

ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**Обґрунтування параметрів системи обігріву реактора
біогазової установки****Виконав:** студент 2 курсу, групи МГАІ-2-22

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Міщенко Микола Григорович

Керівник: _____ Дудін Володимир Юрійович**Рецензент:** _____ Садченко Роман Вікторович

Дніпро 2023

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем
Освітній ступінь: «Магістр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«09» листопада 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Міщенко Миколі Григоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування параметрів системи обігріву реактора біогазової установки

керівник роботи Дудін Володимир Юрійович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«09» листопада 2023 року № 3422

2. Строк подання студентом 04.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи Аналіз стану питання процесів та обладнання для переробки гною, зокрема біогазових систем. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналітичні дослідження. 2. Математичне моделювання основних процесів теплообміну в пропонованій конструкції метантенка. 3. Лабораторні дослідження процесу. 4. Охорона праці. 5. Економічна оцінка. Загальні висновки. Бібліографічний список.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (3 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (3 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (2 аркуші, А4). 4. Охорона праці (1 аркуш, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Дудін В.Ю., доцент		
Нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 09.11.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 17.11.2023 р.	
2	Теоретичний	до 17.11.2023 р.	
3	Експериментальний	до 17.11.2023 р.	
4	Охорона праці	до 17.11.2023 р.	
5	Економічний	до 25.11.2023 р.	
6	Демонстраційна частина	до 04.12.2023 р.	

Студент

(підпис)

Міщенко М.Г.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Дудін В.Ю.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Міщенко М.Г. Обґрунтування параметрів системи обігріву реактора біогазової установки /Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2023 р.

Вступна частина дипломної роботи містить обґрунтування актуальності теми, сформульовані мета та задачі, приведено методи досліджень. З аналізу стану питання виявлено, що одним з самих раціональних способів обробки гною є його анаеробне зброджування з отриманням біогазу. В другому розділі проведено теоретичні дослідження процесу. В результаті лабораторних досліджень доведено переваги розробленого обладнання над стандартним. Проведено дослідження розробленої конструкції з точки зору охорони праці. Виконано економічне обґрунтування розробки. Зроблені висновки та складено список використаної літератури.

Ключові слова: рідкий гній, анаеробне зброджування, змішування гомогенізація, біогаз, метантенк.

ЗМІСТ

Вступ	8
1 Аналітичні дослідження	11
1.1 Аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду застосування	11
1.2 Конструкція та принцип роботи біогазової установки	13
1.3 Конструкції метантенків для збродження відходів біомаси	16
1.4 Фактори, що впливають на інтенсивність процесу збродження біомаси в метантенці	18
1.5 Висновки за першим розділом	24
2 Математичне моделювання основних процесів теплообміну в пропонованій конструкції метантенка	25
2.1 Теплообмін між зовнішніми поверхнями МТ та довкіллям	31
2.2 Теплообмін при нагріванні маси, що зброджується через зміювик	35
2.2.1 Тепловіддача від теплоносія до стінки зміювика	38
2.2.2 Тепловіддача від зміювика при механічному перемішуванні зброджуваної маси	39
3 Лабораторні дослідження процесу	44
3.1 Програма та методика	44
3.2 Хід проведення експерименту	48
3.3 Висновки з третього розділу	50
4 Охорона праці	52
4.1 Загальні вимоги	52
4.2 Шкідливі та небезпечні виробничі фактори	53

	7
4.3 Заходи по забезпеченню захисту оператора від дії шкідливих та небезпечних факторів	55
4.4 Правила безпечного виконання робіт	57
4.5 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях	58
4.6 Висновки	59
5 Економічна оцінка	61
ВИСНОВКИ	70
БІБЛІОГРАФІЯ	71

ВСТУП

Біогазові установки є одним із перспективних напрямків розвитку альтернативної енергетики. Вони дозволяють виробляти біогаз із органічних відходів, таких як гній, відходи тваринництва, сільськогосподарська біоматерія, побутові відходи тощо. Біогаз є відновлюваним джерелом енергії, який може використовуватися для виробництва електроенергії, тепла та транспортних палива.

Актуальність розвитку та досліджень біогазових установок обумовлена кількома факторами:

Зростання попиту на енергію. Світовий попит на енергію зростає, і в майбутньому цей тренд, швидше за все, продовжуватиметься. Біогазові установки можуть допомогти задовольнити цей попит, виробляючи відновлювану енергію.

Загрозливі зміни клімату. Виробництво електроенергії з викопних видів палива є одним із основних джерел викидів парникових газів, які призводять до глобального потепління. Біогазові установки можуть допомогти зменшити викиди парникових газів, виробляючи відновлювану енергію.

Економічна ефективність. Біогазові установки можуть бути економічно ефективним способом виробництва енергії. Вартість виробництва біогазу порівняно низька, а сам біогаз є цінним енергоносієм.

Дослідження біогазових установок спрямовані на вирішення таких завдань:

Покращення продуктивності біогазових установок. Дослідники працюють над розробкою нових технологій, які дозволять збільшити виробництво біогазу з однієї одиниці сировини.

Зменшення вартості виробництва біогазу. Дослідники працюють над зниженням вартості матеріалів та обладнання, необхідних для будівництва та експлуатації біогазових установок.

Розширення можливостей використання біогазу. Дослідники працюють над розробкою нових технологій, які дозволять використовувати біогаз для виробництва різних видів енергії та продуктів.

Розвиток та дослідження біогазових установок є важливим напрямком, який може допомогти вирішити проблеми енергетичної безпеки та зміни клімату.

Для стабільного перебігу процесу зброджування відходів тваринницьких ферм необхідне дотримання всіх технологічних параметрів, що впливають на обсяг отриманого біогазу. Одним з основних параметрів є температура зброджування. Підвищення чи зниження температури зброджування в метантенку (МТ) призводить до зменшення обсягу одержуваного біогазу. Для підтримки температури зброджування передбачається нагрівання МТ теплоносієм, що гріє, циркулює в змійовику (ЗМ). Визначення теплової потужності, необхідної для нагрівання зброджуваної маси з урахуванням всіх факторів, що впливають, є обов'язковим для якісного регулювання температури теплоносія, що гріє. Таким чином, обрана тема для досліджень є актуальною.

Мета дослідження. Збільшення обсягу одержуваного біогазу при зброджуванні відходів тваринницьких ферм у метантенках шляхом інтенсифікації процесів тепломасообміну в біогазовій установці.

Завдання дослідження:

- провести аналітичні дослідження існуючих конструкцій МТ та технологічних особливостей виробництва біогазу шляхом зброджування відходів тваринницьких ферм у метантенку;
- розробити математичну модель процесів тепло масообміну в метантенці при зброджуванні відходів тваринницьких ферм;
- створити експериментальну установку та провести експериментальні дослідження впливу температури зовнішнього повітря та товщини відкладень на гріючому змійовику на інтенсивність теплообміну в метантенку і, отже, на температуру маси, що зброджується при утворенні біогазу;

- розробити програмне забезпечення для проектування метантенків та розрахунку технологічних карт подачі гріючого теплоносія при експлуатації метантенків;
- обґрунтувати економічну ефективність запропонованої методики інтенсифікації процесів тепломасообміну в біогазовій установці, а також часткову заміну природного газу, що спалюється для нагрівання теплоносія;
- визначити екологічну ефективність застосування анаеробної переробки відходів тваринницьких ферм.

Об'єкт дослідження – метантенк біогазової установки для отримання горючих газів при зброджуванні відходів тваринницьких ферм .

Предмет дослідження – інтенсивність процесів тепломасообміну в метантенці між гріючим елементом і масою, що зброджується.

1 АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

У такій галузі як тваринництво існує серйозна проблема утилізації відходів ферм. На тваринницьких фермах забруднення атмосфери походить від двох джерел. Першим джерелом забруднення є кишкова ферментація тварин, в результаті якої в атмосферу надходить метан (CH_4). Другим джерелом викидів метану та закису азоту (N_2O) є системи збирання та зберігання біомаси.

За даними організації Global Methane Initiative світовий обсяг викидів метану становить 243,95 млн. т еквівалента CO_2 за 2010 рік із відходів сільського господарства. Для зменшення викидів від відходів тваринницьких ферм застосовуються різні способи уловлювання парникових газів, що виділяються.

В аспекті подорожчання видобутку та транспортування природних енерго- носіїв, таких як природний газ та нафта, вирішення цієї проблеми набуває особливого значення, так як органічні відходи ферм потенційною сировиною для біотехнологій. Біотехнології передбачають кілька стадій розкладання органічних речовин (ОР) з подальшим виробництвом біопалива (біогазу). Біогаз містить у своєму складі метан 40-60%, вуглекислий газ 30-60%, і невелика кількість водню до 1%, сірководню – до 3%. Після очищення від домішок до стану біометану ним можна частково замінити природний газ, без переналаштування газ опалювального обладнання.

1.1 Аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду застосування біогазових установок

Технологія одержання біогазу шляхом переробки органічних відходів (біомаси) в анаеробних умовах, давно відома людству. Вона успішно застосовується у низці країн із розвинутою сферою сільського господарства. США, ЄС, Китай, Індія, Бразилія є лідерами з виробництва біогазу (БГ).

На сьогоднішній день відновлювані джерела енергії займають значне місце у енергетичному балансі країн світу. Використання електроенергії та тепла, що виробляється за допомогою анаеробної переробки біомаси, в Європі зосереджено в основному в Австрії, Фінляндії, Німеччини, Данії та Великобританії. Німеччина є лідером з виробництва біогазу у Європі. У Німеччині 1992 року налічувалося 139 біогазових установок, а зараз працює більше 7000 великих установок анаеробного збродження сільськогосподарських відходів. Найбільша біогазова установка (БГУ) розташована на півдні Німеччини, що дозволяє переробляти до 120 т відходів тваринницької ферми на місяць. Площа, що займається біогазовою установкою, становить 3 га. Корпус метантенка виконаний із кислотостійкого залізобетону діаметром 15 м і висотою 6 м. Отримуваний БГ спалюють для отримання електричної енергії та теплоти. В Австрії, в даний час, працює близько 120 біогазових установок, обсягами реакторів кожної понад 2000 м³. Близько 25 установок знаходяться в стадії проектування та будівництва.

В Україні існують поодинокі приклади впровадження біогазових технологій. Перша з нині працюючих на відходах тваринництва БГУ промислового типу, була побудована у 1993 р. на свинофермі (8000-10000 поголів'я) комбінату «Запоріжсталь» у м. Запоріжжі за технологіями BigadanLtd» (Данія). Об'єм МТ складає 595 м³, прийнятий температурний режим – мезофільний. На свинофермі з поголів'ям 15 000 свиней корпорації Агро-Овен, Оленівка, Дніпропетровської області, збудовано БГУ компанії Biomass Technology Group (Голландія) у 2003 році. БГУ складається із двох реакторів об'ємом 1000 м³ кожен. Шляхом когенерації біогазу виробляється 180 кВт електроенергії. У 2009 році запущено в експлуатацію БГУ, побудовану за технологією німецької компанії LIPP для с/г компанії «Еліта», смт. Терезине, Київської області із поголів'ям 1000 голів. Об'єм МТ складає 1500 м³, працюючого при мезофільному режимі, потужністю установки 250 кВт.

Однією з провідних компанією в Україні займаються проектуванням та будівництвом біогазових установок є «Зорг Біогаз Україна». У 2009 році запущено в експлуатацію БГУ на фермі великої рогатої худоби (ВРХ) «УМК», с. В. Крупіль, Київська обл. з поголів'ям 6000 голів ВРХ, переробляється гній ВРХ та силос кукурудзи у трьох реакторах об'ємом 2400м³ кожен та один - 1000 м³. Потужність установки складає 955 кВт. На 2013 рік цією компанією запущено в експлуатацію 4 біогазові установки, три з яких призначені для роботи з відходами тваринницьких ферм. Одним із найбільших об'єктів цієї компанії є БГУ збудована у с. Підгородне Дніпропетровської області на базі агрохолдингу «Деміс Агро» свинарної спрямованості потужністю 125 кВт електроенергії.

1.2 Конструкція та принцип роботи біогазової установки

Принципова схема біогазової установки наведено рис. 1.1. Відходи надходять у приймальний резервуар для подрібнення великих включень. В ньому відбувається їх попереднє накопичення, гомогенізація, перемішування, осадження та видалення важких фракцій.

Подача сировини в метантенк відбувається 1-2 рази на добу за допомогою спеціального насоса для рідких та в'язких субстратів. МТ є основою біогазової установки, в якому відбувається зброджування біомаси та виділення БГ. МТ є газонепроникним, герметичним резервуаром. Для підтримки стабільної температури всередині метантенка обладнується система обігріву (змійовик). Субстрат 2 рази на добу перемішується за допомогою турбінної мішалки.

Отримуваний БГ збирається в газгольдер. Газгольдер є ємністю, що виконує функцію акумулювання газу. З газгольдера йде безперервна подача біогазу на станцію очищення біогазу (СОБ) і далі через ГРП, з компресором, що підвищує тиск, на котельню.

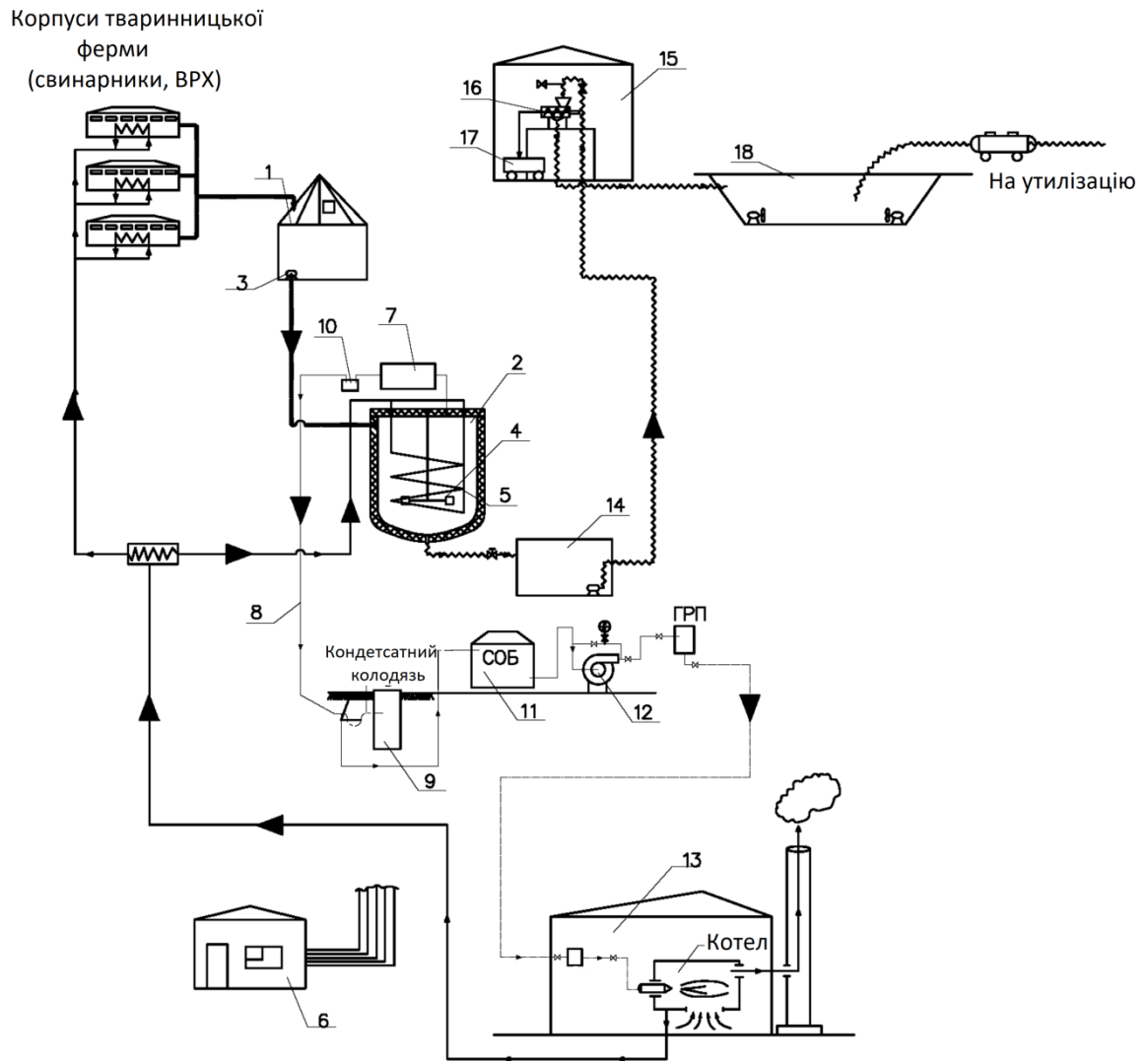


Рисунок 1.1 – Принципова схема біогазової установки:

1-приймальний резервуар, 2- метантенк, 3-насос, 4-турбінна мішалка, 5-змійовик, 6- система автоматики, 7-газгольдер, 8-газопровід, 9- пристрій для відведення конденсату, 10 - запобіжний клапан, 11 - станція очищення біогазу, 12 - компресор, 13 - теплогенеруюча установка, 14 - ємність для збору зброженої біомаси, 15-сепараторна, 16-шнековий барабанний сепаратор, 17-ємність для твердої фракції, 18-ємність для рідкої фракції.

