

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 1**

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 1  
Issue 24, volume 1**

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

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

**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. 1. 236 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)  
Карпалюк 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)  
Холодняк 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 1****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 № 9 від 30.04.2024 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: 10.32782/2078-0877-2024-24-1

**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 1****Founder**

Dmytro Motorny 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 Motorny Tavria State  
Agrotechnological University  
Record No. 9 dated April 30, 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. Khmelnytskyi Ave.  
*Actual address:* 69600, Zaporizhzhia region  
Zaporizhzhia, 66, Zhukovskiy Str.  
<https://oj.tsatu.edu.ua>,  
DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-1



---

**ЗМІСТ / CONTENTS**

---

**ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ**

<b>Панченко А. І., Волошина А. А., Романишин О. Ю., Волошин А. А.</b> Вплив форми вікон на пропускну спроможність розподільної системи планетарного гідромотора	
<b>Panchenko A., Voloshina A., Romanyshyn A., Voloshin A.</b> The influence of the shape of the window on the throughput of the distribution system of the planetary hydraulic motor	7
<b>Mikulionok I.</b> Classification and analysis of designs of screw presses for oil raw materials	23
<b>Мікульонюк І.</b> Класифікація та аналіз конструкцій шнекових пресів для олійної сировини	
<b>Кюрчев С. В., Самойчук К. О., Ломейко О. П.</b> Визначення параметрів струминного та пульсаційного гомогенізаторів молока при їх промисловому застосуванні	53
<b>Kiurchev S., Samoichuk K., Lomeiko O.</b> Determination of the parameters of flow and pulsation milk homogenizers in their industrial application	
<b>Дідур В. В., Лещенко І. А., В'юник О. В.</b> Проблеми очищення рослинних олій	63
<b>Didur V., Leshchenko I., Viunyk O.</b> Problems of purification of vegetable oils	
<b>Мельник В. А., Попадюк І. С., Волик Д. А., Степаненко С. П.</b> Дослідження розвитку технологій та технічних засобів для пневмовідцентрового розділення зернових матеріалів	75
<b>Melnyk V., Popadyuk I., Volyk D., Stepanenko S.</b> Research on the development of technologies and technical means for pneumatic centrifugal separation of grain materials	
<b>Скляр О. Г., Скляр Р. В., Болтянський Б. В.</b> Аспекти вдосконалення технології виробництва біогазу	89
<b>Skliar O., Skliar R., Boltianskyi B.</b> Aspects of improving biogas production technology	
<b>Верхоланцева В. О., Паляничка Н. О., Фучаджи Н. О., Червоткіна О. О.</b> Дослідження технології заморожування ягід	101
<b>Verkholantseva V., Palianychka N., Fuchadgu N., Chervotkina O.</b> Research of berry freezing technology	

**ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**

- Галько С. В., Дудніков С. М., Мірошник О. О., Мороз О. М., Трунова І. М.** Розробка алгоритму роботи комбінованої системи електропостачання з відновлюваними джерелами енергії 109
- Halko S., Dudnikov S., Miroshnik O., Moroz O., Trunova I.** Development of algorithm for the operation of a combined power supply system with renewable sources
- Попов С. В., Левченко Ю. В., Петраш О. В., Попов К. С.** Експериментальне дослідження режимів інтелектуального імпульсного зарядного пристрою 122
- Popov S., Levchenko Yu., Petrash O., Popov K.** The experimental research of pulse charger modes
- Вовк О. Ю., Квітка С. О., Попова І. О., Діордієв В. Т.** Збереження роботоздатності трифазного статичного навантаження за неповнофазного живлення 136
- Vovk O., Kvitka S., Popova I., Diordiev V.** Maintaining the performance of a three-phase static load with a partial-phase power supply
- Коробка С. В., Стукалець І. Г., Бабич М. І., Сиротюк С. В., Скляр О. Г., Болтянський Б. В., Скляр Р. В.** Підвищення енергетичної безпеки електрозабезпечення споживачів ліній електропередач 0,38 кВ із застосуванням системи моніторингу віртуально вимірювальних приладів 151
- Korobka S., Stukalets I., Babych M., Syrotyuk S., Skliar O., Boltianskyi B., Skliar R.** Enhancement of energy security of electrical supply of consumers of electrical transmission lines of 0.38 kV using the monitoring system of virtual measuring devices
- Дудніков С. М., Markowska K., Щур Т. Г., Савченко О. А., Трунова І. М., Серєда А. І., Галько С. В., Пазій В. Г., Попадченко С. А.** Аналіз перспектив функціонування біоенергетичного потенціалу в системах енергопостачання України на основі аналізу енергетичного балансу 170
- Dudnikov S., Markowska K., Shchur T., Savchenko O., Trunova I., Sereda A., Halko S., Pазii V., Popadchenko S.** Analysis of prospects for the functionality of bioenergy potential in energy supply systems of Ukraine based on energy balance analysis

**КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ**

- Мацулевич О. Є.** Застосування спеціалізованої PLM-системи Technologi CS при розробці автоматизованої системи ведення конструкторсько-технологічних баз даних підприємства сільськогосподарського машинобудування 184
- Matsulevych O.** Application of the specialized PLM-system Technologi CS in the development of an automated system for managing design and technological databases of an agricultural machinery engineering enterprise



**Ванін В. В., Залевський С. В., Голова О. О., Грубич М. В., Лазарчук-Воробйова Ю. В.** Про один спосіб побудови моделі чебишевської сітки на поверхні 195

**Vanin V. V., Zalevsky S. V., Golova O. A., Grubich M. V., Lazarchuk-Vorobyova Yu. V.** Pro is one way to build a model of a chebyshev mesh on a surface

**Lubko D. V.** Ways to solve the complex problem of introducing STEM-education and artificial intelligence into the educational process at universities 202

**Лубко Д. В.** Шляхи вирішення комплексної проблеми впровадження STEM-освіти та штучного інтелекту в навчальний процес в університетах

### ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

**Погорілий С. П., Присяжний В. Г.** Раціональні схеми садіння картоплі в умовах зміни клімату 211

**Pogorilyu S. P., Prisyazhnyi V. G.** Rational schemes of potato planting under the conditions of climate change

**Василишина О. В., Чернега А. О., Гайдай І. В.** Розроблення технології десертів функціонального призначення з використанням полісахаридів 218

**Vasylyshyna O. V., Chernega A. O., Haidai I. V.** Development of technology of functional desserts using polysaccharides

**Фіалковська Л. В.** Розробка рецептури та технології виробництва майонезу 228

**Fialkovska L. V.** Development of the recipe and mayonnaise production technology



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-1-6

УДК 631.171

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

Б. В. Болтянський<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID 0000-0003-2072-4025

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

e-mail: radmila.skliar@tsatu.edu.ua, тел.: +380679168580

## АСПЕКТИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

*Анотація.* В статті розглянуто технологію отримання біогазу як складну систему, на яку впливають велика кількість чинників, кожен із яких неможливо оцінити окремо. Обґрунтовано, що технологічний процес біогазових установок ґрунтується на технічних, біологічних, хімічних, організаційних та інших елементах системи, які перебувають у безперервному зв'язку один з одним. Проведено аналіз основних елементів системи виробництва біогазу відповідно до підходів міжнародної системи менеджменту якості ISO 9001:2000. Виявлено, що найбільш актуальне підвищення ефективності біогазових установок – удосконалення технічних показників процесу отримання біогазу як системоутворювальних елементів системи. Інші необхідно враховувати при проведенні досліджень як обмежувальні. Так для якісного моделювання необхідно скористатися процесним та системним підходом міжнародної системи. Бажаний результат досягається ефективніше, коли діяльністю та відповідними ресурсами керують як процесом. Розроблено карту процесів біогазової установки та відповідну до неї загальну схему технологічного процесу функціонування біогазової установки.

