summary*

The article examines the capabilities of the SolidWorks automated design system, which contains CAD, CAE, CAM modules and allows you to perform a wide range of engineering tasks, in particular, drawing drawings and creating design documentation. During the study of issues related to the design of drawings in the SolidWorks environment, it was found that the standard file templates of part models and assembly units, which are in the list of SolidWorks model templates, require additional settings for effective use in the engineering practice of mechanical engineering production in terms of consistency of product model files with drawing files these models.

This article describes the procedure for creating a product model properties file for later use when creating 3D models of parts and assemblies. It has been established that an effective tool for creating model properties is the Property Tab Builder utility, which is part of the SolidWorks automated design system package, and is a kind of dialog box designer designed for the user to specify product model properties. The use of this dialog box designer to set the properties of the product model is relevant both for design documentation in the form of drawings and for the so-called «paperless» production technology, which does not involve the creation of drawings, but only the creation of an electronic model of the product.

The article investigates that, despite the presence of draftsman templates in accordance with GOST standards in the standard list of SolidWorks templates, such templates do not meet either the requirements of GOST, the requirements of the national standards of Ukraine, or the interstate Ukrainian standards. The article proves the need for creating templates of models of parts and assemblies of drafters and describes the sequence of creating templates for designing product specifications in SolidWorks in accordance with the requirements of the Ukrainian standards. A brief description of the procedure for creating draft formats, tables of the main inscription is provided. In addition, it describes the steps to create a BOM file and a BOM template that are synchronized with product model files and model drawings. All the template files proposed in the article meet the current Ukrainian standards for design documentation.

**Keywords:** SolidWorks, Property Tab Builder, DSTU, engineering drawing, design documentation.



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2-14

УДК [514.1+602]:616.7

О. В. Залевська<sup>1</sup>, канд. техн. наук ORCID: 0000-0002-3163-1695В. М. Можаровський<sup>1</sup>, канд. техн. наук ORCID: 0009-0002-0884-4876Л. В. Суворов<sup>2</sup>, зав. лабораторією ORCID: 0000-0002-3163-1695А. С. Половий<sup>2</sup> ORCID: 0009-0007-9849-8968К. Д. Оленєва<sup>1</sup>, асистент ORCID: 0000-0002-5576-4601<sup>1</sup> Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

<sup>2</sup> Державна Установа "Інститут травматології та ортопедії

Національної Академії Медичних Наук України"

e-mail: o.zalevska@kpi.ua, тел.: +380975154221

## МОДЕЛЮВАННЯ КОЛІННОГО СУГЛОБА З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ФРАКТАЛЬНОЇ ГЕОМЕТРІЇ НА ОСНОВІ ДАНИХ З МАГНІТНО-РЕЗОНАНСНОЇ ТЕРАПІЇ

*Анотація.* У даній статті розглядається підхід до створення тривимірних моделей колінного суглоба, який базується на використанні геометричного моделювання та принципів фрактальної геометрії. Основою для моделювання слугують дані, отримані з магнітно-резонансної томографії (МРТ). Це дозволяє з високою точністю відтворити анатомічну структуру колінного суглоба, включаючи кісткові елементи, хрящову тканину та зв'язки. Проаналізовано методи геометричного моделювання, які застосовуються для створення точних тривимірних моделей на основі двовимірних зображень МРТ. Досліджено застосування фрактального аналізу для визначення складних структур, які важко описати за допомогою традиційних геометричних методів. Окрема увага приділяється алгоритмам обробки зображень, які дозволяють виокремити об'єкти інтересу з МРТ-зображень та автоматизувати процес сегментації. Результати дослідження демонструють, що використання комбінованого підходу, який об'єднує геометричне моделювання та фрактальну геометрію, що значно підвищить якість та точність тривимірних моделей колінного суглоба та дозволить проводити більш якісний аналіз медичних досліджень, діагностики та планування лікувальних заходів, особливо в ортопедії та травматології. Також наведено порівняльний аналіз наведеного підходу з традиційними методами моделювання, аналіз переваг та недоліків запропонованого підходу, а також рекомендації щодо його практичного застосування

*Ключові слова:* медичні дані, тривимірна модель, колінний суглоб, візуалізація, фрактальна геометрія, геометричне моделювання, програмне забезпечення.

*Постановка проблеми.* Колінний суглоб є одним з найбільш складних та навантажених суглобів людського організму. Це



призводить до травм та захворювань, таких як остеоартрит. Точне розуміння анатомії колінного суглоба є важливим для діагностики, планування лікування та реабілітації пацієнтів. Магнітно-резонансна томографія (МРТ) надає детальні зображення анатомічних структур, але потребує перетворення двовимірних зображень на тривимірні моделі.

Незважаючи на розвиток галузі медичного зображення та комп'ютерного моделювання, існують певні обмеження при створенні тривимірних моделей колінного суглоба. До таких обмежень належить обмежена точність, відсутність деталізації, складність інтеграції даних.

Метою даного дослідження є розробка та валідація методології для створення тривимірних моделей колінного суглоба на основі геометричного моделювання та фрактальної геометрії. Це дозволить уникнути деяких обмежень та покращити точність та деталізацію анатомічних моделей для підвищення ефективності діагностики, планування лікування та реабілітаційних заходів.

*Аналіз останніх досліджень.* Геометричне моделювання колінного суглоба використовується для створення тривимірної візуалізації анатомічних структур. Важливість цього підходу підкреслюється в роботах, таких як [1]. В цій роботі автори демонструють, як МРТ-дані можуть бути використані для створення детальних 3D моделей колінного суглоба.

В [2-3] досліджується застосування передових методів геометричного моделювання для аналізу біомеханіки колінного суглоба. Акцент зроблено на вдосконалення розуміння зв'язку між анатомічною структурою та функціональними характеристиками. У роботі [4] автори викладають методики геометричного моделювання, що дозволяють точно відтворювати механіку колінного суглоба. Такі методики спрямовані на покращення діагностичних та лікувальних стратегій.

Фрактальна геометрія надає нові можливості для моделювання складних, самоподібних структур анатомії людини. В [5] розглядається застосування фрактальних алгоритмів для аналізу та моделювання медичних зображень, включаючи зображення колінного суглоба.

Стаття [6] пропонує розглядати моделювання колінного суглоба через призму фрактальної геометрії. В ній показано, як фрактальні характеристики можуть використовуватися для опису складних анатомічних структур.

Роботи [7-8] зосереджені на фрактальній геометрії у багатомасштабному моделюванні колінного суглоба, висвітлюючи, як можна використовувати фрактальні метрики для мосту між мікро- та





макро-масштабними моделями. Ці дослідження фрактальної природи поверхонь колінного суглоба дозволяють підвищити точність моделювання та покращити розуміння взаємозв'язків у суглобових поверхнях.

Поєднання геометричного моделювання та фрактальної геометрії пропонує новий підхід до створення більш точних та інформативних моделей колінного суглоба. Дослідження [9] показує, як ця інтеграція може покращити якість моделювання, зокрема для вивчення біомеханічних властивостей суглоба. В статті [10] обговорюються методи використання цих моделей для планування хірургічного втручання та реабілітації пацієнтів.

*Формулювання мети статті.* Колінний суглоб є одним з найбільш складних та навантажених суглобів людського організму, що потребує поєднання різних методів дослідження. Традиційні методи геометричного моделювання можуть не враховувати всю складність та унікальність анатомічних структур колінного суглоба, особливо на мікро- та макрорівнях. Деякі аспекти анатомії колінного суглоба, такі як фрактальна природа хрящової тканини, можуть бути недостатньо представлені в моделях, що впливає на точність діагностики та ефективність лікування. Поєднання даних МРТ з методами геометричного та фрактального моделювання дозволить створити більш якісні моделі.

*Основна частина.* Використання геометричного моделювання та фрактальної геометрії для покращення точності тривимірних моделей колінного суглоба покращують медичну діагностику та лікування. Наведемо можливості геометричного моделювання та фрактальної геометрії при візуалізації колінного суглобу.

1. Геометричне моделювання дозволяє створювати точні тривимірні репрезентації анатомічних структур колінного суглоба, включаючи кістки, хрящі, зв'язки та суглобову рідину [11]. Це полегшує розуміння їх взаєморозташування та взаємодії, які впливають на діагностику та планування лікування.

2. Застосування методів геометричного моделювання дозволяє точно відтворювати деформації, які відбуваються в колінному суглобі під час руху або навантаження [12]. Це дозволить розробити методи, що полегшають реабілітацію після військової травми, сприяють розумінню механіки суглоба та його зношування.

3. Фрактальна геометрія ефективна для моделювання складних, самоподібних структур, як-от хрящова тканина [13]. Вона дозволяє відтворити їх з високою точністю, що важливо для розуміння стану та функціонування суглоба [14].

4. Застосування фрактального аналізу до МРТ-зображень може допомогти визначити текстуру та пористість хрящів та інших тканин



колінного суглоба. Це може виявити ранні ознаки дегенеративних змін, що не завжди видно при традиційному аналізі зображень [15].

5. Поєднання геометричного моделювання та фрактальної геометрії може значно підвищити точність тривимірних моделей, оскільки кожен метод компенсує обмеження іншого. Геометричне моделювання ефективно відтворює загальну форму та розміри структур, тоді як фрактальна геометрія дозволяє детально змоделювати їхню складну внутрішню структуру [16-17].

6. Інтегровані моделі можуть бути використані для планування хірургічних втручань з високою точністю, для розробки індивідуальних імплантатів та ортезів, а також для створення віртуальних симуляцій, які допомагають пацієнтам зрозуміти свої захворювання та лікування [18-19].

Поєднання геометричного моделювання та фрактальної геометрії для створення тривимірних моделей колінного суглоба може бути реалізовано за допомогою наступного алгоритму:

*Крок 1: Збір та підготовка даних*

1. Збір даних МРТ. Необхідно зробити відвір високоякісних МРТ-зображень колінного суглоба, забезпечуючи достатню роздільну здатність для ідентифікації всіх анатомічних структур.

2. Підготовка даних. Включає в себе попередню обробку зображень для видалення шуму, корекції контрасту та підвищення якості даних.

*Крок 2: Сегментація*

1. Автоматична сегментація, дозволяє використовувати алгоритми машинного навчання або глибокого навчання для автоматичної сегментації анатомічних структур колінного суглоба на МРТ-зображеннях.

2. Ручна корекція основана на аналізі сегментованих даних та за потреби забезпечує підвищення точності сегментації.

*Крок 3: Геометричне Моделювання*

1. На основі сегментованих даних створюється геометрична модель анатомічних структур, використовуючи CAD (Computer-Aided Design) програмне забезпечення або спеціалізовані інструменти для медичного моделювання.

2. Застосовуємо геометричне моделювання для відтворення форми, розміру та взаєморозташування анатомічних структур.

*Крок 4: Фрактальне Моделювання*

1. Використовуємо фрактальний аналіз для визначення фрактальних характеристик анатомічних структур, таких як хрящова тканина, на основі МРТ-даних.

2. Інтегруємо фрактальні характеристики в геометричні моделі для додавання деталізації та текстур, особливо для складних структур.

### Крок 5: Інтеграція та Валідація

1. Візуалізуємо геометричну модель з фрактальними характеристиками, забезпечуючи збереження всіх анатомічних деталей та характеристик.

2. Проводимо валідацію створеної моделі за допомогою порівняння з анатомічними даними, отриманими з літератури, або через клінічні випробування.

### Крок 6: Використання Моделі

1. Побудовану тривимірну модель можна використовувати для діагностики, планування лікування, хірургічного втручання та освітніх цілей.

2. Використовувати модель як основу для подальших досліджень у галузі біомеханіки колінного суглоба та розробки нових методів лікування.