Управління роботою всієї біогазової установки відбувається за командами системи автоматики. Отримуваний БГ збирається в газгольдер. Газгольдер є ємністю, що виконує функцію акумулювання газу. Відведення БГ

відбувається газопроводом, який оснащений пристроями автоматичного відведення конденсату та запобіжними пристроями, захищають газгольдер від перевищення допустимого тиску. З газгольдера йде безперервна подача біогазу на станцію очищення біогазу (СОБ) і далі через ГРП, з компресором, що підвищує тиск, на котельню.

Перероблений субстрат подається на механічний поділ у шнековий барабан-сепаратор. Система механічного поділу поділяє масу на тверду (зневоднений шлам) та рідку (фугат) фракції. Зневоднений шлам не має запаху, не містить патогенної мікрофлори і є висококонцентрованим, знезараженим, дезодорованим органічним добривом, придатним для безпосереднього внесення у ґрунт. Фугат - знезаражена, дезодорована рідина, яка використовується як органічне підживлення для поливу або зрошення різних сільськогосподарських культур.

Автоматика, що керує біогазовою установкою, контролює роботу насосів, мішалки, системи підігріву, газової автоматики. Використання біогазу як альтернативне паливо можливе після попереднього очищення біогазу від води, сірководню та діоксиду вуглецю. Оскільки БГ насичений вологою, необхідне його охолодження в конденсаційному колодязі. Після цього БГ підігрівається і вміст вологи в ньому зменшується. Сірководень, що міститься в біогазі, змішуючись з водою, утворює кислоту, що викликає корозію металу. Найбільш ефективним методом очищення від сірководню є сухе очищення у спеціальному фільтрі. Як десульфуризатор застосовують різні абсорбенти. Діоксид вуглецю може бути відокремлений шляхом вбирання у вапняне молоко. Вуглекислота сама по собі є цінним продуктом, який можна використовувати у різних виробництвах. Отриманим біогазом можна частково замінити природний газ, який витрачається для потреб фермерського господарства. На нагрівання МТ витрачається одержуваного біогазу до 10% влітку і до 20% взимку.

1.3 Конструкції метантенків для збродження відходів біомаси

За формою розрізняють МТ: яйцеподібні, циліндричні, кулясті, траншейні, кубічні та ін.

З точки зору створення найбільш сприятливих умов для перемішування рідкого субстрату, накопичення газу, відведення опадів та руйнування кірки, що утворюється, на поверхні субстрату доцільно використання резервуарів яйцеподібної форми (Рис.1.3а). Великі реактори такої форми зазвичай споруджують із бетону, тому для них характерна висока вартість виготовлення, що суттєво обмежує їхнє застосування.

Для циліндричного резервуара з конусними верхньою та нижньою частинами (Рис.1.3б), як й у овальної форми, характерні невелике простір для накопичення газу, обмежений обсяг плаваючої кірки, а також хороше відведення шламу. Однак у подібних реакторах створюються менш сприятливі умови для переміщення рідкого субстрату. Резервуари великого обсягу такої форми, використовуються в комунальних установках для очищення та розкладання стоків, як і реактори овальної форми, виготовляють з бетону. Однак «циліндричні» реактори дещо дешевші. В індивідуальних господарствах реактори даної форми роблять із сталі. Циліндричні резервуари (Рис.1.3в) відносно прості у виготовленні, що пояснюється великим досвідом будівництва ємностей для сільськогосподарських цілей (сталеві, бетонні, склопластикові цистерни бункера для силосу та інших кормів). Однак у порівнянні з резервуарами попередніх форм у циліндричному резервуарі неможливо організувати досить хороші умови для переміщення субстрату, при цьому доводиться зважати на більш високі витрати на видалення осаду і руйнування плаваючої кірки, що пов'язано із збільшенням витрати енергії на перемішування маси.

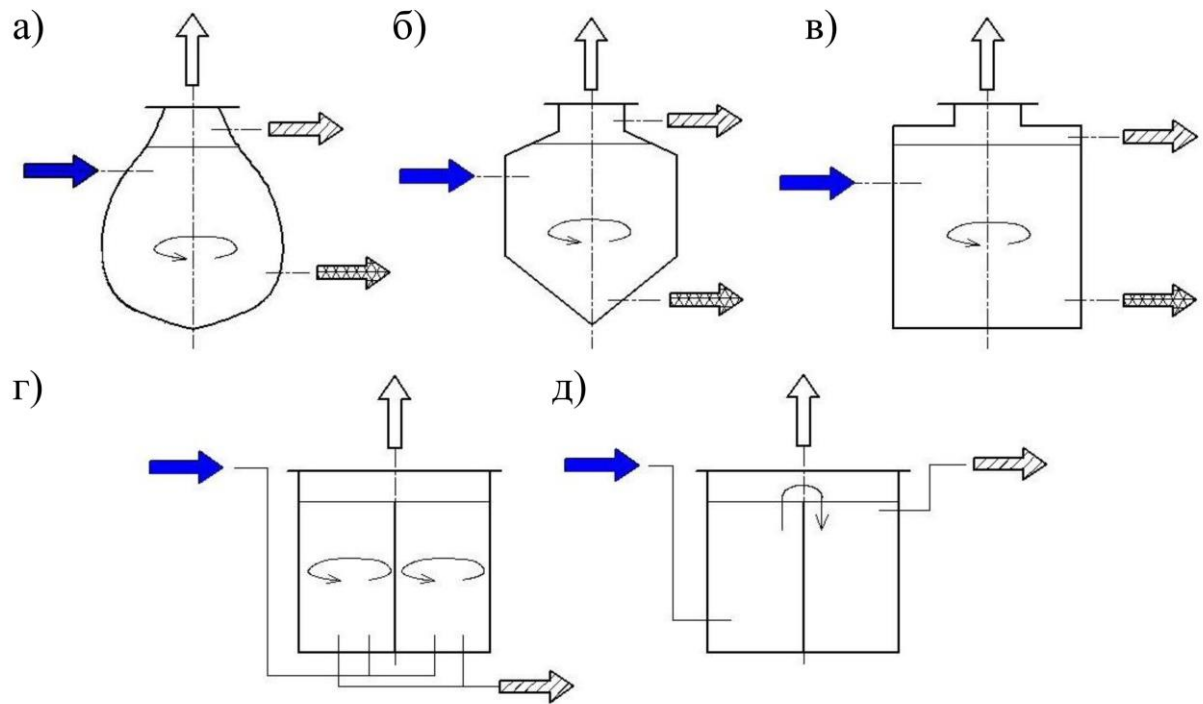


Рисунок 1.3 - Найбільш поширені форми МТ:





а) - овальна;

б) – циліндрична з конусними верхньою та нижньою частинами;

в) – циліндрична;

г) - циліндрична з перегородкою;

д) – у вигляді паралелепіпеда (з перегородкою)

 - свіжа біомаса;
  - твердий залишок;
  - перебродила біомаса;
  - біогаз.

У простих невеликих біогазових установках МТ має форму паралелепіпеда (Рис.1.3д). Для підвищення ефективності такий реактор перегороджують вертикальною стінкою, створюючи головну бродильну камеру та камеру для остаточного зброджування та осадження шламу. В установках даного типу неможливо забезпечити рівномірне перемішування маси та керування завантаженням робочого об'єму резервуара, а також дотримання часу перебування маси у реакторі.

1.4 Фактори, що впливають на інтенсивність процесу зброджування біомаси в метантенці

Метаногенні бактерії є дуже чутливими анаеробами, тому необхідно суворо дотримуватися технології отримання біогазу в анаеробних умовах. Активність обміну речовин та інтенсивність виробництва метану залежить від складу субстрату, підтримуваної температури та її коливань, терміну витримки, вологості, перемішування субстрату. Виробництво БГ може здійснюватися у широкому температурному діапазоні. Залежно від температурного режиму, який підтримується в МТ у процесі роботи, розрізняють три режими зброджування: психрофільний (10 – 20°C), мезофільний (30 – 45°C), термофільний (50 – 65°C). Зброджування біомаси при психрофільному режимі роботи, у кліматі з низькими температурами не застосовується. Це пов'язано з тим, що збільшується тривалість зброджування та спостерігається невелика продуктивність біогазу.

На практиці застосовуються мезофільний та термофільний режими зброджування. Кожен із цих режимів має свої переваги та недоліки. Перевагами термофільного режиму зброджування є висока швидкість розкладання біомаси, збільшення обсягу одержуваного БГ. До недоліків термофільного режиму відносяться велика кількість тепла, необхідного на підтримку високої температури в МТ, при цьому зростає чутливість бактерій до мінімальних змін температури, що призводить до зменшення обсягу одержуваного БГ. Тому робота при високих температурах вимагає встановлення спеціальних систем автоматизації та точного управління роботою біогазової установки. До недоліків термофільного режиму зброджування можна віднести той факт, що при високих температурах розчинений в біомасі двоокис вуглецю інтенсивніше переходить у газоподібну фазу (в біогаз), при цьому вміст метану скорочується. Ступінь чутливості бактерій до зміни температури залежить від температурного режиму, при якому відбувається зброджування біомаси.

Більшість установок працюють у мезофільному режимі з температурою зброджування 40 °С. З метою підтримки постійної температури передбачено нагрівальні елементи змонтовані всередині МТ. Розрізняють різні способи нагрівання субстрату: такі як нагрівання гарячою водою через ЗМ, електронагрівання, нагрівання паром. Кількість теплоти необхідна для підтримки заданої температури складається з кількості теплоти, що витрачається на нагрівання свіжої порції БМ і компенсацію тепловтрат.

Однією з умов ефективного розкладання біомаси в біореакторі є масообмін на поверхні твердої та рідкої фаз субстрату. Для забезпечення розвиненої поверхні масопереносу необхідно перед завантаженням у МТ подрібнити біомасу. Це пов'язано з тим, що у свіжій біомасі міститься велика кількість сировини рослинного походження. Перед подачею сировини для подрібнення його необхідно ретельно перемішати, і для цього навозозбірники тваринницьких ферм обладнані пристроями для перемішування осаду та гомогенізації гною.

Рівномірне розподілення температури по всьому об'єму досягається шляхом перемішування біомаси. Розрізняють механічне, гідравлічне перемішування та барботаж. Для реакторів малих обсягів застосовуються механічні мішалки з ручним приводом. Так само одним із завдань мішалки є запобігання утворенню кірки на поверхні зброджуваної маси (ЗМ) і випадання осаду у вигляді твердих частинок ТЧ.

Тим не менш, загалом, метантенки можуть працювати в режимах:

- періодичному;
- безперервному;
- квазінеперервному (при завантаженні та вивантаженні маси, що зброджується через короткі часові відтинки).

Вологість субстрату відіграє у процесі зброджування також свою роль. Для можливості рівномірного перемішування та стабільного розкладання бактерій вологість біомаси повинна бути в межах 85-95%.

Робочий тиск у МТ грає незначну роль в утворенні біогазу, тому більшість МТ працюють при тиску, що трохи перевищує атмосферний.

Таким чином, досягнення максимальної кількості одержуваного біогазу можливе тільки при дотриманні всіх технологічних факторів, основними з яких є температура зброджування, режим перемішування, вологість біомаси, тривалість зброджування.

Процес розвитку біогазових установок показав, що конструктивне виконання МТ має велике значення для організації технології зброджування біомаси МТ повинен відповідати таким вимогам:

- міцність та надійність у процесі експлуатації біогазової установки;
- корозійна стійкість внутрішньої поверхні МТ при зброджуванні біомаси;
- мінімальні теплові втрати у доквілля, через зовнішні поверхні;
- дотримання технологічних режимів зброджування;
- простота завантаження свіжої біомаси та вивантаження збродженого субстрату.

Стабільна робота МТ повинна супроводжуватись постійним дотриманням технологічних факторів. Недоліком сучасних МТ великого обсягу є те, що спостерігається нерівномірне та нестабільне нагрівання біомаси по всьому об'єму.

Це пов'язано з тим, що виникає непрогрітий шар біомаси в нижній частині МТ та перегрів її в області нагрівача. Це призводить до пригнічення розвитку метаногенних бактерій і, як наслідок, зниження обсягу одержуваного біогазу. Тому виникає інтерес до розгляду та інтенсифікації термостабілізаційних процесів у МТ.

Велике поширення як пристрій для знезараження стічних вод метантенки отримали в очисних спорудах водовідведення. У даних спорудах, у вітчизняній практиці, підігрів осаду найчастіше здійснюється гострим паром. Пара низького тиску з температурою 110...112°C подається у всмоктувальну трубу насосом при подачі та перемішуванні осаду або безпосередньо у МТ через паровий інжектор. Даний метод підігріву СМ має

низку недоліків. У процесі експлуатації отвори паровпускних труб інжекторного підігрівача зменшуються через утворення на них відкладень солей. Так само при раптовому зниженні тиску пари в паропровідній розподільчій системі осад з МТ може потрапити до паропроводу та викликати аварію. Основним недоліком застосування даного способу нагрівання є високі температури пари, що призводять до загибелі бактерій, що беруть участь у процесі утворення метану.

У роботі запропоновано схему та математичну модель теплообміну в МТ з лопатевою мішалкою та теплообмінником (Рис.1.4).

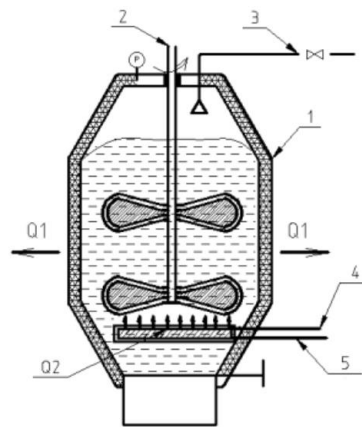


Рисунок 1.4 - Біогазовий реактор з лопатевою мішалкою та теплообмінником: 1 – утеплений корпус; 2 – лопатева мішалка; 3 – трубопровід відведення біогазу; 4 – трубопровід теплоносія, що подає; 5 – зворотний трубопровід теплоносія; Q_1 – тепловтрати корпусу; Q_2 – кількість теплоти, що передається від теплоносія до маси, що зброджується.

У запропонованій схемі біогазового реактора досліджували особливості нестационарного теплообміну. Для нагрівання використовувався теплоносії з температурою на вході 60°C , що протікає у трубопроводах 4 і 5. Перемішування субстрату проводиться лопатевою мішалкою 2.

Недоліком даного біогазового реактора є неможливість рівномірного нагріву всього об'єму маси, що зброджується, так як нагрівальний елемент

встановлюється у нижній частині реактора. У період, коли лопатева мішалка відключена, спостерігатиметься перегрів нижньої частини та зниження температури СМ у верхній частині реактора.

У роботі пропонується використовувати конструкцію квазінеперервного типу з трисекційним МТ, як нагрівач застосовується трубчастий електронагрівач. Схема установки наведена рис. 1.5. Установка є тристадійним МТ 1, в центральній частині якого розташований трубчастий електронагрівач. Сировина завантажується через приймальний пристрій в крайню зону реактора і далі переміщається в термофільну камеру 4 де підігривається електронагрівачем 5. Підігрівна сировина перемішується за допомогою мішалок 8. Тиск у МТ регулюється за допомогою манометра 9. Газ відбирається шлангами газгольдер.

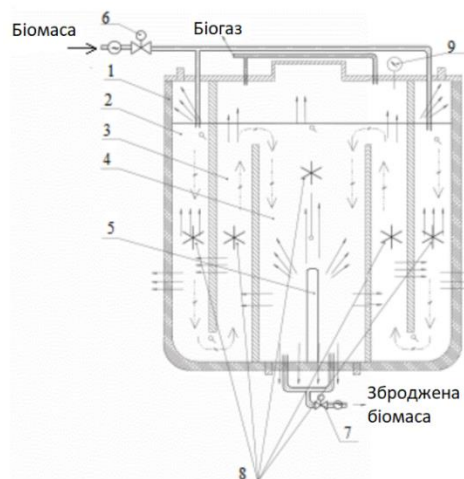


Рисунок 1.5 - Схема біогазової установки із тристадійним метантенком:

1 – тристадійний МТ; 2 – психрофільна камера; 3 – мезофільна камера; 4 – термофільна камера; 5 - трубчастий електронагрівач; 6 – насос подачі біомаси; 7 – насос відкачування збродженої біомаси; 8 – перемішують пристрої; 9 – манометр.

