Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
46009, м. Тернопіль, вул. Львівська, 11

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи ЗУНУ
_____ Микола ДИВАК

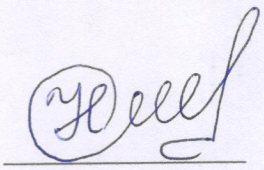
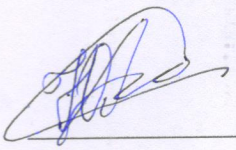
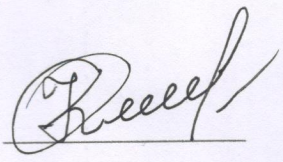
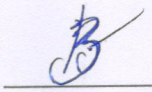
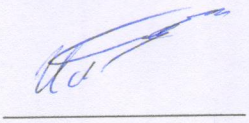
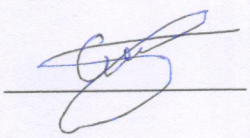
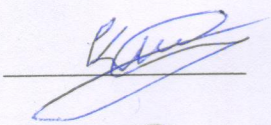
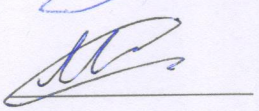
Проміжний звіт
про результати виконання № 1 етапу науково-дослідної роботи «Математичне та програмне забезпечення прототипу біогазової установки з підвищеною ефективністю функціонування»

Науковий керівник роботи _____ Андрій МЕЛЬНИК

2024

Підготовку звіту завершено 31 грудня 2024 р.

Список авторів

Керівник НДР, провідний науковий співробітник, д.т.н., професор		А.М. Мельник
Виконавці: старший науковий співробітник, відповідальний виконавець, к.т.н., доцент		Н.П. Порплиця
старший науковий співробітник, к.т.н.		Ю.Б. Маслияк
старший науковий співробітник, к.т.н., доцент		С.Я. Крепич
молодший науковий співробітник, доктор філософії		В.В. Забчук
молодший науковий співробітник		В.І. Смаль
молодший науковий співробітник		Я.А. Цапів
молодший науковий співробітник		А.Ю. Сімак
молодший науковий співробітник		Б.П. Костик
молодший науковий співробітник		О.В. Кіндзерський
молодший науковий співробітник		В.В. Манжула

1. Номер державної реєстрації роботи:0124U000076

2. Номер договору, за яким надається фінансування (за наявності):

3. Науковий напрям, до якого відноситься робота:

7. Інформаційні технології та електроніка

4. Найменування організації — виконавця роботи:

Західноукраїнський національний університет

5. Власне ім’я та прізвище наукового керівника наукової (науково-технічної) роботи:

Мельник Андрій Миколайович

6. Місце основної роботи наукового керівника:

Західноукраїнський національний університет

7. Терміни та тривалість виконання роботи:

Тривалість роботи 24 місяців

Початок 2024-01-01

Закінчення 2025-12-31

Тривалість звітного етапу 12 місяців

Початок 2024-01-01

Закінчення 2024-12-31

8. Обсяги фінансування роботи:

Загальний обсяг фінансування:

за запитом (заявкою) 1600 тис. грн

фактичний 800 тис. грн

Обсяг фінансування звітного етапу:

за запитом (заявкою) 800 тис. грн

фактичний 800 тис. грн

9. Перелік виконавців з оплатою праці (прізвище, ім’я та по батькові (за наявності), посада за основним місцем роботи, або посада за цивільно-правовим договором), окремо зазначаються молоді вчені, студенти, аспіранти (за наявності) ***(Додаток А до звіту)*.**

№	П.І.Б.	посада за основним місцем роботи	посада за НДР (або договір ЦПХ)
1	МЕЛЬНИК Андрій Миколайович	Професор кафедри комп’ютерних наук	Керівник, провідний науковий співробітник
2	ПОРПЛИЦЯ Наталія Петрівна	Доцент кафедри комп’ютерних наук	Відповідальний виконавеь, старший науковий співробітник
3	МАСЛИЯК Юрій Богданович	Доцент кафедри комп’ютерних наук	Старший науковий співробітник
4	СМАЛЬ Віталій Іванович	Викладач кафедри комп’ютерних наук	Молодший науковий співробітник

5	КОСТИК Богдан Петрович	Аспірант кафедри комп’ютерних наук	Молодший науковий співробітник
6	МАНЖУЛА Володимир Володимирович	Аспірант кафедри комп’ютерних наук	Молодший науковий співробітник
7	КІНДЗЕРСЬКИЙ Олександр Віталійович	Аспірант кафедри комп’ютерних наук	Молодший науковий співробітник
8	ЦАПІВ Ярослав Андрійович	Директор Самбірського ННЦ ЗУНУ	Молодший науковий співробітник
9	СІМАК Андрій Юрійович	Викладач кафедри комп’ютерних наук	Молодший науковий співробітник

10. Стислий зміст роботи в цілому (актуальність, мета, основні завдання, ідеї, гіпотези тощо)*:*

Метою проєкту є підвищення енергетичної стабільності держави та надання альтернативного джерела генерування електроенергії за рахунок підвищення ефективності функціонування мережі біогазових установок (БГУ) з адаптивним налаштуванням їх параметрів під визначену структуру сировини у спосіб розробки та впровадження математичного та програмного забезпечення для моделювання та управління процесами у БГУ і на цій основі створення прототипу БГУ з підвищеною ефективністю функціонування.
Для досягнення мети проєктом передбачено вирішення таких завдань:
- провести аналіз біохімічних процесів в біогазових установках на всіх стадіях анаеробного мікробіологічного бродіння;
- провести аналіз методів структурної та параметричної ідентифікації макромоделей процесів у біогазових установках;
- провести аналіз технологічних характеристик процесів очищення біогазу від сторонніх сполук;
- дослідити вплив температури середовища та темпів неперервної подачі субстрату на ступінь закисання різних видів сировини, що подається до біореактора;
- розробити інформаційне забезпечення в складі бази даних технологічних параметрів та характеристик процесів у БГУ в залежності від типу та структури сировини, а також технологічних характеристик та параметрів процесу очищення біогазу;
- розробити метод параметричної ідентифікації макромоделей процесів у БГУ у вигляді ДДМ, який буде забезпечувати гарантовану точність моделей та враховувати допуски на технологічні параметри;
- удосконалити методи структурної ідентифікації ДДМ на основі інтервальних даних за критерієм мінімізації обчислювальної складності;
- розробити макромоделі у вигляді дискретних динамічних моделей (ДДМ) на кожній стадії анаеробного мікробіологічного бродіння у біогазових установках та стадії очистки біогазу від сторонніх сполук, які б давали можливість налаштування параметрів технологічного процесу в залежності від типу та структури сировини із підвищенням обсягів виробленого біогазу з гарантованою точністю та допусками;
- розробити програмне забезпечення прототипу біогазової установки для ідентифікації інтервальних ДДМ процесів анаеробного мікробіологічного бродіння в БГУ та очищення біогазу від додаткових сполук;
- провести апробацію створеного прототипу біогазової установки для адаптивного налаштування параметрів процесів у БГУ на всіх стадіях анаеробного мікробіологічного бродіння та стадії очищення біогазу від сторонніх сполук.