*Ключові слова:* біогаз, установка, добрива, система, технологічний процес, карта процесу, технологія.

*Постановка проблеми.* Виробництво біогазу має велике господарське значення для отримання біопалива, теплової та електричної енергії, органічних добрив, дозволяє запобігти викидам метану в атмосферу, а також може бути використане як автомобільне паливо [1,2]. Метан стоїть на другому місці після двоокису вуглероду (CO<sub>2</sub>) в ряду парникових газів, що виділяються в результаті діяльності людини. Метан в 23 рази ефективніше підтримує тепло в атмосфері Землі, ніж CO<sub>2</sub>. Метан – відносно недовговічний газ, і його присутність в атмосфері становить приблизно 12 років. Оскільки метан має такі характеристики, скорочення його присутності в атмосфері було б особливо ефективним у плані попередження глобального потепління в найближчі роки. [3].





Біогазові установки можуть бути використані як очисні споруди на спиртових заводах, цукрових заводах, фермах, птахофабриках, м'ясокомбінатах та замінюють ветеринарно-санітарний завод, тобто тваринні відходи утилізується в біогаз замість виробництва м'ясо-кісткового борошна [4].

Серед промислово розвинених країн головне місце за абсолютними показниками (за кількістю середніх та великих установок) чільне місце займає Німеччина – 8 млн од. У Західній Європі трохи менше половини всіх птахоферм опалюється біогазом [5, 6].

*Аналіз останніх досліджень.* Питаннями виробництва біогазу в Україні займалися такі науковці, зокрема: Гелетуша Г.Г., Матвеев Ю.Б., Кучерук П.П., Ратушняк А.А., Токарчук Д.М., Калетнік Г.М., Пришляк Н.В., Скорук О.П. та ін. За цей період розроблені біогазові різної продуктивності і різного конструктивного виконання. За їх даними можна перелічити наступні переваги біогазової технології [2, 4, 8, 9]:

- використання для виробництва енергії відновлюваної, місцевої рослинної та тваринної сировини;

- можливість використання досі економічно не використаних рослин (або їх частин);

- можливість утилізації органічних відходів для виробництва енергії;

- децентралізоване енергопостачання без багатокілометрових комунікацій;

- скорочення емісій парникових газів як метан ( $\text{CH}_4$ ), звеселяючий газ ( $\text{N}_2\text{O}$ ), вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ) в атмосферу;

- вивільняється тільки та кількість  $\text{CO}_2$ , яка була засвоєна рослинами в процесі росту (замкнений кругообіг  $\text{CO}_2$ ), метан не виділяється в атмосферу;

- поліпшення якості добрива в порівнянні з непереробленим гноєм, зменшення інтенсивності запаху і лужності при внесенні в ґрунт, швидша засвоєваність рослинами поживних речовин порівняно з необробленим гноєм;

- у процесі ферментації скорочується кількість патогенних мікробів і схожість бур'янів;

- економія добрив та отрутохімікатів, ферментаційний залишок є ефективним та екологічним заміником мінеральних добрив.

*Формулювання мети статті.* Удосконалення технології виробництва біогазу на основі аналізу найбільш розповсюджених технологій та класифікації біогазових установок.

*Основна частина.* Технологія отримання біогазу та її подальше застосування є складним процесом, на який впливає велика кількість чинників, кожен із яких неможливо оцінити окремо. З цієї причини необхідно розглядати сукупність безлічі елементів, що перебувають у



суттєвих відносинах і зв'язках один з одним і утворюють певну цілісність, єдність, тобто систему [10,11]. Це цілісна сукупність елементів, що взаємодіє один з одним, між елементами системи є суттєві зв'язки, які із закономірною необхідністю визначають інтеграційні якості цієї системи. Для формування системи необхідно забезпечити упорядковані зв'язки, тобто, створити певну організаційну структуру, що складається з взаємопов'язаних об'єктів та суб'єктів управління, що реалізують цільову функцію системи.

