

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра механіки та інженерії агроєкосистем

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ВІНЦЕВИЧ Андрій Анатолійович

УДК 620.92

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Обґрунтування процесу роботи малої біогазової установки
в умовах агровиробництва**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

А.А.Вінцеввич

Керівник роботи
Кухарець С. М.
Доктор технічних наук, професор

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Вінцевич Андрій Анатолійович. Обґрунтування процесу роботи малої біогазової установки в умовах агровиробництва. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

В роботі було обрано установку із обертовим метантенком. До складу установки входять: ємкість для відходів, що підлягають ферментації; транспортуючий пристрій; реактор попередньої ферментації; напірна станція; метантенк; система гравітаційного змішування субстрату; газозбірник; відсікач вологи та очисник; електростанція; водонагрівач.

Перемішування в реакторі відбувається за рахунок його обертання. При цьому біомаса перемішується за рахунок дії гравітації. Необхідно також відмітити, що реактор поміщено у додаткову ємкість із водою, що дозволяє, використовуючи силу Архімеда зменшити навантаження на підшипники

Раціональне значення коефіцієнта заповнення лежить в межах від 0,8 для менших діаметрів (до 0,5 м) та до 0,9 для більших діаметрів (більше 1.5 м). Менші та більші коефіцієнти заповнення порушують рівновагу плавання реактора у рідині зовнішнього корпусу, і викликають зростання навантажень на опорні підшипники, відтак і зростає споживана потужність.

При малих значеннях радіуса реактора (до 0,5 м) зміна кутової швидкості реактора майже не призводить до зміни споживаної потужності, а при більших значеннях зростання кутової швидкості обертання реактора призводить до значного зростання споживаної потужності на обертання (перемішування). Це можна пояснити квадратичним зростанням моменту інерції реактора із збільшенням розміру радіуса.

Також можна зробити висновок, що із збільшенням геометричних розмірів реактора питома потужність також зростає, причому це відбувається майже лінійно. Це можна пояснити зростанням витрат на подолання моменту інерції.

Ключові слова: метан, вуглекислий газ, субстрат, обертання, реактор

ANNOTATION

Vintsevich Andrey Anatolyevich. Substantiation of the process of operation of a small biogas plant in the conditions of agricultural production. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2021.

An installation with a rotating methane tank was chosen in the work. The composition of the installation includes: capacity for waste to be fermented; conveying device; pre-fermentation reactor; pressure station; methane tank; system of gravitational mixing of the substrate; gas collector; moisture cutter and cleaner; power plant; water heater.

Stirring in the reactor is due to its rotation. The biomass is mixed by gravity. It should also be noted that the reactor is placed in an additional tank of water, which allows, using the force of Archimedes to reduce the load on the bearings.

The rational value of the filling factor is in the range from 0.8 for smaller diameters (up to 0.5 m) and up to 0.9 for larger diameters (more than 1.5 m). Lower and higher fill factors disturb the equilibrium of the reactor in the fluid of the outer casing, and cause an increase in the load on the support bearings, and thus increase power consumption.

At small values of the reactor radius (up to 0.5 m) the change in the angular velocity of the reactor almost does not lead to a change in power consumption, and at higher values of the angular velocity of the reactor leads to a significant increase in power consumption per revolution (mixing). This can be explained by the quadratic increase in the moment of inertia of the reactor with increasing radius size.

It can also be concluded that with increasing geometric dimensions of the reactor, the specific power also increases, and this happens almost linearly. This can be explained by the rising cost of overcoming the moment of inertia.

Key words: methane, carbon dioxide, substrate, rotation, reactor

Зміст

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МАЛИХ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК В ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВАХ	6
Висновок до розділу 1.....	8
РОЗДІЛ 2 ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВ	9
Висновок до розділу 2.....	12
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕАКТОРА БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ.....	13
Висновок до розділу 3.....	18
ВИСНОВКИ.....	19
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	21

ВСТУП

Застосування малих біогазових енергетичних установок в фермерських господарствах дозволить надати структурі господарства нові якості: зробити його енергетично незалежним, збільшити обсяги виробництва, вирішити проблему утилізації відходів.

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження – покращити технологію отримання біогазу за рахунок визначення раціональних праметрів малої біогазової установки із обертовим реактором.

Згідно до мети магістерської роботи сформовано наступні задачі:

- проаналізувати особливості застосування малих біогазових установок в фермерських господарствах;
- провести обґрунтування конструкції та технологічного процесу біогазової установки для фермерських аграрних підприємств
- виконати дослідження параметрів реактора біоргазової установки

Об'єкт дослідження: біогазова установка для фермерських аграрних підприємств

Предмет дослідження: показники роботи біогазової установки.

Методи дослідження: Експериментальні дослідження проведено із застосуванням методів механіки та математичної статистики.

Практичне значення одержаних результатів. Виконані нами дослідження спрямовані на підвищення ефективності виробництва біогазу на базі сільськогосподарських підприємств.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота містить вступ, три розділи, висновки, список інформаційних джерел з 10 джерел. Загальний обсяг роботи становить 22 сторінки комп'ютерного тексту, містить 1 таблицю і 4 рисунки.