11. Основні результати виконання попереднього (за наявності) етапу:

Немає

12. Номер та назва звітного етапу (за наявності):

№ 1. Створення інформаційної бази даних виміряних характеристик процесів у БГУ на усіх стадіях та умов проведення вимірювань (температури та кислотності середовища зброджування).

13. Опис процесу реалізації (хід виконання, які дослідження проводились, які методики використовувались тощо) роботи за звітним етапом:

У ході виконання звітного етапу проекту було проведено аналіз біохімічних процесів у БГУ. Зокрема, проведено детальний огляд та аналіз наукових літературних джерел та патентних розробок, які безпосередньо стосуються процесів анаеробного мікробіологічного бродіння у реакторі БГУ. Під час дослідження біохімічних процесів у БГУ було здійснено експериментальні дослідження із використанням методів хроматографічного аналізу для вивчення метаболічної активності мікроорганізмів на кожній стадії мікробіологічного бродіння (гідроліз, ацидогенез, ацетогенез, метаногенез). Було встановлено фактори, які мають найбільший вплив на вихід біогазу та

концентрацію метану у ньому, та які необхідно детальніше дослідити із використанням інструментів математичного моделювання, зокрема: склад субстрату, та визначений на його основі pH ферментаційного середовища, тобто його кислотність.

Створено інформаційну базу даних вимірювань, яка містить значення технологічних параметрів (температура, тиск, склад сировини) та вихідних характеристик (вихід біогазу, концентрація метану, ступінь очищення). Розроблену інформаційну базу даних вимірювань інтегровано із програмними засобами аналізу даних для подальшого моніторингу і оптимізації роботи біогазових установок.

Також було проведено аналіз відомих методів моделювання процесів у біогазових установках та їх моделей. Показано, що зазначені моделі ґрунтуються на властивостях біохімічних перетворень і мають детерміністичний характер, що унеможливлює їх застосування при розробці прототипу біогазової установки для автоматичного налаштування процесу виробництва та очищення біогазу в біогазовій установці. Показано, що у такому випадку доцільно застосувати методи інтервального аналізу даних, адже це дозволить врахувати велику кількість можливих значень характеристик об'єкта в межах встановлених інтервалів, що допомагає уникнути чи зменшити вплив невизначеності та похибок у дослідженнях.

У межах цього етапу дослідження також було запропоновано та обґрунтовано двоетапний метод ідентифікації математичної моделі динаміки показника кислотності субстрату у біореакторі, побудований на основі аналізу інтервальних даних, який, на відміну від відомих, ґрунтується на розв'язуванні спочатку простішої задачі ідентифікації рівняння взаємозв'язку між основною характеристикою процесу та чинниками, які на неї впливають, і на цій основі, на другому етапі – ідентифікації математичної моделі динаміки цього показника у біореакторі.

14. Результати виконання звітного етапу відповідно до технічного завдання/календарного плану:

14.1 Заплановані завдання роботи (звітного етапу) *(перерахуйте завдання звітного етапу, окреслені у запиті (технічному завданні/ календарному плані) роботи, до 40 рядків)*:

Відповідно до технічного завдання, у звітному етапі проєкту було заплановано творення інформаційної бази даних виміряних характеристик процесів у БГУ на усіх стадіях бродіння при різних умовах проведення вимірювань (температури та кислотності середовища зброджування).
Основні завдання:
- аналіз біохімічних процесів у БГУ на всіх стадіях анаеробного мікробіологічного бродіння;
- створення інформаційного забезпечення в складі бази даних технологічних параметрів та характеристик процесів у БГУ в залежності від типу та структури біосировини;
- аналіз відомих методів структурної та параметричної ідентифікації макромоделей процесів у біогазових установках.

14.2 Отримані результати роботи (звітного етапу) *(опишіть результати, отримані виконавцями протягом звітного періоду, посилаючись на заплановані та досягнуті цілі, задачі та індикатори виконання, згадані в технічному завданні/календарному плані роботи. Додайте посилання на публікації у наукових виданнях, інші показники з п. 18, що є підтвердженням досягнення результатів виконання етапу, якщо такі показники передбачені)*:

У ході виконання звітного етапу проекту проведено аналіз біохімічних процесів у БГУ. Зокрема, проведено детальний огляд та аналіз наукових літературних джерел та патентних розробок, які безпосередньо стосуються процесів анаеробного мікробіологічного бродіння у реакторі БГУ. Було встановлено фактори, які мають найбільший вплив на вихід біогазу та концентрацію метану у ньому, та які необхідно детальніше дослідити із використанням інструментів математичного моделювання, зокрема: склад субстрату, та визначений на його основі pH ферментаційного середовища, тобто його кислотність [1-6].
Створено інформаційну базу даних вимірювань, яка містить значення технологічних параметрів (температура, тиск, склад сировини) та вихідних характеристик (вихід біогазу, концентрація метану, ступінь очищення). Розроблену інформаційну базу даних вимірювань інтегровано із програмними засобами аналізу даних для подальшого моніторингу і оптимізації роботи біогазових установок [1,2, 7].
Також було проведено аналіз відомих методів моделювання процесів у біогазових установках та їх моделей. У межах цього етапу дослідження також було запропоновано та обґрунтовано двоетапний метод ідентифікації математичної моделі динаміки показника кислотності субстрату у біореакторі, побудований на основі аналізу інтервальних даних, який, на відміну від відомих, ґрунтується на розв'язуванні спочатку простішої задачі ідентифікації рівняння взаємозв'язку між основною характеристикою процесу та чинниками, які на неї впливають, і на цій основі, на другому етапі – ідентифікації математичної моделі динаміки цього показника у біореакторі [1,2, 8-10].
Як індикатори досягнення цілей та виконання завдань проєкту у технічному завданні було зазначено ряд показників, нижче наведено заплановані та фактичні отримані їх значення.