Технологічний процес біогазових установок ґрунтується на технічних, біологічних, хімічних, організаційних та інших елементах системи, що перебувають у безперервному зв'язку один з одним [12-14].

До технічних відносяться конструктивні особливості деталей та вузлів біогазової установки. Вона повинна мати необхідні частини [15]:

- ємність для гомогенізації;
- завантажувач твердої (рідкої) сировини;
- пристрій для перемішування;
- газгольдер;
- метантенк;
- трубопроводи для транспортування біогазу;
- система змішування води та опалення;
- сепаратор;
- насосна станція;
- КДП та А з візуалізацією;
- прилади контролю;
- система безпеки.

Біомаса відповідно до технологічного процесу подається насосами або завантажувачем в метантенк [16] - утеплений резервуар, що підігрівається, і обладнаний міксерами.

Будматеріалом для промислового резервуару найчастіше є залізобетон або сталь з покриттям. У малих установках іноді використовують композиційні матеріали. У реакторі живуть корисні бактерії, які харчуються біомасою, продуктом життя діяльності яких є біогаз. Для підтримки життя бактерій потрібно подання органічних матеріалів, підігрів до необхідної температури та періодичне перемішування. Біогаз, що утворюється, накопичується у газгольдері, надалі очищається в спеціальній системі та подається на використання (котел або електрогенератор). Метантенк пожежобезпечний, працює без доступу повітря та герметичний [16].

Для зброджування деяких видів сировини у чистому вигляді потрібна спеціальна двостадійна технологія. Наприклад, пташиний послід [17, 18], спиртова барда не переробляються на біогаз у



звичайному реакторі. Для переробки необхідно використовувати ще реактор гідролізу. За допомогою нього можна контролювати рівень кислотності, таким чином бактерії не гинуть через підвищення вмісту кислот або лугів. Можлива переробка цих субстратів за одностадійною технологією, але при коферментації (змішуванні) з іншими видами сировини, наприклад, з гною або силосом [10, 11].

До біологічних елементів системи отримання біогазу відносяться [19, 20]:

- склад зброженої біомаси (зміст білків, жирів, вуглеводів, лігніну);
- склад мікрофлори (кількість та групи мікроорганізмів відповідної стадії розкладання);
- умови життєдіяльності мікроорганізмів (зміст шкідливих домішок).

Біогаз – газ, що отримується у результаті ферментації (збродження) органічних речовин в анаеробних умовах. У виробництві біогазу беруть участь різні типи мікроорганізмів з різноманітною кількістю функцій катаболізму [20]. Біогазове бродиння в залежності від мікробного виду бактерій, що беруть участь, можна розділити на три етапи. Перший називається початком бродиння бактерій. Різні органічні бактерії, розмножуючись, виділяють позаклітинні ферменти, основна роль яких полягає у руйнуванні складних органічних сполук із гідролізним утворенням простих речовин. Наприклад, полісахариди у моносахариди; білок у пептиди або амінокислоти; жири в гліцерин та жирні кислоти. Другий етап називається водневим. Утворюється водень внаслідок діяльності оцтовокислих бактерій. Їхня основна роль полягає в бактеріальному розкладанні оцтової кислоти з утворенням двоокису вуглецю та водню. Третій етап називається метаногенним. У ньому бере участь тип бактерій, відомих як метаногени. Їхня роль полягає у використанні оцтової кислоти, водню та діоксиду вуглецю з утворенням метану [20].

Перелік органічних відходів, придатних для виробництва біогазу [2, 4, 11, 18]: коров'ячий і свинячий гній, пташиний послід, відходи м'ясобійні, трава, солома, мул стічних вод, післяспиртова барда, пивна дробина, жирові відходи, прострочені продукти та багато іншого. Наприклад, з 1 т гною великої рогатої худоби утворюється 50–65 куб. м. біогазу, із різних видів енергетичних рослин — 100–500 куб. м. Так, біогазові установки на кукурудзяному силосі виробляють 230 куб. м. біогазу з 1 т сировини [2, 4].