РОЗДІЛ 1

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МАЛИХ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК В ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВАХ

Застосування малих біогазових енергетичних установок в фермерських господарствах дозволить надати структурі господарства нові якості: зробити його енергетично незалежним, збільшити обсяги виробництва, вирішити проблему утилізації відходів. Малі біогазові установки знайшли широке поширення в Німеччині, Данії, Індії. Аналіз зарубіжного досвіду використання БЕУ показує, що широке застосування ці установки отримали в тих країнах, де здійснюються програми розвитку і стимулювання, такі як біогазова програма Китаю. У нашій країні в даний час активно формується ринок малих біогазових установок і, зокрема сегмент, орієнтований на фермерські господарства. Своєю продукцією пропонують українські та зарубіжні виробники. Але тут між виробниками є серйозні відмінності. Провідні зарубіжні виробники, які мають великий досвід розробки і будівництва біогазових установок, як правило, пропонують «будівництво під ключ» досить великих установок, розрахованих на переробку десятків тон субстратів на добу, природно, що і вартість цих установок вимірюється мільйонами євро. Проте такі установки, щодо по конструкції є досить складним пристроєм, в якому відбуваються складні біохімічні процеси, пов'язані з життєдіяльністю різних груп мікроорганізмів. В результаті переробки мікроорганізмами вихідних субстратів виділяється біогаз. Біогаз є сумішшю газів, основними в якій є двоокис вуглецю і метан [1]. Власне метан, процентний вміст якого в біогазі становить 50 ... 80%, і є ресурсом для вироблення електричної і теплової енергії. За конструкцією біогазові установки бувають одноступінчастими і багатоступінчастими, за принципом дії – періодичної і

безперервної дії, за типом змішування – повне змішування або порційне змішування. Відносно невеликі установки для фермерських господарств зазвичай мають одноступеневу схему безперервної дії з повним змішуванням. Така схема установки дозволяє максимально спростити конструкцію, зменшити розміри, мінімізувати витрати на виробництво. Але, з точки зору умов для утворення біогазу такі установи мають ряд суттєвих недоліків. Розглянемо деякі з них. Процес утворення біогазу складається з чотирьох основних стадій [2]: Гідроліз субстрату. В процесі гідролізу субстрату, під впливом бактерій, протеїни, жири і вуглеводи розпадаються на амінокислоти, глюкозу, жирні кислоти. Кислотна стадія. Після проходження гідролізу прості складові перетворюються на органічні кислоти, зокрема оцтову, масляну, пропіонову та інші, спирти, оцтові альдегіди, водень, вуглекислий газ, сірководень та аміак. Це все відбувається поки розвиток бактерій не сповільнюється під впливом отриманих кислот. Ацетонова стадія. Під дією ацетогенних бактерій із кислот виробляється оцтова кислота. Утворення метану. Оцтова кислота перетворюється на метановий газ, вуглекислий газ і воду (хімічна формула процесу - $\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$). Водень і вуглекислий газ також перетворюються в метан і воду (хімічна формула процесу $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$) [2].

Найбільш продуктивно виділення метану відбувається в центральній частині реактора, при цьому на дно випадає осад, відбувається розшарування субстрату, а на поверхні може утворюватися кірка, що перешкоджає виходу біогазу. Перемішування має забезпечити циркуляцію субстрата за обсягом реактора і не допускати утворення кірки. З досвіду експлуатації біогазових установок в Європейському Союзі відомо, що найбільшою проблемою біогазових установок є поломка або погана робота мішалок. Існують дві основні системи змішування субстрату в реакторах - механічними мішалками і гідропневматичне перемішування [3]. Недоліком гідропневматичного способу перемішування є часте засмічення елементів насосних установок, що призводить

до порушення оптимальних умов протікання процесу метаногенеза. Для таких систем перемішування повинні використовуватися спеціальні насоси, а субстрат повинен бути попередньо подрібнений до частинок певних розмірів. Важливим для ефективного використання біогазових установок є термін перебування субстрату в реакторі [4]. Для різних субстратів оптимальні значення термінів ферментації різні. Процес виходу біогазу залежить від тривалості протікання стадій процесу. Для швидких субстратів (гній, харчові відходи) вихід біогазу починається через кілька діб після завантаження в реактор, а для важких може знадобитися кілька місяців. Найбільший вихід біогазу з субстрату зазвичай спостерігається в період після початку виділення, потім процес поступово сповільнюється, але невелика кількість біогазу може виділятися дуже довго.

Висновок до розділу 1

На основі аналізу світового досвіду створення та використання біогазових установок можна зробити висновок про доречність їх використання в фермерських аграрних підприємствах, зокрема застосування малих біогазових енергетичних установок дозволить зробити агровиробництво енергетично незалежним, збільшити його обсяги та вирішити проблему утилізації відходів.