Цей алгоритм є загальним і може бути адаптований або модифікований в залежності від специфічних цілей дослідження,

Наведемо приклади побудови тривимірної моделі за наведеним алгоритмом.

Модель, зображена на рисунку 1, а, детально показує кістки, хрящі, зв'язки та навколишні тканини, що робить її ідеальною для медичних освітніх цілей. Вона демонструє складність та витонченість структур колінного суглоба, з чітким розрізненням між різними типами тканин, що підкреслює їх взаємовідношення та розташування всередині коліна. Ця модель слугує інструментом для кращого розуміння анатомії та біомеханіки колінного суглоба.

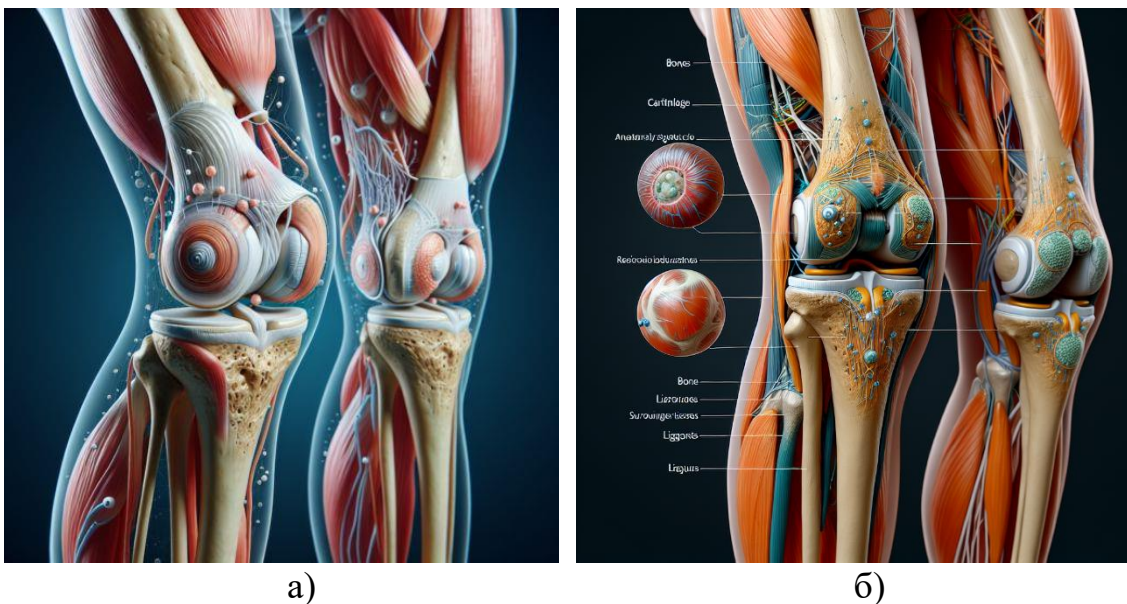


Рис. 1. Тривимірна модель колінного суглобу побудована на основі геометричного та фрактального моделювання: а – складна модель взаємозв'язків; б – модель для освітніх цілей



Модель зображена на рисунку 1, б створена для медичних освітніх цілей. Ця модель показує кістки, хрящі, зв'язки та навколишні тканини, наголошуючи на складність та витонченість структур колінного суглоба. Вона допомагає краще зрозуміти анатомію та біомеханіку колінного суглоба, чітко розрізняючи між різними типами тканин та підкреслюючи їх взаємовідношення та розміщення.

Порівняємо традиційні підходи до моделювання [20-25] з наведеним підходом. Дані занесемо до таблиці 1.

Традиційні методи моделювання, як правило, зосереджуються на використанні або чисто геометричних підходів, або прямому використанні медичних зображень (наприклад, МРТ) для створення моделей. Інтеграція геометричного моделювання та фрактальної геометрії пропонує новий підхід до створення тривимірних моделей, який використовує переваги обох методів.

Таблиця 1

Переваги та недоліки традиційних методів та запропонованого підходу.

	Переваги методу	Недоліки
Традиційні методи	-Простота у використанні та розумінні. -Широко доступні інструменти та програмне забезпечення. -Ефективність для моделювання великих анатомічних структур.	-Обмежена здатність відтворювати складні анатомічні деталі. -Відсутність глибокого аналізу текстурних характеристик тканин. -Може не враховувати унікальність індивідуальної анатомії.
Геометричне моделювання + Фрактальна геометрія	-Підвищена точність та деталізація моделей, особливо для складних анатомічних структур. -Здатність моделювати текстурні та фрактальні характеристики тканин, що покращує розуміння їх біологічних властивостей. -Гнучкість у моделюванні індивідуальних анатомічних особливостей.	-Вимагає спеціалізованих знань та навичок у галузі математики та комп'ютерного моделювання. -Може бути часомістким через необхідність детальної обробки та аналізу даних. - Потребує доступу до високопродуктивних обчислювальних ресурсів для обробки складних моделей



Рекомендації щодо практичного застосування.

1. Залучення фахівців з відповідною освітою та навчанням для роботи з інтегрованими моделями.

2. Розробка стандартизованих протоколів для створення та аналізу моделей, щоб забезпечити їх відтворюваність та надійність.

3. Співпраця з клінічними фахівцями для забезпечення клінічної релевантності та точності моделей.

4. Інвестиції в необхідне програмне забезпечення та обчислювальні ресурси для ефективної роботи з інтегрованими моделями.

Застосування такого підходу може покращити якість тривимірних моделей колінного суглоба, забезпечуючи кращі можливості для діагностики, планування лікування та досліджень у галузі медицини.

*Висновки.* Поєднання геометричне моделювання та фрактальної геометрії для створення тривимірних моделей колінного суглоба, представляє значний прогрес у медичному моделюванні. Цей підхід не тільки підвищує точність та деталізацію моделей, але й розширює розуміння наше розуміння складних анатомічних структур і їх функцій. Розвиток обчислювальних технологій та алгоритмів машинного навчання може спростити процес створення інтегрованих моделей, зменшити витрати та зробити їх доступнішими для широкого кола дослідників та клініцистів. Розроблені моделі можуть знайти застосування у ширшому спектрі медичних галузей, включаючи ортопедію, кардіологію та нейрохірургію, серед інших.

#### *Список використаних джерел*

1. Carrier J. F., Archambault L., Beaulieu L., Roy R. Validation of GEANT4, an object-oriented Monte Carlo toolkit, for simulations in medical physics. *Med Phys.* 2004. Vol. 31(3). P. 484-492. <https://doi.org/10.1118/1.1644532>. PMID:15070244.

2. Blackley H. R., Howell G. E., Rorabeck C. H. Planning and management of the difficult primary hip replacement: preoperative planning and technical considerations. *Instr Course Lect.* 2000. Vol. 49. P. 3–11.

3. Schiffers N., Schkommodau E., Portheine F., Radermacher K., Staudte H. W. [Planning and performance of orthopedic surgery with the help of individual templates]. *Orthopade.* 2000. Vol. 29. P. 636–640 [in German].

4. Eggl S., Pisan M., Muller M. E. The value of preoperative planning for total hip arthroplasty. *J Bone Joint Surg Br.* 1998. Vol. 80(3). P. 382–390. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.80B3.0800382>.



5. Goldstein W. M., Gordon A., Branson J. J. Leg length inequality in total hip arthroplasty. *Orthopedics*. 2005. Vol. 28(9). P. 1037–1040. <https://doi.org/10.3928/0147-7447-20050902-06>.
6. Haddad F. S., Masri B. A., Garbuz D. S., Duncan C. P. The prevention of periprosthetic fractures in total hip and knee arthroplasty. *Orthop Clin North Am*. 1999. Vol. 30(2). P. 191–207. [https://doi.org/10.1016/S0030-5898\(05\)70074-2](https://doi.org/10.1016/S0030-5898(05)70074-2).
7. Schiffers N., Schkommodau E., Portheine F., Radermacher K., Staudte H. W. Planning and performance of orthopedic surgery with the help of individual templates. *Orthopade*. 2000. Vol. 29. P. 636–640.
8. Hendrikus J. A., Laumen M., Van Pul C., Van Mourik J. A New Digital Preoperative Planning Method for Total Hip Arthroplasties. *Clin Orthop Relat Res*. 2009. Vol. 467. P. 909–916. <https://doi.org/10.1007/s11999-008-0486-y>.
9. Carter L. W., Stovall D. O., Young T. R. Determination of accuracy of preoperative templating of noncemented femoral prosthesis. *J Arthroplasty*. 1995. Vol. 10(4). P. 507–513. [https://doi.org/10.1016/S0883-5403\(05\)80153-6](https://doi.org/10.1016/S0883-5403(05)80153-6).
10. Knight J. L., Atwater R. D. Preoperative planning for total hip arthroplasty: quantitating its utility and precision. *J Arthroplasty*. 1992. Vol. 7. P. 403–409. [https://doi.org/10.1016/S0883-5403\(07\)80031-3](https://doi.org/10.1016/S0883-5403(07)80031-3).
11. Diercks R. B., van Ooijen P., van Horn J. R. Comparison of analog and digital preoperative planning in total hip and knee arthroplasty. *Acta Orthop*. 2005. Vol. 76(1). P. 78–84. <https://doi.org/10.1080/00016470510030364>.
12. Viceconti M., Chiarini A., Testi D., Taddei F., Bordini B., Traina F., Toni A. New aspects and approaches in pre-operative planning of hip reconstruction: a computer simulation. *Langenbecks Arch Surg*. 2004. Vol. 389(5). P. 400–404. <https://doi.org/10.1007/s00423-003-0446-7>.
13. Petretta R., Strelzow J., Ohly N. E., Misur P., Masri B. A. Acetate templating on digital images is more accurate than computer-based templating for total hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 2015. Vol. 473(12). P. 3752–9. <https://doi.org/10.1007/s11999-015-4321-y>.
14. Sears Z., Young F. Física Universitaria. 11a ed.. 2004. 964 p.
15. Chotas H. G., Iii J. T. D., Ravin C. E. Review principles of digital radiography with large-area , electronically readable detectors . *A review of the basics radiology*. 1999. Is. 5. P. 595–599.
16. Franken M., Grimm B., Heyligers I. A comparison of four systems for calibration when templating for total hip replacement with digital radiography. *J Bone Joint Surg. Br*. 2010. Vol. 92(1). P. 136–141. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.92B1.22257>.
17. Kulkarni A., Partington P., Kelly D., Muller S. Disc calibration for digital templating in hip replacement. *J Bone Joint Surg Br*. 2008.



Vol. 90(12). P. 1623–1626. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.90B12.20238>.

18. Залевська О., Фіногенов О., Демиденко О., Олійник Ю. & Ільєнко Р. Бінарна класифікація медичних зображень з використанням нейронної мережі. *Сучасні проблеми моделювання*. 2022. Вип. 23. С. 81-89.

19. Ванін В., Залевська О., Воробйов О. & Лазарчук-Воробйова Ю. (2022). Переваги та недоліки існуючих програмних застосунків для обробки графічних зображень *Сучасні проблеми моделювання*. 2022. Вип. 23. С. 38-48.

20. Залевська О., Мірошниченко І., Смаковський Д., Гагарін О. & Паламар І. Удосконалення методу кластеризації зображення. *Сучасні проблеми моделювання*. 2023. Вип. 24. С. 79-86.

21. Rotondi M.A., Donner A. A confidence interval approach to sample size estimation for interobserver agreement studies with multiple raters and outcomes. *J Clin Epidemiol*. 2012. Vol. 65(7). P. 778–784. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2011.10.019>.

