



ЗАТВЕРДЖУЮ

**Проректор з наукової роботи
Західноукраїнського
національного університету
Микола ДИВАК**

2024 р.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Забчука Вадима Володимировича на тему: «Математичне та програмне забезпечення для моделювання процесів у біогазових установках на основі аналізу інтервальних даних», поданої на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення

ВИТЯГ

із протоколу засідання фахового семінару кафедри комп'ютерних наук
Західноукраїнського національного університету
від «23» травня 2024 року, протокол № 3

ПРИСУТНІ: завідувач кафедри комп'ютерних наук, доктор технічних наук, професор Пукас А.В. (*науковий керівник*), професор кафедри комп'ютерних наук, доктор технічних наук, професор Дивак М.П., професор кафедри комп'ютерних наук, доктор технічних наук, професор Мельник А.М. (*рецензент*), доцент кафедри комп'ютерних наук, кандидат технічних наук, доцент Співак І.Я., доцент кафедри комп'ютерних наук, кандидат технічних наук, доцент Манжула В.І., доцент кафедри комп'ютерних наук, кандидат економічних наук, доцент Гончар Л.І., доцент кафедри комп'ютерних наук, кандидат технічних наук, доцент Порплиця Н.П. (*рецензент*), доцент кафедри комп'ютерних наук, кандидат технічних наук, доцент Крепич С.Я., доцент кафедри комп'ютерних наук, кандидат технічних наук, доцент Шпінталь М.Я., старший викладач кафедри комп'ютерних наук, доктор філософії Папа О.А., доцент кафедри комп'ютерних наук, кандидат технічних наук Масляк Ю.Б., викладач кафедри комп'ютерних наук Юшко А.В., викладач кафедри комп'ютерних наук Сусла М.В., завідувач кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем, кандидат технічних наук, доцент Сегін А.І., доцент кафедри кібербезпеки, кандидат технічних наук, доцент Івасєв С.В., завідувач кафедри комп'ютерної інженерії, кандидат технічних наук, доцент Дубчак Л.О., професор кафедри економічної кібернетики, доктор технічних наук, професор Пасічник Р.М., професор кафедри кібербезпеки, доктор технічних наук, професор Касянчук М.М., доцент кафедри кібербезпеки, кандидат технічних наук, доцент Якименко І.З., завідувач кафедри кібербезпеки, доктор технічних наук, професор Яцків В.В.

З присутніх – 6 докторів технічних наук, 11 кандидатів технічних наук та 1 доктор філософії – фахівців за профілем поданої на розгляд дисертації.

ПОРЯДОК ДЕННИЙ:

1. Обговорення дисертаційної роботи здобувача кафедри комп'ютерних наук Забчука Вадима Володимировича на тему: «Математичне та програмне забезпечення для моделювання процесів у біогазових установках на основі аналізу інтервальних даних», поданого на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення щодо її рекомендації для захисту.

СЛУХАЛИ:

Доповідь здобувача Забчука В.В. про результати проведеного ним дисертаційного дослідження.

Здобувач Забчук Вадим Володимирович доповів про результати дисертаційного дослідження наступне:

Актуальність роботи. Виробництво біогазу у спосіб переробки органічних відходів життєдіяльності людини та відходів тваринництва і агропромислового комплексу є одним із пріоритетних напрямків розвитку альтернативної (зеленої) енергетики. Разом з тим, підвищення ефективності функціонування цього виробництва вимагає розробки нових підходів управління процесами в біогазових установках (БГУ) на основі застосування інформаційних технологій та методів математичного моделювання. Проблематика досліджень, наведених у праці, стосується 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 та структурної ідентифікації моделей статичних об'єктів та дискретних моделей динаміки об'єктів на основі аналізу інтервальних даних. Перший тип моделей необхідний для опису взаємозв'язків між характеристикою процесу та чинниками, які на неї впливають, а другий – для відображення динаміки характеристики за допомогою різницевого та диференціальних рівнянь. Такі математичні моделі, хоча і характеризуються «гарантованими» прогностичними властивостями, проте вимагають застосування для їх ідентифікації складних оптимізаційних процедур з багатоекстремальними функціями мети. 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. Серед метаевристичних алгоритмів обрано алгоритм, який симулює ройовий алгоритм штучної бджолиної колонії.

Об'єкт дослідження – процеси анаеробного мікробіологічного бродіння у біогазових установках.

Предмет дослідження – математичне та програмне забезпечення для моделювання динаміки кислотності субстрату у біогазових установках на основі аналізу інтервальних даних.

Мета і завдання дослідження. Забезпечення допустимих значень кислотності багатокomпонентного субстрату за рахунок розробки математичного та програмного забезпечення для моделювання динаміки кислотності субстрату у біогазових установках на основі аналізу інтервальних даних.

Для досягнення цієї мети необхідно виконати такі завдання:

- провести аналіз відомих методів та засобів для моделювання процесів у біогазових установках, виділити їх основні переваги та недоліки;
- розробити двоетапний метод ідентифікації математичної моделі динаміки показника кислотності субстрату у біореакторі на основі аналізу інтервальних даних;
- розробити математичну модель динаміки показника кислотності субстрату у біореакторі;
- вдосконалити сервісно-орієнтовану архітектуру програмного забезпечення для моделювання процесів у біогазових установках;
- розробити комп'ютерне середовище для моделювання процесів у біогазових установках з сервісно-орієнтованою архітектурою;
- провести апробацію розроблених методів та моделей, розробленого середовища для управління процесом налаштування біогазової установки на структуру сировини та темпів її подачі у біореактор.