РОЗДІЛ 2

ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВ

Однією із найбільших проблем що виникають в процесі експлуатації малих біогазових установок це складність перемішування біомаси [5]. Адже у більшості випадків для отримання біогазу використовується безперервне перемішування в вертикальних реакторах і резервуарах з мішалкою. При використанні такого типу біогазового реактора, перемішування субстрату надзвичайно важливе для процесу утворення біогазу. Метою перемішування за допомогою мішалки є розподіл поживні речовини в біогазі метантенка рівномірно, щоб сформувати суспензію із рідких і твердих включень, та щоб уникнути злипання частинок і забезпечити рівномірний розподіл тепла, запобігти утворенню піни при перемішуванні і включити підйом газу з ферментаційної основи при високому вмісті сухої речовини [6]. Майже всі аграрні біогазові станції використовують вертикальні ємності і реактори з мішалкою. У цих вертикальних ємностях, круговий рух матеріалу в потрібну сторону забезпечується вертикальними, бічними і зануреними мішалками. Для перемішування субстрату, використовуються різні типи мішалки, комбінування мішалок або змішувачів [4]. Змішування описується як один з найбільш загальних процесів в різних сферах виробництва і існує багато різних видів змішувачів та мішалок, що призначені для різних операцій. Компанії виробники мішалок, визнають, що в сільськогосподарському виробництві біогазу, використовуються індивідуально розроблені мішалки відповідно до обсягу ємності і властивостей субстрату. В даний час, існує кілька технологій перемішування за допомогою механічних мішалок, які були застосовані в комерційних цілях. Загалом це як механічні, гідравлічні або пневматичні системи змішування. У Європі, механічне

перемішування за допомогою мішалки домінує на ринку перемішування ферментуючих субстратів сільськогосподарського походження [7]. Більше 40% ємностей для біогазу використовують вертикальні мішалки, 30% заглибні швидкохідні мішалки, 30% бічні мішалки. Було встановлено, що при переході від субстратів в якості органічних відходів або гною для вирощування енергетичних культур з високим вмістом волокна, вміст сухої речовини значно збільшується при використанні заглибних швидкохідних мішалок. Автори [8] повідомляють, що в Німеччині частка 12,9% біогазових установок оснащена мішалкою з кутом нахилу щодо вертикальної осі, 7,4% лопатеві мішалки, 6,0% вертикальні мішалки, 0,8% заглибні мішалки

Оператори установок виявили, що збої в техніці змішування становлять ~ 15% від навантаження на біогазоу установку, так як високий знос мішалки призводять до збоїв через кілька років. Так само повідомляється, що 44% поломок установки викликані роботою мішалки. До сих пір, конфігурація мішалки в ємності, наприклад, позиціонування мішалки, висота установки і вирівнювання відповідно до субстратом, в більшості випадків, заснована на досвіді виробника і оператора і тільки в дуже рідкісних випадках засновані на науковій передумові.

Саме тому ми вирішили дослідити новий вид перемішування в малих біогазові установках – гравітаційне.

За об'єкт дослідження було обрано установку за схемою на рис. 2.1.

В цій установці виконується ферментація субстрату за об'ємом не більше 200 м³ за добу та при температурі від 36 до 52 град. Бажана кислотність сировини 6,5-7 од., вологість від 85 до 96%. За добу завантажується 10% корисного об'єму.

До складу установки входять: ємність для відходів, що підлягають ферментації; транспортуючий пристрій; реактор попередньої ферментації; напірна станція; метантенк; система гравітаційного змішування субстрату; газозбірник; відсікач вологи та очисник; електростанція; водонагрівач.