У кожній зоні збродження підтримується встановлений температурний режим, що дозволяє забезпечувати вироблення газу. Але в цій конструкції є недолік, що полягає у нерівномірному розподілі теплоти всередині реактора, що веде до додаткових витрат електроенергії при роботі МТ. Для підтримки

постійної температури запропоновано конвективно-індукційне нагрівання (Рис. 1.6).

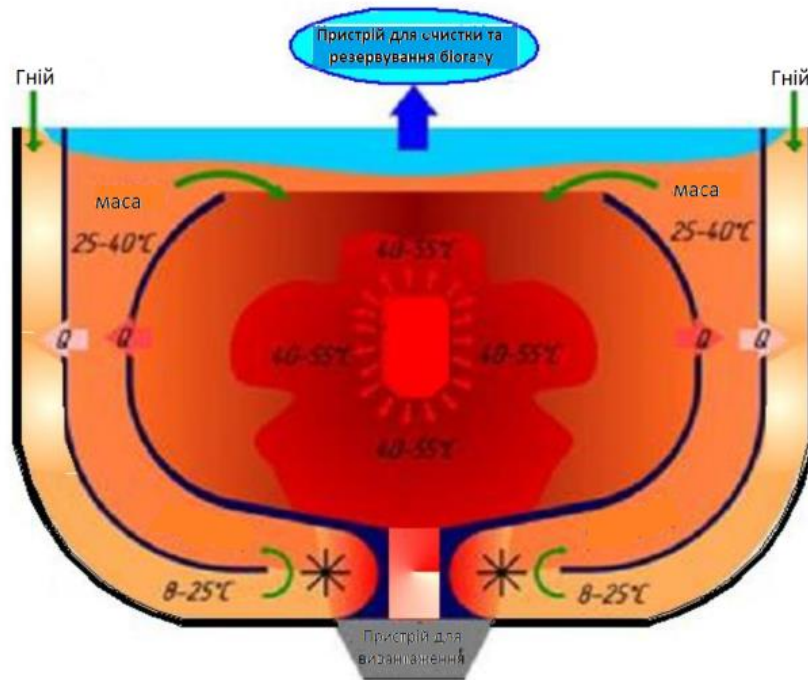


Рисунок 1.6 - Схема МТ з конвективно-індукційним нагріванням

Схема фізичної моделі процесу безперервного метанового зброджування з конвективно - індукційним нагріванням розроблено так, що високотемпературна (термофільна) зона знаходиться в центральній частині МТ, при цьому маса центральної зони розігріває мезофільну та психрофільну зони за рахунок конструктивних елементів реактора, а саме звуження зони вивантаження переробленого гною, призводить до інтенсивних теплофізичних процесів передачі тепла сировині, що знову надходить. Також розігрів біомаси здійснюється контактним нагріванням через перегородки, що розділяють ці зони, та дифузії субстрату.

1.5 Висновки за першим розділом

1. Проведено літературний огляд технологічних процесів анаеробного зброджування. На підставі цього можна вважати, що для стабільного

зброджування біомаси та виходу біогазу необхідно суворе дотримання всіх технологічних властивостей роботи МТ.

2. Проведено огляд конструкцій МТ, які показали, що існуючі МТ складні у виготовленні, а при експлуатації дотримуватися технологічних процесів анаеробного зброджування буде важко.

3. Аналіз технологічних процесів анаеробного зброджування показав, що одним із основних факторів, що впливають на підвищення ефективності роботи МТ, є температурний режим зброджування, дослідження якого необхідно вдосконалити математичну модель процесів тепломасообміну в метантенці.

4. Виконані аналітичні дослідження дозволяють зробити висновок, що облік впливу відкладень твердих частинок на поверхні змійовика мало вивчений. Тому дослідження впливу відкладень на поверхнях нагрівальних елементів на інтенсивність теплообміну між гріючим теплоносієм і масою, що зброджується, є необхідними.

2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОСНОВНИХ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОМАСООБМІНУ В ПРОПОНОВАНІЙ КОНСТРУКЦІЇ МЕТАНТЕНКА

На підставі аналізу літературних даних встановлено, що конструкція МТ повинна дозволити дотримуватись усіх необхідних технологічних умов процесу зброджування. Однією з основних умов є підтримка постійної температури зброджування. Для виконання цього завдання необхідно інтенсифікувати процеси теплообміну у МТ. Пропонована схема МТ для аналізу процесів теплообміну в МТ представлено на рис. 2.1.

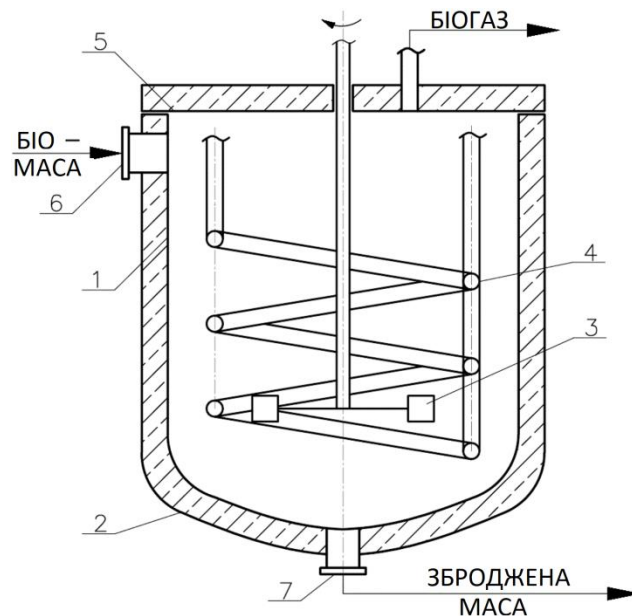


Рисунок 2.1 – Схема МТ для фермерського господарства:

1-циліндрична частина МТ, 2- днище МТ, 3- лопатева мішалка, 4- змієвик, 5- кришка, 6-патрубок для подачі свіжої біомаси, 7-патрубок для видалення зброженої маси

Прототипом пропонованої конструкції МТ є апарати, що застосовуються у хімічній промисловості. Для отримання біогазу найбільш оптимальною та

довговічною є конструкція МТ, виготовлена з монолітного кислототривкого бетону.

Перевагою бетону є те, що він може витримувати великі статичні та динамічні навантаження важкого обладнання. Такі резервуари встановлюються лише наземно.

Основними вузлами МТ є корпус, що складається з циліндричної частини 1 та днища 2. У середині корпусу змонтовані лопатева мішалка 3 та ЗМ 4. Корпус закриває кришка 5, в якій є технологічні отвори для валу мішалки, підведення та відведення гріючої води та відведення біогазу. Для герметизації з'єднання корпусу та кришки, між ними обов'язково укладається ущільнювальний матеріал. Свіжа біомаса надходить у МТ через патрубок 6, а зброджена біомаса видаляється знизу через патрубок 7.

До якості бетону висуваються відповідні вимоги: водостійкість та стійкість до агресивного середовища. Особливо слід враховувати криву ситового аналізу наповнювачів, водоцементне відношення, а також ретельне ущільнення та уникнення робочих швів та усадкових тріщин. Сірковмісні кислоти, що виступають над рівнем субстрату в зоні накопичення газу, викликають корозію бетону. Тому існує потреба дотримуватись вимог до якості бетону, відповідної рецептури виготовлення бетону. Додатково можна встановити спеціальний захист у верхню частину МТ. Для цього стіни у верхній частині, а в окремих випадках і нижня частина кришки покриваються поліетиленовими панелями або 2-компонентним шаром зі штучного матеріалу. МТ з бетону мають бути газонепроникними. Усадочні тріщини та мікропори, що утворюються при затвердінні бетону внаслідок випарювання води, у майбутньому без додаткового покриття зсередини будуть викликати важко контрольовані газовтрати під час експлуатації. Місця стиків кришки та циліндричної частини слід оснастити еластичними ущільнювальними сполучними стрічками. Як додатковий захист рекомендується застосовувати аерозольне покриття або шпаклівку кутів за допомогою ущільнювальної

маси тривалої еластичності на базі силікон-каучуку, поліуретану або бітум-каучуку.

Для проведення досліджень у роботі прийнято конструкцію МТ, виконаного з бетону та не має теплоізоляції. Щоб отримати необхідну для анаеробного процесу зброджування температуру та підтримки її на постійному рівні необхідно через зміювик 4 нагріти масу, що зброджується до температури зброджування $t_{збр}=40^{\circ}\text{C}$, а після виходу на стаціонарний режим роботи МТ підтримувати її з урахуванням тепловтрат. При завантаженні свіжої біомаси, температура якої нижче температури зброджування, в МТ необхідно збільшити підведення теплоти через зміювик у поєднанні з інтенсивним перемішуванням біомаси. Це призведе до стабілізації температури у всьому обсязі МТ.

У процесі експлуатації на поверхні ЗМ відкладаються зважені в субстраті тверді частинки, це призводить до зменшення теплового потоку від зміювика до РМ. Інтенсивне перемішування дозволяє частково прибирати ці відкладення, але оскільки перемішування здійснюється тільки після завантаження свіжої біомаси, відкладення на ЗМ будуть присутні. Підтримка постійного теплового потоку призведе до збільшення потужності нагріву нагріваючого теплоносія, і як наслідок, до збільшення витрат паливно-енергетичних ресурсів на його нагрівання.

З вищевикладеного випливає, що для підвищення ефективності роботи МТ, тобто забезпечення високого та стабільного обсягу одержуваного біогазу, необхідне дослідження температурного режиму в установці, у тому числі дослідження впливу товщини відкладень на інтенсивність тепловіддачі від ЗМ до РМ.

Таким чином, одним із факторів підвищення ефективності роботи МТ є скорочення витрати пального на отримання біогазу у процесі експлуатації установки. Це можливо за рахунок оптимізації температурного режиму зброджування.

Процес анаеробного зброджування відходів тваринницьких ферм описується наступними рівняннями:

$$\begin{aligned}\frac{dT}{d\tau} &= (\mu - \mu)T; \\ \frac{dS}{d\tau} &= \tau j_s T - V - \bar{V}; \\ \frac{dP}{d\tau} &= \tau j_p T - M + \bar{M},\end{aligned}\tag{2.1}$$

де T , S , P - відповідно концентрації гною, що зброджується, субстрату і продукту метаболізму, кг/т;

τ – тривалість анаеробного зброджування;

μ і $\tilde{\mu}$ – питомі швидкості росту та метаболізму біомаси зароджуваного субстрату, сут-1;

j_S та j_P – питомі швидкості розкладання субстрату та утворення продукту метаболізму, сут-1;

V і \bar{V} – швидкості розкладання субстрату та утворення продукту метаболізму, кг/т·доб.;

M і \bar{M} – швидкості масообміну субстрату та продуктів метаболізму при переході з однієї фази до іншої, кг/т·сут.

У цій моделі (2.1), згідно з третім рівнянням, враховуються кінематичні залежності швидкості масообміну субстрату та швидкості продуктів метаболізму як основні фактори, що впливають на процес ефективного розкладання ОБ у РД.

Для конструкції МТ, що розглядається, стабільне зброджування може бути забезпечено в тому випадку, якщо втрати в довкілля $Q_{\text{пот}}$ і витрати теплоти на підігрів свіжої порції біомаси $Q_{\text{св.бм}}$ компенсуються теплотою, що сприймається СМ через зміювик від гріючого теплоносія $Q_{\text{нагр}}$ і теплотою екзотермічної реакції розкладання біомаси та утворення біогазу $Q_{\text{сбр}}$ (Рис. 2.2).

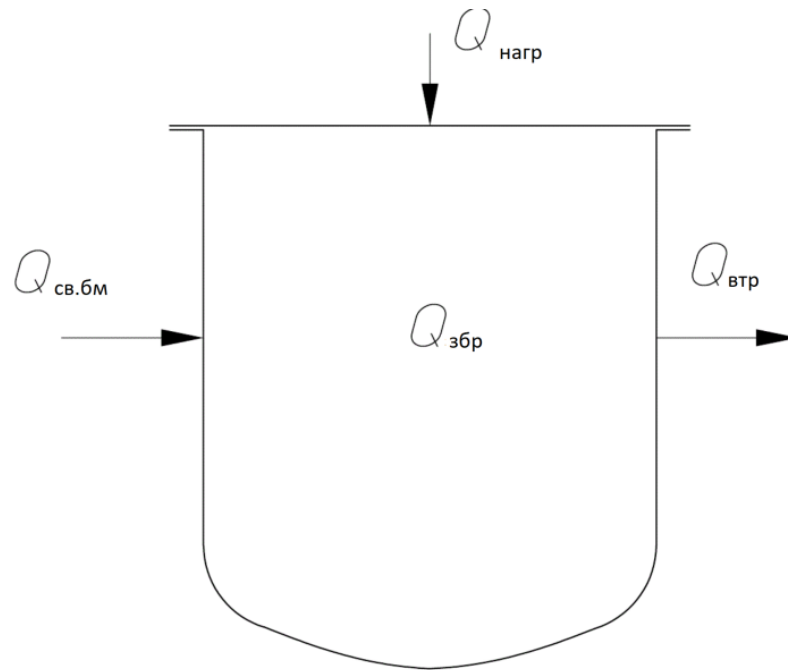


Рисунок 2.2 - Розподіл потоків теплоти в МТ:

$Q_{\text{нагр}}$ – кількість теплоти, що підводиться до метантенки, кДж/сут;

$Q_{\text{збр}}$ - кількості теплоти, що утворюється при анаеробному розкладанні біомаси, кДж/добу;

$Q_{\text{втр}}$ – втрати теплоти у довкілля через стінки МТ, кДж/сут;

$Q_{\text{св.бм}}$ – необхідна теплота для нагрівання свіжої порції біомаси, кДж/добу.

Виходячи з цього, тепловий баланс у МТ можна записати у вигляді наступного рівняння

$$Q_{\text{нагр}} + Q_{\text{збр}} = Q_{\text{св.бм}} + Q_{\text{пот}} \quad (2.2)$$

У біохімічних процесах анаеробного зброджування біомаси спостерігається виділення тепла. Це відбувається на етапі розщеплення анаеробних бактерій та утворення оцтової кислоти. Це питання розглянуто у роботах і ґрунтуючись на тому, що сумарне тепловиділення незначне, величиною $Q_{\text{збр}}$ можна знехтувати.

Для визначення теплових втрат необхідно розрахувати габаритні розміри МТ. Розрахунок габаритних розмірів МТ наведено у додатку А.

Враховуючи цей факт, вираз (2.2) набуває вигляду

$$Q_{нагр} = Q_{св.бм} + Q_{пот} \quad (2.3)$$

Приймаючи час нагрівання свіжої порції СМ до $t_{сбр}$ рівним $\tau_{нагр}$, необхідна теплова потужність нагріву $Q_{св.бм}$, складе

$$Q_{св.бм} = \frac{Q'_{св.бм}}{\tau_{нагр}} \quad (2.4)$$

Так як температура порції, що вводиться біомаси $t_{вв}$ завжди нижче температури зброджування $t_{сбр}$ і дорівнює температурі зовнішнього повітря, то для нагріву свіжої порції необхідно витратити теплоту $Q'_{св.бм}$, кДж

$$Q'_{св.бм} = m_{вв} \cdot c_{см}|_{t_{вв}} \cdot (t_{сбр} - t_{вв}) \quad (2.5),$$

де $m_{вв}$ - маса свіжої порції, що вводиться біомаси, кг;

$c_{см}|_{t_{вв}}$ - Питома теплоємність СМ при $t_{вв}$, кДж/(кг · К);

$t_{сбр}$ - температура зброджування, °С;

$t_{вв}$ – температура свіжої порції біомаси, що вводиться, °С.

Маса свіжої порції СМ $m_{вв}$, кг, що вводиться, складе

$$m_{вв} = V_{вв} \cdot \rho|_{t_{вв}} \quad (2.6)$$

де $V_{вв}$ - обсяг біомаси, що вводиться, м³;

$\rho|_{t_{вв}}$ - щільність свіжої порції СМ при температурі введення $t_{вв}$, кг/м³.