22. Cortés-Reyes É., Rubio-Romero J., Gaitán-Duarte H. Métodos estadísticos de evaluación de la concordancia y la reproducibilidad de pruebas diagnósticas. *Rev Colomb Obstet Ginecol*. 2010. Vol. 61(3). P. 247–255. <https://doi.org/10.18597/rcog.271>.

23. Gamble P., de Beer J., Petruccelli D., Winemaker M. The accuracy of digital templating in uncemented total hip arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2010. Vol. 25(4). P. 529–532. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2009.04.011>.

24. Oddy M. J., Jones M. J., Pendegrass C. J., Pilling J. R., Wimhurst J. A. Assessment of reproducibility and accuracy in templating hybrid total hip arthroplasty using digital radiographs. *J Bone Joint Surg Br*. 2006. Vol. 88. P. 581–585. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.88B5.17184>.

25. Wang Q., Xiao J., Zhu L., Zhao X., Liu Z., Wang J., Qin Y. Acetate templating on calibrated standing digital radiograph improves accuracy of preoperative templating for total hip arthroplasty. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2017. Vol. 103(3). P. 341–347. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2016.12.022>.

*Стаття надійшла до редакції 03.04.2024 р.*



O. Zalevska<sup>1</sup>, V. Mozharovsky<sup>1</sup>, I. Suvorov<sup>2</sup>, A. Polovyi<sup>2</sup>, K. Oleneva<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"  
<sup>2</sup>State Institution "Institute of Traumatology and Orthopedics  
of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine"

**MODELING OF KNEE JOINT USING GEOMETRIC MODELING  
AND FRACTAL GEOMETRY METHODS BASED  
ON MAGNETIC RESONANCE THERAPY DATA**

*Summary*

This article discusses an approach to the creation of three-dimensional models of the knee joint based on the use of geometric modeling and the principles of fractal geometry. The modeling is based on data obtained from magnetic resonance imaging (MRI). This allows us to reproduce the anatomical structure of the knee joint, including bone elements, cartilage, and ligaments, with high accuracy.

Geometric modeling methods used to create accurate three-dimensional models based on two-dimensional MRI images are analyzed. The use of fractal analysis to identify complex structures that are difficult to describe using traditional geometric methods is investigated. Particular attention is paid to image processing algorithms that allow to extract objects of interest from MRI images and automate the segmentation process.

The results of the study demonstrate that the use of a combined approach that combines geometric modeling and fractal geometry is more effective. This approach significantly improves the quality and accuracy of three-dimensional models of the knee joint. This will allow for better analysis of medical research, diagnostics, and treatment planning, especially in orthopedics and traumatology.

A comparative analysis of the proposed approach with traditional modeling methods, an analysis of the advantages and disadvantages of the proposed approach, and recommendations for its practical application are also presented.

The combination of geometric modeling and fractal geometry to create three-dimensional models of the knee joint represents a significant advance in medical modeling. This approach not only improves the accuracy and detail of the models, but also expands our understanding of complex anatomical structures and their functions. The development of computing technologies and machine learning algorithms can simplify the process of creating integrated models, reduce costs, and make them more accessible to a wide range of researchers and clinicians. The developed models can be used in a wide range of medical fields, including orthopedics, cardiology, and neurosurgery, among others.

**Keywords:** medical data, three-dimensional model, knee joint, visualization, fractal geometry, geometric modeling, software.





---

**ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ**

---

**DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2-15**

УДК [640.43+641]:004.896

Т. В. Семко<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID 0000-0002-1951-5384

О. А. Іваніщева<sup>1</sup>, старший викладач

ORCID 0000-0002-0500-3652

О. В. Пахомська<sup>1</sup>, асистент

ORCID 0000-0002-0915-8811

М. І. Корчак<sup>2</sup><sup>1</sup> *Вінницький торговельно-економічний інститут ДТЕУ*<sup>2</sup> *ТОВ Смарт Кукінг Клуб*

e-mail: olana1980@ukr.net, тел.: +380987878853

**ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ІННОВАЦІЙНОГО  
ОБЛАДНАННЯ АМС У РЕСТОРАННИХ ТЕХНОЛОГІЯХ**

*Анотація.* Основним визначальним фактором зростання та стабільності попиту на продукцію та послуги ресторанного господарства є інноваційні підходи до організації технологічного процесу, зокрема забезпечення виробництва новітнім високоефективним обладнанням з інтелектуальними системами.

Мета даного дослідження – аналіз можливостей АМС Premium Cooking System, дослідження особливостей конструкції та роботи у різних технологічних режимах, обґрунтування доцільності застосування системи на кухні сучасного ресторану.

У статті проаналізовано переваги інтелектуального посуду АМС для різних категорій користувачів, висвітлено особливості інтелектуальної системи приготування їжі АМС Premium Cooking System.

У навчальній лабораторії технології ресторанної продукції Вінницького торговельно-економічного інституту ДТЕУ апробовано унікальні технологічні можливості системи при оптимальних температурах приготування та функції контролю часу приготування.

*Ключові слова:* ресторан, технології, режими, інновації, обладнання, інтелектуальні системи, конструкція, можливості.

*Постановка проблеми.* Сьогодні в Україні стрімко розвивається і вдосконалюється ресторанний бізнес. Регулярно в містах і заміських зонах відкриваються нові заклади ресторанного господарства. Конкуренція в цій сфері досить велика, тому власники повинні знаходити нові підходи для підвищення конкурентоспроможності та рентабельності закладів. Сучасний ресторатор повинен врахувати безліч нюансів і важливих моментів у роботі: обстановка в закладі повинна бути затишною і приємною, а кухня смачною і апетитною, гість має отримувати більше задоволення від страв.



Дороговартісність та тимчасова відсутність енергоносіїв в умовах воєнного стану, зростаючі вимоги щодо швидкості та якості обслуговування, дефіцит людських ресурсів – це реалії сьогодення, у яких ресторани намагаються вижити і конкурувати на ринку.

Основним визначальним фактором зростання та стабільності попиту на продукцію та послуги ресторанного господарства є інноваційні підходи до організації технологічного процесу, зокрема забезпечення виробництва новітнім високоефективним обладнанням з інтелектуальними системами.

Прикладом такого обладнання є АМС Premium Cooking System, яка використовує унікальні технології, щоб гарантувати ідеальну температуру та контроль часу для збереження поживних речовин, економії та здорового приготування, перш за все, смачної їжі. Обладнання АМС є одним із найякісніших на ринку та відкриває нові можливості приготування як щоденних страв, так і для спеціального меню для гурманів.

*Аналіз останніх досліджень.* Технологічні аспекти розширення асортименту турецьких солодоців та надання їм функціональних властивостей шляхом використання регіональної сировини є актуальною проблемою, якій присвячено праці вітчизняних та зарубіжних вчених: Дорохович А. М., Оболкіна В. І. (Національний університет харчових технологій), Лаврентьева Л. П., Йоргачова К. Г. (ОНАХТ), Гордиенко Л. В., Толстых В. Ю., Аветисян К. В., Макарова О., Йоргачова К., Саніна І. Л., Слащева А. В. та ін. Проте, залишаються невирішеними окремі сторони цієї проблеми і виникають нові виклики в умовах пандемії коронавірусу та російської агресії в Україні.

*Формування цілей статті (постановка завдання).* Метою статті є дослідження можливостей АМС Premium Cooking System, аналіз особливостей конструкції та роботи у різних технологічних режимах, обґрунтування доцільності застосування системи на кухні сучасного ресторану.

*Основна частина.* В інтелектуальній системі АМС Premium Cooking System використана кастроля, яка має широкий функціонал та дає багато переваг в приготуванні смачної їжі, економії часу та пізнанні нових можливостей її використання. Виробник обладнання – Alfa Metalcraft Corporation або АМС – німецька компанія, що виробляє металевий посуд. Ця корпорація була заснована в 1963 році і має представництва у 35 країнах світу (7,8).

Переваги АМС Premium Cooking System полягають в тому, що відкриваються можливості поєднання у одній системі різноманітних способів обробки продуктів із ІТ-технологіями: процес приготування проходить дистанційним керуванням, температурним контролем, смаження без жиру, приготування без води, приготування на пару з

кришкою easyquick, швидке готування з кришкою secuquick softline у режимах soft і turbo, запікання та гратинування з navigenio, «відкрите» смаження, приготування у фритюрі або глибоке смаження, функція розігріву при 60°C. (3,4).

Всі ці операції створюють ідеальні рішення для збереження натуральності використовуваних інгредієнтів, а отже безпечності та якості страв, оскільки в посуді АМС можна зберегти на 50% більше вітамінів, ніж при традиційних способах приготування. Різні інгредієнти потребують різних режимів приготування, тому необхідно зберегти їх поживні властивості, розкрити смак, імпровізувати з ними, обираючи різні варіанти приготування з АМС за різними рецептурами. Крім того, дане обладнання надає переваги щодо характеристик безпечності та якості продукції:

- обладнання виготовлене з нержавіючої сталі високої якості;
- каструля та аксесуари мають унікальний і сучасний дизайн;
- універсальна та гнучка система охоплює всі основні прийоми приготування їжі;
- використовуються унікальні методи при готування здорової, легкої їжі.

Повний набір посуду та аксесуарів АМС Premium Cooking System представлена на рис. 1.



Рис. 1. Повний набір посуду та аксесуарів АМС Premium Cooking System

Система готування їжі преміум-класу АМС працює за принципом замкненої циркуляції повітря і використовує унікальні технології, що забезпечують досконалий контроль температури та часу для максимального збереження поживних речовин. Це помітна економія часу, а також оптимізований процес приготування здорових та, найголовніше, смачних страв. Готувати з посудом АМС легко, швидко та зручно. Нижче викладено технологічні можливості АМС.

Смаження без жиру – підходить для смаження різних видів м'яса, а також для тонких коржів або овочів. Цей спосіб дозволяє

смажити та перевертати м'ясо при оптимальній температурі смаження та в ідеальний момент без додавання жиру. Перевага: можна уникнути перегрівання жирів і зменшити утворення шкідливих речовин. (1,2).

Готування без води – підходить для приготування різних овочів і картоплі. Цей метод передбачає обережне варіння інгредієнтів (головним чином овочів або фруктів) лише у власній рідині та конденсації за температури приблизно 80-98 °С. Перевага: ця щадна технологія приготування зберігає делікатні вітаміни, мінерали та біологічно активні рослинні речовини, що дозволяє їм повністю розкрити свій потенціал.

Готування на пару з кришкою easyquick – підходить для приготування на парі рибних страв, овочів, пельменів тощо. Будь-яка страва, яка готується в пароварці, також підходить для приготування на пару за допомогою easyquick. Цей спосіб обережно готує їжу на пару при 97-99 °С. Перевага: споживає менше енергії, а також нагрівається швидше, ніж звичайні пароварки, оскільки площа приготування набагато менша, рис. 2.



Рис. 2. Приготування у режимі «на парі»

Швидке готування з кришкою secuquick softline у режимах soft і turbo – добре підходить для страв, які потрібно готувати протягом тривалого часу, таких як тушковане м'ясо, рагу, бульйони, бобові та заморожені овочі, а також макарони та ризотто. Цей метод дозволяє готувати інгредієнти при температурі понад 100 °С. Перевага: вища температура робить приготування швидшим, ніж звичайними методами.

Запікання та гратенування з Navigenio – особливо добре підходить для випікання піци, тортів і хліба, а також для гратенування овочів або запіканок. Функцію гратенування можна використовувати навіть для приготування м'ясних страв зі скоринками. Переваги: випікання та запікання з Navigenio практичне, просте у використанні та, насамперед, енергоефективне.



«Відкрите» смаження – цей спосіб найкраще підходить для швидких страв та перекусів, які не потребують багато часу, наприклад, страви з яєць та оладки. При цьому способі ідеальна температура забезпечується не за допомогою Visiotherm, а за рахунок додання краплі води. Переваги: легко та зручно.