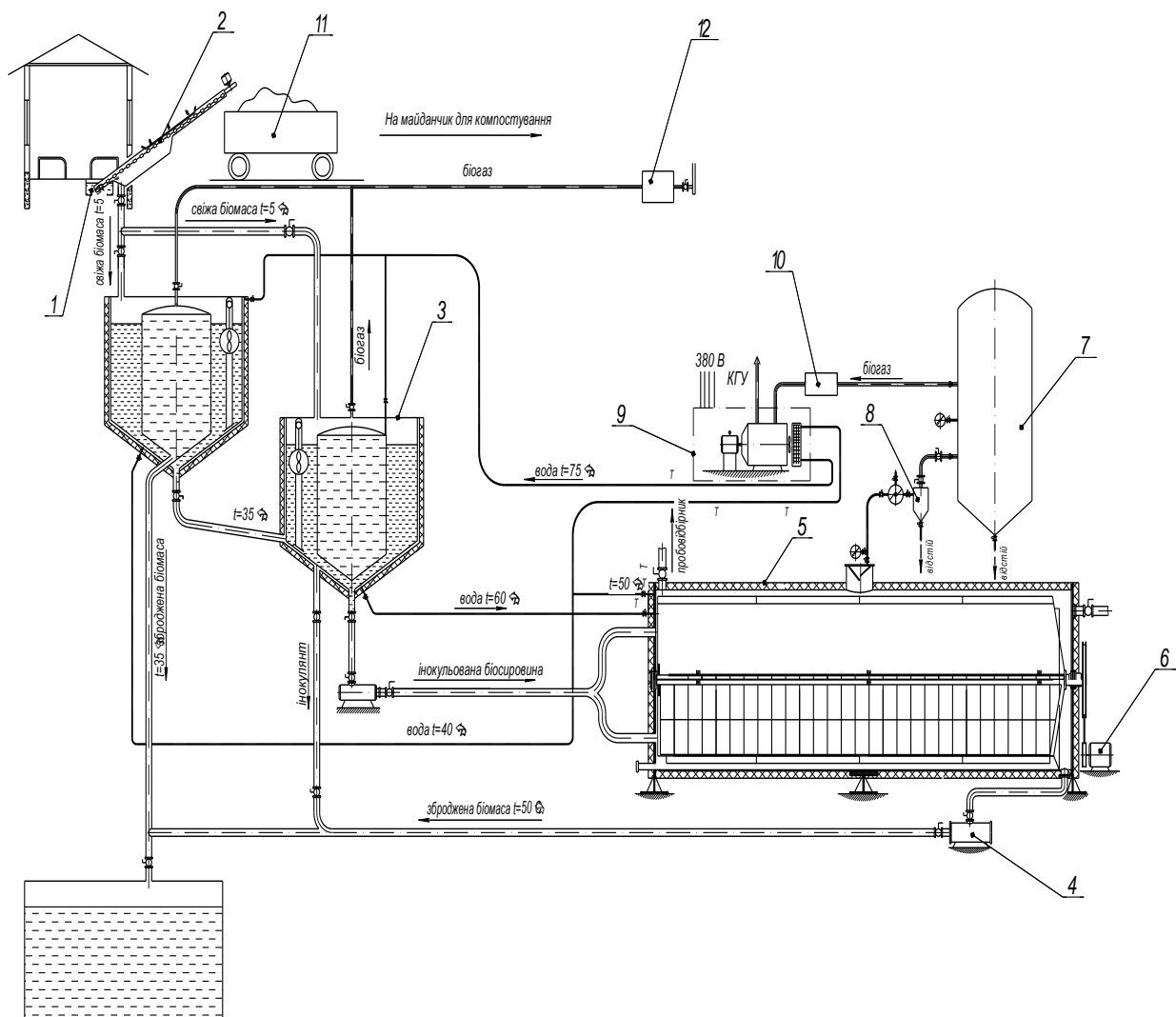


Рис 2.1. Біогазова установка для фермерів:

1 – ємкість для відходів, що підлягають ферментації; 2 – транспортуючий пристрій; 3 – реактор попередньої ферментації; 4 – напірна станція; 5 – метантенк; 6 – система гравітаційного змішування субстрату; 7 – газозбірник; 8 – відсікач вологи та очисник; 9 – електростанція; 10 – фільтр; 11 – органічні добрива; 12 – водонагрівач [9]

Детальний опис установки наведено в [9].

Перемішування в реакторі відбувається за рахунок його обертання. При цьому біомаса перемішується за рахунок дії гравітації. Необхідно також відмітити, що реактор поміщено у додаткову ємкість із водою, що дозволяє, використовуючи силу Архімеда зменшити навантаження на підшипники, як це описано в [10].

На мою думку доречним є теоретичне дослідження витрат енергії на обертання біореактора при різних його діаметрах та при різному рівні заповнення субстрату.

Висновок до розділу 2

За об'єкт дослідження було обрано установку із обертовим метантенком. В цій установці виконується ферментація субстрату за об'ємом не більше 200 м³ за добу та при температурі від 36 до 52 град. Бажана кислотність сировини 6,5-7 од., вологість від 85 до 96%. За добу завантажується 10% корисного об'єму.

До складу установки входять: ємкість для відходів, що підлягають ферментації; транспортуючий пристрій; реактор попередньої ферментації; напірна станція; метантенк; система гравітаційного змішування субстрату; газозбірник; відсікач вологи та очисник; електростанція; водонагрівач.

Перемішування в реакторі відбувається за рахунок його обертання. При цьому біомаса перемішується за рахунок дії гравітації. Необхідно також відмітити, що реактор поміщено у додаткову ємкість із водою, що дозволяє, використовуючи силу Архімеда зменшити навантаження на підшипники

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕАКТОРА БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

Для дослідження параметрів реактора оберемо данні, що були отримані науковцями в працях [2, 9, 10, 11] та дослідимо їх. Прийmemo зміну діаметрів реактора від 1 м до 3 м, прийmemo коефіцієнт заповнення реактора від 80% до 100%, причому будемо вважати що метантенк повністю занурено у рідину. Кутова швидкість також змінюється від 0,1 до 1 рад/с. Довжину біореактора прийmemo також сталою – 4 м. Середня густина біомаси – 1030 кг/м³.