Величина $V_{вв}$ залежить від планової тривалості зброджування та частоти n виконання операцій заміни РМ у МТ

$$V_{вв} = V_{уд} = \frac{V_p}{\tau \cdot n} \quad (2.7)$$

де V_p – робочий об'єм МТ, м³;

τ -планова тривалість зброджування, діб;

n - частота заміни РМ, 1/добу.

Теплові втрати МТ можна визначити за рівнянням теплопередачі

$$Q_{пот} = K \cdot F \cdot (t_{сбр} - t_{вх}) \quad (2.8)$$

де K - коефіцієнт теплопередачі від СМ через зовнішні стінки МТ до навколишнього повітря;

F – площа зовнішніх стін МТ;

$t_{вх}$ – температура зовнішнього повітря.

Для дослідження теплообміну МТ із навколишнім середовищем використовується пропонована конструкція МТ. Так як конструктивно МТ являє собою циліндричний резервуар з плоскою кришкою та овальним днищем, то раціонально розглядати тепловтрати корпусу, днища та кришки окремо.

2.1 Теплообмін між зовнішніми поверхнями МТ та довкіллям

Розглянемо процес передачі теплоти від маси, що зброджується, через стінки резервуара МТ до навколишнього повітря. При аналізі теплообміну враховували особливості тепловіддачі до повітря плоскої кришки, циліндричної частини МТ та днища при омиванні їх потоком повітря, що рухається зі швидкістю $w_{вх}$ і має температуру $t_{вх}$. Перенесення теплоти від

плоскої кришки до повітря відповідає окремому випадку конвективного теплообміну – обмивання плоскої горизонтальної стінки потоком рідини. При цьому визначальний розмір поверхні, що омивається l_k дорівнює

$$l_k = \frac{2 \cdot D_k}{\pi}, \text{ м} \quad (2.9)$$

де D_k - діаметр кришки МТ, м.кв.

За значенням числа Рейнольдса встановлюється режим перебігу

$$\text{Re} = \frac{w_{vx} \cdot l_k}{\nu_{vx}}, \quad (2.10)$$

де ν_{vx} - коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря, м²/с.

Критеріальне рівняння при обмиванні кришки для розрахунку числа Нуссельта має вигляд

$$\text{Nu}_k = 0,032 \cdot \text{Re}_k^{0,8}, \quad (2.11)$$

а відповідне значення коефіцієнта тепловіддачі від кришки до повітря α_2^k дорівнює

$$\alpha_2^k = \frac{\text{Nu}_k \cdot \lambda_{vx}}{l_k}, \quad (2.12)$$

де $\text{Nu}_k = \frac{\alpha_2^k \cdot l_k}{\lambda_{vx}}$ - число Нуссельта;

λ_{vx} – коефіцієнт теплопровідності повітря, Вт/(м·К).

Коефіцієнт теплопередачі через кришку МТ визначали за рівнянням

$$K_{\kappa} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1^k} + \frac{\delta_{\kappa}}{\lambda_{\kappa}} + \frac{1}{\alpha_2^k}}. \quad (2.13)$$

Тепловий потік через кришку дорівнює

$$Q_{\kappa} = \frac{K_{\kappa} \cdot \pi \cdot D_{\kappa}^2 \cdot (t_{\text{сбp}} - t_{\text{ex}})}{4}. \quad (2.14)$$

Теплообмін між циліндричною частиною МТ та повітрям розглядали як омивання потоком рідини (вітру) одиночного циліндра. В якості характерного розміру прийнято діаметр циліндра.

Визначивши число Рейнольдса Re_{κ}

$$Re_{\kappa} = \frac{w_{\text{ex}} \cdot D_{\kappa}}{\nu_{\text{ex}}}, \quad (2.15)$$

де D_{κ} – зовнішній діаметр циліндра.

Число Нуссельта Nu_{κ}

$$Nu_{\kappa} = 0,22 Re_{\kappa}^{0,5}. \quad (2.16)$$

Коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні циліндра до повітря розраховується

$$\alpha_{\kappa} = \frac{Nu_{\kappa} \cdot \lambda_{\text{ex}}}{D_{\kappa}}, \quad (2.17)$$

де D_{κ} – зовнішній діаметр циліндричної частини м.

Оскільки відношення внутрішнього та зовнішнього діаметрів $n = D_{\text{н}}/D_{\text{в}} < 1,4$ для розрахунку коефіцієнта теплопередачі циліндричної частини, K_{κ} , прийняли рівняння (2.13), що застосовується для плоскої стінки.

Тепловий потік через циліндричну стінку визначено за рівнянням

$$Q_{\kappa} = K_{\kappa} \cdot \pi \cdot D_{\kappa} \cdot H \cdot (t_{\text{сбp}} - t_{\text{ex}}). \quad (2.18)$$

При аналізі теплообміну між днищем МТ та повітрям було прийнято, що овальне днище є кульовий сегмент.

Як характерний розмір прийняли діаметр зовнішньої поверхні D_n .

Після розрахунку числа Рейнольдса Re_D із виразу

$$Re_D = \frac{w_{ex} \cdot D_D}{\nu_{ex}}, \quad (2.19)$$

число Нуссельта для випадку обтікання кулі знаходили за рівнянням

$$Nu_D = 2 + 0,03 Re_D^{0,5} \cdot Pr_{ex}^{0,33} + 0,35 Re_D^{0,58} \cdot Pr_{ex}^{0,35}, \quad (2.20)$$

а коефіцієнт тепловіддачі від днища до повітря α_2^D за формулою

$$\alpha_2^D = \frac{Nu_D \cdot \lambda_{ex}}{D_D}. \quad (2.21)$$

Коефіцієнт теплопередачі через кульову поверхню K_D [Вт/м²·К] виражається рівнянням

$$K_D = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1^D \cdot D_s^2} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{cm}} \cdot \left(\frac{1}{D_s} - \frac{1}{D_n} \right) + \frac{1}{\alpha_2^D \cdot D_n^2}}, \quad (2.22)$$

де α_1^D – коефіцієнт тепловіддачі від СМ до внутрішньої поверхні днища, Вт/(м²).

Бічна поверхня шарового сегмента F_D дорівнює

$$F_D = \pi \left[\left(\frac{D_D}{2} \right)^2 + h_D^2 \right], \quad (2.23)$$

де $\frac{D_d}{2}$ и h_d - хорда та стріла кульового сегмента, м.

Тепловий потік через днище до повітря може бути обчислений за рівнянням

$$Q_d = K_d \cdot (t_{cm} - t_{ax}) \cdot \frac{F_d}{F_{ш}}, \quad (2.24)$$

де $F_{ш}$ - площа поверхні кулі, м².

Сумарний тепловий потік через зовнішні поверхні МТ

$$Q_{ном} = Q_k + Q_{ц} + Q_d. \quad (2.25)$$

З рівняння теплового балансу (2.2) випливає, що кількість теплоти необхідної для підтримки температури в МТ витрачається компенсацію втрат тепла у навколишнє середовище та нагрівання свіжої порції біомаси. При завантаженні свіжої порції біомаси для усереднення температури у всьому обсязі МТ включається механічна мішалка. Коли температура всієї СМ має одну температуру зброджування механічна мішалка вимикається. Так само з метою складання температурних режимів процесу зброджування необхідно визначити час нагрівання РМ. Час нагріву дорівнюватиме часу роботи механічної мішалки $t_{нагр} = t_{міш}$. Процес передачі тепла у даних режимах роботи МТ різний. Тому необхідно розглядати процес нагрівання СМ для двох режимів нагріву - перший за умови механічного перемішування, другий при природному перемішуванні біомаси, що зброджується, бульбашками біогазу, який утворюється (барботаж).

2.2 Теплообмін при нагріванні маси, що зброджується через змійовик

У процесі роботи МТ спостерігається налипання органічної маси як відкладень на нагрівальний елемент. Це пов'язано з тим, що СМ складається з

суміші сухого ОВ та води. Незважаючи на перемішування СМ, на ЗМ буде утворюватися шар відкладень. Дослідження показали, що спостерігається нерівномірність у товщині відкладень за довжиною ЗМ після перемішування на частині ЗМ, яка розташована в одній горизонталі з мішалкою, поява відкладень незначна, а в нижній та верхній частинах ЗМ спостерігаються значні відкладення твердих частинок біомаси. Це пов'язано з тим, що при перемішуванні осьова складова потоку значно менша за окружну і радіальну складових. Зміна кількості оборотів мішалки не істотно впливає на товщину відкладень. На підставі цього можна зробити висновок, що товщина відкладень трохи залежить від швидкості перемішування. Коефіцієнт теплопровідності сухого ОВ становить 0,15-0,25 Вт/м·К. Наліпання сухого ОВ призводить до зниження теплопередачі через низьку теплопровідність відкладень і, як наслідок, збільшення часу нагріву біомаси.

Процес теплопередачі можна умовно розділити на чотири елементарні процеси, при дотриманні закону збереження енергії. Перший процес - тепловіддача від теплоносія, що гріє, до стінки ЗМ; другий процес – процес передачі теплоти теплопровідністю у стінці самого ЗМ; третій – процес передачі теплоти теплопровідністю у налиплих на зовнішню стінку ЗМ відкладах; та четвертий процес – тепловіддача від зовнішньої стінки ЗМ до РМ.

У разі, коли немає відкладень на зовнішній стінці ЗМ, третій процес не враховується. Тепловий потік для кожного із зазначених процесів складе:

$$Q_{нагр} = \alpha_1 \cdot F \cdot (\bar{t}_{cp} - t_{cp1}); \quad (2.26)$$

$$Q_{нагр} = \frac{\pi \cdot l \cdot (t_{cm1} - t_{cm2})}{\frac{1}{2 \cdot \lambda_{зм}} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1}}; \quad (2.27)$$

$$Q_{нагр} = \frac{\pi \cdot l \cdot (t_{ст2} - t_{відкл})}{\frac{1}{2 \cdot \lambda_{відкл}} \cdot \ln \frac{d_3}{d_2}}; \quad (2.28)$$

$$Q_{нагр} = \alpha_2 \cdot F \cdot (t_{відкл} - t_{зм}), \quad (2.29)$$

де F – площа поверхні ЗМ;

\overline{t}_{cp} – середня температура теплоносія, що гріє, °С, визначається як

$$\overline{t}_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2}, \quad (2.30)$$

t_1 і t_2 - температури гріючого теплоносія відповідно на вході та виході із ЗМ;

$t_{ст1}$ і $t_{ст2}$ – температури відповідно на внутрішній та зовнішній стінки ЗМ;

$t_{відкл}$ - температура на поверхні відкладень;

$t_{зм}$ - температура маси, що зброджується;

l - довжина ЗМ, м;

$\lambda_{зм}$ і $\lambda_{відкл}$ - коефіцієнти теплопровідності відповідно до матеріалу ЗМ і відкладень, Вт/(м·К)

d_1 , d_2 , d_3 – відповідно внутрішній діаметр ЗМ, зовнішній діаметр ЗМ, діаметр ЗМ з урахуванням товщини відкладень, м

$$d_3 = d_2 + 2 \cdot \delta_{відкл}, \text{ м.} \quad (2.31)$$

α_2 - коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої стінки ЗМ до СМ, Вт/(м² К).

Рівняння (2.26) визначає тепловий потік від теплоносія, що гріє внутрішньої стінки ЗМ шляхом конвективного теплообміну. Рівняння (2.27) та (2.28) визначають тепловий потік теплопровідністю через стінку ЗМ та

товщину відкладень на ЗМ відповідно. Рівняння (2.29) визначає тепловий потік із зовнішньої поверхні відкладень до РМ.

2.2.1 Тепловіддача від теплоносія до стінки зміювика

Для визначення α_1 необхідно визначити режим руху теплоносія.

Для цього визначається швидкість руху води у ЗМ

$$W_g = \frac{4 \cdot m'_g}{\rho_g|_{t_g} \cdot \pi \cdot d_1^2}, \text{ м/с}, \quad (2.32)$$

де

$\rho_g|_{t_g}$ - густина води при її середній температурі в ЗМ, кг/м³;

m'_g - витрата води, що гріє через ЗМ для компенсації втрат теплової потужності може бути знайдено з рівняння теплового балансу

$$m'_g = \frac{Q_{nom}}{C_g|_{t_g} \cdot (t_{вих} - t_{вх})}, \text{ кг/с}, \quad (2.33)$$

де

$C_g|_{t_g}$ - питома теплоємність води за її середньої температури ЗМ, кДж/(кг·К);

$t_{вх}$, $t_{вих}$ - температура теплоносія на вході та на виході із ЗМ, °С.

Критеріальне рівняння конвективного теплообміну між водою, що гріє та внутрішньою стінкою ЗМ має вигляд

$$Nu_g = 0,021 \cdot Re_g^{0,8} \cdot (Pr|_{t_g})^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr|_{t_g}}{Pr|_{t_{cm}}} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_R, \quad (2.34)$$

де

$Nu_g = \frac{\alpha_1 \cdot \lambda_g|_{t_g}}{d_g}$ - число Нуссельта;

$Re_{\epsilon} = \frac{w_{\epsilon} \cdot d_{\epsilon}}{\nu_{\epsilon}|_{t_{\epsilon}}}$ - число Рейнольдса;

$\epsilon_R = 1 + 1,77 \cdot \frac{d_{\epsilon}}{R_{3M}}$ - поправочний коефіцієнт для вигнутих труб;

α_1 - коефіцієнт тепловіддачі від гріючої води до внутрішньої стінки труби ЗМ, Вт/(м² К);

$\lambda_{\epsilon}|_{t_{\epsilon}}$ та $\nu_{\epsilon}|_{t_{\epsilon}}$ - коефіцієнти теплопровідності та кінематичної в'язкості води при її середній температурі в змійовику, Вт/(м·К) та м²/с;

R_{3M} – радіус ЗМ, м;

$Pr|_{t_{\epsilon}}$ і $Pr|_{t_{cm}}$ - критерії Прандтля для води при її середній температурі змійовику та температурі внутрішньої стінки змійовика.

Температура внутрішньої стінки t_{st} . практично дорівнює середній температурі води. Тому $Pr|_{t_{\epsilon}} \cong Pr|_{t_{cm}}$

2.2.2 Тепловіддача від змійовика при механічному перемішуванні збродженої маси

Розглянемо режим передачі тепла від ЗМ до СМ за її механічному перемішуванні. Перемішування СМ проводиться двічі на добу. Для визначення інтенсивності тепловіддачі від ЗМ до СМ було прийнято такі умови.

Змійниковий нагрівач СМ є рядом витків, кожен з яких можна розглянути як замкнене кільце, що омивається трьома складовими потоку СМ, що рухається: окружної, радіальної та осьової з відповідними швидкостями W_t , W_r , W_a . На рис. 2.3 представлені схема одного кільця ЗМ та напрямки руху складових потоку РМ.

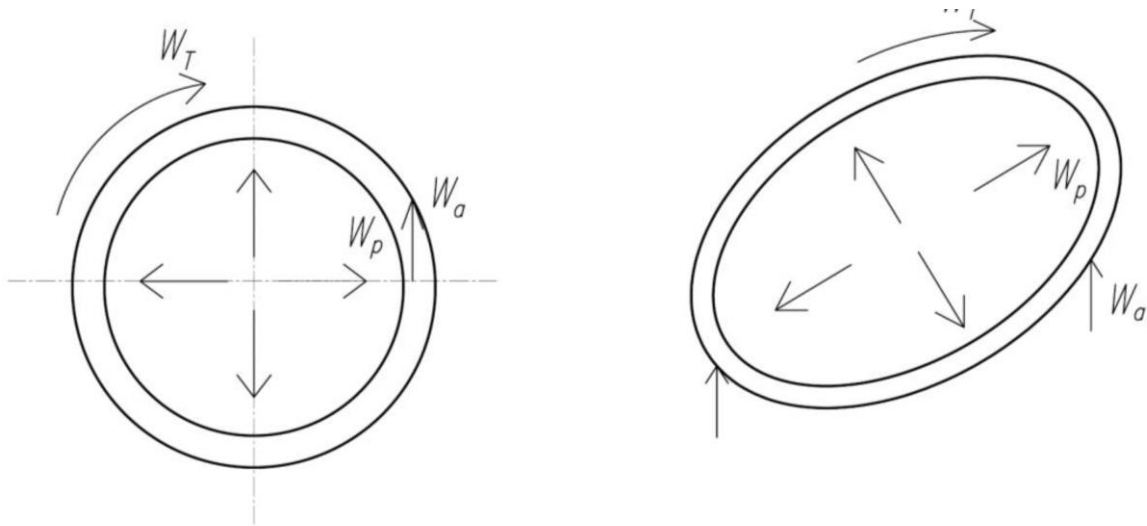


Рисунок 2.3 - Схема омивання витка ЗМ потоку СМ:

W_T - окружна складова швидкості потоку СМ, м/с, W_p – радіальна складова швидкості потоку СМ, м/с, W_a - осьова складова швидкості потоку СМ, м/с.