Для розв'язання задач моделювання процесів у біогазових установках на основі інтервального підходу використано методи системного аналізу, теорії ідентифікації, математичного моделювання, інтервальної арифметики, методи оптимізації; для розв'язання задач реалізації програмного комплексу для моделювання процесів у біогазових установках – об'єктно-орієнтований підхід, функціональне та комплексне тестування.

Наукова новизна отриманих результатів. У межах дисертаційної роботи вперше:

- запропоновано та обґрунтовано двоетапний метод ідентифікації математичної моделі динаміки показника кислотності субстрату у біореакторі 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, що у сукупності забезпечило спрощення побудови математичної моделі з гарантованими прогностичними властивостями.
- отримано математичну модель динаміки показника кислотності субстрату у біореакторі у вигляді диференціального рівняння, яке, на відміну від існуючих, налаштовано на параметри процесу для конкретної біогазової установки на підставі перетворення інтервальних різницевих рівнянь, що забезпечує гарантовані прогностичні властивості побудованої математичної моделі і уможливорює забезпечення допустимих значень кислотності багатокomпонентного субстрату в біогазових установках на основі управління подачею сировини.

Набули подальшого розвитку:

- відкрита сервісно-орієнтована архітектура програмного забезпечення для моделювання процесів у біогазових установках, яка, на відміну від існуючих інтегрує програмні компоненти: інтерпретації інтервальних дискретних моделей; ідентифікації цих моделей; розв'язування диференціальних рівнянь, що у сукупності уможлиблює розробку програмних систем та комп'ютерних середовищ для управління процесами в біогазових установках.

- комп'ютерні середовища для моделювання процесів у біогазових установках, які, на відміну від існуючих, ґрунтуються на програмній інтерпретації інтервальних дискретних моделей та відкритій сервісно-орієнтованій архітектурі, що уможлиблює їх інтеграцію в існуючі системи управління біогазовими установками з метою забезпечення допустимих значень кислотності багатокомпонентного субстрату.

У дисертаційній роботі розроблено математичне та програмне забезпечення для моделювання динаміки кислотності субстрату у біогазових установках на основі аналізу інтервальних даних з метою забезпечення допустимих значень кислотності багатокомпонентного субстрату.

У першому розділі розглядаються підходи до моделювання процесів у біогазових установках з точки зору функціонування енергетичної системи, а також з точки зору їх оптимізації. Відомі моделі, які описують процес виробництва біогазу, демонструють різний рівень деталізації. Моделювання процесів у біогазових установках може надати динамічну інформацію про процес анаеробного зброджування, наприклад, для прогнозування виходу біогазу або оптимізації процесу анаеробного зброджування. Обґрунтовано використання сучасних інформаційних технологій як ефективних інструментів управління процесами у біогазових установках. Розглядаються сильні та слабкі сторони інтеграції детальних і глибоко досліджених моделей анаеробного процесу. Запропоновано використання математичного моделювання для відображення зв'язку між головною характеристикою процесу та факторами, що на неї впливають, а також динамікою цієї характеристики, яка залежить від кислотності субстрату у біореакторі. Для створення таких математичних моделей запропоновано та обґрунтовано використання методів параметричної ідентифікації моделей статичних об'єктів та дискретних моделей динаміки об'єктів на основі аналізу інтервальних даних. У завершальній частині розділу здійснено постановку задачі дослідження та деталізовано основні завдання.

У другому розділі дисертаційного дослідження розроблено математичне забезпечення для моделювання процесів у біогазових установках, розглянуто ідентифікацію математичних моделей для відображення функціонування біогазових установок 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 різницеve рівняння. Також це різницеve рівняння перетворене до диференціального рівняння. Для розробки обох математичних моделей запропоновано та обґрунтовано використати методи аналізу інтервальних даних

та метод параметричної ідентифікації цих 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. Серед метаевристичних алгоритмів запропоновано та обґрунтовано алгоритм, який симулює ройовий алгоритм штучної бджолоїної колонії. 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. Також при цьому переході враховано представлення управляючих функцій.

У третьому розділі дисертаційної роботи розроблено відкриту, сервісно-орієнтовану архітектуру програмного забезпечення для моделювання процесів у біогазових установках, яка, на відміну від існуючих, інтегрує програмні компоненти: інтерпретації інтервальних дискретних моделей; ідентифікації цих моделей; розв'язування диференціальних рівнянь, що у сукупності уможливило розробку програмних систем та комп'ютерних середовищ для управління процесами в біогазових установках. Наведено основні аспекти реалізації програмного забезпечення для моделювання процесів у біогазових установках, особливістю якого є програмна інтерпретація інтервальних дискретних моделей та відкрита сервісно-орієнтована архітектура, що забезпечує їх інтеграцію в існуючі системи управління біогазовими установками та дозволяє в реальному часі управляти біохімічними процесами і тим самим підвищити ефективність функціонування біогазових установок. Приведено ряд діаграм, які ілюструють особливості програмної реалізації середовища для моделювання процесів у біогазових установках. У кінці розділу описано особливості реалізації підсистеми зберігання та аналізу інформації.

У четвертому розділі дисертаційної роботи наведено вигляд графічного інтерфейсу. Описано особливості програмної реалізації системи, зокрема з використанням парадигми об'єктно-орієнтованого програмування на базі відкритої сервісно-орієнтованої архітектури з використанням технології Spring Framework на мові програмування Java, а також інтерпретатора Python. В якості

Python інтерпретатора було обрано Jython, а в якості СУБД використовується MySQL. Описано процеси інтеграційного тестування та тестування продуктивності середовища для моделювання процесів у біогазових установках. Здійснено опис тестування продуктивності системи та, відповідно, підтверджено ефективність використання середовища при моделюванні процесів у біогазових установках. Показано можливість подальшого розвитку проекту та його імплементації в діючі біогазові установки. У кінці розділу здійснено опис графічного інтерфейсу програмного середовища для моделювання процесів у біогазових установках. Описано функціонування основних підсистем з точки зору взаємодії між собою, різними типами користувачів, а також можливість зовнішньої інтеграції в діючі біогазові установки.