Проаналізовані та отриманні данні зведемо в таблицю 3.1

Таблиця 3.1. Результати досліджень

Радіус реактора, м (R)	Коефіцієнт заповнення (k)	Кутова швидкість, рад/с (w)	Споживана потужність на обертання (перемішування), Вт (P)	Об'єм біомаси, що перемішується, м ³ (V)	Питома потужність перемішування, Вт/м ³ (n)
0.5	0.8	0.1	84.37	2.51	33.6
0.5	0.9	0.1	73.57	2.83	26.0
0.5	1	0.1	112.70	3.14	35.9
0.5	0.8	0.5	420.85	2.51	167.4
0.5	0.9	0.5	366.72	2.83	129.7
0.5	1	0.5	562.24	3.14	179.0

0.5	0.8	0.9	755.76	2.51	300.7
0.5	0.9	0.9	658.09	2.83	232.8
0.5	1	0.9	1009.78	3.14	321.4
0.75	0.8	0.1	275.88	5.65	48.8
0.75	0.9	0.1	229.61	6.36	36.1
0.75	1	0.1	318.30	7.07	45.0
0.75	0.8	0.5	1374.25	5.65	243.0
0.75	0.9	0.5	1142.21	6.36	179.5
0.75	1	0.5	1584.98	7.07	224.2
0.75	0.8	0.9	2464.50	5.65	435.8
0.75	0.9	0.9	2045.61	6.36	321.6
0.75	1	0.9	2841.40	7.07	402.0
1.5	0.8	0.1	1986.71	22.62	87.8
1.5	0.9	0.1	1902.47	25.45	74.8
1.5	0.1	0.1	2576.42	2.83	911.2
1.5	0.8	0.5	9849.62	22.62	435.4
1.5	0.9	0.5	9417.68	25.45	370.1
1.5	1	0.5	10926.00	28.27	386.4
1.5	0.8	0.9	17582.48	22.62	777.3
1.5	0.9	0.9	16786.19	25.45	659.7
1.5	1	0.9	19482.39	28.27	689.0

Спершу проаналізуємо вплив зміни радіуса реактора та коефіцієнта заповнювання на споживану потужність. Внесемо відповідні данні в програму Statistika та виконаємо необхідні розрахунки. В результаті ми отримали рівняння (3.1) та графік, що зображено на рис. 3.1

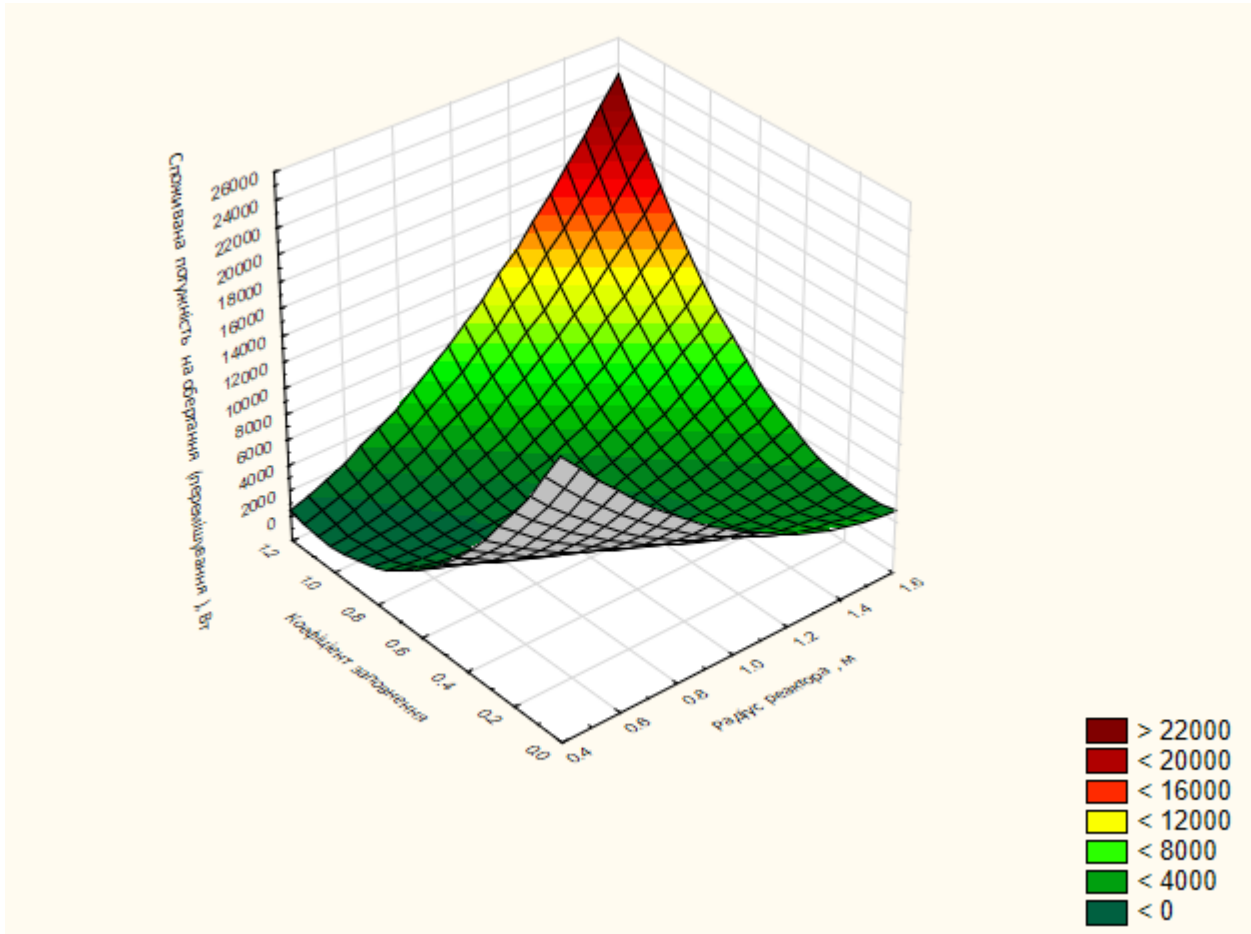
N R - k 

Рис. 3.1. Вплив зміни радіуса реактора та коефіцієнта заповнювання на споживану потужність