Фритюр, або глибоке смаження – підходить для смаження/випікання класичних страв у фритюрі, таких як картопля фрі, курячі нагетси або солодкі дріжджові пончики. За допомогою цього методу температура олії для смаження контролюється за допомогою Visiotherm. Це гарантує досягнення оптимальної початкової температури для смаження. Перевага: завдяки контролю температури жир не перегріється, а це означає, що шкідливий акриламід чи акролеїн не вироблятиметься.

Функція 60 °C – цей спосіб найкраще підходить для розігріву їжі, а також для гарячого копчення або готування за технологією сувід за температури 60 °C. Але цій спосіб лише працює, коли ви використовуєте Navigenio і Audiotherm разом. Температура усередині каструлі повільно досягає 60 °C і підтримується на цьому рівні.

Функція розігріву до 60°C відрізняється особливою делікатністю та зручністю при використанні з Navigenio. В режимі «А» – готування «SousVide» та під вакуумом. Функція може використовуватися при роботі вручну з будь-якою плитою, а також при приготуванні вручну у режимі низької потужності.

Аудіотерм (рис. 3) призначена для моніторингу та контролю процесу готування. Аудіотерм має використовуватися лише з цією метою. Неналежне використання може бути причиною виникнення небезпечних ситуацій.

Audiotherm ідеально доповнює Visiotherm і легко кріпиться до нього. Це голос Visiotherm, який повідомить про необхідність певних дій. Разом із мобільною варильною плитою Navigenio Audiotherm може автоматично регулювати енергетичні витрати. Дисплей Audiotherm одразу повідомляє про наступне:

- який температурний діапазон обрано;
- коли потрібно почати процес приготування (відразу або з відстрочкою/початку);
- занадто висока чи низька температура;
- чи закінчився час приготування або скільки ще він триватиме.

В Аудіотермі використовується звуковий сигнал контролю температури та часу приготування для індикації досягнення необхідної температури або температури вище/нижче допустимої при готуванні, вимагає відповідного регулювання налаштувань. Аудіотерм видає звуковий сигнал після часу готування та контролює весь процес

готування з функцією плити Navigenio. Аудиотерм автоматично контролює вихідну потужність Navigenio. При введенні часу готування Navigenio автоматично активує функцію підтримки температури після часу готування. Ще одна перевага – це делікатний розігрів їжі.

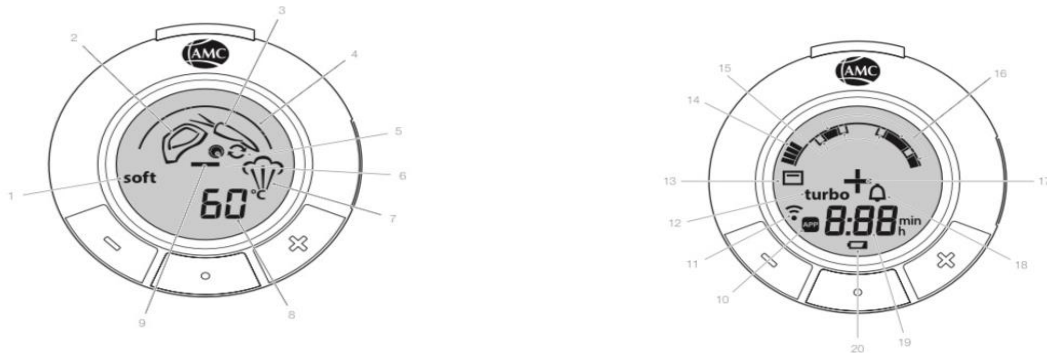


Рис. 3. Елементи дисплею в приладі

1 – символ «Режим Soft», 2 – символ «Смаження», 3 – символ «Овочі», орієнтацій на лінія, 5 – індикатор перегортання, 6 – точка перегортання, 7 – символ «Пара», 8 – символ «Режим 60<sup>0</sup>C», 9 – мінус (зменшення), 10 – підключення до мобільного додатку, 11 – підключення до «Navigenio», 12 – символ «Turbo», 13 – символ «Випічка», 14 – температурна шкала, 15 – рух за шкалою 16 – температурні діапазони, 17 – плюс (збільшення), 18 символ «Таймер», 19 – дисплей часу, 20 – символ «рівень заряду батареї».

Додаток АМС, пов'язаний з Audiotherm, відображає його дисплей і дозволяє легко керувати Audiotherm за допомогою мобільних пристроїв (рис. 4).

Дозволяючи переглядати та керувати дисплеєм Audiotherm, який відображений на мобільному пристрої, додаток АМС дозволяє керувати Audiotherm простим та інтуїтивно зрозумілим способом. Також можна вибрати певні налаштування Audiotherm або зберегти процес приготування. Ще одна перевага використання програми АМС: оскільки вона сповіщає про всі кроки, пов'язані з процесом приготування їжі, користувач контролює те, що готується, навіть якщо він не в зоні чутності Audiotherm. Мобільна плита Navigenio у поєднанні з Audiotherm забезпечують ідеальне керування температурою та часом. Після завершення процесу приготування включається функція підтримки тепла.

Visiotherm – це дисплей температури, розташований на кришці каstrулі або сковороди. Visiotherm робить видимою температуру всередині каstrулі чи сковороди, а приготування їжі з АМС стає максимально простим. Контроль температури – гарантія того, що продукція буде високоякісною та відповідати вимогам технологічного процесу.



Рис. 4. Додаток АМС, пов'язаний з Audiotherm

Система приготування преміум-класу складається з різноманітних продуктів АМС, якими споживач може користуватися протягом усього процесу приготування: високоякісні каstrулі, сковорідки і аксесуари для приготування їжі різних розмірів, об'ємів і текстур для окремих домогосподарств, великих сімей, кухарів-аматорів або шеф-кухарів, гурманів (5,6).

Каstrулі АМС поєднують позачасовий дизайн із найсучаснішою функціональністю. Усі каstrулі мають контроль температури АМС, підходять для всіх типів плит, включаючи індукційні.

Колекція сковорідок АМС включає сковорідки для смаження, гриль і бранч (для сніданку). Усі сковорідки для смаження та гриль мають контроль температури АМС для ідеальних результатів смаження. Сильно відшліфована, структурована основа без штучного покриття та оптимальні антипригарні властивості забезпечують корисні та смачні результати смаження без додавання жиру та смаження у фритюрі. Деякі сковороди мають знімну, надзвичайно стійку та надійну довгу ручку із запатентованою системою фіксації для компактного зберігання. Сковороди АМС дуже енергоефективні завдяки швидкій теплопровідності та рівномірному розподілу тепла, що стало можливим завдяки капсульній основі Akkutherm. Всі сковороди підходять для всіх типів плит, включаючи індукційні.

Кришка швидкого приготування Secuquick softline перетворює каstrулі АМС діаметром 20 і 24 см на скороварки. Це скорочує час приготування до 80%, з економією електроенергії до 50%. Наприклад: під час приготувати ризотто з кришкою швидкого приготування функція контролю температури приготує його за п'ять хвилин.

Кришка забезпечує дві програми швидкого приготування: Soft і Turbo. Вони готують усі інгредієнти при ідеальній температурі для



досягнення оптимальних результатів. Швидке приготування Soft – це особливо шадний варіант варіння під тиском. Температура – від 103 до 113 °С. Таким чином можна дуже швидко приготувати багато свіжих овочів, заморожених страв або особливих страв у вигляді пасти та ризотто, зберігаючи вітаміни інгредієнтів. Швидке приготування страв, які потребують тривалого приготування (м'ясні страви, рагу або бобові). Температура коливається від 108 до 118 °С. Турбо-швидке приготування заощаджує на 80% більше часу, а отже й енергії, ніж звичайне приготування.

Кришка для приготування на парі EasyQuick забезпечує швидке та м'яке приготування їжі на парі. Приготування на пару з АМС відбувається в температурному режимі від 97 до 99 °С. Завдяки низькій температурі зберігаються вітаміни, поживні речовини та мінерали при збереженні смаку. Приготування на пару за допомогою EasyQuick ідеально підходить для рибних страв, фаршированих овочів або овочів, які потребують тривалого приготування.

Приготування на пару за допомогою EasyQuick економить на 50% більше часу, ніж звичайні способи приготування. У поєднанні з акустичним контролем Audiotherm і мобільною плитою Navigenio можна також повністю використовувати переваги, які пропонує контрольоване приготування. Кришка для приготування на пару EasyQuick отримала нагороду «Кухонна інновація» завдяки високорозвиненим та інтуїтивно зрозумілим функціям (9,10).

Мобільна варильна плита Navigenio – універсальний помічник для варіння, смаження, варіння на пару, швидкого приготування, гратинування та запікання. Її легко використовувати на кухні або у дворі дому. Завдяки верхній функції Навігеніо перетворює вашу каструлю АМС на невелику піч, яка гратинує та запікає їжу в каструлі (запіканки, піца, хліб або тістечка).

У поєднанні, акустичний контроль Audiotherm і Navigenio створюють ідеальну команду для самостійного приготування їжі. У той час як температура всередині каструлі ретельно контролюється, Audiotherm і Navigenio взаємодіють, щоб регулювати подачу енергії за потребою. Після закінчення часу приготування Navigenio перемикається на функцію підтримки тепла при 60 °С протягом однієї години. Navigenio та Audiotherm можна ідеально поєднувати з різними продуктами АМС.

В рамках ініціативи Life Care система приготування їжі АМС Преміум була удостоєна нагород «Інновація в кухні 2021 року», а також «Золота нагорода» в категорії «Малі електричні прилади».

*Висновки.* Наведені вище продукти охоплюють основні категорії продуктів АМС. Але є багато іншого, щоб відкрити абсолютно нові можливості як для щоденного харчування, так і для спеціального





меню для гурманів, а також підтримати ваші кулінарні починання найкращим чином.

Перспективним напрямком подальших досліджень є детальне вивчення переваг засновування устаткування AMC Premium Cooking System у роботі закладів ресторанного господарства.

#### *Список використаних джерел*

1. Бишовець Л. Г., Івашина Л. Л. Аналіз ринку інноваційного теплового обладнання для закладів ресторанного господарства. *Туристичний та готельно-ресторанний бізнес в Україні: проблеми розвитку та регулювання: матеріали XIII Міжнар. наук.-практ. конференції (24–25 березня 2022 року, м. Черкаси): у 2-х т. Черкаси: видавець Гордієнко Є. І., 2022. Т. 1. С. 136-139.*

2. Інноваційні енергозберігаючі теплогенеруючі пристрої для устаткування закладів ресторанного господарства / Д. В. Горелков, О. В. Омельченко, Г. В. Гейєр, О. Г. Терешкін. *Обладнання та технології харчових виробництв.* 2021. № 1(42). С. 139-147.

3. Ощипок І. М. Інноваційні ресторани технології. Львів: Вид-во ЛТЕУ, 2019. 326 с.

4. Линник О. І. Сучасні вимоги до устаткування закладів готельно-ресторанного господарства. *Сучасний стан та перспективи розвитку економіки, фінансів, обліку та права* : зб. тез доп. Міжнар. наук.-практ. конф. (14 листопада 2019 р.): у 10 ч. Полтава: ЦФЕНД, 2019. Ч. 8. С. 28-29.

5. Лояк Л., Андрухів Я. Інноваційне обладнання та технології приготування кулінарної продукції в сучасних закладах ресторанного господарства. *Готельно-ресторанний бізнес і курортна справа України: матер. Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції (Івано-Франківськ, 6 грудня 2022 р.). Івано-Франківськ, 2022. С. 440-450.*

6. Гуць В. С., Коваль О. А., Русавська В. А. Технологічне устаткування готелів, готельних комплексів : підручник. Київ : ЛіраК, 2019. 568 с.