Після закінчення виступу були поставлені такі запитання:

к.т.н., доцент Порплиця Н. П.: Уточніть, як ви налаштовуєте вашу модель під конкретну структуру сировини та як саме програмна система проводить ідентифікацію математичної моделі?

Відповідь дисертанта: Дякую за запитання. Розробляється математична модель під кожен тип структури сировини. За рахунок сервісно-орієнтованої архітектури розроблена система може проводити ідентифікацію будь-якої інтервальної моделі на основі методу ройового інтелекту, а саме алгоритму штучної бджолиної колонії.

к.т.н., доцент Порплиця Н. П.: Хто саме задає структуру математичної моделі?

Відповідь дисертанта: Структуру моделі задає системний аналітик, який визначає параметри моделі під кожен вид сировини. Для кожної сировини проводиться аналітика і розробляється математична модель.

к.т.н., доцент Порплиця Н. П.: Ви вказували, що на етапі ініціалізації задаєте граничні значення функції мети, при досягненні яких завершуєте процедуру побудови моделі. Звідки берете ці граничні значення функції мети?

Відповідь дисертанта: Граничні значення функції мети вказується на стадії ініціалізації. Залежно від того, наскільки точні дані хочемо отримати. При вищій точності, відповідно, буде більше ітерацій.

к.т.н., доцент Порплиця Н. П.: Ваші моделі показують значення кислотності субстрату. Чому саме кислотності, а не вихід біогазу? І як значення кислотності впливає на вихід біогазу?

Відповідь дисертанта: Саме кислотність є ключовим в процесі роботи біогазової установки. Тому що, якщо кислотність в межах норми, тоді можемо вважати, що процес бродіння успішний. Як тільки рівень рН виходить за допустимі межі, якість бродіння падає, і відповідно, не вся сировина до кінця перебродить, не видасть повний потенційний об'єм газу. І при більших відхиленнях рН, бродіння ж взагалі може припинитися.

к.т.н., доцент Порплиця Н. П.: Основне завдання програми – це перевірити, яке при різних значеннях технологічних чинників буде значення кислотності? Як це на практиці використовувати? Наприклад, ми змоделювали, що при більшій

температурі – буде певна кислотність, при меншій – буде інша. Що потім з цими даними робити?

Відповідь дисертанта: У нас є система, яка в онлайн-режимі буде контролювати подачу сировини в біореактор і визначати, коли треба більше додати певної компоненти сировини, наприклад, барди чи жому, щоб було в межах нормального бродіння. Є датчики, які в режимі онлайн ці параметри контролюють. Раніше це все робилося відбором проб вручну протягом кожного дня чи кожних два дні, і експерт визначав сам, що треба додати. Тепер розроблена система, на основі моделі, буде мати певні прогностичні властивості, можна буде точніше визначити і керувати без людського втручання. Тільки буде диспетчер, який це все контролює.

к.т.н., доцент Сегін А.І.: Скажіть, будь ласка, яка ціль моделювання? Що модель показує? Та якими параметрами можна регулювати результат?

Відповідь дисертанта: Ця модель показує співвідношення між показником рН та чинниками, які на неї впливають, а саме залежність об'єму завантаженої барди, жому, патоки, сечівки, вологості та температури.

к.т.н., доцент Сегін А.І.: Чим ваша модель краща за класичний підхід?

Відповідь дисертанта: На основі моделі було побудовано різницеве рівняння, яке враховує ще динаміку кислотності з часом.

д.т.н., професор Пасічник Р.М.: На слайді 13 математична модель зв'язку між показником рН ферментаційного середовища та чинниками, а на 14 – динаміки показника кислотності рН ферментаційного середовища. Яка між ними різниця?

Відповідь дисертанта: Перша модель це візуалізація взаємозв'язку між рН та чинниками, тобто це статична модель. В другому випадку враховується час і можемо спрогнозувати на наступні моменти часу. Також враховано додатковий параметр – це відношення завантаженої маси жому до об'єму барди на k-2 кроці.

д.т.н., професор Пасічник Р.М.: Звідки ви взяли, що такі можуть бути елементи структури: $x_1 - k-2$, $x_2 - k-2$, причому дробово-раціональні, вони не часто використовуються.

Відповідь дисертанта: На стадії ініціалізації моделі було визначено, що саме через 4 дні завантажена барда та жом починають впливати на процес бродіння в реакторі. k-2 означає, що заміри проводилися кожних 2 дні та, відповідно, 4 дні.

Здобувач Забчук В. В. дав вичерпні відповіді на всі поставлені питання присутніх.

Після відповідей дисертанта з характеристикою його наукової зрілості виступив науковий керівник, доктор технічних наук, професор Лукас Андрій Васильович із висновком, у якому зазначив, що Забчук В. В. виконав дисертаційну роботу як аспірант кафедри комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету.

Тема дисертаційної роботи Забчука В. В. «Математичне та програмне забезпечення для моделювання процесів у біогазових установках на основі аналізу інтервальних даних» є актуальною, оскільки вона стосується розв'язку важливої задачі оптимізації процесів в енергетиці, а саме розробки

математичного та програмного забезпечення для моделювання процесів у біогазових установках на основі аналізу інтервальних даних. Розв'язування цієї задачі дозволить підвищити ефективність функціонування біогазових установок та спростить процедуру моделювання їхніх процесів.