Аналіз рівняння 3.1 та графіка на рис 3.1 дозволяє стверджувати, що раціональне значення коефіцієнта заповнення лежить в межах від 0,8 для менших діаметрів (до 0,5 м) та до 0,9 для більших діаметрів (більше 1.5 м). Менші та більші коефіцієнти заповнення порушують рівновагу плавання реактора у рідині зовнішнього корпусу, і викликають зростання навантажень на опорні підшипники, відтак і зростає споживана потужність.

Далі проаналізуємо вплив зміни радіуса реактора та кутової швидкості обертання біореактора на споживану потужність при оптимальному значенні коефіцієнта заповнення. Внесемо відповідні данні в програму Statistika та виконаємо необхідні розрахунки. В результаті ми отримали рівняння (3.2) та графік, що зображено на рис. 3.3

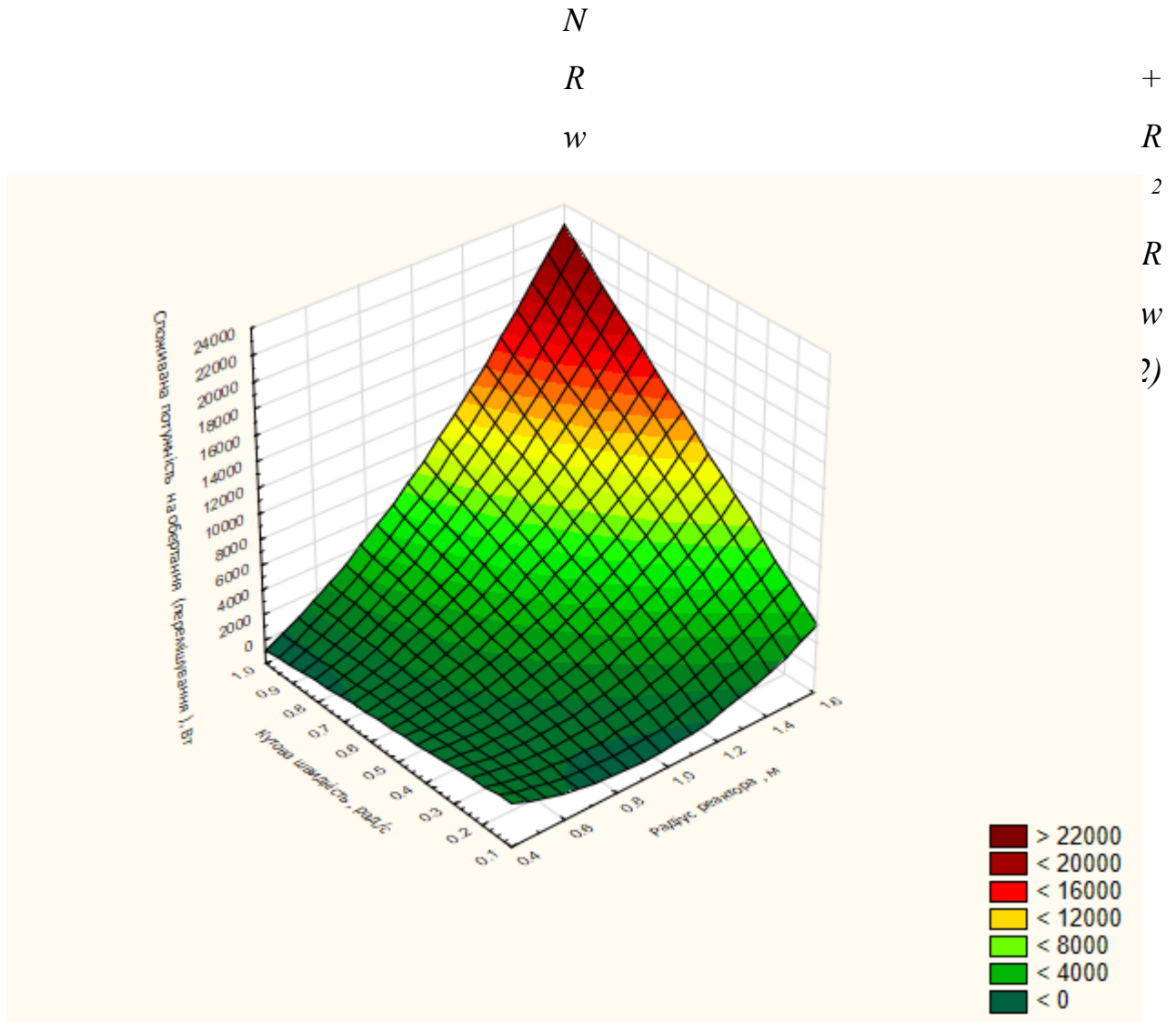


Рис. 3.2. Вплив зміни радіуса реактора та кутової швидкості обертання біореактора на споживану потужність при оптимальному значенні коефіцієнта заповнення

Аналіз графіка на рис. 3.2 дозволяє стверджувати, що при малих значеннях радіуса реактора (до 0,5 м) зміна кутової швидкості реактора майже не призводить до зміни споживаної потужності, а при більших значеннях зростання кутової швидкості обертання реактора призводить до значного зростання споживаної потужності на обертання (перемішування). Це можна пояснити квадратичним зростанням моменту інерції реактора із збільшенням розміру радіуса.