У гною великої рогатої худоби вже містяться всі необхідні для початку ферментації мікроорганізми, саме тому ця сировина часто використовується для запуску процесів бродиння в нових реакторах.



Вихід біогазу залежить від вмісту сухої речовини та виду використовуваної сировини. З 1 т гною великої рогатої худоби виходить 50-65 м<sup>3</sup> біогазу з вмістом метану 60%, 150-500 м<sup>3</sup> біогазу з різних видів рослин із вмістом метану до 70 %. Максимальну кількість біогазу – це 1300 м<sup>3</sup> із вмістом метану до 87%, можна отримати з жиру [4, 12].

Фізичні елементи системи виробництва біогазу, що впливають на процес бродіння [9, 11, 12, 15, 18], включають:

- площа поверхні частинок сировини;
- температуру зброджування;
- частота подачі субстрату;
- сповільнювальні речовини;
- тиск у біогазовій установці;
- гідравлічний режим;
- вологість середовища;
- стимулюючі добавки.

Метанові бактерії виявляють свою життєдіяльність у межах температури 0-70 °С. Якщо температура вища, вони починають гинути, крім кількох штамів, які можуть жити при температурі середовища до 90°С. За мінусової температури вони виживають, але припиняють свою життєдіяльність, у літературі нижню межу температури вказують як 3-4°С. Бактеріальні штами, що відповідають за розкладання біомаси, найбільш продуктивні при температурах 25 ° С (психрофільні), 37 ° С (мезофільні) або 55 ° С (термофільні) [11, 12, 16].

Площа поверхні частинок сировини має важливе значення для часу розкладання біоматеріалу: що менше частинки субстрату, то краще. Чим більше площа взаємодії бактерій з матеріалів біореактору і чим волокнистіший субстрат, тим легше і швидше бактеріям розкласти субстрат. Крім того, його простіше перемішувати, змішувати та підігрівати без утворення плаваючої кірки або осаду. Подрібнена сировина має вплив на кількість виробленого газу через тривалість періоду бродіння. Чим коротший період бродіння, тим краще має бути подрібнений матеріал.

Хімічні елементи системи біогазових установок [12]:

- кислотність середовища (величина рН);
- вміст ЛЖК в масі, що зброджується;
- обсяг та склад біогазу;
- рівень рН;
- співвідношення С: N: P.

Склад та якість біогазу включає 50-87% метану, 13-50% CO<sub>2</sub>, незначні домішки H<sub>2</sub> та H<sub>2</sub>S. Після очищення біогазу від CO<sub>2</sub> виходить біометан – повний аналог природного газу, відмінність лише у походженні.



Оскільки тільки метан постачає енергію з біогазу, доцільно для опису якості газу, виходу газу та кількості газу все відносити до метану з його показниками, що нормуються. Об'єм газів залежить від температури та тиску. Високі температури призводять до розширення газу і до зменшування разом з обсягом рівня калорійності, і навпаки. Крім того, при зростанні вологості калорійність газу також знижується.

Організаційні елементи системи включають [10, 12, 15]:

- кількість та періодичність завантаження та вивантаження збродженого матеріалу;
- можливість реалізації отриманої продукції (газ, добрива, електроенергію тощо);
- якісний склад маси, що завантажується.

На основі аналізу класифікації біогазових установок [1, 8, 15, 18], можна зробити висновок, що найбільш часто зустрічаємий варіант біогазової установки – це одноступінчаста, мезофільна, квазінеперервно завантажувальна установка вологої ферментації для виробництва електричної енергії та теплоти.

З проведеного попереднього аналізу можна дійти висновку у тому, що найбільш актуальне підвищення ефективності біогазових установок – удосконалення технічних показників процесу отримання біогазу як системоутворювальних елементів системи. Інші необхідно враховувати при проведенні досліджень як обмежувальні.