Як випливає з рис. 2.3, окружна складова спрямована паралельно витка, радіальна – перпендикулярно, осьова – вертикально їй.

У роботі встановлено

$$|w_m| = 2|w_p| = 10|w_a|. \quad (2.35)$$

З урахуванням співвідношення (2.35) було визначено значення швидкостей W_T , W_p , W_a і зазначено, що внесок осової складової в результуючу незначний, і в подальшому аналізі її не враховували.

На рис. 2.4 схематично представлено напрямки окружної та радіальної складових потоку на фрагмент кільця ЗМ.

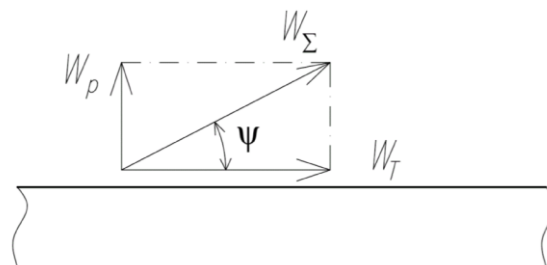


Рисунок 2.4 - Схема напрямків швидкісних потоків СМ щодо труби ЗМ:

W_Σ - сумарний потік РМ; Ψ - кут обмивання труби ЗМ; W_T , W_p - те, що на рис. 2.3.

Аналіз розподілу швидкостей (Рис. 2.4), виконаний для фрагмента кільця ЗМ, з урахуванням правила складання векторів, показав, що сумарний потік СМ, що має швидкість:

$$w_{\Sigma} = \sqrt{w_m^2 + w_p^2}, \text{ м/с}, \quad (2.36)$$

омиває трубу ЗМ під кутом:

$$\psi = \arctg\left(\frac{w_p}{w_m}\right). \quad (2.37)$$

Отже, теплообмін між зовнішньою стінкою ЗМ та СМ можна розглядати як тепловіддачу при омиванні одиночної труби потоком рідини під кутом атаки ψ , для якого критеріальне рівняння має вигляд

$$Nu_n = 0,28 \cdot Re_{cm}^{0,6} \cdot Pr_{cm}^{0,36} \left(\frac{Pr_{жс}}{Pr_{cm}}\right)^{0,25} \cdot \varepsilon_{\psi}, \quad (2.38)$$

де

$$Nu_n = \frac{\alpha_2 \cdot d_n}{\lambda_{cm}|_{t_{сб}}} - \text{число Нуссельта};$$

$$Re = \frac{w_{\Sigma} \cdot d_n}{\nu_{cm}|_{t_{сб}}} - \text{число Рейнольдса};$$

Pr_{cm} та $Pr_{ст}$ - числа Прандтля для СМ при температурі зброджування та температурі зовнішньої стінки труби ЗМ, що дорівнює значенню середньої температурі води;

d_n - зовнішній діаметр труби ЗМ, м;

$\lambda_{cm}|_{t_{cm}}$ та $\nu_{cm}|_{t_{cm}}$ - коефіцієнти теплопровідності та кінематичної в'язкості СМ при температурі зброджування $t_{зм}$, Вт/(м·К) та м²/с;

$\alpha_2 = \frac{Nu_n \cdot \lambda_{cm} |_{t_{cm}}}{d_n}$ - коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої стінки труби ЗМ до СМ, Вт/(м² К) ;

ε_ψ - поправочний коефіцієнт, що враховує зміну інтенсивності тепловіддачі залежно від кута атаки.

В результаті обробки табличних та графічних даних отримано математичну залежність для визначення $\varepsilon_\psi = f(\psi)$ у вигляді

$$\varepsilon_\psi = 0,423 + 2,453 \cdot 10^{-3} \cdot \psi + 3,35 \cdot 10^{-4} \cdot \psi^2 - 5,238 \cdot 10^{-6} \cdot \psi^3, \quad (2.39)$$

за коефіцієнта кореляції $r = 0,9905$.

Результати експериментальних даних, наведені в роботі, показали, що взаємний вплив окружної та радіальної складових потоку на замкнуту трубу сприяють інтенсивній турбулізації зі збільшенням інтенсивності тепловіддачі у 1,5 рази. Тому розрахункове значення коефіцієнта тепловіддачі від ЗМ до СМ прийнято

$$\alpha_2^p = 1,5 \cdot \alpha_2, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}. \quad (2.40)$$

Для умов перенесення теплоти від води, що гріє, до СМ через стінку ЗМ при

умови, що у тонкостінних труб відношення $\frac{d_n}{d_в}$ майже завжди менше 1,4.

Коефіцієнт теплопередачі може бути розрахований за рівнянням, характерному для плоскої стінки

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{3M}}{\lambda_{3M}} + \frac{\delta_{відкл}}{\lambda_{відкл}} + \frac{1}{\alpha_2}}; \quad (2.41)$$

де

$\delta_{\text{ЗМ}}$ - товщина стінки труби ЗМ, м;

$\lambda_{\text{ЗМ}}$ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки труби ЗМ, Вт/(м·К)

3 Лабораторні дослідження процесу

3.1 Програма та методика

Оскільки об'єктом дослідження є теплові процеси в метантенці, існує необхідність доказу адекватності розроблених у другому розділі математичних моделей. Тому як засіб отримання експериментальних даних була створена експериментальна установка МТ (Рис.3.1).

Відповідно до першої теореми подібності, два явища вважаються фізично подібними, якщо за характеристиками одного явища можна отримати характеристики іншого простим множенням на коефіцієнти, що залежать лише від розмірностей. Таким чином, при фізичній подібності природа процесу в порівнянні явищах зберігається. Звідси можна дійти невтішного висновку, що для перевірки адекватності розробленої математичної моделі процесів тепломасообміну, експериментальні дослідження слід провести на дослідній установці, що зберігає геометричну та фізичну подібність об'єкту моделювання.

Позначимо умови натурні індексом – Н, а експериментальні (модель) – індексом Е. Тоді можна записати відносини габаритних розмірів наступним чином

$$\frac{D_n}{D_e} = \frac{H_n}{H_e} = \frac{D_{n3M}}{D_{e3M}} = m = const, \quad (3.1)$$

де D_n і D_e – внутрішні діаметри натурної установки та експериментальної установки, м;

H_n та H_e – загальна висота метантенка натурної установки та експериментальної установки, м;

D_{n3M} та D_{e3M} – діаметри витків зміювика натурної установки та експериментальної установки, м;

m - лінійний масштаб, що показує у скільки разів розміри експериментальної установки зменшено порівняно з розмірами натурної установки.



Рисунок 3.1 – Експериментальна установка МТ

Підставимо значення габаритних розмірів у формулу (3.1) отримаємо наступне

- внутрішні діаметри метантенків

$$m = \frac{D_n}{D_e} = \frac{4,885}{0,285} = 17,14;$$

- загальна висота метантенка

$$m = \frac{H_n}{H_e} = \frac{5,880}{0,345} = 17,04;$$

- діаметри витків зміювика

$$m = \frac{D_{нЗМ}}{D_{еЗМ}} = \frac{1,390}{80} = 17,37.$$

Так як значення лінійного масштабу практично рівні за всіма характерним розмірам метантенка, то відповідно до першої теореми подібності можна вважати експериментальну установку геометрично подібною. Ця експериментальна установка дозволяє визначати температуру СМ всередині МТ і регулювати температуру теплоносія, що гріє в залежності від температури навколишнього середовища та товщини відкладень на ЗМ. Дослідження проводилися з відходами ВРХ. Для забезпечення температурного режиму всередині МТ змонтовано ЗМ, якому циркулював гріючий теплоносій (вода). Усередині змонтовано лопатева мішалка для перемішування маси, що зброджується. Швидкість перемішування СМ складала 2 м/с.

Об'єм МТ становить 19 л, гріючий ЗМ виконаний з латунної труби зовнішнім діаметром 3,5 мм, площа поверхні нагріву 0,86 м², коефіцієнт теплопровідності стінки МТ 0,1 кДж/м² К, планова вологість субстрату 90%. На рисунку 3.2 представлено схему експериментальної установки.

У період проведення експерименту установка перебувала у неопалюваному приміщенні, температура в якому дорівнювала температурі зовнішнього повітря.

Для вимірювання температури теплоносія, що гріє, використовувалися лабораторний ртутний термометр, для вимірювання температури СМ в МТ використовувався термометр електронний Т-0,36DS у вологозахищеному корпусі. Для вимірювання температури навколишнього повітря використовувався електронний термометр Т-0,36DS.

Згідно з технічним паспортом електронних термометрів Т-0,36DS похибка виміру становить $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

Двічі на добу включався електродвигун валу лопатевою мішалкою, і маса, що зброджується, перемішувалась.

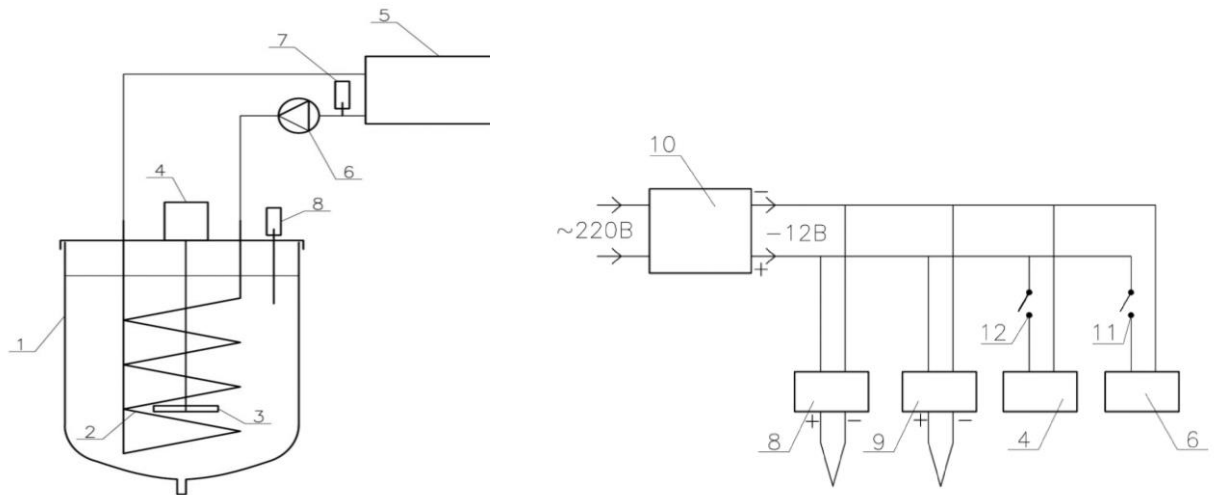


Рисунок 3.2 – Схема експериментальної установки з електричною схемою підключення приладів: а) схема експериментальної установки; б) електрична схема підключення приладів

1 – метантенк; 2 - грійучий змійовик; 3 – лопатева мішалка; 4 – електродвигун валу мішалки; 5 - бак з водою, що гріє; 6 – насос для подачі теплоносія, що гріє; 7 – ртутний термометр; 8, 9 – термометри електричні; 10 – електричний блок живлення.

За час проведення дослідів (9 місяців) на поверхні ЗМ спостерігалось утворення відкладень твердої фракції субстрату. Причому утворення шару відкладень відбувалося навіть коли маса, що зброджується, не нагрівалася. Це спостереження дозволяє зробити висновок, що в процесі експлуатації нагрівальному елементу утворюватиметься шар відкладень. Однак, як відомо жодна фізична модель не може бути повністю тотожною об'єкту моделювання. Тому і товщина рівномірною не була. На рис. 3.3 показано фото відкладене на змійовику.

За результатами вимірів визначено середню товщину відкладень на зовнішній стінці змійовика твердої фракції субстрату і вона становила в середньому 2мм.



Рисунок 3.3 - Відкладення на зовнішній стінці змійовика

3.2 Хід проведення експерименту

У МТ 1 завантажувалася СМ і пропорції розбавлялася водою до вологості 90%. У баку 5 була гаряча вода, температура якої замірялася термометром 7. Вимикачем 11 включався насос 6 для подачі гарячої води ЗМ. Вода, що пройшла ЗМ, по шлангах потрапляла назад у бак 5. У баку 5 підтримувалась постійна температура води. Коли температура СМ у МТ досягала 40°C, температура теплоносія, що гріє, залишалася на одному рівні та заносилася до журналу спостережень. Досвід проводився за наступних температурах зовнішнього повітря -25, -20, -15, -10, -5, 0, 5, та 10°C. За кожної температури зовнішнього повітря вимірювалася товщина відкладень на поверхні ЗМ від 0 до 2 мм із кроком 0,5 мм. Товщину відкладень визначали за допомогою товщинометра. Для виключення помилки досвіду (помилка відтворюваності), проводилися паралельні три досліди за однакових умов.

Було проведено повний двофакторний експеримент з рівнозначними рівнями. У таблиці 3.1 наведено дані, отримані внаслідок проведення

експерименту, а також середні значення з кожної групи з трьох дослідів. Таким чином, визначалася дійсна температура гріючого теплоносія в залежності від двох факторів. Це та температура теплоносія, що гріє, яку необхідно підтримувати для стабільного температурного режиму зброджуваної маси.

За результатами експерименту побудовано залежність впливу температури навколишнього повітря та товщини відкладень на дійсну температуру теплоносія, що гріє (Рис. 3.4).

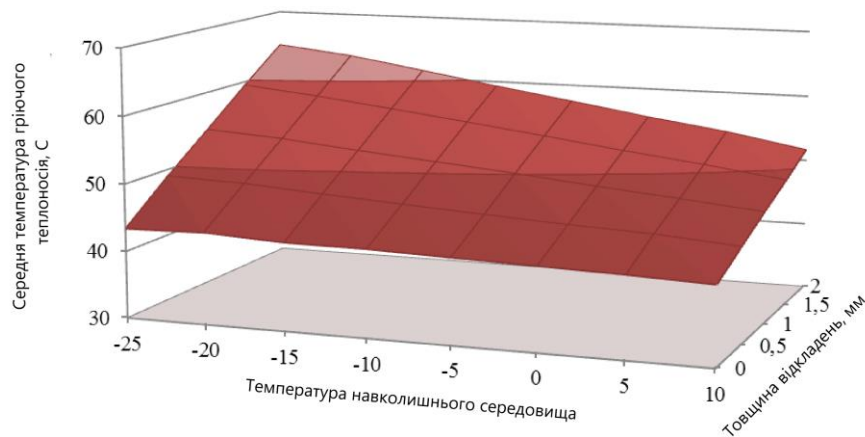


Рисунок 3.4 - Залежність температури теплоносія, що гріє від товщини відкладень та температури навколишнього повітря

Як випливає з наведеної залежності, ніж нижча температура навколишнього повітря і більше товщина відкладень, тим вище має бути температура теплоносія, що гріє, на вході в ЗМ. Так як шар відкладень призводить до значного термічного опору, температура на поверхні відкладень не перевищує 50°C , що не гнітить життєдіяльність бактерій.

Метою регулювання температури гріючого теплоносія є підтримка температурного режиму всередині МТ, тому в ході експерименту замірялася температура РМ. Результати залежності температури СМ від товщини відкладень та температури навколишнього повітря наведено рис. 3.5.

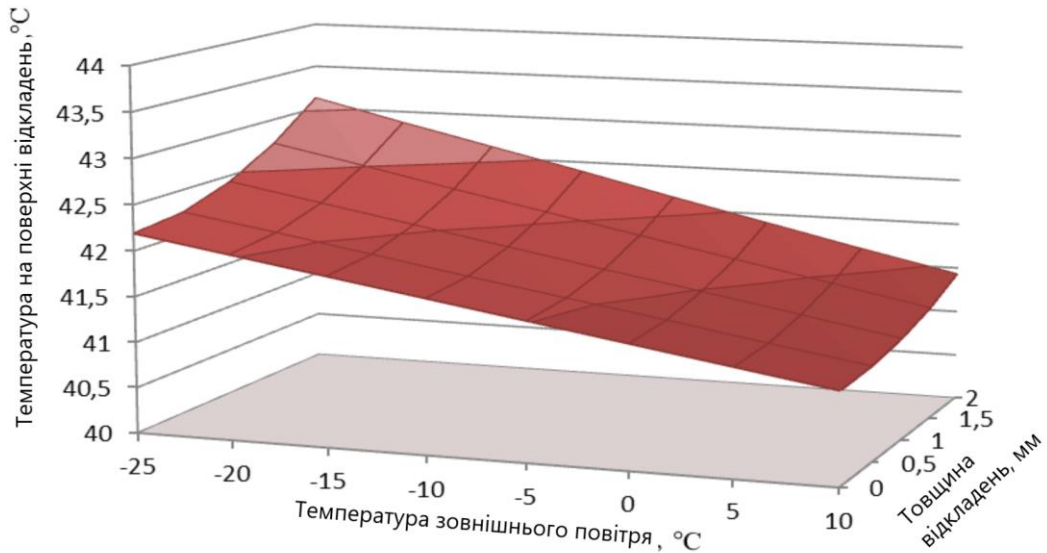


Рисунок 3.5 - Залежність температури СМ від товщини відкладень та температури навколишнього повітря

З рис. 3.5 видно, що температура СМ у разі підвищення середньої температури теплоносія, що гріє, до 65°C не перевищує $41,5^{\circ}\text{C}$. Це пов'язано з тим, що товщина відкладень на ЗМ, що гріє, перешкоджає нагріванню СМ. У свою чергу, ця зміна температури СМ на $1-2^{\circ}\text{C}$ не впливає на життєдіяльність метаногенних бактерій і як наслідок не зменшує кількості одержуваного біогазу протягом усього циклу зброджування.

