

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

Г. С. Ратушняк, О. Г. Лялюк, І. А. Кощев

**БІОГАЗОВІ УСТАНОВКИ
З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ
ЕНЕРГІЇ ТЕРМОСТАБІЛІЗАЦІЇ
ПРОЦЕСУ ФЕРМЕНТАЦІЇ БІОМАСИ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2017

УДК 662.767.2
P25

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 16 від 22 червня 2017 р.)

Рецензенти:

В. М. Желих, доктор технічних наук, професор

С. Й. Ткаченко, доктор технічних наук, професор

Ратушняк, Г. С.

P45 Біогазові установки з відновлюваними джерелами енергії термостабілізації процесу ферментації біомаси / Г. С. Ратушняк, О. Г. Лялюк, І. А. Кощєєв. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 84 с.

ISBN 978-966-641-706-3

Обґрунтовано напрямки підвищення енергоефективності біоконверсії шляхом зменшення енергетичних затрат на ферментацію біомаси за рахунок використання відновлюваних джерел енергії термостабілізації процесу анаеробного бродіння. Запропоновано енергоефективні конструкторсько-технологічні схеми біогазових установок з відновлюваними джерелами енергії термостабілізації процесу ферментації біомаси. Проаналізовано вплив температурних режимів ферментації субстрату біомаси на продуктивність біогазової установки. Розроблено математичні моделі управління енергоефективними технологічними процесами інтенсифікації виробництва біогазу з використанням анаеробного бродіння відновлюваних джерел енергії.

УДК 662.767.2

ISBN 978-966-641-706-3

© Г. Ратушняк, О. Лялюк, І. Кощєєв, 2017

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ШЛЯХИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ТА ВТОРИННИХ ДЖЕРЕЛ НИЗЬКОПОТЕНЦІАЛЬНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ БІОКОНВЕРСІЇ.....	7
1.1 Енергоефективні засоби інтенсифікації ферментації субстрату в біогазовому реакторі	7
1.2 Використання сонячної енергії для термостабілізації та інтенсифікації процесу ферментації субстрату в біореакторі.....	11
1.3 Використання теплоти ґрунту та природної води з артезіанських свердловин та ґрунтової і відкритих водойм для термостабілізації процесу ферментації за допомогою теплових насосів	14
1.4 Використання тепла масиву полігону твердих побутових відходів для термостабілізації та інтенсифікації процесу ферментації субстрату в біореакторі.....	17
1.5 Особливості утилізації низькопотенціальних теплових вторинних ресурсів в системах інтенсифікації біоконверсії	20
1.5.1 Утилізація теплових викидів агропромислових та сільськогосподарських підприємств	20
1.5.2 Утилізація теплових викидів систем біоконверсії	23
РОЗДІЛ 2 ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ КОНСТРУКТОРСЬКО- ТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК З АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ТЕРМОСТАБІЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ФЕРМЕНТАЦІЇ БІОМАСИ.....	27
2.1 Біогазові установки з використанням низькопотенціальної теплової енергії технологічного процесу біоконверсії.....	27
2.2. Біогазові установка з використанням відновлюваної сонячної енергії за допомогою сонячних колекторів та батарей	32
2.3. Біогазові установки з використанням низькопотенціальної теплової енергії для забезпечення процесу термостабілізації за допомогою теплових насосів	40

РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИМ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ІНТИНСИФІКАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	50
3.1 Вплив температурних режимів ферментації субстрату на продуктивність біогазової установки.....	50
3.2 Моделювання процесу біоконверсії в біореакторі з відновлюваними джерелами енергії для термостабілізації з використанням нечіткої логіки.....	53
3.4. Енергетичні складові моделі енергоефективного біореактора з використанням відновлюваних джерел.....	63
3.4 Ефективність інноваційних проектів біоконверсії з альтернативними джерелами енергії	68
3.4.1 Енергоефективність інноваційних проектів біоконверсії з використанням геліоустановок для термостабілізації процесу виробництва біогазу.....	68
3.4.2 Економічна оцінка енергоефективності біоконверсії з використанням відновлюваних джерел енергії геліоустановок та теплового насоса	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	77

ВСТУП

Зростання вартості енергоносіїв стимулює до використання альтернативних відновлюваних джерел енергії. За рахунок продукції невеликих агропромислових підприємств, зокрема використовуючи відходи органічного походження в системах біоконверсії, можливо частково вирішити цю проблему. Законодавча база України сприяє поширенню енергозберігаючих технологій та альтернативних джерел енергії. Верховною Радою України було прийнято закон «Про альтернативні джерела енергії» та закон «Про розвиток виробництва та споживання біологічних видів палив», якими передбачено впровадження альтернативних джерел енергії з використанням біомаси. Загострення процесу забруднення довкілля органічними відходами та відходами продуктів життєдіяльності населених пунктів є також суттєвою мотивацією інтенсифікації науково-технічних розробок з удосконалення процесу виробництва біогазу.