У дисертації Забчук В.В. для ідентифікації математичної моделі динаміки показника кислотності субстрату у біореакторі запропонував та обґрунтував двоетапний метод, який ґрунтується на розв'язуванні, спочатку простішої задачі ідентифікації математичної моделі взаємозв'язку між основною характеристикою процесу та чинниками, які на неї впливають з метою визначення значущих структурних елементів, і на цій основі, на другому етапі - генерування набору структурних елементів для структурної ідентифікації математичної моделі динаміки показника кислотності субстрату у біореакторі. В роботі також вперше при побудові математичної моделі динаміки показника кислотності субстрату у біореакторі запропоновано та обґрунтовано диференціальне рівняння, яке на відміну від існуючих підходів, отримано на підставі інтервальних різницевих рівнянь - результату ідентифікації моделі на підставі інтервальних даних. На підставі розроблених нових методів та алгоритмів, розроблено комп'ютерне середовище для математичного моделювання процесів у біогазових установках на основі аналізу інтервальних даних. Все вище викладене є самостійною розробкою дисертанта, що складає базові елементи наукової новизни та практичної цінності дисертаційної роботи.

У процесі виконання дисертаційної роботи Забчук В. В. проявив наукові здібності, вміння самостійно вирішувати складні наукові та технічні задачі. Він на високому рівні володіє теоретичними положеннями математичного моделювання, засобами комп'ютерного моделювання, в тому числі як стандартними так і спеціалізованими середовищами розробки програмного забезпечення. Має достатні знання в галузі інженерії програмного забезпечення, практичні навички та значний досвід застосування засобів розробки програмного забезпечення при створенні широкого класу середовищ комп'ютерного моделювання та інформаційних систем в цілому. Багаторазово апробував отримані наукові результати на міжнародних науково-технічних конференціях та в процесі виконання науково-дослідних проєктів, у яких він був виконавцем. Варто відзначити володіння дисертантом на високому рівні англійською мовою, яке він підтверджував під час опрацювання наукової літератури та виступів на міжнародних конференціях. Протягом виконання роботи на кафедрі комп'ютерних наук, навчання в аспірантурі та підготовки дисертаційної роботи зарекомендував себе здібним науковцем та дослідником, а також висококваліфікованим педагогом. Йому притаманні такі риси як працьовитість та відповідальність. Серед колег та студентів користується авторитетом.

Усі положення, що становлять суть дисертації, сформульовані, доведені та вирішені дисертантом самостійно. За результатами роботи опубліковано 9 наукових праць, з них 4 – у фахових періодичних виданнях, 1 з яких входить до міжнародних наукометричних баз Scopus чи Web of Science, 5 публікацій у матеріалах конференцій. Загалом 4 публікації проіндексовано міжнародними наукометричними базами Scopus чи Web of Science. Варто зазначити, що одна стаття із переліку опублікована у журналі, що входить до Q4 SCImago Journal &

Country Rank. Результати роботи доповідались в основному на високо-рейтингових міжнародних конференціях та наукових семінарах кафедри комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету.

Вважаю, що дисертаційна робота на тему «Математичне та програмне забезпечення для моделювання процесів у біогазових установках на основі аналізу інтервальних даних» відповідає вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження доктора філософії, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. №44, а її автор Забчук В. В. заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології, за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення. Дякую.

ВИСТУПИЛИ:

Рецензенти: д.т.н., професор Мельник А. М.; к.т.н., доцент Порплиця Н. П.

Рецензент - д.т.н., професор Мельник А. М. відзначив, що ґрунтовно ознайомлений з цією роботою, оскільки є керівником проекту по цій тематиці. Актуальність роботи не викликає сумнівів. У першому розділі Вадим Володимирович провів детальний аналіз підходів для моделювання процесів у біогазових установках, зокрема виділив покоління математичних моделей, які використовуються в БГУ. Як показано на слайді 4, дисертант чітко виділив які проблеми не вирішують відомими підходами, далі перейшов до постановки задачі, і показав випадки застосування саме інтервального підходу, як альтернативу відомим методам. Також перший розділ завершується аналізом засобів, які використовуються саме для контролю показників, які є ключовими в процесі функціонування біогазової установки. Це дало можливість запропонувати нову архітектуру програмної системи в БГУ тому, що існуючі містять багато різних автономних систем, які оперують різними параметрами, які мають різні формати даних з різних давачів, що створює багато проблем. Наприклад, якщо у якийсь конкретний момент втрачаються параметри управління процесом бродіння в БГУ, то можна втратити усю сировину, яка завантажена в реакторі, або може бути дуже маленький вихід біогазу.

У другому розділі розроблено математичне забезпечення, яке включає двоетапний метод ідентифікації моделей, які використовують для управління процесами бродіння в БГУ. Дисертанту вдалося знизити обчислювану складність реалізації методів ідентифікації за рахунок того, що була сформульована спільна оптимізаційна задача для двох типів задач. І також вдалося перейти від різницевого рівняння до диференціального, що дало можливість далі робити певне управління, досліджувати природу цього процесу, як такого. Дисертант підтверджує, що похибка відхилення при переході від інтервального рівняння до диференціального рівняння складала десь близько трьох відсотків.