7. ULR: <https://www.facebook.com/p/Smart-Cooking-Club-100077716720463/> (дата звернення 10.02.2024)

8. Офіційний сайт продукції. <https://www.smartcooking.com.ua/?fbclid=IwAR3rYZM0F18emePRXVDqmNCrC7xhe> (дата звернення 10.02.2024)

9. Smart Cooking Club. ULR: <https://www.cookingwithamc.info/> (дата звернення 10.02.2024)

10. Сторінка в Інстаграм. ULR: <https://www.instagram.com> (дата звернення 10.02.2024)

11. AMC India: смачне, корисніше та швидше приготування їжі за допомогою системи приготування їжі AMC Premium. ULR:



<https://enterprise-services.siliconindia.com/vendor/amc-india-delicious-healthier-faster-cooking-with-the-amc-premium-cooking-system-cid-13901.html> (дата звернення 01.03.2024)

*Стаття надійшла до редакції 14.03.2024 р.*

**T. Semko<sup>1</sup>, O. Ivanishcheva<sup>1</sup>, O. Pahomska<sup>1</sup>, M. Korchak<sup>1</sup>**  
**<sup>1</sup> Vinnytsia Institute of Trade and Economics**

## **RESEARCH OF THE POSSIBILITIES OF AMC INNOVATIVE EQUIPMENT IN RESTAURANT TECHNOLOGY**

### *Summary*

The main determining factor in the growth and stability of demand for products and services of the restaurant industry is innovative approaches to the organization of the technological process, in particular, ensuring production with the latest highly efficient equipment with intelligent systems. The purpose of this study is to analyze the capabilities of the AMC Premium Cooking System, study the features of the design and work in different technological modes, and justify the feasibility of using the system in the kitchen of a modern restaurant. AMC is the global market leader in products that combine cooking and enjoyment.

The company's decades of experience allow us to transform experience and innovation into healthy and high-quality products that satisfy consumers and manufacturers of restaurant products.

The article analyzes the advantages of AMC intelligent cookware for different categories of users, highlights the features of the AMC Premium Cooking System intelligent cooking system. Cooking without adding water, frying without adding fat, steaming, rapid cooking, baking and gratin preserve nutrients and natural flavor by controlling both cooking time and temperature.

The advantages of the AMC Premium Cooking System are that it opens up opportunities to combine various methods of food processing with IT technologies in one system: the cooking process is carried out by remote control, temperature control, frying without fat, cooking without water, steaming with an easyquick lid, fast cooking with the secuquick softline lid in soft and turbo modes, baking and gratin with navigenio, "open" frying, deep-frying or deep-frying, heating function at 60°C.

The rationality of using AMC dishes in restaurants has been proven. In the educational laboratory of restaurant product technology of the Vinnytsia Trade and Economic Institute of DTEU, the unique technological capabilities of the system at optimal cooking temperatures and the cooking time control function were tested.

**Keywords:** restaurant, technologies, modes, innovations, equipment, intelligent systems, construction, opportunities.



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2-16

УДК 640.43:620.9

В. М. Бандура<sup>1</sup>, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0001-8074-3020

<sup>1</sup> Національний університет біоресурсів і природокористування  
України

e-mail: vbandura@nubip.edu.ua

## РЕСТОРАНИ – МОЖЛИВОСТІ ДЛЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

*Анотація.* Стаття присвячена обґрунтуванню теоретико-методичних підходів до розвитку енергоефективності закладів ресторанного господарства, з урахуванням новітніх тенденцій і викликів. Управління енергією є важливим, але часто нехтованим аспектом успішного функціонування ресторану. У статті досліджується важливість оптимізації енергоспоживання в ресторанах і надаються стратегічні рекомендації для керівників ресторанів щодо покращення енергоменеджменту та енергоефективності закладу. Метою дослідження є проведення аналізу енергозберігаючих технологій у ресторанному господарстві та надання загальних рекомендації щодо зменшення енерговитрат. Незважаючи на те, що ціни на енергію зараз досить високі, а ринок нестабільний, ресторатори можуть заощаджувати електроенергію впроваджуючи нескладні технології та використовуючи новітнє устаткування. Для підвищення конкурентоспроможності ресторанних господарств необхідно впроваджувати енергоефективні технології.

*Ключові слова:* енергоменеджмент, енергоефективність, енергоємність, ресторани, бізнес, рекомендації.

*Постановка проблеми.* Готельно-ресторанна індустрія є сектором, який швидко розвивається, і його вплив на економіку країн не можна ігнорувати. В Україні як і в країнах Європи ресторанний бізнес є одним з найбільш енергоємних.

Питання ощадливого використання та зниження споживання енергетичних ресурсів наскрізно охоплюють політику і законодавство ЄС. Слова «енергозбереження» та «енергоефективність» зараз у всіх на вустах. Політики обговорюють проблему зменшення викидів парникових газів в атмосферу, як складову боротьби зі змінами клімату. Громадяни, одержуючи квитанції за спожиті енергоносії, шукають можливості зменшити споживання газу та електроенергії: утеплюють свої оселі та замінюють лампочки розжарювання на LED-лампи. Мільйонні капіталовкладення з державного, обласного, районних та міських бюджетів виділяються на заходи з енергозбереження в бюджетних установах [1].

Варто зрозуміти, що енергія не береться нізвідки – в Україні вона виробляється здебільшого із викопного палива. Половину



електроенергії до повномасштабного вторгнення росії постачали атомні електростанції, які в процесі роботи залишають тони радіоактивних відходів. Ще третина та більша частина тепла для опалення – результат спалювання викопного палива, що забруднює повітря і посилює зміну клімату. Тож чим менше енергії ми вживаємо, тим менше шкоди довкіллю завдаємо і тим легше буде поступово замінювати брудне паливо більш чистими та безпечними відновлюваними джерелами енергії (сонце, вітер, біомаса тощо) [2]. Енергоефективність – це одна із баз енергетичної політики ЄС, адже там активно націлені на зменшення власного впливу на довкілля та клімат. І Україна як майбутня членка Євросоюзу має виконувати такі ж правила, що й інші країни – тобто так само прагнути найвищих стандартів ефективності.

*Аналіз останніх досліджень.* 29 січня 2020 року розпорядженням Кабінету Міністрів України № 88-р була схвалена Концепція реалізації державної політики у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель у частині збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії та затверджений Національний план збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії. Збільшення кількості таких будівель спрямоване на зменшення загального постачання первинної енергії та викидів двоокису вуглецю як однієї з головних цілей Директиви Європейського парламенту та Ради від 25 жовтня 2012 р. 2012/27/ЄС про енергетичну ефективність [3]. Згідно означеної концепції в Україні розроблений комплекс нормативних документів з енергоефективності, який охоплює біля 100 норм, стандартів та настанов з конструювання, випробування теплотехнічних показників, розрахунку та аудиту енергоефективних будівель, проектування інженерних систем (рис. 1).

Ресторани є важливими символами гостинності та гастрономії в усій Європі. Однак за лаштунками криється тривожна реальність: у третинному секторі ресторани є одними з найбільш енергоємних підприємств.

Енергоменеджмент та енергозбереження належать до надзвичайно важливих екологічних тем, якими вкрай необхідно займатися менеджерам ресторанів. Оскільки вартість енергії зростає, інвестиції в енергоефективність є чудовими способом захистити свій бізнес від зростання цін.

Обробка їжі в готелях є одним з найбільш енергоємних видів діяльності в індустрії гостинності. Існує нагальна потреба зменшити споживання енергії в ресторанному бізнесі, щоб зменшити їхній вплив на навколишнє середовище. Витрати на енергію та газ продовжують зростати, залишаючи такі підприємства, як кафе, ресторани, паби та

постачальників продуктів харчування, відчувати фінансову напруженість.

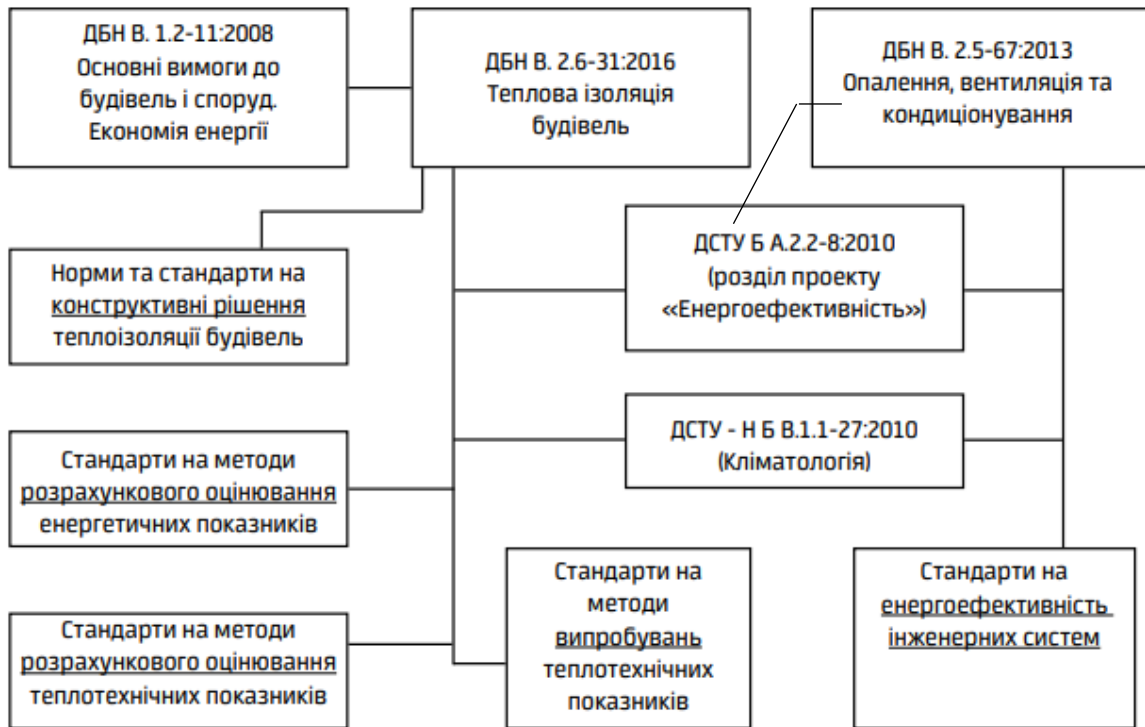


Рис. 1 Структура комплексу нормативних документів з енергоефективності будівель [4]

Важливість послуг харчування та напоїв у споживанні ресурсів у готельній та ресторанній індустрії визначається споживанням енергії, оскільки воно може відповідати навіть за понад 50% енергоспоживання готелю [5]. Високі витрати енергії на одного відвідувача в послугах готельно-ресторанного бізнесу [6] викликані великою кількістю харчових відходів, які утворюються, особливо під час підігріву сніданку «шведський стіл», який готелі пропонують за замовчуванням [7]. У теоретичному підґрунті ми визначаємо різні можливі енергозбереження в послугах харчування та напоїв.

Відділ харчування та напоїв може точно визначити багато моментів, де менеджери можуть зменшити споживання енергії за допомогою енергоефективного обладнання [8] або застосовуючи технологічні інновації. Готельні ресторани потребують енергії для приготування їжі, вони використовують газ, електрику чи пару [9] і рідше вугілля чи нафту [10]. Енергія необхідна для нагрівання (підтримка їжі при температурі подачі, використання теплового посуду або інфрачервоних обігрівачів), приготування їжі (різки, тертки, тістоміси тощо), зберігання їжі (холодильники, морозильні камери), а також для миття посуду та санітарії. Вони також потребують підігріву води для прибирання та особистої гігієни, освітлення та



кондиціонування повітря. Вони можуть зменшити споживання енергії за рахунок ефективного управління складом, наприклад, тривалого охолодження або заморожування, а також ефективної зворотної логістики [11]. Енергозбереження в усіх цих випадках безпосередньо пов'язане з рішенням менеджерів або власників [12], ставленням і поведінкою працівників та застосуванням новітніх технологій [13] і може розглядатися як пряме енергозбереження.