На функціонування біогазових установок мають великий вплив і особливості утримання тварин (птиці). В отримуваній органічній сировині міститься велика кількість різних за фізико-механічним складом матеріалів: гній тварин, солома, сторонні предмети. Солома є підстилковим матеріалом, багата на клітковину і є поганою сировиною для отримання метану, в біореакторі вона відшаровується від гною, спливає на поверхню і утворює шар, що перешкоджає виділенню газу [20, 21]. Сторонні предмети – цегла, металеві деталі та інші результати безгосподарності – перешкоджають перебігу технологічного процесу та ведуть до поломок машин. Все це сильно ускладнює процес отримання біогазу, тому необхідно попереднє відділення в'язкого або сипучого, в залежності від вологості, гною від соломи, подрібнення соломи перед надходженням його в біореактор, при необхідності очищення від сторонніх домішок. Якісне подрібнення органічних матеріалів, що надходять на переробку, особливо соломи, підвищує швидкість бродіння і скорочує терміни переробки.

Для забезпечення однорідності та руйнування газонепроникної кірки застосовуються змішувачі різних конструкцій, вибір та обґрунтування їх оптимальних конструктивно-режимних параметрів є резервом підвищення кількості одержуваного метану [10, 22].



Диспергація також підвищує однорідність, а подрібнення до дисперсного стану підвищує ефективність біогазової установки.

Для створення необхідної вологості витрачається велика кількість води, яка згодом видаляється з отриманих добрив безповоротно, це неприпустимо з погляду економії водних ресурсів. Вологу разом з бактеріями, що знаходяться в ній, необхідно повертати в технологічний процес, для цього пристрої розподілу твердої і рідкої фракцій повинні бути високопродуктивні. Отримані добрива мають отримувати високу додану вартість та стати реальним джерелом доходу.

Базовим варіантом для обґрунтування підходу до проектування біогазових установок може бути міжнародна система менеджменту якості ISO 9001:2000 [23], оскільки має місце збіг цілей - підвищення ефективності, мірою оцінки якої в нашому випадку може бути масштабність процесу, показники ресурсозбереження, якість одержуваної продукції. Для якісного моделювання необхідно скористатися процесним та системним підходом міжнародної системи [23]. Бажаний результат досягається ефективніше, коли діяльністю та відповідними ресурсами керують як процесом.

Основна мета процесного підходу – постійне покращення, що ґрунтується на розробках нової структури моделей, орієнтації на задоволення потреб споживачів, аналіз даних про функціонування системи, підтримання тривалого стійкого стану системи в цілому та її елементів [23].

Концепція постійного покращення включає покращення маленькими кроками та проривами, періодичну оцінку відповідності встановленим критеріям досконалості для визначення галузі потенційного покращення, постійне підвищення ефективності всіх процесів. Для успішного функціонування система повинна визначити та керувати численними взаємопов'язаними процесами, що використовують ресурси та керованими з метою перетворення входів у виходи, при цьому часто вихід одного процесу утворює безпосередньо вхід наступного.

На рисунку 1 наведено карту процесів біогазових установок. Керуючі процеси спрямовані на організацію процесу, розкривають мету процесу та технічні вимоги до процесу. Разом з ефективністю процесу товар отримує додану вартість, що відбиває економічну ефективність. Процеси, що забезпечують, спрямовані на підтримку, контроль, коригування та запобігання можливим відхиленням від нормативних вимог.

При описі процесу мають бути враховані компоненти, необхідні для належного функціонування [23]: визначити межі процесу; встановити вимоги до нього; ідентифікувати вхідні та вихідні потоки; визначити основні показники.