У третьому розділі добре описано результати, які стосуються саме архітектури програмного забезпечення. Використано сучасні засоби для реалізації запропонованої відкритої сервісно-орієнтованої архітектури. Чому вибрана саме ця архітектура? Тому що, як зазначено в першому розділі, було багато проблем, які виникають з комунікацією між різними форматами даних від

різних давачів. Також використано для реалізації цих математичних методів відкриті Python бібліотеки для того, щоб можна було інтегрувати усі сервіси в єдине середовище. Досить цікавий елемент роботи – це є система, яка дозволяє моделювати фізичну роботу біогазової установки. Це є проект, який називається Simba Biogas, що має ресурс, де можна інтегрувати свої рішення. Там, на основі різних моделюючих показників, можна отримувати результати, такі як на основі реальної біогазової установки. Це німецький проект, який спеціально розроблено для вчених. Таким чином, дана система дає можливість відтестувати результати, отримані на моделі, подібно до того, якби насправді це зроблено на основі реальної біогазової установки з невеликою похибкою.

У роботі добре описана архітектура програмної системи. Оскільки робота відповідає спеціальності 121, то підтвердженням цього є наявність компонент, що стосуються інженерії програмного забезпечення, зокрема вказана архітектура та її реалізація. Дійсно можна стверджувати, що третій пункт новизни, який стосується програмної архітектури, дуже добре описаний. Також розроблено середовище для моделювання процесів у БГУ.

Звичайно, що є деякі недоліки. Все-таки, напевно, що дисертанту не вистачило часу чи ресурсу виконати порівняння змодельованих результатів з реальними, оскільки порівняння виконано через симулятор Simba Biogas. Іншим недоліком є те, що не проведено досліджень, які показали б не кислотність рН, а вихід біогазу. Бо, насправді, оптимальний результат функціонування установки – це максимальний вихід біогазу. Можна було б показати, що, наприклад, моделюючи цей показник, можна було б досягнути підвищення виходу біогазу. Є у роботі ще деякі граматичні та стилістичні помилки чи описки.

Що стосується формальних показників, зокрема публікацій, то їх у роботі дев'ять за тематикою, що відповідає чітко вимогам, які ставляться до дисертаційних робіт. Є чотири фахових публікації. Перевірка на плагіат показала його відсутність. Зауважень немає, тому я вважаю, що можна вченій раді університету рекомендувати створювати спеціалізовану вчену раду для розгляду та захисту цієї дисертаційної роботи.

Рецензент - к.т.н., доцент Порплиця Н. П. зазначила, що Вадим Володимирович у своїй роботі розглянув дійсно дуже актуальну тему, особливо в теперішніх умовах, коли в нас практично щодня є як не планові, то аварійні відключення світла. Тому зараз альтернативні джерела енергетики є дуже актуальними, їх треба проваджувати й активно застосовувати. Ознайомившись з роботою, вважаю, що у дисертаційній роботі розроблений потужний програмний комплекс, який дозволяє автоматизувати керування біогазовими установками і вирішити дві основні задачі. Це, власне, крім автоматизації контролю процесу бродіння, є максимізація об'єму виробленого біогазу. Проведені дослідження вважаю завершеними, адже у роботі дотримано всіх формальних умов. Робота є цікавою, має важливе практичне значення, адже вона підготована на реальних даних, отриманих з установок, розташованих у Теофіпольській енергетичній компанії, яка підтвердила впровадження результатів. Робота може бути рекомендована до наступного етапу, а саме – захисту у спеціалізованій раді.

Дивак М.П.: Доброго дня, шановні колеги. Я хочу почати з того, що дійсно на кафедрі комп'ютерних наук розпочалася така серйозна робота як молодіжний

проект, суть якого полягає в розробці комплексу моделей з можливістю в перспективі підвищити ефективність функціонування біогазових установок. Звичайно, що добре було б націлювати роботу на максимізацію виходу. Звичайно, що добре було б поставити задачу підвищити ефективність функціонування біогазової установки. Але проблема полягає в тому, що виміряти той газ, який отримують в процесі анаеробного мікробіологічного бродіння під куполом ферментатора дуже складно. З іншого боку, переважно біогаз є змішаний з різними іншими супутніми газами, такими як сірководень, вуглекислий газ і таке інше. Тому, на жаль, на даний момент немає змоги, щоб це зробити. Є один варіант, коли провести його очистку і на виході тоді подивитися, що ж отримуємо вже в очищеному вигляді. Але тоді трошки інші функції біогазової установки. Вона націлена на те, щоб власне виробляти біогаз. В цьому випадку всі біогазові установки працюють на виробництво електроенергії: отримують газ, очищають його, спочатку промивають водою в таких спеціальних колонах, потім йде доочистка, і далі його одразу завантажують вже з домішками в газогенератор, де він спалюється і виробляється електроенергія. Причому різні біогазові установки можуть працювати на один і той самий газогенератор. Тому виміряти вихід практично в тих умовах при такому технологічному процесі неможливо. Тому, власне, науковці кафедри вирішили піти по іншому шляху. Вирішили проаналізувати, що ж найбільше впливає на процес та на його стійкість. Виявилось, що це кислотність субстрату, який знаходиться в цій біогазовій установці. Якщо вона висока, тоді починають гинути мезофільні бактерії. І процес може затухати або взагалі зупинитися. Якщо вона дуже низька, то тоді відповідно середовище для розмноження також є несприятним, і це може призвести знову ж таки до зупинки процесу. Тому на практиці треба тримати цю кислотність в певному коридорі. Якщо витримувати її в цьому коридорі, тоді процес буде стабільний і можна говорити про те, що ефективність буде високою, невідомо чи це є оптимальна величина виробництва газу, але можна говорити, що це є допустима межа, якщо забезпечуємо кислотність в певних межах. Це класична задача, яка розв'язується методами аналізу інтервальних даних. Ми маємо допуски, допустимі межі, і, відповідно, можемо керувати цим процесом. Є два способи керування процесом в БГУ: перший – це побудувати систему управління, яка міряє кислотність, і відповідним чином передає дані для управління, щоб змінювати постійно цю величину. Але проблема таким чином не вирішується. По-перше, резервуар дуже великий і коли міряємо, то вже вносимо неоднорідність. По-друге – давачі в такому агресивному середовищі, тим більше при перемішуванні, не дають можливість знімати правильно дані. Тому переважно роблять наступним чином: забирають субстрат і визначають показник кислотності. Тобто втручання зовнішніми давачами немає, бо це просто неможливо. Крім того, біля давача зовсім інше середовище, оскільки там не буде перемішуватися субстрат і будуть неточні дані для управління. Такий підхід нічого не дає. Другий спосіб – це забирати частину субстрату, вимірювати кислотність, так як і робиться, і компенсувати підвищення кислотності лугом або пониження кислотою. Він також є неефективним, тому що установка є неперервного виробництва. Туди йде постійне завантаження біосировини, і відповідно є інерція, як показано на