Статті в журналах, що входять до науково-метричних баз Web of Science, Scopus: заплановане значення -2, фактичне значення – 2 [6, 8].
Монографії та (або) розділи монографій, що будуть опубліковані за темою проекту українською мовою (друкованих аркушів): заплановане значення – 5 друк. арк., фактичне значення – 15,7 друк. арк. [2].
Статті у журналах, що входять до переліку фахових видань України і мають ISSN, статті у закордонних журналах, а також англомовні тези доповідей на міжнародних конференціях у виданнях, що входять до науково-метричних баз даних Web of Science, Scopus: заплановане значення -5, фактичне значення – 6 [3-5, 7, 9, 10].
Захисти дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії: заплановане значення -1 шт., фактичне значення – 1 шт. [1].

1. Забчук В. В. математичне та програмне забезпечення для моделювання процесів у біогазових установках на основі аналізу інтервальних даних: дис. на здобуття ступеня доктора філософії: 121 – Інженерія програмного забезпечення. Тернопіль, 2024. 188 с.
2. Дивак М.П., Мельник А.М., Манжула В.І., Співак І.Я., Порплиця Н.П. Знання-орієнтовані системи для ідентифікації інтервальних математичних моделей складних динамічних та статичних об’єктів: монографія. Тернопіль: ВПЦ «Університетська думка», 2024. 287 с.
3. Дивак М., Забчук В. Моделювання характеристик процесів у біогазових установках на основі аналізу інтервальних даних. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. 2024. Том 331. № 1. С.180-190.
4. Дивак Т., Забчук В. Огляд і аналіз методів та засобів моделювання процесів у біогазових установках. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка”. 2024. №1 (38). С.57-70.
5. M. Dyvak, N. Porplytsya, R. Pasichnyk, V. Kulish, Y. Voytyuk and B. Ihnatiuk, "Interval Model of pH Dynamics of the Fermentation Medium," 2024 14th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Ceske Budejovice, Czech Republic, 2024, pp. 67-71.
6. Dyvak, M., Manzhula, V., Melnyk, A., Rusyn, B., & Spivak, I. (2024). Modeling the Efficiency of Biogas Plants by Using an Interval Data Analysis Method. Energies, 17(14), 3537.
7. Манжула В. І., Забчук В.В. Архітектура програмного забезпечення для моделювання процесів у біогазових установках. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2024. Вип. 1. С. 1-10.
8. Manzhula V., Dyvak M. and Zabchuk V. The Improved Method for Identifying Parameters of Interval Nonlinear Models of Static Systems. International Journal of Computing. 2024. 23 (1). P. 19-25.
9. M. Dyvak, S. Krepych, V. Manzhula, Y. Tsovka, P. Popovych and V. Zabchuk, "Identification of the Mathematical Model of the pH Environment in the Biogas Plant based on the Application of the Swarm Intelligence Method," 2024 14th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Ceske Budejovice, Czech Republic, 2024, pp. 83-88,
10. Манжула, В., Дивак, М., & Мельник, А. (2024). Метод структурної ідентифікації нелінійних моделей статичних систем на основі інтервальних даних. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія, 59(1), с. 94-104.

14.3 Відхилення від календарного плану (за наявності) *(вкажіть та детально обґрунтуйте можливі відхилення від технічного завдання/календарного плану та їх потенційний вплив на подальше виконання роботи)*:

Немає відхилень.

15. Наукова цінність і актуальність отриманих результатів (науково-технічної продукції), їх порівняння з українськими та/або кращими закордонними аналогами *(до 40 рядків тексту)*:

У ході підзвітного етапу проєкту було розроблено математичне забезпечення для моделювання процесів у БГУ. Зазначене математичне забезпечення реалізує процес ідентифікації математичних моделей для відображення функціонування БГУ при виробництві біогазу.
Для відображення взаємозв’язку між основною характеристикою процесу (показником кислотності субстрату) та чинниками, які на неї впливають, запропоновано використати нелінійне алгебричне рівняння, а для відображення динаміки основної характеристики процесу, яка визначається кислотністю субстрату у біореакторі, – запропоновано використати різницеве рівняння, а також це різницеве рівняння перетворене до вигляду диференціального рівняння.
Розроблене математичне забезпечення реалізує побудову обох типів зазначених математичних моделей та ґрунтується на методах аналізу інтервальних даних та метода параметричної ідентифікації таких моделей. Такі математичні моделі хоча і характеризуються «гарантованими» прогностичними властивостями, проте вимагають застосування для їх ідентифікації складних оптимізаційних процедур з багатоекстремальними функціями мети та часто ці функції представлені в дискретному вигляді. Тому, для розв’язування цих задач запропоновано використати цілісний універсальний підхід (однаковий для обох типів математичних моделей), який ґрунтується на метаевристичних алгоритмах оптимізації, які, своєю чергою, використовують механізми самоорганізації та самоадаптації в процесі пошуку оптимального чи квазіоптимального розв’язку. Такий підхід забезпечує зниження обчислювальної складності реалізації методу ідентифікації математичної моделі динаміки показника кислотності субстрату у біореакторі у порівнянні з відомими аналогами.

Для пошуку структури моделі динаміки кислотності субстрату у біореакторі запропоновано двоетапний алгоритм. Спочатку, за допомогою більш простішої задачі ідентифікації моделі взаємозв’язку між основною характеристикою процесу та чинниками, які на неї впливають, отримано нелінійне алгебричне рівняння. Потім, на основі його аналізу, обрано необхідні структурні елементи для моделі динаміки кислотності субстрату у біореакторі.
Також для інтерпретації фізичних властивостей динаміки кислотності субстрату у біореакторі, запропоновано та обґрунтовано, на підставі отриманого різницевого рівняння, здійснити перехід до диференціального, в якому коефіцієнти мають фізичну інтерпретацію, на відміну від різницевого рівняння. В основі запропонованого методу використано формули розкладу значень шуканої функції у вузлах різницевої сітки в ряд Тейлора в околі базового вузла, а також різницевого представлення похідних в цьому ж околі. Такий підхід дав можливість вперше поєднати переваги індуктивного та дедуктивного підходів для моделювання характеристик процесу в БГУ.

(за необхідності, можуть наводитись дані у вигляді таблиць, рисунків, формул, графіків, діаграм, креслень тощо).