Для досягнення високої ефективності роботи біореакторів та отримання максимальної кількості біогазу із органічних сільськогосподарських відходів необхідно створити оптимальні технологічні параметри в біореакторі. Незначне відхилення від оптимальних температурних режимів сприяє загибелі анаеробних бактерій, тобто зупинення або сповільнення процесу ферментації. Важливим аспектом стабільності теплового режиму в біореакторі є підігрівання субстрату та одночасна теплоізоляція стінок біореактора. Рентабельність таких установок пропорційна витратам енергії на процес термостабілізації. Процес ферментації біомаси потребує значних затрат енергії, що може призвести до збитковості процесу утворення біогазу в реакторі. Теплозабезпечення біореактора є ефективним вирішенням проблем повторного використання теплоти та зниження затрат на технологічний процес утворення біогазу.

В роботі наведено результати аналізу шляхів та особливостей використання відновлюваних та вторинних джерел низькопотенціальної теплової енергії в системах інтенсифікації біоконверсії. Альтернативними енергоефективними засобами теплозабезпечення термостабілізації процесу ферментації біомаси є використання сонячної та вітрової енергії, теплоти ґрунту та води за допомогою теплових насосів та

утилізації низькопотенціальних теплових вторинних ресурсів. Запропонована класифікація напрямків підвищення енергоефективності біоконверсії шляхом зменшення енергетичних затрат на ферментацію біомаси.

Розглянуто енергоефективні конструкторсько-технологічні схеми біогазових установок з альтернативними джерелами термостабілізації процесу ферментації. Реалізацію підвищення енергоефективності біогазових установок пропонується за допомогою використання низькопотенціальної теплової енергії технологічного процесу біоконверсії, відновлюваної сонячної енергії за допомогою сонячних колекторів та батарей, а також за допомогою перетворення низькопотенціальної теплової енергії тепловими насосами.

За результатами теоретичних досліджень виявлено залежності продуктивності біогазової установки від частоти обертання перемішувача і вологості субстрату для різних температурних режимів анаеробного бродіння. Запропоновано математичну модель з використанням нечіткої логіки та лінгвістичних змінних для визначення продуктивності біогазової установки з відновлюваними джерелами енергії для термостабілізації процесу ферментації. Визначено енергетичні складові моделі енергоефективного біореактора з відновлюваними альтернативними джерелами енергії. Розроблено структурно-логічну модель управління процесом з підвищення енергоефективності біоконверсії. За результатами чисельного моделювання визначено затрати енергії на забезпечення інтенсифікації та термостабілізації як приклад для природо-кліматичних умов Вінницької області.

РОЗДІЛ 1
ШЛЯХИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ
ВІДНОВЛЮВАНИХ ТА ВТОРИННИХ ДЖЕРЕЛ
НИЗЬКОПОТЕНЦІАЛЬНОЇ ЕНЕРГІЇ
В СИСТЕМАХ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ БІОКОНВЕРСІЇ

В сучасній енергетичній стратегії України пріоритетна роль відводиться проблемі енергоефективності, вирішення якої потребує запровадження енергозберігаючих технологій та альтернативних відновлюваних джерел енергії [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. Використання біогазових систем потребує значних витрат енергії для підтримання постійного температурного режиму ферментації, що є невід’ємною складовою ефективного процесу зброджування для отримання біогазу з органічних відходів [8–13]. Для цього використовуються традиційні та не традиційні джерела енергії [8, 14–19]. Обґрунтування шляхів підвищення енергоефективності біоконверсії та оцінка потенціалу використання нетрадиційних джерел енергії для термостабілізації процесу ферментації в біореакторах є актуальною науково-практичною задачею [18, 20, 21].

1.1 Енергоефективні засоби інтенсифікації ферментації субстрату в біогазовому реакторі

Енергоефективність – це ефективне раціональне використання енергетичних ресурсів, тобто використання меншої кількості енергії для забезпечення того ж рівня енергетичного забезпечення устаткування або технологічних процесів біоконверсії. На відміну від енергозбереження, головним чином спрямованого на зменшення енергоспоживання, енергоефективність – ефективне витрачання енергії.

Для підвищення енергоефективності процесу утворення біогазу необхідно враховувати недоліки існуючих малоефективних біогазових реакторів. Це такі недоліки як недостатнє та нерівномірне прогрівання суміші біомаси, недостатнє перемішування суміші біомаси, неефективна теплова ізоляція, відсутність утилізації тепла з відпрацьованої суміші біомаси та біогазу, використання для термостабілізації ферментації нетрадиційних джерел енергії [22–24].