Рис. 1. Карта процесів біогазової установки

Розробка обладнання БГУ пов'язана з використанням великої кількості інформації, розвиток методів проєктування великих і складних систем вимагає використання системного аналізу [20,24]. При цьому ключовим є постановка оптимізаційних завдань, тут типовою є ситуація, коли не потрібно високої точності при знайденні оптимальних значень параметрів [25]. На рисунку 2 представлено загальну схему пропонованого технологічного процесу функціонування біогазової установки, де враховано виявлені недоліки існуючого обладнання. Гній із тваринницької ферми надходить на вібросито і відокремлюється від сторонніх домішок, найчастіше підстилкової соломи, і прямує в біореактор, куди солома може надходити після подрібнення.

У біореакторі процес переробки активується двовальним змішувачем та диспергатором, при цьому змішувачів може бути декілька залежно від обсягу метантенка.

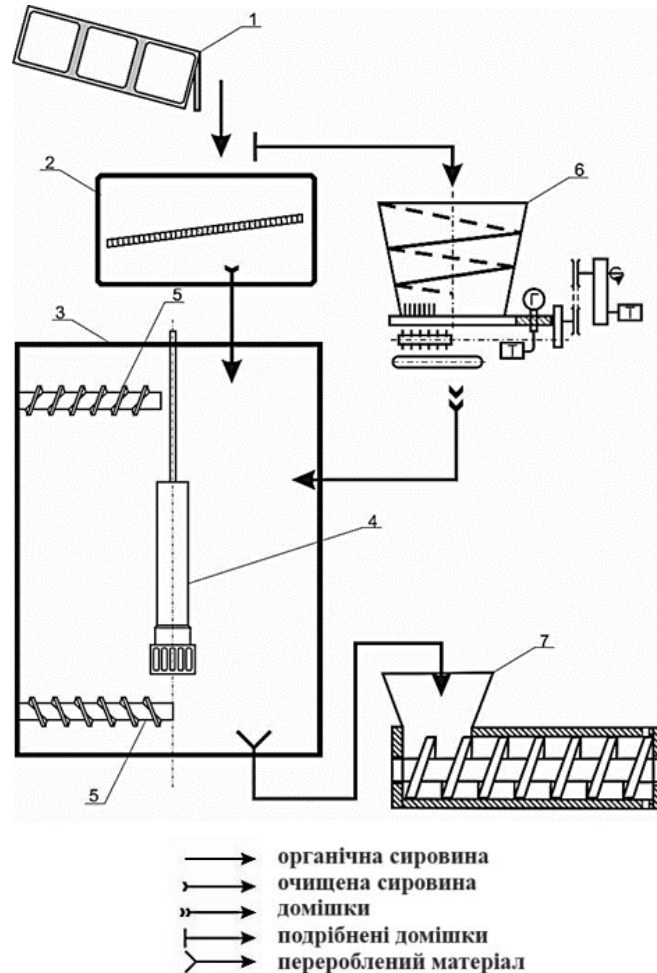


Рис. 2. Загальна схема технологічного процесу функціонування біогазової установки: 1 – бункер з сировиною, 2 – вібратор, 3 – біореактор, 4 – диспергатор, 5 – змішувальний шнек, 6 – подрібнювач, 7 – гвинтовий прес

Перероблений органічний матеріал розподіляється у гвинтовому пресі на тверду та рідку фракції, тверда отримує високу додану вартість, а рідка повертається у технологічний процес для повторного використання.

*Висновки.* Аналіз технічних, біологічних, хімічних, організаційних елементів системи виробництва біогазу дозволив розробити карту процесів біогазової установки з урахуванням основних підходів міжнародної системи менеджменту якості ISO 9001:2000. На основі розробленої карти запропоновано та обґрунтовано загальну схему технологічного процесу функціонування біогазової установки.