16. Практична цінність результатів для потреб оборони, безпеки, економіки та/або суспільства України (у разі наявності):

Практична цінність результатів виконання проєкту полягає у зниженні вартості інсталяції нових БГУ та адаптації існуючих для утилізації твердих побутових органічних відходів різного типу та структур, шляхом автоматичного налаштування параметрів БГУ в реальному часі на будь-якому етапі технологічного процесу виготовлення біогазу без залучення експертного середовища. Водночас, впровадження, розроблених у межах цього проєкту, математичного та програмного забезпечення для моделювання процесів у БГУ та управління ними, дозволить забезпечити неперервне завантаження біосировини у біореактор, уникаючи при цьому закисання субстрату, а також налаштувати процеси очищення біогазу до біометану, який за своїми характеристиками буде відповідати стандартам визначеним у директиві Європейського Союзу про якість палива (2009/28/ЕС)

Створене у межах виконання проєкту математичне та програмне забезпечення прототипу БГУ буде застосовано для моделювання процесів вироблення, очищення біогазу та управління ними, що дозволить суттєво підвищити ефективність функціонування БГУ, а це відповідно сприятиме:

- підвищенню енергетичної безпеки та незалежності України;

- впровадження методів та програмних засобів оцінки ресурсів відновлювальних джерел енергії;

- досягненю цілей, передбачених в міжнародних угодах (European Green Deal, Кіотський протокол, Паризька угода 2015 р.), щодо декарбонізації;

- інтеграції в європейську енергетичну мережу ENTSO-E.

***Вплив на безпеку і обороноздатність** полягає у підвищенні рівня енергетичної безпеки України, шляхом створення можливостей для підвищення ефективності функціонування БГУ та максимізації обсягів виробленого біогазу для подальшого його використання, наприклад, для вироблення електроенергії. Це буде сприяти активному впровадженню відновлювальних джерел енергії для забезпечення ефективної та сталої генерації електроенергії, зменшенню вразливості енергосистеми в цілому, а також енергоінтеграції в європейську енергетичну мережу ENTSO-E.*

***Економічний вплив** полягає у підвищенні ефективності функціонування БГУ та можливості оптимізувати виробничі процеси, шляхом застосування комп’ютерного моделювання із використанням розробленого програмно-керованого прототипу БГУ.*

***Соціальний вплив** полягає у покращенні якості життя, шляхом забезпечення стабільного електропостачання місцевих громад, унеможливлення блекауту внаслідок військових дій, які тривають на території України, а також покращення екологічного стану навколишнього середовища, через сприяння широкому впровадженню відновлювальних джерел енергії, декарбонізації та утилізації твердих побутових відходів.*

Крім того, за результатами проєкту будуть сформовані пропозиції до муніципальних органів влади як спосіб вирішення проблеми з утилізації біосировини, також будуть сформовані пропозиції до енергетичних компаній, які займаються виробництвом біогазу, щодо можливості впровадження розробленого прототипу БГУ з економічним обґрунтуванням доцільності його впровадження.

(обґрунтуйте практичну цінність результатів, зазначивши їх основні функціональні, тактико-технічні характеристики, перспективи впровадження. За необхідності, можуть наводитись дані у вигляді таблиць, рисунків, формул, графіків, діаграм, креслень тощо).

17. Основні висновки/рекомендації за результатами виконання наукової (науково-технічної) роботи»:

Проаналізовано особливості виробництва біогазу у спосіб переробки органічних відходів життєдіяльності людини та відходів тваринництва і агропромислового комплексу. Показано, що підвищення ефективності функціонування цього виробництва вимагає розробки нових підходів управління процесами в біогазових установках на основі застосування інформаційних технологій та методів математичного моделювання.
Розглянуто особливості моделювання процесів у біогазових установках може надати динамічну інформацію про процес анаеробного зброджування, наприклад, для прогнозування виходу біогазу або оптимізації процесу анаеробного зброджування. Показано, що одною із визначальних характеристик процесу метанового бродіння в БГУ є показник pH ферментаційного середовища. Під час дослідження біохімічних процесів у БГУ було здійснено експериментальні дослідження із використанням методів хроматографічного аналізу для вивчення метаболічної активності мікроорганізмів на кожній стадії мікробіологічного бродіння (гідроліз, ацидогенез, ацетогенез, метаногенез). Створено інформаційну базу даних вимірювань, яка містить значення технологічних параметрів (температура, тиск, склад сировини) та вихідних характеристик (вихід біогазу, концентрація метану, ступінь очищення). Розроблену інформаційну базу даних вимірювань інтегровано із програмними засобами аналізу даних для подальшого моніторингу і оптимізації роботи біогазових установок.
Запропоновано та обґрунтовано застосування методів математичного моделювання з метою відображення взаємозв'язку між основною характеристикою процесу та чинниками, які на неї впливають так і динаміки основної характеристики процесу, яка визначається кислотністю субстрату у біореакторі. Для побудови математичних моделей обох видів запропоновано використати методи параметричної ідентифікації моделей статичних об'єктів та дискретних моделей динаміки об'єктів на основі аналізу інтервальних даних.
Запропоновано та обґрунтовано новий двоетапний метод ідентифікації математичної моделі динаміки показника кислотності субстрату у біореакторі на основі аналізу інтервальних даних, який ґрунтується на розв'язуванні спочатку простішої задачі ідентифікації рівняння взаємозв'язку між основною характеристикою процесу та чинниками, які на неї впливають, і на цій основі, на другому етапі - ідентифікації математичної моделі динаміки цього показника у біореакторі. Такий підхід забезпечує спрощення побудови математичної моделі з гарантованими прогностичними властивостями шляхом спрощення процедури вибору структури моделі.

18. Основні кількісні показники/індикатори* виконання роботи (звітного етапу) за темою роботи *(у звіті зазначаються лише ті показники з таблиці, які планувались у запиті (заявці/договорі на отримання фінансування (надання грантової підтримки), із зазначенням відповідного фактичного кількісного виконання цих показників/індикаторів у графах «Заплановано»/«Виконано». Якщо у запиті (заявці тощо) кількісні показники не передбачались, але у результаті виконання роботи або етапу вони були отримані, то у звіті вони додатково зазначаються у графі «Виконано»).*

---

*До показників/індикаторів таблиці пункту 18 не можуть бути включені будь-які публікації (включно із співавторством), конференції, впровадження, охоронні документи на об'єкти права інтелектуальної власності, тощо держав (їх представників), визнаних в установленому порядку державою-агресором або державою-окупантом.