одному зі слайдів, де дуже чітко видно інерцію між тим, коли додаємо луг або кислоту і реакцію. Лишається єдиним оптимальним підходом – це змоделювати, що впливає на зміну кислотності.

На підставі результатів обговорення присутні на засіданні

ПОСТАНОВИЛИ:

Прийняти висновок щодо дисертаційної роботи Забчука Вадима Володимировича на тему: «Математичне та програмне забезпечення для моделювання процесів у біогазових установках на основі аналізу інтервальних даних», поданої на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення як такої, що відповідає вимогам, які заявлені до дисертації, та пропонувати Вченій раді університету затвердити висновок фахового семінару.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Забчука Вадима Володимировича на тему: «Математичне та програмне забезпечення для моделювання процесів у біогазових установках на основі аналізу інтервальних даних», поданої на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення

Обґрунтування вибору теми дослідження та її зв'язок із планами наукових робіт університету.

Зростання усвідомлення наслідків забруднення довкілля та потреба в альтернативних джерелах енергії призвело до збільшення інтересу до використання біогазу як екологічно чистого палива. У зв'язку з постійним зменшенням запасів традиційних джерел енергії, таких як нафта та вугілля, біогаз стає привабливим джерелом альтернативної енергії.

Ефективне моделювання процесів у біогазових установках допомагає розробити ефективні стратегії виробництва, що забезпечують стабільну поставку енергії, а також дозволяє оптимізувати процеси виробництва біогазу з метою мінімізації викидів шкідливих речовин та максимізації виходу енергії. Математичне моделювання забезпечує ефективну альтернативу для звичайних методів моніторингу процесів анаеробного бродіння у БГУ. Оскільки інструменти математичного моделювання широко використовуються в інших галузях промисловості, їх можна використовувати для проектування та оптимізації комплексних процесів у біогазових установках. Крім того, в майбутньому біогазові установки в Україні будуть працювати більш гнучко, ніж сьогодні, що потребуватиме покращеного моніторингу. Інтеграція програмних систем із підсистемами математичного моделювання в моніторингу процесів у БГУ може забезпечити ефективне прогнозне обслуговування, яке забезпечить гнучкість процесу виробництва біогазу.

Виробництво біогазу у спосіб переробки органічних відходів життєдіяльності людини та відходів тваринництва і агропромислового

комплексу є одним із пріоритетних напрямків розвитку альтернативної (зеленої) енергетики. Разом з тим, підвищення ефективності функціонування цього виробництва вимагає розробки нових підходів управління процесами в БГУ на основі застосування інформаційних технологій та методів математичного моделювання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Матеріали дисертаційної роботи є складовою науково-дослідних робіт Західноукраїнського національного університету які виконуються на кафедрі комп'ютерних наук, а саме: фундаментального дослідження, що фінансується з державного бюджету «Математичне та комп'ютерне моделювання об'єктів з розподіленими параметрами на основі поєднання онтологічного та інтервального аналізу» (державний реєстраційний номер 0122U001497); держбюджетної наукової роботи молодих вчених «Математичне та програмне забезпечення прототипу біогазової установки з підвищеною ефективністю функціонування» (державний реєстраційний номер 0124U000076); госпдоговірної науково-дослідної роботи «Моделювання динаміки процесів у біогазових установках» (державний реєстраційний номер 0123U103785)

Мета і завдання дослідження.

Метою дисертаційної роботи є забезпечення допустимих значень кислотності багатокомпонентного субстрату за рахунок розробки математичного та програмного забезпечення для моделювання динаміки кислотності субстрату у біогазових установках на основі аналізу інтервальних даних.

Для досягнення цієї мети необхідно виконати такі завдання:

- провести аналіз відомих методів та засобів для моделювання процесів у біогазових установках, виділити їх основні переваги та недоліки;
- розробити двоетапний метод ідентифікації математичної моделі динаміки показника кислотності субстрату у біореакторі на основі аналізу інтервальних даних;
- розробити математичну модель динаміки показника кислотності субстрату у біореакторі;
- вдосконалити сервісно-орієнтовану архітектуру програмного забезпечення для моделювання процесів у біогазових установках;
- розробити комп'ютерне середовище для моделювання процесів у біогазових установках з сервісно-орієнтованою архітектурою;
- провести апробацію розроблених методів та моделей, розробленого середовища для управління процесом налаштування біогазової установки на структуру сировини та темпів її подачі у біореактор.

Об'єктом дослідження є процеси анаеробного мікробіологічного бродіння у біогазових установках.

Предметом дослідження є математичне та програмне забезпечення для моделювання динаміки кислотності субстрату у біогазових установках на основі аналізу інтервальних даних.