3.3 Висновки з третього розділу

1. Проведені експериментальні дослідження значень температури гріючого теплоносія в залежності від температури навколишнього середовища та товщини відкладень на ЗМ дозволили отримати статистичні (регресійні) моделі, що враховують вплив цих двох факторів.

2. Значення, отримані за експериментально-статистичною моделлю після перенесення центру плану в іншу точку факторного простору, виходять за межі довірчого інтервалу. Тому, для визначення температури гріючого теплоносія прийнята експериментально-статистична модель після перенесення центру плану.

3. Проведений експеримент показав, що підвищення температури гріючого теплоносія вище 60°C за наявності відкладень не призводить до пригнічення життєдіяльності метаногенних бактерій, оскільки температура СМ вбирається у 42°C .

4 Охорона праці

4.1 Загальні вимоги

Основні вимоги охорони праці при роботі з біогазовою установкою можна сформулювати наступним чином:

- Вибір місця розташування установки. Біогазова установка повинна розташовуватися на рівній, добре провітрюваній місцевості, вдалині від житлових будинків, промислових підприємств та інших потенційно небезпечних об'єктів.
- Розробка проекту установки. Проект установки повинен розроблятися відповідно до вимог чинного законодавства та нормативно-правових актів з охорони праці.
- Експлуатація установки. Експлуатація установки повинна здійснюватися відповідно до вимог керівництва з експлуатації, розробленого підприємством-виробником.

Особливу увагу необхідно приділити наступним небезпечним факторам, які можуть виникнути при роботі з біогазовою установкою:

- Вибухонебезпечність метану. Метан, який є основним компонентом біогазу, є вибухонебезпечною речовиною.
- Отруєння токсичними речовинами. У біогазі також містяться токсичні речовини, такі як сірководень, вуглекислий газ, аміак. При вдиханні цих речовин у великих кількостях може виникнути отруєння.
- Захворювання опорно-рухового апарату. Робота з біогазовою установкою може призводити до перевтоми та захворювань опорно-рухового апарату.

Для запобігання виникненню небезпечних факторів при роботі з біогазовою установкою необхідно дотримуватися наступних заходів безпеки:

- До роботи з біогазовою установкою допускаються особи, які пройшли навчання з охорони праці та мають відповідне посвідчення.

- Працівники, які працюють з біогазовою установкою, повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту (респіратори, захисні окуляри, рукавички тощо).
- Перед початком роботи з біогазовою установкою необхідно провести її огляд і перевірити герметичність всіх з'єднань.
- У разі виявлення витoku газу роботу з установкою необхідно припинити і повідомити про це керівництво.
- Роботи з технічного обслуговування та ремонту біогазової установки повинні проводитися тільки кваліфікованими працівниками.

Дотримання цих вимог допоможе забезпечити безпечну роботу з біогазовою установкою та попередити нещасні випадки.

4.2 Шкідливі та небезпечні виробничі фактори

Фізичні фактори:

- Забруднене повітря: у повітрі робочої зони можуть бути присутніми шкідливі гази, пари та пил, що виділяються при бродінні органічних речовин. До шкідливих газів відносяться сірководень, амоніак, сірчистий газ, діоксид вуглецю, а також пари органічних речовин. Пари органічних речовин можуть бути горючими та вибухонебезпечними.

- Шум: рівень шуму на робочих місцях при роботі з біогазовою установкою може досягати 80 дБА, що може призвести до порушення слуху.

- Вібрація: під час роботи з біогазовою установкою можуть виникати вібрації, які можуть призвести до порушень опорно-рухового апарату.

Хімічні фактори:

- Шкідливі речовини: у процесі експлуатації біогазової установки можуть виділятися шкідливі речовини, такі як сірководень, амоніак, сірчистий газ, діоксид вуглецю, а також пари органічних речовин. Ці речовини можуть викликати отруєння, алергічні реакції, а також захворювання органів дихання, шкіри та очей.

- Забруднені відходи: у процесі експлуатації біогазової установки утворюються забруднені відходи, такі як гній, осад, рідкий біогаз. Ці відходи можуть бути шкідливими для навколишнього середовища та здоров'я людини.

Біологічні фактори:

- Мікроорганізми: у процесі бродіння органічних речовин у біогазовій установці виділяються мікроорганізми, які можуть бути патогенними. Патогенні мікроорганізми можуть викликати інфекційні захворювання.

Психофізіологічні фактори:

- Фізичні перевантаження: робота з біогазовою установкою може бути пов'язана з фізичними перевантаженнями, такими як підйом важких предметів, тривале перебування в незручній позі. Фізичні перевантаження можуть призвести до перевтоми, травм, захворювань опорно-рухового апарату.

- Несприятливі мікрокліматичні умови: робочі місця при роботі з біогазовою установкою можуть бути характеризуватися несприятливими мікрокліматическими умовами, такими як підвищена температура, вологість, загазованість. Несприятливі мікрокліматичні умови можуть призвести до теплового удару, переохолодження, захворювань органів дихання.

- Психологічні фактори: робота з біогазовою установкою може бути пов'язана з психологічними факторами, такими як стрес, монотонність праці. Психологічні фактори можуть призвести до перевтоми, неврозів.

Для захисту працівників від шкідливих та небезпечних виробничих факторів при роботі з біогазовою установкою необхідно:

забезпечити належні умови праці:

- контролювати рівень шкідливих речовин у повітрі робочої зони;
- забезпечувати достатню освітленість робочих місць;
- підтримувати оптимальні мікрокліматичні умови;

застосувати засоби колективного та індивідуального захисту:

- вентиляцію;
- засоби захисту органів дихання;
- засоби захисту очей;

- засоби захисту шкіри;

- засоби захисту слуху;

провести інструктаж працівників з охорони праці.

При роботі з біогазовою установкою необхідно дотримуватися наступних правил безпеки:

Не допускати до роботи осіб, які не пройшли інструктаж з охорони праці.

Під час роботи використовувати засоби колективного та індивідуального захисту.

Не виконувати роботи, які не передбачені посадовою інструкцією.

У разі виникнення аварійної ситуації негайно припинити роботу та повідомити про це керівника.

4.3 Заходи по забезпеченню захисту оператора від дії шкідливих та небезпечних факторів

Забезпечення належних умов праці:

- Контроль рівня шкідливих речовин у повітрі робочої зони. Цей контроль здійснюється за допомогою газоаналізаторів, які повинні бути встановлені в зонах можливого виділення шкідливих речовин Газаналізатор

- Забезпечення достатньої освітленості робочих місць. Освітленість робочих місць повинна відповідати вимогам СанПіН 2.2.4.548-96.

- Підтримування оптимальних мікрокліматичних умов. Оптимальні мікрокліматичні умови повинні забезпечуватися шляхом вентиляції, опалення та кондиціонування.

Застосування засобів колективного та індивідуального захисту:

- Вентиляція. Вентиляція повинна бути забезпечена в усіх приміщеннях, де здійснюється робота з біогазовою установкою. Вентиляція може бути природною або механічною.

- Засоби захисту органів дихання. При роботі з біогазовою установкою необхідно використовувати засоби захисту органів дихання, такі як респіратор

або протигаз. Респіратори повинні вибирати відповідно до типу шкідливих речовин, які можуть виділятися в повітрі робочої зРеспіратор

- Засоби захисту очей. При роботі з біогазовою установкою необхідно використовувати засоби захисту очей, такі як окуляри або щиток. Окуляри повинні вибирати відповідно до типу шкідливих речовин, які можуть потрапити в очі.

- Засоби захисту шкіри. При роботі з біогазовою установкою необхідно використовувати засоби захисту шкіри, такі як рукавички, фартух, комбінезон. Рукавички повинні виготовлятися з матеріалів, які не пропускають шкідливі речовини. Фартух і комбінезон повинні виготовлятися з матеріалів, які легко очищаються від забруднення.

- Засоби захисту слуху. При роботі з біогазовою установкою необхідно використовувати засоби захисту слуху, такі як навушники або беруші.

- Навушники повинні вибирати відповідно до рівня шуму на робочому місці.

Проведення інструктажу працівників з охорони праці. Працівники, які працюють з біогазовою установкою, повинні пройти інструктаж з охорони праці. Інструктаж проводиться з метою ознайомлення працівників з правилами безпеки праці, з небезпечними та шкідливими факторами, які можуть виникнути при роботі з біогазовою установкою, та з правилами поведінки в разі виникнення аварійної ситуації.

Правила безпеки при роботі з біогазовою установкою:

Не допускати до роботи осіб, які не пройшли інструктаж з охорони праці.
Інструктаж з охорони праці.

Під час роботи використовувати засоби колективного та індивідуального захисту.

Не виконувати роботи, які не передбачені посадовою інструкцією.

У разі виникнення аварійної ситуації негайно припинити роботу та повідомити про це керівника.

4.4 Правила безпечного виконання робіт

Перед початком робіт необхідно ознайомитися з інструкцією з експлуатації біогазової установки та правилами безпеки праці.

Інструкція з експлуатації біогазової установки

- Перевірити справність обладнання та наявність всіх необхідних інструментів.
- Установити засоби колективного захисту, такі як вентиляція, освітлення, захисні огороження.
- Застосувати засоби індивідуального захисту, такі як респіратор, захисні окуляри, рукавички, взуття.
- Виконувати роботи тільки в присутності відповідальної особи.
- Не допускати до роботи осіб, які не пройшли інструктаж з охорони праці.
- Не виконувати роботи, які не передбачені посадовою інструкцією.

При виконанні робіт з обслуговування біогазової установки необхідно дотримуватися таких правил безпеки:

- не допускати до роботи з біогазогенератором осіб, які знаходяться в нетверезому стані або під впливом наркотиків;
- не використовувати несправне обладнання;
- не виконувати роботи, якщо є загроза виникнення аварії;
- у разі виникнення аварійної ситуації негайно припинити роботу та повідомити про це керівника.

Особливу увагу слід приділити таким роботам:

- очищення біогазової установки від осаду. При виконанні цієї роботи необхідно використовувати засоби індивідуального захисту, щоб уникнути контакту з шкідливими речовинами, які можуть виділятися з осаду;
- ремонт та обслуговування обладнання. При виконанні цих робіт необхідно дотримуватися правил безпеки, зазначених в інструкції з експлуатації біогазової установки;

- вивантаження біогазу. При виконанні цієї роботи необхідно дотримуватися правил безпеки, щоб уникнути вибуху або пожежі.

Виконання правил безпеки при обслуговуванні біогазової установки допоможе запобігти нещасним випадкам та зберегти здоров'я працівників.

4.5 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях

Порядок дій у надзвичайних ситуаціях, які можуть виникнути при роботах пов'язаних з біогазовими установками:

1. Вибух

У разі вибуху необхідно негайно припинити роботу та евакуювати людей з приміщення. Не можна підходити до місця вибуху до прибуття рятувальних служб.

2. Пожежа

У разі пожежі необхідно негайно припинити роботу та евакуювати людей з приміщення. Не можна підходити до місця пожежі без засобів індивідуального захисту.

3. Витік біогазу

У разі витоку біогазу необхідно негайно припинити роботу та евакуювати людей з приміщення. Не можна допускати відкритого вогню та інших джерел займання в зоні витоку біогазу.

4. Захворювання працівників

У разі захворювання працівників необхідно негайно припинити роботу та евакуювати людей з приміщення. Необхідно надати першу допомогу постраждалим та викликати медичну допомогу.

5. Інші надзвичайні ситуації

У разі виникнення інших надзвичайних ситуацій необхідно негайно припинити роботу та евакуювати людей з приміщення. Необхідно вжити заходів для усунення небезпеки та повідомити про це керівника.

Конкретні дії у разі виникнення надзвичайної ситуації залежать від її характеру та масштабів. Важливо, щоб працівники, які працюють з біогазовими установками, були ознайомлені з правилами безпеки та порядок дій у надзвичайних ситуаціях.

Додаткові заходи безпеки:

- встановити систему сигналізації, яка буде сповіщати про виникнення надзвичайної ситуації;
- виконати навчання працівників з питань безпеки праці та порядку дій у надзвичайних ситуаціях;
- міняти обладнання та матеріали, які вичерпали свій термін експлуатації;
- виконувати планові профілактичні роботи.

Виконання цих заходів допоможе запобігти виникненню надзвичайних ситуацій та зберегти здоров'я працівників.

4.6 Висновки

- Біогазові установки є потенційно небезпечними об'єктами, тому при роботі з ними необхідно дотримуватися правил безпеки праці;
- шкідливі та небезпечні фактори, які можуть виникнути при роботі з біогазовими установками, можна розділити на чотири групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні.

Для захисту працівників від шкідливих та небезпечних факторів при роботі з біогазовими установками необхідно:

- забезпечити належні умови праці;
- застосувати засоби колективного та індивідуального захисту;
- провести інструктаж працівників з охорони праці.

При роботі з біогазовими установками необхідно дотримуватися таких правил безпеки:

- не допускати до роботи осіб, які не пройшли інструктаж з охорони праці;

- під час роботи використовувати засоби колективного та індивідуального захисту;

- не виконувати роботи, які не передбачені посадовою інструкцією;

- у разі виникнення аварійної ситуації негайно припинити роботу та повідомити про це керівника.

Виконання правил безпеки при роботі з біогазовими установками допоможе запобігти нещасним випадкам та зберегти здоров'я працівників.

Додаткові заходи безпеки, які можуть бути застосовані для підвищення рівня безпеки при роботі з біогазовими установками:

- встановити систему сигналізації, яка буде сповіщати про виникнення надзвичайної ситуації;

- виконати навчання працівників з питань безпеки праці та порядку дій у надзвичайних ситуаціях;

- міняти обладнання та матеріали, які вичерпали свій термін експлуатації;

- виконувати планові профілактичні роботи.

Виконання цих заходів допоможе запобігти виникненню надзвичайних ситуацій та зберегти здоров'я працівників.

5 Економічна оцінка

З метою економічного обґрунтування запропонованої інтенсифікації процесів теплообміну в МТ шляхом регулювання температури гріючого теплоносія та забезпечення стабільного температурного режиму здійснено порівняльний розрахунок двох варіантів. Відповідно до даних літератури температура води в ЗМ має перевищувати $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, щоб не гнітити життєдіяльність метаногенних бактерій. В той же час, температура води на виході не повинна бути нижчою за температуру зброджування. Тому для першого варіанта аналізу прийнято режим роботи МТ без регулювання температури теплоносія: температура води на вході в ЗМ $t_{\text{вх}} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$, на виході із ЗМ $t_{\text{вих}} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$. У варіанті 2 температура гріючого теплоносія визначатиметься за аналітичною моделлю запропонованої у другому розділі, залежно від зовнішньої температури повітря та товщини відкладень на ЗМ. Для кожного варіанту визначалася витрата біогазу, використовується на потреби біогазової установки (для нагріву гріючого теплоносія) шляхом спалювання в теплогенераторі.

Розрахунок проводився для фермерського господарства, розташованого в Дніпровському районі, в якому є 100 голів ВРХ.

Вихідними даними для розрахунку є:

- кількість голів ВРХ – 100;
- температура зброджування: $t_{\text{сб}} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- тривалість зброджування: 15 діб;
- планова вологість маси, що зброджується 90%;
- час роботи МТ протягом року 350 діб;
- частота заміни СМ – 1 раз на добу;
- габаритні розміри МТ:
- обсяг робочої частини МТ при $t_{\text{сб}}$, $V_p = 117,9\text{ м}^3$;
- робочий внутрішній діаметр МТ, $D = 4,8\text{ м}$;
- загальна висота циліндричної частини, $H_{\text{ціл}} = 5,8\text{ м}$;

- діаметр мішалки $d_m = 1,4$ м;
- діаметр ЗМ $d_{zm} = 3,5$ м;
- площа поверхні ЗМ $F = 19$ м²;
- діаметри труби ЗМ $d_n=32$ мм і $d_v=28$ мм.