№ з/п	**Показники/індикатори**	**<u>Заплановано</u> (відповідно до запиту на фінансування/ТЗ/ КП тощо), кількість**	**<u>Виконано</u> (за результатами етапу/ роботи), кількість**
1.	Публікація результатів:	6	9
1.1.	Статті у журналах, що індексуються наукометричними базами даних:	0	2
	— Scopus та/або Web of Science Core Collection, всього, од.	0	2
	з них із квартилем Q1 і Q2 на момент опублікування, од.	0	1
	з них із квартилем Q3 і Q4 на момент опублікування, од.	0	1
	з них із іншими показникам впливовості видання, які визначені замовником (імпакт-фактор, SNIP тощо), *необхідне зазначити*, од.	0	0
	з них з відкритим доступом, од.	0	0
1.2.	Статті у виданнях, які містять інформацію з обмеженим доступом *(для робіт оборонного та/ або подвійного призначення)*, од.	0	0
1.3.	Статті у наукових журналах (без квартилю), збірниках наукових праць, матеріалах конференцій тощо, що індексуються наукометричними базами даних Scopus або Web of Science Core Collection (крім тих, що увійшли до п. 1.1), од.	0	0
1.4.	Статті у фахових виданнях України категорії «А», які у звітному році індексуються наукометричними	0	0

	базами даних Scopus або Web of Science Core Collection, од.		
1.5.	Статті у наукових фахових виданнях України категорії «Б», од.	3	4
1.6.	Статті у періодичних виданнях інших країн, що мають ISSN, од.	0	0
1.7.	Публікації у матеріалах конференцій, тезах доповідей та виданнях, що не включені до переліку наукових фахових видань України та не індексуються наукометричними базами даних Scopus або Web of Science Core Collection, од.	2	2
1.8.	Монографії та розділи монографій, опубліковані (або підготовлені і подані до друку) у закордонних виданнях мовами країн ОЕСР та/або ЄС, од.	0	0
1.9.	Монографії та розділи монографій, опубліковані (або підготовлені і подані до друку) в українських виданнях, од.	1	1
1.10.	Монографії та розділи монографій, опубліковані (або підготовлені і подані до друку) з обмеженим доступом *(для робіт оборонного та/або подвійного призначення)*, од.	0	0
1.11.	Підручники, навчальні посібники, од.	0	0
1.12.	Словники, довідники, енциклопедії, видані українськими та/або закордонними видавництвами, од.	0	0
1.13	Рецензії, експертні висновки	0	0
1.14	Препринти, які мають DOI	×	0
1.15	Набори FAIR-даних, які мають DOI	0	0
1.16.	Інші публікації, які не описані у пп. 1.1–1.12, од.	0	0
2.	Презентація та поширення результатів:	0	0
2.1.	Міжнародні науково-комунікативні заходи, конференції, од.	0	0
2.2.	Всеукраїнські та регіональні науково-технічні/ промислові виставкові заходи, од.	0	0
2.3.	Представлення розробки/бізнес-плану/ результатів роботи на:	0	0
	— інноваційних фестивалях, од.	0	0
	— конкурсах стартапів, од.	0	0
	— акселераційних програмах, од.	0	0
	— хакатонах, од.	0	0
2.4.	Науково-популярні публікації з метою поширення інформації про результати роботи для загальної (широкої) аудиторії, од.	0	0
2.5.	Представлення інформації про результати роботи на науково-популяризаційних заходах (дні науки, наукові пікніки тощо), од.	0	0
2.6.	Інші заходи, які не описані у пп. 2.1–2.5, од.	0	0
3.	Підготовка наукових кадрів:	1	1
3.1.	Захищено дисертацій доктора наук авторами роботи або під консультуванням авторів у рамках тематики роботи, од.	0	0
3.2.	Захищено дисертацій доктора філософії авторами роботи або під керівництвом авторів у рамках тематики роботи, од.	1	1
4.	Охоронні документи на об’єкти права інтелектуальної власності (ОПІВ)	0	0

4.1.	Отримано патентів України на винахід, од.	0	0
4.2.	Отримано патентів України на промисловий зразок, од.	0	0
4.3.	Отримано патентів України на корисну модель, од.	0	0
4.4.	Отримано охоронний документ на ОПІВ інших країн, од.	0	0
4.5.	Отримано охоронних документів на інші види ОПІВ, які не описані у пп. 4.1–4.4, од.	0	0
4.6.	Подано заявок на отримання охоронного документу на ОПІВ України та /або інших країн, од.	0	0
5.	Впровадження та використання наукових або науково-технічних (прикладних) результатів:	1	1
5.1.	Підписано (укладено) договорів (угод) організацією-виконавцем роботи на впровадження (використання) результатів роботи (окрім індивідуальних), серед них:	1 / 0	1 / 0
5.1.1	Господарських договорів/контрактів, од./ тис. грн	1 / 0	1 / 0
5.1.2	Ліцензійних договорів / договорів на ноу-хау, од./тис. грн	0 / 0	0 / 0
5.1.3	Грантових угод (державного рівня), од./тис. грн	0 / 0	0 / 0
5.1.4	Грантових угод (міжнародного рівня), од./ тис. грн	0 / 0	0 / 0
5.1.5	Індивідуальні договори, угоди державного/ міжнародного рівня	0 / 0	0 / 0
5.1.6	Інші договори (угоди), які не описані у пп. 5.1.1-5.1.5, од./тис. грн	0 / 0	0 / 0
5.2.	Документально підтверджено використання результатів (різних видів НТП) у практиці органів державної/місцевої влади, суспільних практиках тощо, од.	0	0
5.3.	Проведено маркетингові дослідження, перемовини з потенційними замовниками із підписанням протоколу (меморандуму, угоди) про наміри комерційного впровадження результатів, од.	0	0
5.4.	Подано заявок на державні, міжнародні наукові гранти (окрім індивідуальних), од.	0	0
5.5.	Впроваджено у освітній процес ЗВО/НУ з відповідним підтвердженням, од.	0	0
5.6.	Інші варіанти впровадження, які не описані у пп. 5.1–5.5, од.	0	0
6.	Створено чи істотно удосконалено/покращено існуючі:	0	0
6.1.	Пристрої (макет, експериментальний/дослідний зразок), од.	0	0
6.2.	Матеріали, процеси, технології, технологічні регламенти, цифрові продукти та електронні сервіси, од.	0	0
6.3.	ТУ, ДСТУ, будівельні норми, зареєстровані проєкти нормативно-правових актів, од.	0	0
6.4.	послуги у сфері наукової та науково-технічної діяльності, од.	0	0
6.5.	Інші результати, які не описані у пп. 6.1–6.4, од.		0
7.	Участь з оплатою у виконанні роботи (штатних одиниць/осіб) згідно з додатком до форми, всього, у т. ч.:	0	3

7.1.	Студентів (здобувачів вищої освіти I–II рівнів), шт. од./осіб	0	0
7.2	Аспірантів (здобувачів вищої освіти III рівня), шт. од./осіб	0	3
7.3.	Молодих вчених, шт. од./осіб	0	0

19. Відхилення від запланованих показників/індикаторів, зазначених у пункті 18 *(у разі наявності зазначити і обґрунтувати причини таких відхилень та їх вплив на подальше виконання роботи)*:

Немає відхилень.