Методологічною основою для розв'язання задач моделювання процесів у біогазових установках на основі інтервального підходу є методи системного аналізу, теорії ідентифікації, математичного моделювання, інтервальної

арифметики, методи оптимізації; а для розв'язання задач реалізації програмного комплексу для моделювання процесів у біогазових установках – об'єктно-орієнтований підхід, функціональне та комплексне тестування.

Наукові положення, розроблені особисто дисертантом, та їхня новизна.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у науковому обґрунтуванні

У процесі дослідження одержані такі найбільш вагомі наукові результати: вперше:

- запропоновано та обґрунтовано двоетапний метод ідентифікації математичної моделі динаміки показника кислотності субстрату у біореакторі 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, що у сукупності забезпечило спрощення побудови математичної моделі з гарантованими прогностичними властивостями;

- отримано математичну модель динаміки показника кислотності субстрату у біореакторі у вигляді диференціального рівняння, яке, на відміну від існуючих, налаштовано на параметри процесу для конкретної біогазової установки на підставі перетворення інтервальних різницевого рівнянь, що забезпечує гарантовані прогностичні властивості побудованої математичної моделі і уможлиблює забезпечення допустимих значень кислотності багатокомпонентного субстрату в біогазових установках на основі управління подачею сировини;

набули подальшого розвитку:

- відкрита сервісно-орієнтована архітектура програмного забезпечення для моделювання процесів у біогазових установках, яка, на відміну від існуючих, інтегрує програмні компоненти: інтерпретації інтервальних дискретних моделей; ідентифікації цих моделей; розв'язування диференціальних рівнянь, що у сукупності уможлиблює розробку програмних систем та комп'ютерних середовищ для управління процесами в біогазових установках;

- комп'ютерні середовища для моделювання процесів у біогазових установках, які, на відміну від існуючих, ґрунтуються на програмній інтерпретації інтервальних дискретних моделей та відкритій сервісно-орієнтованій архітектурі, що уможлиблює їх інтеграцію в існуючі системи управління біогазовими установками з метою забезпечення допустимих значень кислотності багатокомпонентного субстрату.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються.

Наукові положення, висновки та рекомендації обґрунтовані на належному рівні, опубліковані в періодичних наукових виданнях, апробовані на науково-практичних міжнародних і всеукраїнських наукових конференціях. Про належний рівень теоретичної обґрунтованості та достовірності наукових

результатів, що містяться в дисертації, свідчить вдало підібрана методологічна основа дослідження та повнота опрацьованої інформаційної бази.

Практичне значення роботи.

Практичне значення отриманих результатів полягає у створенні програмної системи для моделювання процесів у біогазових установках. Архітектура програмного забезпечення включає необхідні модулі для введення початкових умов моделювання, виконання обчислень, візуалізації результатів та можливості внесення коректив у математичні моделі.

Теоретичні та прикладні результати дисертаційної роботи використано:

- у ТОВ «Теофіпольська енергетична компанія» для автоматичного налаштування параметрів біогазової установки в реальному часі на будь-якому етапі технологічного процесу виготовлення біогазу без залучення експертного середовища (акт про впровадження результатів дисертаційної роботи від 20 травня 2024 р.);
- в НДЧ ЗУНУ при виконанні держбюджетних фундаментальних та прикладних досліджень (довідка участь в НДР від 14 травня 2024 р.);
- в ІТ-компанії «Eleks» (м. Тернопіль) в процесі реалізації програмно-технічних комплексів, які включають інтеграцію програмно-реалізованих засобів математичного моделювання (акт про впровадження результатів дисертаційної роботи від 2 травня 2024 р.);
- в освітньому процесі Західноукраїнського національного університету на кафедрі комп'ютерних наук при викладанні дисциплін: «Моделювання систем», «Методи та програмні засоби теоретико-множинного інтервального підходу», «Інтервальный аналіз даних», «Архітектура та проектування програмного забезпечення» (акт про впровадження в освітній процес від 23 квітня 2024 р.).

Повнота викладення матеріалів дисертації в публікаціях та особистий внесок у них автора

Наукові результати, що викладені в дисертації і виносяться на захист, отримані автором особисто. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у 9 наукових працях загальним обсягом 5,7 д. а. (з яких особисто автору належать 2,23 д. а.), у тому числі: 4 праці – у наукових фахових виданнях, 1 з яких входить до міжнародної наукометричної бази Scopus та згідно з класифікацією SCImago Journal and Country Rank віднесено до квартилю Q4, 5 публікацій за матеріалами міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференцій, 3 з яких входять до міжнародної наукометричної бази Scopus.

Список публікацій здобувача за темою дисертації:

в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. 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. (1,1 д.а. / 0,8 д.а.; особистий внесок: здобувачем запропоновано та

обґрунтовано двоетапний метод ідентифікації математичної моделі динаміки показника кислотності субстрату у біореакторі на основі аналізу інтервальних даних).

DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-331-28>

2. 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. (1,3 д.а. / 0,5 д.а.; особистий внесок: здобувачем здійснено порівняльний аналіз методів та засобів моделювання процесів у біогазових установках, виділено їх основні переваги та недоліки).

DOI: <https://doi.org/10.31474/1996-1588-2024-1-38-57-70>

3. 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. (0,8 д.а. / 0,3 д.а.; особистий внесок: здобувачем реалізовано архітектуру програмного забезпечення для моделювання процесів у біогазових установках).

DOI: <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2024-1-19-28>.

4. 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. (0,7 д.а. / 0,2 д.а.; особистий внесок: здобувачем отримано математичну модель динаміки показника кислотності субстрату у біореакторі у вигляді диференціального рівняння).