*Список використаних джерел.*

1. Болтянський Б. В. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві: підручник / Б. В. Болтянський [та ін.]. Київ: Кондор, 2020. 410 с.
2. Гелетуха Г., Кучерук П., Матвеев Ю.. Аналітична записка UABIO №29. Перспективи виробництва біометану в Україні. Вересень 2022. С. 58. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2022/09/UA-Position-paper-UABIO-29.pdf> (дата звернення 18.01.2024).
3. Emmanuel Kweiyor 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 23.01.2024).
4. 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.
5. 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 14.01.2024).
6. Norazwina Zaino. Kinetics of Biogas Production from Banana Stem Waste, Biogas. *InTech*. 2012. P. 395-408.
7. 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 10.01.2024).
8. Ратушняк Г. С., Лялюк О. Г., Кощеев І. А. Біогазові установки з відновлюваними джерелами енергії термостабілізації процесу ферментації біомаси. Вінниця: ВНТУ, 2017. 110 с.
9. Ткаченко С. Й., Степанов Д. В. Теплообмінні та гідродинамічні процеси в елементах енергозабезпечення біогазової установки: монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. 132 с.
10. 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. № 7. С. 152–158.
11. 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>.
12. 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.



13. Komar A. Definition of priority tasks for agricultural development. *Multidisciplinary research: Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference*. Bilbao, 2020. P. 431–433.

14. 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*. Perfect Publishing. Toronto, Canada. 2023. P. 194–198.

15. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Біоконверсні технології прискореної переробки відходів тваринництва в екологічно безпечні добрива. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2021. Вип. 11, т. 2. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2021-2-3>.

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

17. Григоренко С. М. Способи переробки пташиного посліду для виробництва теплової енергії. *Сучасні проблеми землеробської механіки: збірник тез доп. XXIII Міжнар. наук. конференції*. Київ, 2022. С. 126–129.

18. 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.

19. 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.

20. 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.

21. 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. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2023-2-9>.

22. 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>.

23. Системи управління якістю вимоги (ISO 9001: 2000, IDT) URL:[https://www.zoda.gov.ua/files/WP\\_Article\\_File/original/000011/11933.pdf](https://www.zoda.gov.ua/files/WP_Article_File/original/000011/11933.pdf) (дата звернення 21.01.2024).

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



25. 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 27.02.2024 р.*

**O. Skliar<sup>1</sup>, R. Skliar<sup>1</sup>, B. Boltianskyi<sup>1</sup>**  
**<sup>1</sup>Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University**

## **ASPECTS OF IMPROVING BIOGAS PRODUCTION TECHNOLOGY**

### *Summary*

The article examines the biogas production technology as a complex system that is influenced by a large number of factors, each of which cannot be assessed separately. It is substantiated that the technological process of biogas plants is based on technical, biological, chemical, organizational and other elements of the system, which are in continuous communication with each other. The main elements of the biogas production system were analyzed in accordance with the approaches of the international quality management system ISO 9001:2000. Based on the analysis of the classification of biogas plants, it can be concluded that the most common version of the biogas plant is a single-stage, mesophilic, quasi-continuously loaded wet fermentation plant for the production of electricity and heat. It was found that the most urgent improvement of the efficiency of biogas plants is the improvement of technical parameters of the process of obtaining biogas as system-forming elements of the system. Others must be taken into account when conducting research as limiting. Thus, for high-quality modeling, it is necessary to use the process and system approach of the international system. The desired outcome is achieved more effectively when activities and related resources are managed as a process. The main goal of the process approach is continuous improvement, based on the development of a new structure of models, orientation on meeting the needs of consumers, analysis of data on the functioning of the system, maintenance of a long-term stable state of the system as a whole and its elements. The concept of continuous improvement includes improvement in small steps and breakthroughs, periodic assessment of compliance with established criteria of excellence to identify areas of potential improvement, continuous improvement of the efficiency of all processes. To function successfully, a system must identify and manage multiple interrelated processes that use resources and are controlled to transform inputs into outputs, often with the output of one process directly forming the input of the next. A process map of the biogas plant and a corresponding general diagram of the technological process of the biogas plant operation have been developed.

**Key words:** biogas, installation, fertilizers, system, technological process, process map, technology.

**ПРАЦІ**  
**Таврійського державного агротехнологічного університету**

*Наукове фахове видання*

**Випуск 24, том 1**

*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 01.05.2024 р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 27,43. 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.