Розрахунок проводився для середньомісячної зовнішньої температури повітря відповідно до кліматичних даних.

Результати розрахунків двох варіантів зведені у таблиці 5.1 та 5.2.

Таблиця 5.1 - Варіант 1. Температура теплоносія в ЗМ не регулюється

Місяць	Середньо-місячна температура зовнішнього повітря, °С	Температура гріючого теплоносія на вході в ЗМ, °С	Середня температура в середині МТ, °С	Добовий об'єм біогазу, мЗ/добу	Місячний об'єм біогазу, мЗ/місяць	Теплова потужність нагріву ЗМ, Дж/с	Кількість спалюваного біогазу, мЗ/місяць
січень	-5,2	60	35,9	241,18	7476,58	12949	2007,40
лютий	-4,4	60	36,3	246,5	6902	12949	2007,40
березень	0,7	60	38,9	276,41	8568,71	12949	2007,40
квітень	9,4	60	43,3	279,59	8387,7	12949	2007,40
травень	15,4	60	46,3	223,36	6924,16	12949	2007,40
червень	19	60	48,1	151,8	4554	12949	2007,40
липень	21,2	60	49,2	82,3	2551,3	12949	2007,40
серпень	19,8	60	48,5	108,4	3360,4	12949	2007,40
вересень	14,9	60	46,1	220,25	6607,5	12949	2007,40
жовтень	8	60	42,6	285,39	8847,09	12949	2007,40
листопад	1,8	60	39,5	281,32	8439,6	12949	2007,40
грудень	-2,9	60	37,1	256,83	7961,73	12949	2007,40
				Σ	80580,77		24088,9

Таблиця 5.2 - Варіант 2. Температура теплоносія в ЗМ регулюється залежно від товщини відкладень на ЗМ та температури зовнішнього повітря °С.

Місяць	Середньо-місячна температура навколишнього повітря, °С	Температура гріючого теплоносія на вході в ЗМ, °С	Середня температура всередині МТ, °С	Добовий об'єм біогазу, м ³ /добу	Місячний об'єм біогазу, м ³ /місяць	Теплова потужність нагріву ЗМ, Дж/с	Кількість спалюваного біогазу, мЗ/місяць
січень	-5,2	65,8	41,37	288,88	8955,28	16734	2594,2
лютий	-4,4	65,4	41,34	288,87	8088,36	16435	2547,8
березень	0,7	62,4	41,19	288,76	8951,56	14530	2252,5
квітень	9,4	57,4	40,93	288,34	8650,2	11295	1751,0
травень	15,4	54	40,75	287,87	8923,97	9071	1406,2
червень	19	52	40,64	287,53	8625,9	7740	1199,9
липень	21,2	50,7	40,57	287,28	8905,68	6927	1073,9
серпень	19,8	51,5	40,61	287,42	8910,02	7444	1154,0
вересень	14,9	54,3	40,76	287,9	8637	9256	1434,9
жовтень	8	58,2	40,97	288,42	8941,02	11814	1831,5
листопад	1,8	61,8	41,16	288,73	8661,9	14120	2188,9
грудень	-2,9	64,5	41,3	288,85	8954,35	15874	2460,8
				Σ	105205,2		21895,6

На рис. 5.1 та 5.2 представлені графіки середньої температури гріючого теплоносія та середньої температури всередині МТ залежно від місяця року.

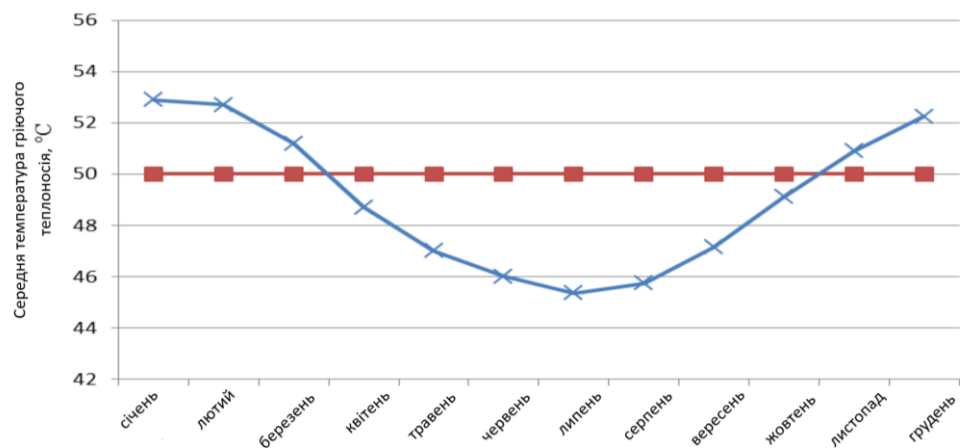


Рисунок 5.1 - Залежність середньої температури гріючого теплоносія від місяця року:

- - без регулювання температури теплоносія;
- × - з регулюванням температури теплоносія.

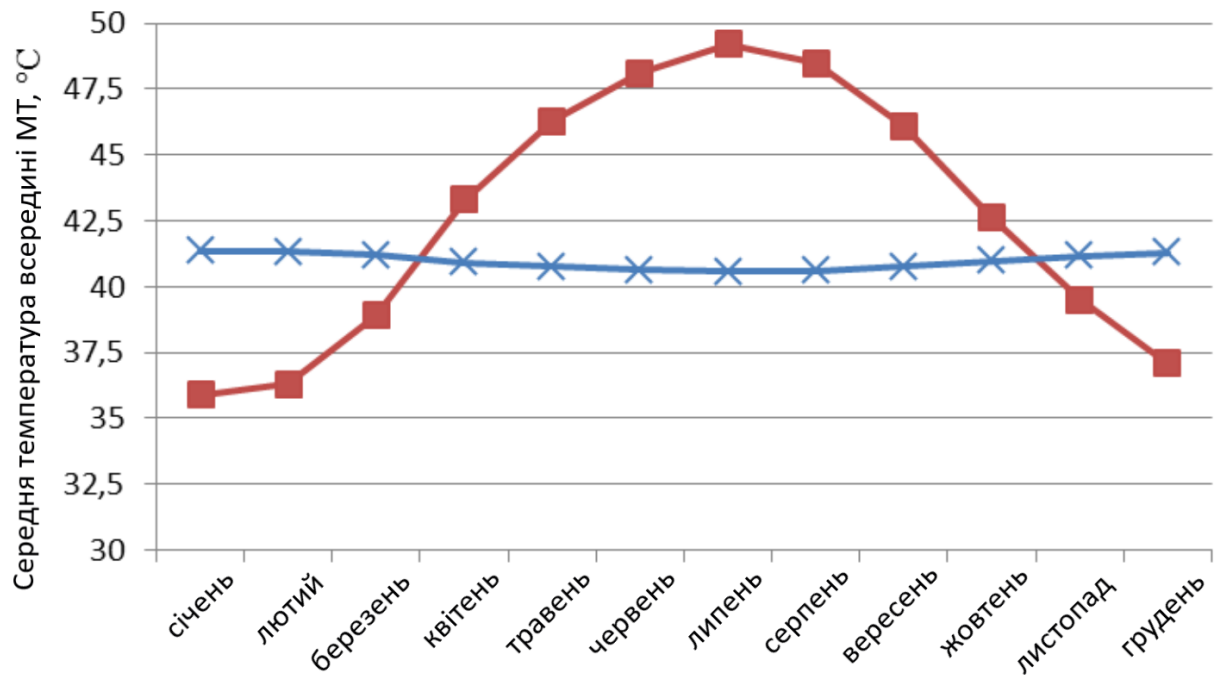


Рисунок 5.2 – Залежність середньої температури всередині МТ від місяця року:

- - без регулювання температури теплоносія;
- × - з регулюванням температури теплоносія.

З графіка рис. 5.2 видно, що у варіанті 2 зміна температури в МТ коливається на 1-2 ° С протягом усього року, що забезпечує стабільно продуктивну життєдіяльність метаногенних бактерій та, отже, стабільний вихід біогазу. У варіанті 1 спостерігається зміна середньої температури в МТ від 27 до 41 ° С протягом року. Це зміна температури супроводжується нестабільним обсягом одержуваного біогазу.

На рис. 5.3 та 5.4 представлені графіки відповідно середньодобового обсягу одержуваного біогазу та середньомісячного обсягу одержуваного біогазу в залежності від середньої температури в МТ на протягом усього року.

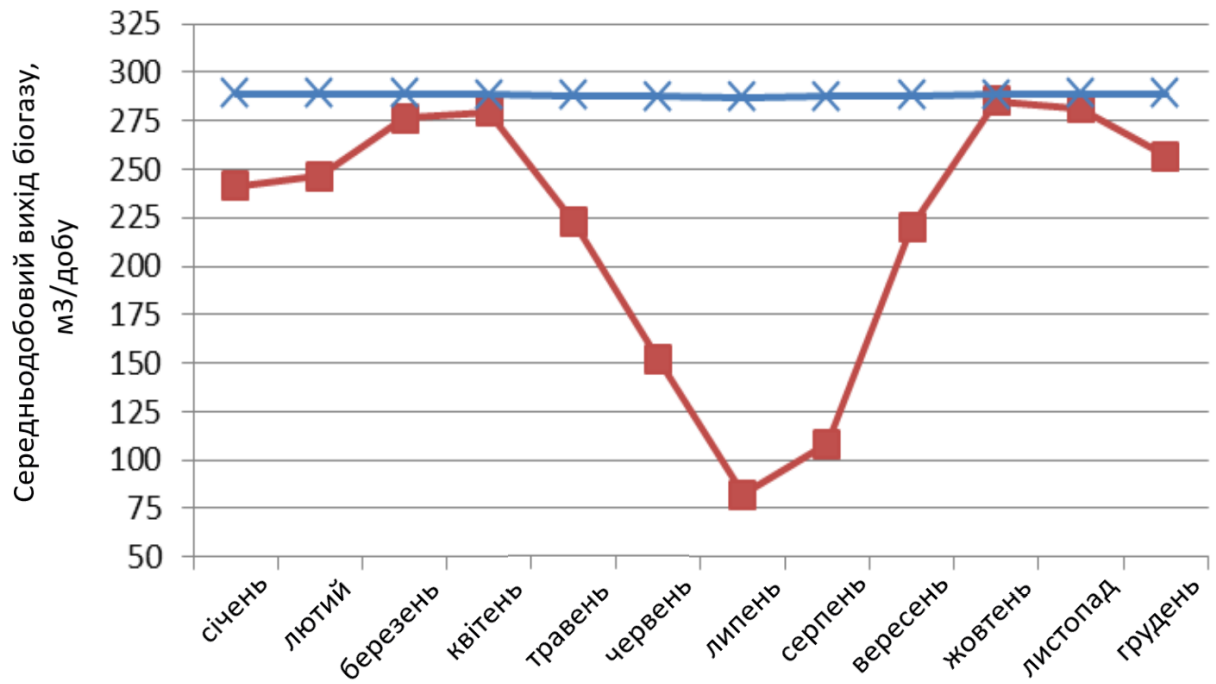


Рисунок 5.3 – Залежність середньодобового обсягу біогазу від місяця року:

- - без регулювання температури теплоносія;
- × - з регулюванням температури теплоносія

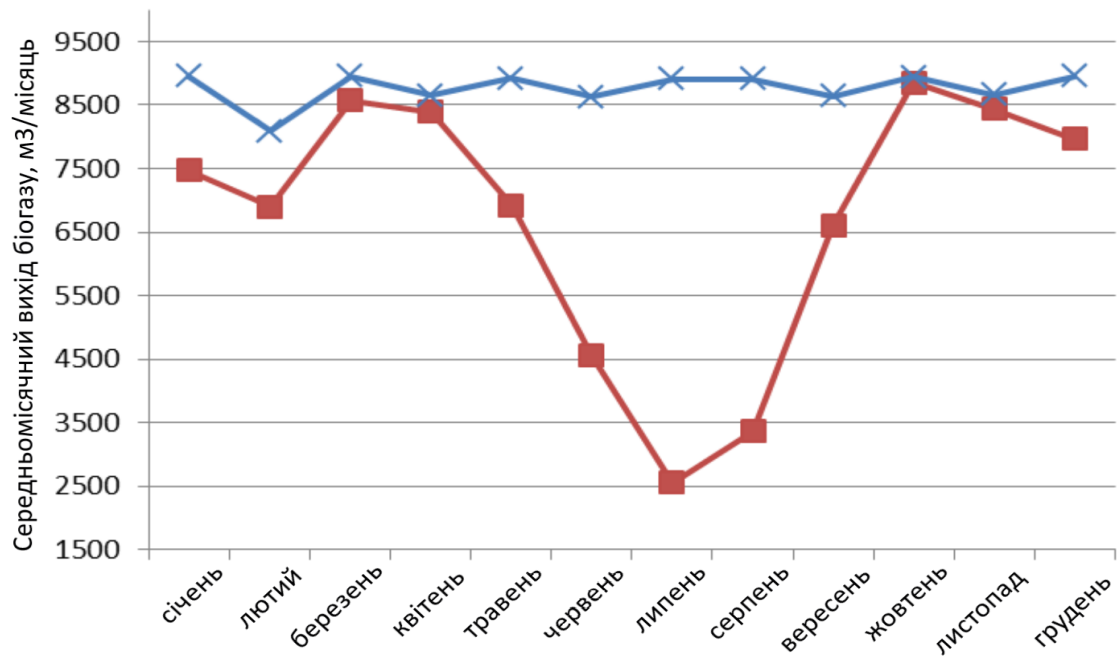


Рисунок 5.4 – Залежність середньомісячного обсягу біогазу від місяця року:

- - без регулювання температури теплоносія;
- × - з регулюванням температури теплоносія

З графіків видно, що у запропонованому варіанті з регулюванням температури гріючого теплоносія забезпечує стабільне утворення біогазу протягом усього річного циклу експлуатації.

На рис. 5.5 представлений графік теплової потужності нагріву залежно від місяця року. У першому варіанті постійна підтримка температури гріючого теплоносія в ЗМ супроводжується постійною тепловою потужністю нагріву та складе 12,9 кВт. Регулювання температури гріючого теплоносія у другому варіанті призводить до збільшенню теплової потужності нагріву в осінньо-весняний та зимовий періоди року.

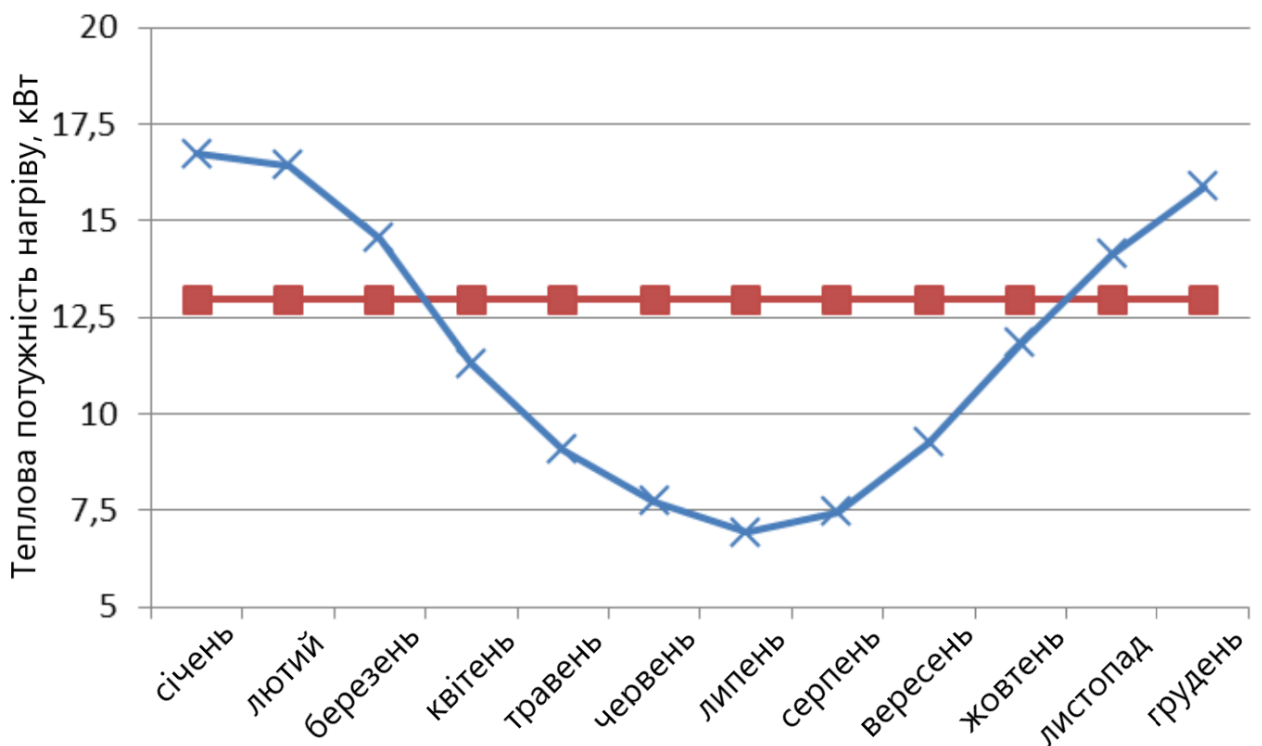


Рисунок 5.5 – Залежність теплової потужності нагріву від місяця року:

- - без регулювання температури теплоносія;
- × - з регулюванням температури теплоносія.