DOI: <https://doi.org/10.47839/ijc.23.1.3431>. (Scopus, Q4)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

5. Забчук В. В. Аналіз методів побудови системи доповненої реальності для тестування практичних навиків. *Комп'ютерні інформаційні технології: матеріали школи-семінару молодих вчених і студентів СІТ'2019* (м. Тернопіль, 29 листопада 2019 р.). Тернопіль: ТНЕУ, 2019. С. 9. (0,1 д.а.)

6. Красносельська А.О., Веселов О.В., Забчук В.В. Інтелектуалізована система для оптимізації процесу формування документації програмного забезпечення. *Комп'ютерні інформаційні технології: матеріали школи-семінару молодих вчених і студентів СІТ'2023*. (Тернопіль, 30 листоп. 2023 р.). Тернопіль: ЗУНУ, 2023. С. 100-101. (0,1 д.а. / 0,03 д.а.; особистий внесок: здобувачем запропоновано компонентну структуру інтелектуалізованої системи для створення документації програмного забезпечення).

7. Dyvak M., Pukas A., Manzhula V., Kasatkina N., Komar M. and Zabchuk V. The Task of Parametric Identification the Interval Models with Nonlinear Parameters. *2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*. (Spisska Kapitula, Slovakia, 26-28 Sept. 2022). P. 106-111. (0,6 д.а. / 0,1 д.а.; особистий внесок: здобувачем вдосконалено метод параметричної ідентифікації інтервальних моделей з нелінійними параметрами).

DOI: <https://doi.org/10.1109/ACIT54803.2022.9913166> (Scopus).

8. Pukas A., Simak A., Goncharuk-Cholach T., Konoplitska O., Zabchuk V. Intelligent Analyzing Module in the Academic Staff Performance Appraisal System. *CEUR-WS*. 2023. Vol. 3624. P. 423-429. (0,6 д.а. / 0,1 д.а.; особистий внесок: здобувачем запропоновано алгоритм інтеграції програмних модулів для реалізації методів

інтелектуального аналізу).

https://ceur-ws.org/Vol-3624/Short_2.pdf (Scopus).

9. Pukas A., Smal V., Zabchuk V. Software based on blockchain technology for consolidation the medical data about the patients examination. *CEUR-WS*. 2018. Vol. 2300. P. 170-174. (0,4 д.а. / 0,1 д.а.; особистий внесок: здобувачем описано процедуру використання технології блокчейн для консолідації даних).

<https://ceur-ws.org/Vol-2300/Paper41.pdf> (Scopus).

Текст дисертаційної роботи пройшов перевірку на наявність текстових запозичень Unicheck. За результатами перевірки, виявлено відсутність текстових запозичень без належного посилання на джерело та встановлено, що дисертаційна робота Забчука Вадима Володимировича на тему: «Математичне та програмне забезпечення для моделювання процесів у біогазових установках на основі аналізу інтервальних даних» відповідає принципам академічної доброчесності.

Апробація результатів дослідження.

Основні положення і результати дисертаційної роботи презентовано на 5 міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференціях та наукових семінарах, зокрема: «8th International Conference on the Advanced Computer Information Technologies (ACIT-2018)» (Ceske Budejovice, Czech Republic, 2018), «12th International Conference on the Advanced Computer Information Technologies (ACIT-2022)» (Spisska Kapitula, Slovak Republic, 2022), школа-семінар молодих вчених і студентів «Комп'ютерні інформаційні технології» (м. Тернопіль, 2019, 2023), X International Scientific Conference "Information Technology and Implementation" (IT&I-2023) (Kyiv, Ukraine, 2023), наукові семінари кафедри комп'ютерних наук ЗУНУ (2021-2024, м. Тернопіль).

Оцінка мови та стилю дисертації.

Дисертація написана з правильним вживанням технічної та спеціальної термінології. Стиль викладення в дисертації матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечують легкість і доступність їх сприйняття.

Відповідність змісту дисертації спеціальності, за якою вона подається до захисту

За актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Забчука Вадима Володимировича на тему: «Математичне та програмне забезпечення для моделювання процесів у біогазових установках на основі аналізу інтервальних даних» відповідає спеціальності 121 – Інженерія програмного забезпечення та вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року (зі змінами і доповненнями від 3 квітня 2019 року №283), Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої

ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44.

У результаті попередньої експертизи дисертації Забчука Вадима Володимировича та повноти основних результатів дослідження

УХВАЛИЛИ:

1. Пропонувати Вченій раді затвердити такий склад разової спеціалізованої вченої ради:

Головою разової спеціалізованої вченої ради призначити –

Пасічника Романа Мирославовича, доктора технічних наук, професора, професора кафедри економічної кібернетики та інформатики Західноукраїнського національного університету.

Рецензентами призначити:

Мельника Андрія Миколайовича, доктора технічних наук, професора, професора кафедри комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету;

Порплицю Наталю Петрівну, кандидата технічних наук, доцента, доцента кафедри комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету.

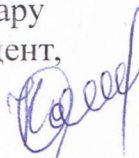
Опонентами призначити:

Шаховську Наталю Богданівну, доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри систем штучного інтелекту Національного університету «Львівська політехніка»;

Кобильську Олену Борисівну, доктора технічних наук, професор, професора кафедри інформатики і вищої математики Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.

2. Рекомендувати новоствореній разовій спеціалізованій вченій раді прийняти дисертаційну роботу Забчука Вадима Володимировича на тему «Математичне та програмне забезпечення для моделювання процесів у біогазових установках на основі аналізу інтервальних даних» до захисту.

Головуюча на засіданні фахового семінару
кафедри комп'ютерних наук – к.т.н., доцент,
доцент кафедри комп'ютерних наук



Світлана КРЕПИЧ