Послуги з харчування, які надають ресторани у світовій індустрії гостинності, є енергозатратними, що робить конкуренцію жорсткою. Виснаження харчових інгредієнтів і енергії досягне 50% у наступні кілька десятиліть [14].

Усі подібні заходи водночас непомітні для споживачів, тобто туристів, оскільки не впливають на якість та характер обслуговування в готельно-ресторанних комплексах. Ресторани можуть зробити багато кроків, щоб заощадити енергію і, що в першу чергу бажано для них, зменшити свої витрати.

*Формулювання мети статті (постановка завдання).* Метою дослідження є проведення аналізу енергозберігаючих технологій у ресторанному господарстві та надання загальних рекомендації щодо скорочення енерговитрат.

Дослідження виконано на основі аналізу й систематизації наукових літературних джерел із запропонованої теми. Серед методів дослідження використано: аналіз, синтез, індукцію, дедукцію, узагальнення та інші методи наукового пізнання.

*Основна частина.* Іноді такі речі, як енергоефективність, здаються більш піаром і меншою допомогою. Є дві головні причини інвестувати в енергоефективні технології: покращити прибутки за рахунок зменшення витрат і створити міцніший зв'язок із існуючими та новими клієнтами.

Ресторани та комерційні кухні споживають набагато більше енергії, ніж інші комерційні підприємства. Кількість енергії, яку використовує ресторан, залежить від його розміру та типу пропонованого меню. Тому необхідно проводити енергоаудит [15].

Аналіз витрат енергії малого і середнього бізнесу у будь-якій галузі складає в середньому щорічно та наведено таблиці 1 [16].

Таблиця 1

Середні щорічні витрати основних енергоносіїв

Розмір бізнесу	Річне споживання електроенергії (кВт·год)	Річне споживання газу (кВт·год)
малий бізнес	Від 15 000 до 25 000	25 000
Середній бізнес	Від 30 000 до 50 000	45 000



Незважаючи на те, що більшість газу та електрики, які використовуються ресторанами, будуть використовуватися для приготування їжі та охолодження, необхідно також враховувати освітлення та опалення. Рестораторам потрібно не тільки запропонувати смачну їжу, але й створити правильну атмосферу, тобто підтримувати в ресторані комфортну температуру для відвідувачів і правильно освітлювати.

Середні витрати електроенергії на потреби ресторану наведені в табл. 2 [16]

Таблиця 2

## Середні витрати електроенергії в ресторанах

Причина використання	% загального використання
Охолодження	43%
Кулінарія	14%
Різне	14%
Вентиляція	12%
Охолодження	11%
Освітлення	6%

Ресторани в основному використовують газ для приготування їжі та опалення. Витрати газу кожен ресторан використовує в межах своїх витрат, Середнє використання газу ресторанами показано в табл.3 [16].

Таблиця 3

## Середнє використання газу ресторанами

Причина використання	% загального використання
Кулінарія	67%
Підігрів води	18%
Опалення	15%

Підприємства гостинності можуть значно скоротити свої рахунки за електроенергію, ставши більш енергоефективними.

В індустрії гостинності зони загального користування, які споживають найбільше енергії: приготування їжі, опалення, вентиляція та охолодження, миття посуду, освітлення, холодильні та прохолодні приміщення.

Велика частина енергії споживається на кухні, тому розумне ставлення до того, як ви обігриваєте та готуєте, може значно



заощадити енергію для вашого ресторану. Надання ідей ресторанного енергозбереження може спрацювати для будь-якого приладу на вашій кухні. Візьмемо для прикладу електрофритюрницю, яка є частиною основного обладнання багатьох кулінарних закладів. Ці прилади споживають 11 000 кВт/год енергії щороку. Примітно, що значна частина цієї енергії витрачається даремно, оскільки фритюрниці часто простоюють протягом тривалого часу, навіть у жвавому середовищі швидкого харчування. Цей стан пасивності призводить до витрат у розмірі близько 1000 доларів США на рік, які фактично сплачуються, щоб підтримувати фритюрницю в режимі очікування [17]. Вимкнення основних енергоспоживаючих приладів, таких як фритюрниці та системи опалення, вентиляції та кондиціонування, навіть на кілька годин може призвести до величезної економії чи навіть винагороди за допомогою «схем реагування на попит». Використовуючи програми «реагування на попит», окрім вимкнення енергоспоживаючих приладів приносить і економію коштів. Підвищуючи ефективність і вживаючи простих заходів для зменшення споживання енергії на 20%, ресторани та інші підприємства харчування можуть збільшити прибутки на 30% [17].

При заміні старого обладнання необхідно придбати найбільш енергоефективну модель, яку можете собі дозволити. Перехід на індукційне приготування може допомогти зменшити витрати, оскільки витрачається менше тепла, ніж традиційна плита, а це означає, що ви споживатимете менше електроенергії. Використання мікрохвильового устаткування для розігріву їжі також зменшить витрати енергії [13]. Заміна стандартних ламп розжарювання на світлодіодні лед-лампи може скоротити витрати електроенергії, яку ви використовуєте для освітлення, до 80%. Вони також служать довше і рідше потребують заміни.

Кількість води, що використовується у ресторані, також можна зменшити, встановивши регулятори витрати води або форсунки розпилувача, які споживають менше води. Енергоефективні сушарки для рук, які використовують примусове повітря замість нагрітого, можуть споживати на 75% менше енергії, ніж стандартна сушарка для рук [15].

Одним з елементів зниження витрат енергії це встановлення таймерів до приладів. Таймери можуть полегшити навчання персоналу вручну вимикати прилади на ніч. Використання таймерів може забезпечити вимкнення таких приладів, як: кавові машини, преси для бутербродів, гарячі марміти, холодильники для напоїв і нешвидкопсувних продуктів.

Кілька найкращих практик допоможуть забезпечити ефективну роботу кухонного обладнання. Обладнання, яке знаходиться в





несправному стані, або морально застаріле споживає більше енергії, ніж необхідно, проте деякі рекомендації до обслуговування та енергозбереження є простими та недорогими:

- Утримуйте обладнання в чистоті. Загалом обладнання, яке добре обслуговується та регулярно очищується, працює ефективніше та споживає менше енергії. Конфорки, решітки та плоскі поверхні можуть застигнути жиром і нагаром. Це знижує їх здатність ефективно проводити тепло. Очищуйте їх щодня та щотижня кип'ятіть фритюрниці. Рухомі частини, такі як конвеєри, грилі та лопаті вентилятора, споживають більше електроенергії, якщо вони забруднені або злиплися жиром. Тому необхідно їх регулярно очищувати.

- Прокладки дверей – холодильники, духові шафи, парові шафи, жаровні... все, що має дверцята та призначене для утримання тепла всередині або назовні, швидше за все, має прокладку дверей. Прокладки дверцят можуть забруднитися, потріскатися, розколотися або порватися. Регулярно очищайте та перевіряйте дверні прокладки на всьому обладнанні.

- Інші прокладки та ущільнювачі – багато видів кухонного обладнання мають прокладки та ущільнювачі, як правило, у місцях з'єднання водопроводів, газопроводів, вихлопних труб і дренажних ліній. Перевірте прокладки та ущільнення. Шукайте тріщини та замінійте їх за потреби або кожні три-п'ять років. Сервісний технік повинен замінити їх у рамках регулярного планового технічного обслуговування.

- Очистіть і замініть фільтри. Незалежно від того, чи йдеться про фільтри витяжки, фільтри для води, повітря чи масляні фільтри, коли фільтри забиваються, насоси та вентилятори працюють інтенсивніше та споживають більше електроенергії. Регулярно чистіть або замінійте фільтри.

- Чисті змійовики конденсатора – усі холодильні агрегати, кулери та льодогенератори мають змійовики випарника. Охолоджувальні агрегати стають неефективними, коли змійовики випарника забиті жиром, пилом або частинками їжі. Очищуйте їх принаймні кожні три місяці, використовуючи тверду щітку, щоб видалити сильний бруд, і використовуйте вакуум або стиснене повітря, щоб видалити пил і сміття.

- Вимкніть обладнання – занадто часто комерційне кухонне обладнання вмикають вранці і залишають увімкненим до закриття. Вентиляційні витяжки, сковороди, духовки та фритюрниці є типовими споживачами великої кількості енергії. Деякі виробники розробили розширені функції, які переводять обладнання в режим очікування, коли воно не використовується, але для більшості операторів це



питання навчання працівників. Значну кількість енергії можна зберегти, якщо співробітників навчать вимикати обладнання, коли воно не використовується.

*Висновки.* Виконане дослідження дозволило виявити стан та шляхи подальшого розвитку енергоефективного потенціалу підприємств ресторанного бізнесу. Незважаючи на те, що ціни на енергію зараз досить високі, а ринок нестабільний, ресторатори можуть заощаджувати електроенергію впроваджуючи нескладні технології та використовуючи енергоефективне устаткування. Для підвищення конкурентоспроможності ресторанних господарств необхідно впроваджувати енергоефективні технології.

#### *Список використаних джерел*

1. Енергодіагностика – основа ефективної енерготерапії. <https://zakarpatty.net.ua/News/147529-Enerhodiahnostyka-%E2%80%93-osnova-efektyvnoi-enerhoterapii.-Na-Zakarpatti-zdiisnyly-otsinku-enerhoefektyvnosti-zakladiv-osvity> (дата звернення 26.02.2024).
2. Що таке енергетична ефективність і як її впроваджувати. <https://ecoaction.org.ua/shcho-take-ee.html> (дата звернення 26.02.2024).
3. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 29.01.2020 № 88-р. URL: <http://zakon1.rada.gov.ua/> (дата звернення 26.02.2024).
4. Рекомендації щодо вимог з енергоефективності для закупівлі продукції державними органами. Критерії для енергоефективних закупівель / С. В. Берзіна, І. І. Яреньковська, С. Ю. Перминова [та ін.]; під заг. ред. д.т.н., проф. О. В. Сергійчука. Київ, 2020. 104 с.
5. J. C. Wang. A study on the energy performance of hotel buildings in Taiwan. *Energy Build.* 2012. Vol. 49. P. 268-275.
6. D. E. Santiago. Energy use in hotels: a case study in Gran Canaria *Int. J. Low Carbon Technol.* 2021. Vol. 16(4). P. 1264-1276.
7. S. Kasavan R. Siron, S. Yusoff, M. F. R. Fakri. Drivers of food waste generation and best practice towards sustainable food waste management in the hotel sector: a systematic review. *Environ. Sci. Pollut. Control Ser.* 2022. Vol. 29(32). P. 48152-48167.
8. E. Jeong, S. Jang. Effects of Restaurant Green Practices: Which Practices Are Important and Effective? URL: <http://digitalscholarship.unlv.edu/hhrc/2010/june2010/13> (дата звернення 26.02.2024).
9. D. Shiming, J. Burnett. Energy use and management in hotels in Hong Kong. *Int. J. Hospit. Manag.* 2002. Vol. 21(4). P. 371-380
10. G. Xydis, C. Koroneos, A. Polyzakis. Energy and exergy analysis of the Greek hotel sector: an application. *Energy Build.* 2009. Vol. 41(4). P. 402-406



11. R. Skapa. Reverse logistics as sustainable tool in tourism industry: scope and motivation. *Eur. J. Tour. Hosp. Recreat.* 2014. Vol. 5(1). P. 139-158.
12. Y. Namkung, S. Jang. Effects of restaurant green practices on brand equity formation: do green practices really matter? *Int. J. Hospit. Manag.* 2013. Vol. 33. P. 85-95.
13. Burdo O. G., Terziev S. G., Bandura V. N. Printsipy napravlennogo energeticheskogo deystviya v pischevyih nanotehnologiyah. *Problemele energetici regionale [Problemyi regionalnoy energetiki]*. 2015. Vol. 1(27). P. 79–85.
14. Blas J. Biofuel demand powering long-term food inflation. *Financial Times*. 2007. July 5.
15. Бандура В., Рубаненко О. Енергоаудит в ресторанному господарстві. *Гостинність і туризм майбутнього: наукові та практичні горизонти*: збірник тез доп. II-ої між нар. наук.-практ. конференції (17- 18 травня 2023 р.). Київ: НУБіП України, 2023. С. 77-78.
16. Що таке бізнес-енергетика для ресторанів? Як заощадити на рахунках за електроенергію. <https://bionic.co.uk/business-energy/guides/business-energy-for-restaurants/> (дата звернення 06.03.2024).
17. Агентство з охорони навколишнього середовища США. <https://www.epa.gov/> (дата звернення 06.03.2024).