20. Вихідні дані щодо показників виконання відповідно до підпунктів пункту 18 *(зазначити дані про публікації, препринти, FAIR-дані, конференції, захисти дисертацій, отримання ОПІВ, впровадження, створення НТП, залучення молодих вчених, студентів, аспірантів тощо)* з додаванням WEB-посилання (за наявності) на ресурси, де вони розміщені:

№	Тип	Вихідні дані	WEB-посилання
1	Захист дисертації	Забчук В. В. Математичне та програмне забезпечення для моделювання процесів у біогазових установках на основі аналізу інтервальних даних: дис. на здобуття ступеня доктора філософії: 121 – Інженерія програмного забезпечення. Тернопіль, 2024. 188 с.	https://www.wunu.edu.ua/svr/disertatcia/zabchuk/disertatsia.pdf
2	Публікація	Дивак М.П., Мельник А.М., Манжула В.І., Співак І.Я., Порплиця Н.П. Знання-орієнтовані системи для ідентифікації інтервальних математичних моделей складних динамічних та статичних об’єктів: монографія. Тернопіль: ВПЦ «Університетська думка», 2024. 287 с. (13, 7 д.а)	http://dspace.wunu.edu.ua/handle/316497/50307
3	Публікація	Дивак М., Забчук В. Моделювання характеристик процесів у біогазових установках на основі аналізу інтервальних даних. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. 2024. Том 331. № 1. С.180-190.	https://heraldts.khmnu.edu.ua/index.php/heraldts/article/view/28
4	Публікація	Дивак Т., Забчук В. Огляд і аналіз методів та засобів моделювання процесів у біогазових установках. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка”. 2024. №1 (38). С.57-70.	https://iktv.donntu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/zbirka_ikot_138-2024.pdf
5	Публікація	M. Dyvak, N. Porplytsya, R. Pasichnyk, V. Kulish, Y. Voytyuk and B. Ihnatiuk, "Interval Model of pH Dynamics of the Fermentation Medium," 2024 14th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Ceske Budejovice, Czech Republic, 2024, pp. 67-71.	https://ieeexplore.ieee.org/document/10712600
6	Публікація	Dyvak, M., Manzhula, V., Melnyk, A., Rusyn, B., & Spivak, I. (2024). Modeling the Efficiency of Biogas Plants by Using an Interval Data Analysis Method. Energies, 17(14), 3537.	https://www.mdpi.com/1996-1073/17/14/3537
7	Публікація	Манжула В. І., Забчук В.В. Архітектура програмного забезпечення для моделювання процесів у біогазових установках. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2024. Вип. 1. С. 1-10.	https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/721
8	Публікація	Manzhula V., Dyvak M. and Zabchuk V. The Improved Method for Identifying Parameters of Interval Nonlinear Models of Static Systems. International Journal of Computing. 2024. 23 (1). P. 19-25.	https://computingonline.net/computing/article/view/3431
9	Публікація	M. Dyvak, S. Krepych, V. Manzhula, Y. Tsovka, P. Popovych and V. Zabchuk, "Identification of the Mathematical Model of the pH Environment in the Biogas Plant based on the Application of the Swarm Intelligence Method," 2024 14th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Ceske Budejovice, Czech Republic, 2024, pp. 83-88.	https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10712611
10	Публікація	Манжула, В., Дивак, М., Мельник, А. (2024). Метод структурної ідентифікації нелінійних моделей статичних систем на основі інтервальних даних. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія, 59(1), с. 94-104.	https://itce.vntu.edu.ua/index.php/itce/article/view/999

До звіту додаються електронні* копії наукових публікацій, охоронних документів, інша наукова продукція (окрім матеріалів, які містять інформацію з обмеженим доступом) **(Додаток Б до звіту).**

До звіту можуть надаватись інші матеріали, зміст і обсяг яких передбачений заявкою та/або договором на отримання фінансування (надання грантової підтримки).

*У випадку необхідності надання звіту у паперовій формі (на вимогу замовника або якщо у звіті та/або додатках до нього міститься інформація з обмеженим доступом), до нього додаються друковані додатки (окрім великих за обсягом монографій, підручників, словників тощо (більше 50 стор.)).

21. Рішення** вченої (наукової, науково-технічної, технічної) ради або іншого керівного (дорадчого) органу (за відсутності зазначеної ради) організації-виконавця роботи щодо результатів розгляду проміжного /остаточного звіту **(Додаток В до звіту)** *(стисло зазначити текст висновку ради (органу) про відповідність/невідповідність виконаних робіт технічному завданню/календарному плану, зазначити дату та номер протоколу)*:

Враховуючи результати голосування (кількість осіб, які брали участь у голосуванні - 21; кількість голосів «За» - 21; кількість голосів «Проти» — немає), затвердити звіт про виконання у 2024 році Західноукраїнським національним університетом молодіжної науково-технічної (експериментальної) розробки "Математичне та програмне забезпечення прототипу біогазової установки з підвищеною ефективністю функціонування", протокол № 7 від 23 грудня 2024 року.