Також можна визначити як впливає корисний об'єм біомаси на питому споживану потужність (рис. 3.3).

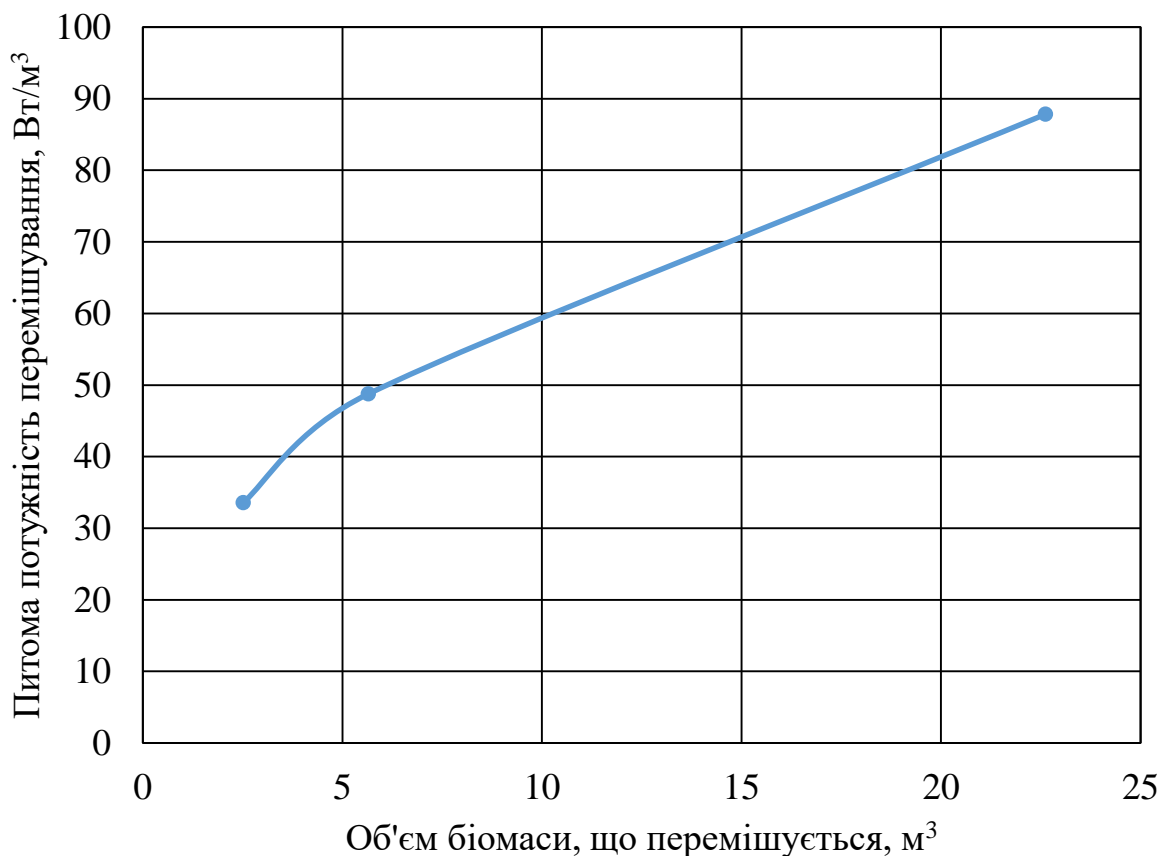


Рис. 3.3. Вплив корисного об'єму біомаси в реакторі на питому споживану потужність

Таким чином можна зробити висновок, що із збільшенням геометричних розмірів реактора питома потужність також зростає, причому це відбувається майже лінійно.

Висновок до розділу 3

Раціональне значення коефіцієнта заповнення лежить в межах від 0,8 для менших діаметрів (до 0,5 м) та до 0,9 для більших діаметрів (більше 1.5 м). Менші та більші коефіцієнти заповнення порушують рівновагу плавання реактора у рідині зовнішнього корпусу, і викликають зростання навантажень на опорні підшипники, відтак і зростає споживана потужність.

При малих значеннях радіуса реактора (до 0,5 м) зміна кутової швидкості реактора майже не призводить до зміни споживаної потужності, а при більших значеннях зростання кутової швидкості обертання реактора призводить до значного зростання споживаної потужності на обертання (перемішування). Це можна пояснити квадратичним зростанням моменту інерції реактора із збільшенням розміру радіуса.