*Стаття надійшла до редакції 01.04.2024 р.*

**V. N. Bandura<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup>National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine**

## **RESTAURANTS - OPPORTUNITIES FOR ENERGY EFFICIENCY**

### *Summary*

The article is devoted to the justification of theoretical and methodological approaches to the development of energy efficiency of restaurant establishments, taking into account the latest trends and challenges. Energy management is an important but often overlooked aspect of successful restaurant operations. Energy efficiency is one of the foundations of the EU's energy policy, as it actively aims to reduce its impact on the environment and climate. And Ukraine, as a future member of the European Union, must play by the same rules as other countries - that is, strive for the highest standards of efficiency. In Ukraine, a complex of normative documents on energy efficiency has been developed, which covers about 100 norms, standards and guidelines for construction, testing of heat-technical indicators, calculation and audit of energy-efficient buildings, engineering systems design

The article examines the importance of optimizing energy consumption in restaurants and provides strategic recommendations for restaurant managers to improve



energy management and energy efficiency of the establishment. The purpose of the study is to conduct an analysis of energy-saving technologies in the restaurant business and provide general recommendations for reducing energy consumption. Although energy prices are currently quite high and the market is unstable, restaurateurs can save electricity by implementing simple technologies and using the latest equipment. To increase the competitiveness of restaurants, it is necessary to implement energy-efficient technologies.

In general, a scientific study of the energy efficiency of restaurant establishments is important for ensuring the sustainable development of the hospitality industry in Ukraine. Analysis and generalization of the obtained data on energy consumption and its effective use in restaurant establishments will contribute to the development of effective strategies and solutions to increase the institution's competitiveness and promote its development. Addressing these issues requires further research and the development and implementation of energy efficient measures in the hospitality industry.

**Keywords:** energy management, energy efficiency, energy intensity, restaurants, business, recommendations.



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2-17

УДК 664.002. 5

Н. О. Фучаджи<sup>1</sup>, канд техн. наук

ORCID: 0000-0001-9433-6282

І. М. Кузьмінська<sup>2</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-0053-1501

<sup>1</sup> *Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного*<sup>2</sup> *Заклад вищої освіти «Подільський державний Університет»*

e-mail: fno1017@gmail.com, тел.: +380688778589

## ПІНОУТВОРЕННЯ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЯХ ШЛЯХОМ ЗБИВАННЯ

*Анотація.* Робота присвячена теоретичним дослідженням піноутворення в технологічних операціях харчової промисловості серед збитої продукції. Формування пінної структури в харчовій промисловості в технологічних операціях методом збивання можливо за наявності поверхнево-активних речовин, піноутворювачів, стабілізаторів, роль яких в традиційних технологіях виконують яєчні та молочні продукти або харчові добавки, деякі з яких є частиною рослинної тканини.

В харчовій промисловості значну кількість продукції виготовляють шляхом збивання з подальшим отриманням піноподібної структури, яка відіграє важливу роль, оскільки значна група харчових продуктів має пінну структуру. Тому актуальним є розробка наукових принципів регулювання фізико-хімічних та функціональних властивостей пін з метою їх реалізації при виробництві харчової продукції з піноподібною структурою шляхом збивання.

*Ключові слова.* збита продукція, збивання, піноутворення, піна, харчова промисловість, технологічна операція.

*Постановка проблеми.* *Постановка проблеми.* В харчовій промисловості значну кількість продукції виготовляють шляхом збивання з подальшим отриманням піноподібної структури, де пухирці повітря займають основну частину виробу. Продукція отримана шляхом збивання відноситься до дисперсних систем, які слабо структуровані, оскільки швидко руйнуються під дією механічних навантажень. До таких продуктів відносяться кисневі коктейлі, збиті вершки, морозиво, зефір, муси, суфле, тощо. Їхній процес виробництва базується на теорії утворення піни.

Піна є дисперсною системою, яка складається з двох фаз – газу та рідини; газ розглядається як дисперсна фаза, а рідина як безперервне дисперсійне середовище. Дисперсність складає одну з важливих характеристик піни, оскільки характеризує ступінь подрібненості частинок, визначає технологічні властивості піни, та процеси, які відбуваються в ній.



За вимогами, що пред'являються до структурно-механічних властивостей міжфазних адсорбційних шарів у пінах, прийнятої класифікації піноутворювачів, форм руйнування, пінні системи також не відрізняються від емульсій. Подібно до емульсій процес формування міжфазного адсорбційного шару в пінах включає дві стадії: адсорбцію піноутворювача на межі розділу фаз і формування структури міжфазного шару. Міцність адсорбційного шару, що сформувався, визначає найважливішу технологічну характеристику харчових пінних структур – їх стійкість в ході таких технологічних процесів, як перемішування і змішування з іншими компонентами, а також в ході охолодження та нагрівання.

Піни характеризуються такими показниками як:

- піноутворююча здатність розчину – кількість піни, яка виражається об'ємом, яка утворилась об'ємом розчину при дотриманні певних умов протягом певного часу;

- кратність піни – відношення об'єму піни до об'єму розчину, яке пішло на її утворення;

- стабільність піни – здатність піни зберігати об'єм, дисперсний склад і перешкоджати стіканню рідини;

- дисперсність піни – задана середнім розміром бульбашки, розподілом бульбашок по розміру у одиниці об'єму піни.

Вони є нестійкими полідисперсними системами, також вони термічно нестійкі об'єкти, тому що в них відбуваються процеси старіння та руйнування. В результаті технологічних процесів при виробництві продуктів харчування відбуваються зміни агрегативного стану фаз дисперсних систем та типу самої системи, що призводить до зміни пінної структури продукту під впливом зовнішніх факторів, таких, як температура. Щоб вирішити ці проблеми, необхідно застосовувати стабілізатори, що забезпечать стійкість пінній структурі продукту [1, 2].

*Аналіз останніх досліджень.* Для багатьох продуктів харчування піноподібна структура надає вирішальний вплив на їх відмінні властивості (наприклад, у хлібобулочних та деяких кондитерських виробках, морозиві, напоях та десертних виробках). Ведення диспергованого повітря, або іншого газу, в харчову сировину під час технологічної операції дозволяє змінити консистенцію та структуру харчового продукту, та задовільнити смаки споживачів.

Наведемо приклади деяких харчових пін та природу їх утворення у табл. 1 та табл. 2.

Отримання пін може бути обумовлено дією кількох джерел піноутворення одночасно. Деякі технологічні процеси здійснюють з аерацією та перемішуванням, як піноутворювач широко використовують білок курячого яйця, желатин, а також метилцелюлозу і білки молока, тощо.



Таблиця 1

## Харчові піни та джерела їх утворення

Продукт	Тип піни	Джерело утворення
Хліб	Твердий	Процес бродіння тіста
Кондитерські збивні маси (зефір, суфле, тощо)	Твердий, утворений з рідких	Диспергування повітря у вихідній сировині
Ігристі вина, пиво	Рідкий	Процеси бродіння
Газовані напої	Рідкий	Диспергування діоксиду вуглецю у водному середовищі

Таблиця 2

## Можливі джерела утворення, тип і форма деяких пін у харчовій промисловості та продуктів харчування

Джерело утворення	Тип піни	Харчові маси, харчові продукти, напівфабрикати
<i>Технологічні процеси:</i>		
Вспінювання	Тверді, утворені з рідких; Рідкі	Кондитерські маси, патока, зефір, суфле, халва, морозиво Збиті вершки, коктейлі
Піносушка	Рідкі, що переходять у тверді	Сухе молоко, кава, пюре, інші порошки
Бродіння	Рідкі	Вина, пиво
Супутні процеси	Рідкі	Цукор, продукти бродіння, дріжджі
Продукти	Рідкі Тверді	Ігристі вина, пиво, прохолодні напої Хліб

У загальному випадку при утворенні піни у присутності ПАР (поверхнево-активних речовин) знижується поверхневий натяг на межі поділу фаз, і утворюються на поверхні поділу міцні захисні плівки, що перешкоджають коалесценції.

Таблиця 3

## Характеристика піноутворюючої здатності деяких речовин

Піноутворювач	Концентрація піноутворювача у розчині, %	Кратність піни	Стійкість піни через 30 хв, % об'єму до початкового
Білок курячого яйця	2,0	2,47	86
	3,0	2,84	91
	3,6	2,11	88
Знежирене молоко	5,0	1,80	75
	10,0	2,00	72
	15,0	1,70	69
Желатин	0,9	2,37	83
	1,6	2,43	85
	2,0	2,40	82
	2,5	2,30	81
Метилцелюлоза (МС-8)	0,1	2,03	46
	0,5	2,75	50
	1,0	2,55	48

Витончення пінної плівки уповільнюється через витікання рідини з неї, в той же час «життя» піни збільшується. Надлишковий тиск також перешкоджає витонченні плівок, який виникає в тонкому шарі. Підвищити механічну міцність піни можливо за рахунок адсорбційного шар ПАР, який змінює структуру поверхні міжфазної межі.

Піноутворювальна здатність ПАР залежить від таких факторів, як концентрація піноутворювача в розчині, та наявності речовини, яка сприяє або пригнічує піноутворення. [3, 4].

Якщо піноутворюючою речовиною служить яєчний білок, то внаслідок розгортання його молекул на межі міжфазного розділу настає поверхнева денатурація, що сприяє підвищенню стабільності піни. Яєчний білок використовують як у натуральному, так і в консервованому вигляді – висушений чи заморожений. Значно менше застосування знаходять білки, законсервовані цукром.

Широко застосовують яєчний білок, відокремлений від жовтка, як піноутворювач, у виробництві пастили, збивних цукеркових виробів, карамельних начинках, напівфабрикатах з оздоблювання для тістечок і тортів.

На піноутворюючу здатність яєчних білків впливають різні фактори, насамперед властивості сировини, вона сильно знижується, якщо до білка домішані жири (жовток) або інші піногасники, тобто речовини з високою поверхневою активністю.





Дисперсність піни визначає механічні властивості та стійкість збитих білків, оскільки недостатньо збиті білки, погано зберігають форму, мають невисоку міцність і при з'єднанні з іншими продуктами швидко зменшуються в об'ємі. Вироби, виготовлені з додаванням таких білків, мають занадто щільну консистенцію.

У процесі тривалого збивання білків дисперсність піни та поверхня її розділу різко зростають, а товщина плівок зменшується. Через це взбиті білки втрачають еластичність та стають крихкими, при подальшому збиванні руйнується структура піни, а також зменшується її об'єм. [4, 5].