22. Анотація основних результатів роботи (звітного етапу) українською та англійською мовами **(Додаток Г до звіту)** *(до 30 рядків кожною мовою; інформація зазначається зрозумілою, простою для сприйняття загальною аудиторією мовою у науково-публіцистичному стилі).*

№	українською	англійською
1	За звітний період було проведено аналіз біохімічних процесів у БГУ. Зокрема, проведено детальний огляд та аналіз наукових літературних джерел та патентних розробок, які безпосередньо стосуються процесів анаеробного мікробіологічного бродіння у реакторі БГУ. Встановлено фактори, які мають найбільший вплив на вихід біогазу та концентрацію метану у ньому, та які необхідно детальніше дослідити із використанням інструментів математичного моделювання, зокрема: склад субстрату, та визначений на його основі pH ферментаційного середовища, тобто його кислотність. Створено інформаційну базу даних вимірювань, яка містить значення технологічних параметрів (температура, тиск, склад сировини) та вихідних характеристик (вихід біогазу, концентрація метану, ступінь очищення). Розроблену інформаційну базу даних вимірювань інтегровано із програмними засобами аналізу даних для подальшого моніторингу і оптимізації роботи біогазових установок. Проаналізовано відомі методи моделювання процесів у біогазових установках та їх моделей. Показано, що зазначені моделі ґрунтуються на властивостях біохімічних перетворень і мають детерміністичний характер, що унеможливлює їх застосування при розробці прототипу біогазової установки для автоматичного налаштування процесу виробництва та очищення біогазу в біогазовій установці. Показано, що у такому випадку доцільно застосувати методи інтервального аналізу даних, адже це дозволить врахувати велику кількість можливих значень характеристик об'єкта в межах встановлених інтервалів, що допомагає уникнути чи зменшити вплив невизначеності та похибок у дослідженнях.	During the reporting period, an analysis of biochemical processes in the biogas unit (BGU) was conducted. Specifically, a detailed review and analysis of scientific literature sources and patent developments directly related to anaerobic microbiological fermentation processes in the BGU reactor were performed. Factors that have the greatest influence on biogas yield and methane concentration were identified and determined for further investigation using mathematical modeling tools. These factors include substrate composition and the pH of the fermentation medium, i.e., its acidity, as determined by the substrate composition. An informational database of measurements was created, which contains values of technological parameters (temperature, pressure, raw material composition) and output characteristics (biogas yield, methane concentration, purification efficiency). The developed database of measurements was integrated with data analysis software for further monitoring and optimization of biogas unit operation. Known methods for modeling processes in biogas plants and their models were analyzed. It was shown that these models are based on the properties of biochemical transformations and are deterministic, which limits their applicability in developing a prototype biogas plant for automatic adjustment of biogas production and purification processes. It was demonstrated that in such cases, it is advisable to use interval data analysis methods, as these allow for consideration of a wide range of possible object

	Запропоновано та обґрунтовано двоетапний метод ідентифікації математичної моделі динаміки показника кислотності субстрату у біореакторі, побудований на основі аналізу інтервальних даних, який, на відміну від відомих, ґрунтується на розв’язуванні спочатку простішої задачі ідентифікації рівняння взаємозв’язку між основною характеристикою процесу та чинниками, які на неї впливають, і на цій основі, на другому етапі – ідентифікації математичної моделі динаміки цього показника у біореакторі.	characteristics within established intervals, helping to mitigate or reduce the impact of uncertainties and errors in research. A two-stage method for identifying a mathematical model of substrate acidity dynamics in a bioreactor was proposed and substantiated. This method, based on interval data analysis, differs from known approaches by solving a simpler identification problem at the first stage, focusing on the relationship between the main process characteristic and influencing factors. On this basis, in the second stage, the mathematical model of the dynamic indicator in the bioreactor is identified.

** Зазначається і надається лише у випадку наявності відповідних вимог від замовника/грантонадавача. Також до звіту необхідно додати копію витягу з протоколу засідання відповідної ради (органу) в електронній (паперовій) формі.

Додаток[2] А

до проміжного/остаточного звіту
(пункт 9)

Перелік виконавців НДР з оплатою праці

№	Власне ім’я та прізвище	Науковий ступінь	Вчене звання	Вік*	Статус у**	Роль у ході виконання роботи	Основне місце роботи або здобуття освіти	Посада (або договір ЦПХ)	Основні завдання у ході виконання роботи (стисло зазначити функції)
1	МЕЛЬНИК Андрій Миколайович	доктор наук	професор	40	Молодий вчений	Керівник	Професор кафедри комп’ютерних наук	Керівник, провідний науковий співробітник	Здійснював загальне науково-методичне керівництво проєктом, координував роботу виконавців, визначив і затвердив методичні підходи. Здійснив наукове редагування результатів, контролював дотримання строків виконання завдань, організував представлення результатів дослідження, а також підготовку звітної документації відповідно до вимог чинного законодавства. Брав участь у підготовці наукових публікацій.
2	ПОРПЛИЦЯ Наталія Петрівна	доктор філософії/ доктор мистецтва (кандидат наук))	доцент	36	Немолодий вчений	Відповідальний виконавець	Доцент кафедри комп’ютерних наук	Відповідальний виконавець, старший науковий співробітник	Розробила методичне забезпечення проєкту, виконала основну частину емпіричних і аналітичних досліджень, здійснювала обробку та інтерпретацію отриманих даних. Підготувала звітну документацію та наукові публікації, забезпечувала ефективну комунікацію між учасниками проєкту й координувала поточні етапи дослідницької діяльності.
3	МАСЛИЯК Юрій Богданович	доктор філософії/ доктор мистецтва (кандидат наук))	доцент	35	Молодий вчений	Виконавець	Доцент кафедри комп’ютерних наук	Старший науковий співробітник	Розробив окремі модулі програмного середовища для моделювання процесів у біогазових установках, здійснював аналітичні дослідження та обробку статистичних даних, брав участь у підготовці наукових публікацій, а також впроваджував результати досліджень у практику в межах госпдоговірних робіт із замовниками.
4	СМАЛЬ Віталій Іванович	відсутній	відсутнє	27	Молодий вчений	Виконавець	Викладач кафедри комп’ютерних наук	Молодший науковий співробітник	Організував збір та впорядкування первинної інформації, виконав експериментальну частину дослідження, долучився до написання та редагування наукових публікацій.
5	КОСТИК Богдан Петрович	відсутній	відсутнє	28	Молодий вчений	Виконавець	Аспірант кафедри комп’ютерних наук	Молодший науковий співробітник	Проводив експериментальні дослідження, а також підготував графічні та табличні матеріали для включення до наукових публікацій.