Також можна зробити висновок, що із збільшенням геометричних розмірів реактора питома потужність також зростає, причому це відбувається майже лінійно. Це можна пояснити зростанням витрат на подолання моменту інерції.

ВИСНОВКИ

На основі аналізу світового досвіду створення та використання біогазових установок можна зробити висновок про доречність їх використання в фермерських аграрних підприємствах, зокрема застосування фермерських біогазових енергетичних установок дозволить зробити агровиробництво енергетично незалежним, збільшити його обсяги та вирішити проблему утилізації відходів.

За об'єкт дослідження було обрано установку із обортовим метантенком. В цій установці виконується ферментація субстрату за об'ємом не більше 200 м³ за добу та при температурі від 36 до 52 град. Бажана кислотність сировини 6,5-7 од., вологість від 85 до 96%. За добу завантажується 10% корисного об'єму.

До складу установки входять: ємкість для відходів, що підлягають ферментації; транспортуючий пристрій; реактор попередньої ферментації; напірна станція; метантенк; система гравітаційного змішування субстрату; газозбірник; відсікач вологи та очисник; електростанція; водонагрівач.

Перемішування в реакторі відбувається за рахунок його обертання. При цьому біомаса перемішується за рахунок дії гравітації. Необхідно також відмітити, що реактор поміщено у додаткову ємкість із водою, що дозволяє, використовуючи силу Архімеда зменшити навантаження на підшипники

Рациональне значення коефіцієнта заповнення лежить в межах від 0,8 для

менших діаметрів (до 0,5 м) та до 0,9 для більших діаметрів (більше 1.5 м). Менші та більші коефіцієнти заповнення порушують рівновагу плавання реактора у рідині зовнішнього корпусу, і викликають зростання навантажень на опорні підшипники, відтак і зростає споживана потужність.

При малих значеннях радіуса реактора (до 0,5 м) зміна кутової швидкості реактора майже не призводить до зміни споживаної потужності, а при більших значеннях зростання кутової швидкості обертання реактора призводить до значного зростання споживаної потужності на обертання (перемішування). Це можна пояснити квадратичним зростанням моменту інерції реактора із збільшенням розміру радіуса.

Також можна зробити висновок, що із збільшенням геометричних розмірів реактора питома потужність також зростає, причому це відбувається майже лінійно. Це можна пояснити зростанням витрат на подолання моменту інерції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. T. A. Shah, S. Ali, A. Afzal, and R. Tabassum, Effect of Alkali Pretreatment on Lignocellulosic Waste Biomass for Biogas Production, International Journal of Renewable Energy Research, vol.8, no.3, pp. 1318-1326, September 2018.

2. Мовсесов Г.Є., Ляшенко О.О. Основні положення технології біогазового (анаеробного метанового) зброджування органічних відходів: Рекомендації / Інститут механізації тваринництва НААН України. – Запоріжжя: ІМТ НААН України, 2010. – 29 с.

3. Golub G., Kukharets S., Zavadzka O., Marus O. Determination of the Rate of Organic Biomass Decomposition in Biogas Reactors with Periodic Loading. International Journal of Renewable Energy Research. Vol.9. No.4. 2019. P. 1741-1750.

4. Технологія переробки біологічних відходів у біогазових установках з обертовими реакторами / [Г. А. Голуб, О. В. Сидорчук, С. М. Кухарець, В. В. Гох, С. В. Осауленко, О. А. Завадська, Б. О. Рубан, Н. Л. Поліковська, Р. Л. Швець, В. В. Чуба, М. Ю. Павленко]. Київ: НУБіП України, 2014. 106 с.

5. Біогаз. Модуль. / В.А.Дубровін, Г.А.Голуб, В.М.Поліщук, К.М.Сера, О.А.Марус, С.В.Драгнев, М.Ю.Павленко, В.В.Чуба, С.М.Кухарець]. – UNIDO, 2015. – 48 с.

6. Кузьменко М. Фермерський біогаз / М. Кузьменко, Г. Голуб, С. Кухарець // The Ukrainian Farmer. – 2016. - №7. – С. 70-71.

7. Кухарець С. М. Голуб Г.А. Дослідження енергетичних показників обертового біогазового реактора. Механізація та електрифікація сільського господарства. 2015. Вип. 101. С. 200–206.

8. Кухарець С. М. Спиридонов В. Г. Дослідження енергетичної ефективності обертових метантенків. Наук. вісн. НУБіП України. Сер. Техніка та енергетика АПК. 2015. Вип. 212, ч. 2. С. 248–253.

9. Голуб Г. А. Кухарець С.М. Визначення параметрів руху частинок біомаси під час обертання метантенка. Наук. вісн. НУБіП України. Сер. Техніка та енергетика АПК. 2015. Вип. 212, ч. 2. – С. 254–264.

10. Пат. 110077 Україна, МПК C02F 11/04, C02F 3/28. Метантенк / Голуб Г. А., Кухарець С. М. ; заявник і патентовласник Нац. ун.-т. біоресурсів і природокристування України. – № а201409259 ; заявл. 19.08.2014 ; дата публікації 10.11.2015, Бюл. № 21.