*Постановка завдання.* Метою статті є вивчення теоретичних основ дослідження піноутворення в технологічних операціях шляхом збивання.

*Основна частина.* Основною класифікаційною ознакою піноутворювачів та стабілізаторів є їхнє походження: природні тваринного походження; природні рослинного походження та синтетичні. До природних тваринного походження відносять: яєчний альбумін, желатин, сироватковий альбумін, казеїнат натрію; до природних рослинного походження – пектин, крохмаль, каррагенан, альгінат натрію, агар-агар, фуцелларан, білки сої, камеді; до синтетичних – метилцелюлоза, карбоксиметилцелюлоза, модифіковані крохмалі тощо [5, 6, 7].

В кондитерській промисловості піноподібні маси отримують збиванням фруктово-ягідного пюре з цукром і патокою в присутності піноутворювача (яєчний білок, кров'яний альбумін, гідролізований молочний білок і т.д.) з гарячим студнеутворювачем (пектин, агар, желатин), в результаті застуднення суміші, яку після відповідної обробки формують окремими виробами.

Для закріплення дрібно-пористої піноподібної структури використовують гарячий агаро-цукрово-патоковий сироп або гарячу фруктово-ягідну мармеладну масу. Основна роль сиропу – зафіксувати пінну структуру пастильної маси, надати їй механічної міцності, щоб її можна було формувати. Після остигання маси введений агаро-цукрово-патоковий сироп надає масі міцних властивостей холодця [7, 8].

На піноутворювальну здатність впливають такі фактори: склад і співвідношення сировини, вологість рецептурної суміші, рН середовища, вид і концентрація піноутворювача, температура та умови збивання пастильної маси, режим сушіння [9, 10].

– якщо до піноутворювача додати цукор, то сила збільшиться в 3 рази. Цукор збільшує поверхневий натяг водних розчинів і отже ускладнює їх піноутворення, з іншого боку зі збільшенням концентрації цукру збільшується в'язкість рідини в плівках піни, що



ускладнює їх розпушування та збільшує стабільність піни. Часткова заміна цукру патокою збільшує в'язкість пінних плівок, зменшує ступінь пересичення рідкої фази, тим самим уповільнюючи процес кристалізації сахарози та засихання.

– яблучне пюре покращує силу і цей вплив тим більше, чим більша желуюча здатність пюре. Пектинові речовини яблучного пюре адсорбуються на білкових плівках повітряних кульок і утворюють білково-пектинові комплекси, які збільшують міцність піни, оскільки збільшується в'язкість дисперсного середовища.

– патока вводиться як антикристалізатор сахарози для запобігання зацукрованню виробів, збільшує в'язкість дисперсного середовища, відіграє роль ПАР.

– температура піноутворення повинна бути вищою за температуру желювання, застосовуваного студнеутворювача для уникнення руйнування студневого каркасу.

– час збивання встановлюється залежно від виду устаткування, температури сировини, температури приміщення.

В кондитерській промисловості білки виконують функцію піноутворення для виготовлення суфле, пастили, тощо; в харчовій промисловості – при випіканні хліба; відіграють важливу роль в утворенні піни та піностійкості у готовому пиві [11, 12, 13, 14].

Стійкість піни, в якій білок є піноутворювачем, залежить не тільки від його природи, але також від концентрації та температури. Для білка курячого яйця оптимальний температурний інтервал при піноутворення 20 – 30 °С, максимальна стійкість піни спостерігається при 20 °С. Вплив добавок сахарози до маси білка курячого яйця проявляється у зв'язуванні нею вологи і відповідному збільшенні міжфазний шар, тому системи на основі білка курячого яйця з цукром збивають при температурі близько 50 °С.

Одночасно зв'язування вологи сахарозою та збільшення в'язкості системи ведуть до підвищення стійкості піни (табл. 4).

При характеристиці процесу піноутворення для систем із желатином слід враховувати його студнеутворювальну спроможність.

Можливе відділення рідини настає для пін утворених при температурах 35°C і вище, оскільки вони є рідкоподібними системами. При зниженні температури піноутворення внаслідок агрегації макромолекул желатину його піноутворююча здатність знижується, а водоутримуюча здатність зростає (табл. 5).

На піноутворюючу здатність желатину впливає молекулярна маса речовини – чим вона більше, тим вище піноутворююча здатність.

Кратність піни зростає при механізованому способі збивання: для білка курячого яйця вона становить 5,0 – 8,0, для желатину – 3,0 – 3,5. Процесом піноутворення можна керувати за рахунок впливу на



властивості піноутворюючів, такі як дисперсійність середовища та фізико-механічні умови формування міжфазного адсорбційного шару. Основними умовами впливу є швидкість та тривалість збивання, а також форма робочого органу. [15, 16, 17].

Таблиця 4

## Характеристика стійкості піни на основі білка

Співвідношення білок:цукор	Об'ємна маса, г/см'	Відшарування рідкої фази, % за час, год			
		0,5	1,0	2,0	3,0
1:0	0,180	42,3	61,8	72,6	72,6
1:0,5	0,249	27,1	38,5	66,0	69,0
1:1,0	0,269	0	0	13,8	21,4
1:1,5	0,300	0	0	0	0
1:2,0	0,362	0	0	0	0

Таблиця 5

## Залежність піноутворюючої здатності 2%-ного розчину желатину від температури ведення процесу

Температура збивання, °С	Кратність піни
35	3,3
25	1,5
15	3,1

Для того, щоб в повній мірі проявилися властивості – швидкість адсорбції і формування шару, необхідно забезпечити максимально сприятливі умови для режиму збивання.

*Висновки.* Стійкість структури піни, отриманих шляхом збивання, є важливим фактором підвищення якості харчових продуктів. Головним технологічним недоліком і основною проблемою при використанні харчових пін в технологічних операціях, методом збивання, є їх нестабільність за часом і під впливом зовнішніх факторів, таких, як температура. Вирішення цих проблем полягає у виборі і використанні стабілізаторів, які дозволить отримати стійку та стабільну пінну структуру.

*Список використаних джерел*

1. Змеєва І. М., Ялпачик В. Ф. Зниження піноутворення при розливі рідин. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2020. Вип. 20, т. 1. С. 108-115. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-20-1-108-114>.



2. Кузьмінська І. М. Вплив геометрії споживчої тари на піноутворення при розливі харчових рідин. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2020. Вип. 21, т. 1. С. 143-151.
3. Кузьмінська І. М. Піноутворення в харчовій промисловості. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2022. Вип. 12, том 1. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/tsstt/wp-content/uploads/sites/6/naukovyj-visnyk-tdatu-2022-vypusk-12-tom-1.pdf>. (дата звернення 10.02.2024).
4. Банова С. І. Удосконалення технології збивних кондитерських виробів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01. Одеса, 2003. 20 с.
5. Білки у харчуванні людини. Проблема білкового дефіциту на землі. URL: <http://um.co.ua/4/4-8/4-85122.html> (дата звернення 20.02.2024).
6. Тарасенко В. Г., Фучаджи Н. О., Червоткіна О. О. Удосконалення способу охолодження напоїв. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання*. 2022. Вип. 12, т. 2. с. 165-172.
7. Самойчук К. О., Ломейко О. П., Фучаджи Н. О. Оптимізація технологічних процесів при приготуванні пивного суслу. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2022. Вип. 12, т. 2. С. 116-123.
8. Пивоваров П. П. Теоретична технологія продукції громадського харчування. Частина І. Білки в технології продукції громадського харчування: навч. посібник. Харків: ХДАТОХ, 2000. 212 с.
9. Пересічний М. І., Кравченко М. Ф., Карпенко П. О. Технологія продукції громадського харчування з використанням біологічно активних добавок : монографія. Київ: КНТЕУ, 2003. 322 с.
10. Плахотін В. Я., Тюрікова І. С., Фомич Г. П. Теоретичні основи технологій харчових виробництв: навч. посібник. Київ: Центр навчальної літератури, 2006. 640 с.
11. Производство желейной и взбивной продукции с использованием модификаторов: монография / Ф. В. Перцевой, А. Л. Фощан, Ю. А. Савгира [и др.]. Днепропетровск: Пороги, 2003. 201 с.
12. Козлов В. Н., Затирка А. Ф. Технология молочно-белковых продуктов. Киев: Урожай, 1988. 167 с.
13. Волкова Т. А., Кравченко Э. Ф. Новые напитки на основе молочной сыворотки. *Сыростелие*. 2000. № 3. С. 41.
14. Юрченко С. Л. Разработка технологии многофункциональных полуфабрикатов для производства сладких блюд с пенной структурой: дисс. ... канд. техн. наук: 05.18.16 / Харьковская гос. академия технологии и организации питания. Харьков, 1999. 294 с.
15. Никифоров Р. П. Технологія напівфабрикатів для збитої десертної продукції на основі нежирної молочної сировини: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.16. Донецьк, 2000. 136 с.



16. Федотова Н. А. Технологія білково-рослинного напівфабрикату на основі молочної сироватки: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.16. Донецьк, 2011. 178 с.

17. Активация рослинних біологічно активних речовин фізичними методами : монографія / Р. Ю. Павлюк, Н. В. Дібрівська, В. В. Яницький [та ін.]. Харків: ХДУХТ, 2010. 152 с.

*Стаття надійшла до редакції 18.03.2024 р.*

**N. Fuchadzi<sup>1</sup>, I. Kuzminska<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup> Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University**

**<sup>2</sup> Higher educational institution «Podillia State University»**

## **FOAM FORMATION IN TECHNOLOGICAL OPERATIONS THROUGH WHIPPING**

### *Summary*

The work is devoted to theoretical studies of foam formation in technological operations of the food industry among whipped products. Formation of the structure of this product is possible in the presence of surface-active substances, the role of which in traditional technologies is performed by egg and dairy products or food additives, some of which are part of plant tissue.

Today, in the production of whipped products, additives of protein and polysaccharide origin are mainly used, which has caused their extensive study. A large number of products are prepared based on the process of obtaining a foam-like structure, in which the bulk of the volume of the product is occupied by air bubbles. Foams belong to unstable polydisperse systems and have their own technological features. Therefore, foams should be considered as a complex multilayer structure in the form of layers with different thicknesses.

Foaming properties of proteins are characterized by foaming ability and foam stability. The first indicator is measured by the volume of foam related to the mass of the protein, the second by its half-life, that is, the time required for the destruction of half of the foam volume. Both indicators depend on the pH of the environment, the concentration of protein, salts, temperature, the presence of lipids, sucrose, dietary fibers, the fractional composition and structure of proteins. The stability of the foam structure is an important factor in improving the quality of food products.

The main technological disadvantage and the main problem of using foams is their instability over time and under the influence of external factors, in particular temperature. The solution to these problems is to choose and use a stabilizer that will solve the problem of obtaining a stable foam structure.

Foaming processes in the food industry play an important role, since a significant group of food products has a foam structure. Therefore, the development of scientific principles for regulating the physico-chemical and functional properties of foams with the aim of their implementation in the production of food products with a foam-like structure by whipping is relevant.

**Keywords:** Whipped products, whipping, foaming, foam, food industry, technological operation.

**ПРАЦІ**  
**Таврійського державного агротехнологічного університету**

*Наукове фахове видання*

**Випуск 24, том 2**

*Заснований у 1998 р*  
*Виходить три рази на рік*

Свідоцтво про державну реєстрацію  
Друкованого засобу масової інформації  
Міністерство юстиції  
КВ 24285-14125 ПР від 27.12.2019 р.

Відповідальний за випуск – д.т.н., професор Панченко А.І.

---

Підписано до друку 01.06.2024 р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 23,95. Наклад 100.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»  
65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1  
Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08  
E-mail: mailbox@helvetica.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.