6	МАНЖУЛА Володимир Володимирович	відступній	відсутнє	25	Молодий вчений	Виконавець	Аспірант кафедри комп'ютерних наук	Молодший науковий співробітник	Здійснював експериментальні дослідження й технічну підготовку підсумкових матеріалів проєкту.
7	КІНДЗЕРСЬКИЙ Олександр Віталійович	відступній	відсутнє	29	Молодий вчений	Виконавець	Аспірант кафедри комп'ютерних наук	Молодший науковий співробітник	Здійснив тестування функціональних модулів програмного середовища, орієнтованого на моделювання процесів у біогазових установках; виконав комплекс аналітичних досліджень і статистичну обробку отриманих результатів.
8	ЦАПІВ Ярослав Андрійович	відступній	відсутнє	31	Молодий вчений	Виконавець	Директор Самбірського ННЦ ЗУНУ	Молодший науковий співробітник	Створив інформаційну базу даних вимірювань, яка містить значення технологічних параметрів (температура, тиск, склад сировини) та вихідних характеристик (вихід біогазу, концентрація метану, ступінь очищення). Долучився до написання та редагування наукових публікацій.
9	СІМАК Андрій Юрійович	відступній	відсутнє	27	Молодий вчений	Виконавець	Викладач кафедри комп'ютерних наук	Молодший науковий співробітник	Здійснював аналітичні дослідження, проводив статистичну обробку даних, організовував технічне забезпечення експериментальної частини дослідження.

Додаток Б

до проміжного/остаточного звіту
(пункт 20)

Копії наукових публікацій, охоронних документів, інша наукова продукція

https://zvitpm.nauka.gov.ua/uk/form/file/24/d15645102455ccb6a85ae6c5e9a38c016dabc7ba3df1e5463426d79581041a0e.pdf
https://zvitpm.nauka.gov.ua/uk/form/file/24/262aeb6aec4ad4a4d86245822e7d5be95631f839e62ce8f426483ed735224678.pdf
https://zvitpm.nauka.gov.ua/uk/form/file/24/74721a48dff41044587cb6a2ec749a57d93a8882affd858584a94a6f8cf18b55.rar

Додаток В

до проміжного/остаточного звіту
(пункт 21)

Копія витягу з протоколу рішення вченої (наукової, науково-технічної, технічної) ради або іншого керівного (дорадчого) органу (за відсутності зазначеної ради) організації-виконавця роботи щодо результатів розгляду проміжного /остаточного звіту

https://zvitpm.nauka.gov.ua/uk/form/file/24/5f354dbf89aa20a90a87872f8d4dfc66e4864d029a50d86396e7bfaf7d429d2a.pdf

Додаток Г

до проміжного/остаточного звіту

(пункт 22)

Анотація основних результатів роботи (звітного етапу) українською та англійською мовами

№	українською	англійською
1	За звітний період було проведено аналіз біохімічних процесів у БГУ. Зокрема, проведено детальний огляд та аналіз наукових літературних джерел та патентних розробок, які безпосередньо стосуються процесів анаеробного мікробіологічного бродіння у реакторі БГУ. Встановлено фактори, які мають найбільший вплив на вихід біогазу та концентрацію метану у ньому, та які необхідно детальніше дослідити із використанням інструментів математичного моделювання, зокрема: склад субстрату, та визначений на його основі pH ферментаційного середовища, тобто його кислотність. Створено інформаційну базу даних вимірювань, яка містить значення технологічних параметрів (температура, тиск, склад сировини) та вихідних характеристик (вихід біогазу, концентрація метану, ступінь очищення). Розроблену інформаційну базу даних вимірювань інтегровано із програмними засобами аналізу даних для подальшого моніторингу і оптимізації роботи біогазових установок. Проаналізовано відомі методи моделювання процесів у біогазових установках та їх моделей. Показано, що зазначені моделі ґрунтуються на властивостях біохімічних перетворень і мають детерміністичний характер, що унеможливлює їх застосування при розробці прототипу біогазової установки для автоматичного налаштування процесу виробництва та очищення біогазу в біогазовій установці. Показано, що у такому випадку доцільно застосувати методи інтервального аналізу даних, адже це дозволить врахувати велику кількість можливих значень характеристик об'єкта в межах встановлених інтервалів, що допомагає уникнути чи зменшити вплив невизначеності та похибок у дослідженнях. Запропоновано та обґрунтовано двоетапний метод ідентифікації математичної моделі динаміки показника кислотності субстрату у біореакторі, побудований на основі аналізу інтервальних даних, який, на відміну від відомих, ґрунтується на розв’язуванні спочатку простішої задачі ідентифікації рівняння взаємозв’язку між основною характеристикою процесу та чинниками, які на неї впливають, і на цій основі, на другому етапі – ідентифікації математичної моделі динаміки цього показника у біореакторі.	During the reporting period, an analysis of biochemical processes in the biogas unit (BGU) was conducted. Specifically, a detailed review and analysis of scientific literature sources and patent developments directly related to anaerobic microbiological fermentation processes in the BGU reactor were performed. Factors that have the greatest influence on biogas yield and methane concentration were identified and determined for further investigation using mathematical modeling tools. These factors include substrate composition and the pH of the fermentation medium, i.e., its acidity, as determined by the substrate composition. An informational database of measurements was created, which contains values of technological parameters (temperature, pressure, raw material composition) and output characteristics (biogas yield, methane concentration, purification efficiency). The developed database of measurements was integrated with data analysis software for further monitoring and optimization of biogas unit operation. Known methods for modeling processes in biogas plants and their models were analyzed. It was shown that these models are based on the properties of biochemical transformations and are deterministic, which limits their applicability in developing a prototype biogas plant for automatic adjustment of biogas production and purification processes. It was demonstrated that in such cases, it is advisable to use interval data analysis methods, as these allow for consideration of a wide range of possible object characteristics within established intervals, helping to mitigate or reduce the impact of uncertainties and errors in research. A two-stage method for identifying a mathematical model of substrate acidity dynamics in a bioreactor was proposed and substantiated. This method, based on interval data analysis, differs from known approaches by solving a simpler identification problem at the first stage, focusing on the relationship between the main process characteristic and influencing factors. On this basis, in the second stage, the mathematical model of the dynamic indicator in the bioreactor is identified.

Додаток Г

Заявка на участь у конкурсному відборі:
https://zvitpm.nauka.gov.ua/uk/form/file/24/e9d5c35b640ab1c81f04cfdc86c061085310b098ac4d5a4ad3874fbb7ab2787c.pdf

Технічне завдання (за наявності):
https://zvitpm.nauka.gov.ua/uk/form/file/24/3ad5618889750015f997792415647218ce06bfa8116e7d9c9255fe297ac9c31e.pdf