На рис. 4.6 наведено залежність середньомісячної витрати одержуваного біогазу на нагрівання теплоносія.

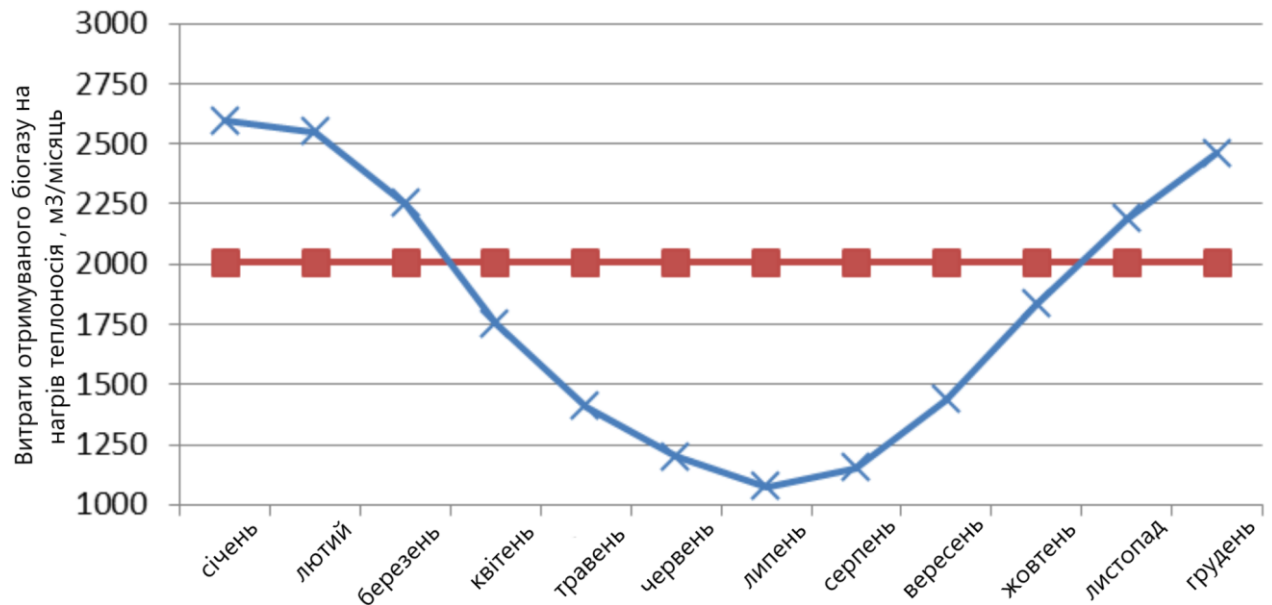




Рисунок 5.6 - Залежність середньомісячної витрати одержуваного біогазу на нагрівання теплоносія від місяця року:

 - без регулювання температури теплоносія;
 - з регулюванням температури теплоносія.

Для отримання теплоти на нагрівання маси, що зброджується в запропонованому варіанті з інтенсифікацією теплообміну, 21895,6 м³/рік одержуваного біогазу спалюється у котлоагрегаті. Кількість біогазу, що спалюється отримання теплоти визначається за формулою:

$$V'_{\text{БГ}} = \frac{Q_{\text{нагр}}}{Q_{\text{нБГ}} \cdot \eta_{\text{к}}}, \text{м}^3/\text{с}, \quad (5.1)$$

де $V'_{\text{БГ}}$ - витрата біогазу, що спалюється в котлоагрегаті, м³/с;

$Q_{\text{нагр}}$ - необхідна потужність нагріву, Вт;

$Q_{\text{нБГ}}$ – нижча теплота згоряння біогазу, Дж/м³;

$\eta_{\text{к}}$ - ККД котлоагрегату.

Економічний ефект у фінансовому виразі розрахуємо виходячи з економії біогазу на опалення E_6 та додаткового об'єму біогазу B_d , який отримуємо завдяки постійності температурного режиму:

$$E_6 = B_{об} - B_{оп} = 24088,9 - 19301,4 = 4787,4 \text{ м}^3; \quad (5.2)$$

де

$B_{об}$ – об'єм біогазу при базовому варіанті, м^3

$B_{оп}$ – об'єм біогазу при проектному варіанті, м^3

$$B_d = B_p - B_6 = 96249,96 - 80580,77 = 15669,19 \text{ м}^3. \quad (5.3)$$

де

B_p – місячний об'єм біогазу в проектному варіанті, м^3

B_6 – місячний об'єм в базовому варіанті, м^3

Загальна кількість додаткового біогазу:

$$B_3 = E_6 + B_d = 4787,4 + 15669,19 = 20456,59 \text{ м}^3. \quad (5.4)$$

Отриманий приріст по об'єму біогазу перерахуємо на відносний об'єм природного газу через теплотворну здатність:

$$V_{пр} = B_3 \cdot q_6 / q_{пр} = 20456,59 \cdot 5990 / 8600 = 14247,8 \text{ м}^3, \quad (5.5)$$

де

q_6 та $q_{пр}$ - теплотворна здатність біогазу та природнього газу відповідно, $\text{ккал}/\text{м}^3$.

При вартості природного газу $C=8,46$ грн/м³, річний економічний ефект складе:

$$EE= V_{\text{пр}} \cdot C = 14247,8 \cdot 8,46 = 120536,74 \text{ грн.} \quad (5.6)$$

1. Застосування методу регулювання температури гріючого теплоносія призводить до постійної підтримки температури всередині МТ протягом усього року, що супроводжується рівномірним газовиділенням. Постійний обсяг отриманого біогазу дозволяє підібрати раціональний об'єм газгольдера.

2. Встановлено, що при використанні методу регулювання температури гріючого теплоносія вихід товарного біогазу підвищується на 32,2% для цього фермерського господарства.

ВИСНОВКИ

1. Проведені аналітичні дослідження конструкцій МТ та технологічних параметрів процесу зброджування показали, що вплив відкладень на поверхні гріючого елемента та коливань температури зовнішнього повітря на інтенсивність теплообміну в метантенці в даний час маловивчений.

2. Розроблено математичну модель теплообмінних процесів у метантенці біогазової установки, що дозволяє коригувати інтенсивність теплообміну при зміні температури зовнішнього повітря та утворенні відкладень на зовнішній поверхні гріючого змійовика.

3. Розроблено математичну модель процесів тепло масообміну в умовах відсутності механічного перемішування маси, що зброджується і барботажу біогазу, що виділяється.

4. Створено експериментальну установку та проведено експериментальні дослідження впливу коливань температури зовнішнього повітря та товщини шару відкладень на стінці змійовика на інтенсивність теплообміну в метантенці і температуру зароджуваної маси. За результатами дослідження отримана експериментально-статистична математична модель, що дозволяє визначати температуру теплоносія, що гріє в залежності від величини термічного опору відкладень та тепловтрат МТ в навколишнє середовище.

5. Застосування методу регулювання температури гріючого теплоносія призводить до постійної підтримки температури всередині МТ протягом усього року, що супроводжується рівномірним газовиділенням. Постійний обсяг отриманого біогазу дозволяє підібрати раціональний об'єм газгольдера.

БІБЛІОГРАФІЯ

- 1 Куценко Ю. М. Аналіз основних чинників анаеробного метанового збродження для отримання біогазу / Ю. М. Куценко, В. М. Коломицев // Праці ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – Вип. 11, т.3. – С. 49-56.
- 2 Кюрчев В. М. Альтернативне паливо для енергетики АПК: посібн. / В. М. Кюрчев, В. А. Дідур, Л. І. Грачова; за ред. В. А. Дідура. – К.: Аграрна освіта, 2012. 416 с.
- 3 Новітні технології біоенергоконверсії: Монографія / Я. Б. Блюм, Г. Г. Гелетуха, [та інш.]. – К.: «Аграр Медіа Груп», 2010. – 326 с.
- 4 Щербина О. М. Енергія для всіх: технічний довідник / О. М. Щербина – Ужгород: Видавництво Валерія Подяка. 2007. – 340 с.
- 5 Strickland, C. and Nyboer, J. (2002), Cogeneration Potential in Canada, Phase 2, completed for Natural Resources Canada, Ottawa.
- 6 Новітні технології біоенергоконверсії : монографія / [Я. Б. Блюм, Г. Г. Гелетуха та ін.]. – К. : Аграр Медіа Груп, 2010. – 326 с.
- 7 Баадер Б. Биогаз: Теория и практика. / Баадер Б., Доне Е., Брендерфер М.; Пер. с нем. М. И. Серебрянного – М. : Колос, 1982. – 148 с.
- 8 Джеджула В. В., Альтернативні джерела енергозабезпечення фермерських господарств / Джеджула В. В., Демченко Л. Л. // Індивідуальний житловий будинок. Книга за матеріалами третьої республіканської науково-технічної конференції. – Вінниця. – 2001. – С. 137–141.
- 9 Ткаченко С.Й. Методичні основи моделювання системи термостабілізації реактора біогазової установки / Ткаченко С. Й., Степанов Д. В., Резидент Н. В. // Праці за матер. IV всеукр. наук–техн. конф. «Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві». – Вінниця. – 2004. – С. 70–79.
- 10 Ратушняк Г. С. Інтенсифікація теплообміну та термостабілізація біореакторів / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. // Вісник ВПІ. – 2006. – № 2. – С. 26–31. – ISSN 1997–9266.

- 11 Ткаченко С. Й. Закономірності розподілу температурних напорів за умов локального газорідинного омивання поверхні / Ткаченко С. Й., Степанов Д. В., Джеджула В. В. // Вісник ВПІ. – 2003. – № 4. – С. 42–45. – ISSN 1997–9266.
- 12 Матвеев Ю. Біогазові установки Данії / Матвеев Ю. // Зелена енергетика – 2004.– № 2. – С. 11–13. – ISSN 1684-2294.
- 13 Сербін В. А. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії в системах ТГВ: навч. посібник / Сербін В. А. – Макіївка : ДонДАБА, 2003. – 153 с.
- 14 Гелетуха Г. Г., Железна Т. А. Біоенергетика у Фінляндії // Зелена енергетика. – 2002. – №3. – С. 16. – ISSN 1684-2294.
- 15 Гелетуха Г. Г. Біоенергетика в Австрії / Гелетуха Г.Г., Железна Т.А. // Зелена енергетика – 2003. – №2. – С. 18–19.– ISSN 1684-2294.
- 16 Матвеев Ю. Б. Біогаз із Луганського полігона ТПВ / Матвеев Ю. Б. // Зелена енергетика. –2003. – №2. – С. 8–10.
- 17 Електроенергетика України повинна "позеленіти" / Вольчин І., Потапов А., Гелетуха Г., Жовмір М. // Зелена енергетика. – №3. – 2003. – С. 16–18.
- 18 Виробництво біогазу на станціях очистки стічних вод //Ринок інсталяційний. – 2000. – № 11. – С. 34 –35. – ISSN 1684-2251.
- 19 Fand R. U. Acoustic streaming near a heated cylinder. / Fand R. U., Kaye J. // The journal of the acoustical society of America – 1966. – Vol. 32, №5. – P. 579–584.
- 20 Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. Підвищення продуктивності біогазового реактора управлінням параметрами вільноконвективних процесів теплообміну // Вісник Хмельницького національного університету. – 2006. – №2. – С. 29–32.
- 21 Деклараційний пат. № 13260 Україна. Експериментальна установка для вимірювання середніх температур стінки та температурних напорів / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В., Державний департамент інтелектуальної власності.– № и 2005 09738; Заяв. 17.10.2005; Опубл. 15.03.2006; Бюл № 3.

- 22 Ратушняк Г. С. Контроль параметрів температурних напорів в одно– та багатофазних середовищах / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. // Вісник ВПІ. – 2005. – № 6. – С. 193–195. – ISSN 1997–9266.
- 23 Пат. 26811 Україна, МПК Е 04 В 2/02, Е 04 В 2/14. Теплогідроізоляційна покрівля / Ратушняк Г. С., Анохіна К. В., Ратушняк О. Г.; Державний департамент інтелектуальної власності. – № u200704953; Заявл. 03.05.2007; опубл. 10.10.2007.
- 24 Степанов Д. В. Теплообмінні пристрої в системі біоконверсії / Степанов Д. В., Боднар Л. А. // Вісник ВПІ. – 2005. – № 1. – С. 55–57.
- 25 Ратушняк Г. С., Енергозбереження в системах виробництва біогазу / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. // Тези доповідей Міжнародної конференції «І всеукраїнський з'їзд екологів», 2006. – С. 229.
- 26 ТУ "Біогаз метантенків." ТУУ–204. 14069366–13–97. 44. Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. Інтенсифікація виробництва та підготовка біогазу до використання в теплотехнічному обладнанні / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. – 2005 – № 8. – С. 52 – 60.
- 27 Деклараційний пат. № 70885 А Україна. Біогазовий реактор // Ратушняк Г. С., Джеджула В. В., Державний департамент інтелектуальної власності. – № 20031213279; Заяв. від 31.12.2003; Опубл. 15.10.2004; Бюл № 10.
- 28 Деклараційний пат. № 7938 Україна. Біогазовий реактор / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. Державний департамент інтелектуальної власності. – № 20041210473; Заяв. від 20.12.2004; Опубл. 15.07.2005; Бюл. № 7.
- 29 Деклараційний пат. № 9697 Україна. Біогазовий реактор / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В.; Державний департамент інтелектуальної власності. – № u 200502273; Заявл від 14.03.2005; Опубл. 17.10.2005; Бюл. № 10.
- 30 Перспективи розвитку технічних засобів біоенергоконверсії / Лінник М. К., Голуб Г. А., Дубровін В. О., Мельничук М. Д. // Вісник аграрної науки. – 2006. – №5. – С.46–50.

- 31 Hashimoto A. G. Methane from cattle waste / Hashimoto A. G. // *Biotechnology & Bioengineering*. – 1982. – Vol. 24, № 9. – P. 2039–2052.
- 32 Малогабаритні біогазові установки. // *Новітні технології в сфері нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії*. – 1999. – № 2. – С. 83. 176
- 33 Ратушняк Г. С. Моделювання процесів теплообміну при вібраційному впливі в багатокомпонентних сумішах біореакторів / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. // *Наукові праці Вінницького національного університету*–2008.–№1.–Режимдоступу:http://www.nbu.gov.ua/ejournals/VNTU/20081/uk.files/08rgsmob_uk.Pdf
- 34 Пат. 34016 Україна, МПК С 02 F 11/04. Біогазовий реактор / Ратушняк Г. С., Анохіна К. В., Джеджула В. В.; Державний департамент інтелектуальної власності. – № u200801976; Заявл. 18.02.2008; опубл. 25.07.2008, Бюл. №14.
- 35 Фокін В. М. Теплогенеруючі установки систем тепlopостачання / В. М. Фокін // *М. : Машинобудування -1*. – 2003. – 240 с.
- 36 Ткаченко С.Й. Моделювання інтенсивності теплообміну до багатокомпонентних органічних сумішей / Ткаченко С. Й., Резидент Н. В. // *Вісник ВПШ*. – 2005. – № 6. – С. 187 – 193. – ISSN 1997–9266.
- 37 Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» Офіц. текст зі змінами станом на 20.06.2007 – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=1264-12>
- 38 Ратушняк Г. С. Інтенсифікація біоконверсії коливальним перемішуванням субстрату. Монографія / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула – Вінниця : Універсум-Вінниця, 2008. – 117 с. – ISBN 978-966-641-272-3.