Зміни температури процесу термостабілізації ферментації допустимі з межах $\pm 3^{\circ}\text{C}$, інакше вони впливають негативно на процес зброджування. Це спричиняє низьку ефективність виділення біогазу, тому що метаболічна активність анаеробних бактерій знаходиться в прямій залежності від температури середовища. Необхідно дотримуватись одного з температурних режимів процесу ферментації: кріофільного 20°C , мезофільного $32\text{--}33^{\circ}\text{C}$, термофільного $52\text{--}54^{\circ}\text{C}$. [10]. Недотримання температури одного з процесів і коливання полів температур більш ніж $\pm 3^{\circ}\text{C}$ може значно знизити ефективність утворення біогазу, а зменшення температури до $+15^{\circ}\text{C}$ і нижче спричиняє зупинку активності метаболічних бактерій [10]. Для запобігання зупинці процесу утворення біогазу, необхідно забезпечувати рівномірне прогрівання суміші біомаси шляхом вибору оптимального способу прогрівання суміші біомаси. Доцільно використовувати такі способи прогрівання біомаси: непряме підігрівання, внутрішні і зовнішні системи підігрівання [25].

Непряме підігрівання реалізовується шляхом застосування теплообмінників, які розміщуються зовні чи всередині біогазового реактора. Внутрішнє підігрівання є ефективним технічним рішенням при достатньо великих розмірах теплообмінника, який має достатню міцність, щоб витримати перемішування біомаси [12, 24, 26–28]. Підігрівання з допомогою зовнішнього теплообмінника може бути виконане в вигляді нагрівальної сорочки навколо біогазового реактора [29], а також може застосовуватись теплообмінник для підігрівання біомаси при гідравлічному перемішування [30]. Ще один спосіб – проміжне підігрівання сировини, яке здійснюється у бункері підготовки біомаси, – але зазвичай він використовується з іншими способами. В якості джерела тепла для підвищення енергоефективності можуть використовуватись альтернативні джерела енергії [31–34].

Крім того значну роль у формування полів температур, в об'ємі біогазового реактора, відіграє спосіб перемішування суміші біомаси. Можуть бути застосовані різноманітні схеми розміщення теплообмінників та методи перемішування всередині біогазового реактора. Перемішування може здійснюватись такими основними способами: механічними мішалками, біогазом, що пропускається через суміш біомаси,

перекачуванням суміші біомаси з верхньої зони реактора до нижньої [11, 25, 35–38].

В горизонтальних сталевих реакторах використовується механічне перемішування, що здійснюється такими пристроями, як лопатеві, пропелерні, турбінні, шнекові, якірні, ремінні, дискові, скребкові перемішувальні пристрої. Ручне механічне перемішування може бути застосоване в біогазових реакторах невеликих об'ємів. При перемішуванні забезпечується розподілення температур по об'єму біогазового реактора, оскільки біля нагрівальних елементів накопичується перегріта суміш біомаси, то необхідність періодичного перемішування неможливо переоцінити. Крім того при перемішуванні руйнується суха кірка на поверхні суміші біомаси, яка заважає вивільненню біогазу. Також при застосуванні обертових перемішувальних пристроїв висуваються високі вимоги до форми реактора, оскільки вона повинна забезпечувати необхідні умови для зменшення утворення осаду та плаваючої кірки [39, 40].

Гідравлічне перемішування може бути реалізоване перекачуванням суміші біомаси і випускання через гідравлічні насадки струменя під тиском за допомогою циркуляційного насоса [25]. За допомогою насоса можна повністю перемішувати суміш біомаси при одночасному завантаженні і вивантаженні сировини. Застосування гідравлічних способів перемішування детально розглянуто в роботах [20, 22].

Пневматичне перемішування являє собою біогаз пропущений під надмірним тиском через барботер або трубку, що розташовується в нижній частині реактора. Проблемою таких систем може бути попадання біомаси в газову систему, що можна передбачити шляхом установлення системи клапанів. Цей спосіб дає хороший ефект в тому випадку, якщо зброджувана маса сильно розріджена і на поверхні не утворюється кірка [25]. Крім того можливе підігрівання субстрату шляхом подачі пари під тиском, але такий спосіб підвищує вміст вологи в біогазі, для усунення якої при підготовленні газу до використання необхідні додаткові заходи.

Ефективним способом підвищення енергоефективності біогазового виробництва є вібраційна інтенсифікація процесу анаеробного бродіння, якої можна досягти шляхом використання вібраційних процесів

оптимізації теплообміну [14, 41]. Для цього розділяють біогазовий реактор на секції та встановлюють віброактиватори. Така конструкція дає можливість позбавитись недоліків в існуючих біореакторах – застійні зони, значні площі теплообміну, недостатнє використання потенціалу сировини [26].

Коливання температур процесу бродіння в межах 4...5°C суттєво впливає на якість технологічного процесу, продуктивність біогазової установки та різко змінює активність анаеробних організмів. Вплив коливань температур можна зменшити шляхом підвищення термічного опору матеріалів захисних конструкцій біореакторів [14, 22, 41]. Чим більший опір теплопередачі ізоляції, тим незначніший перепад температур буде утворюватись в біореакторі та меншими будуть тепловтрати у зовнішнє середовище. Для зменшення тепловтрат у зовнішнє середовище доцільно застосовувати матеріали з низьким коефіцієнтом теплопровідності, а для зниження маси і вартості конструкції влаштовувати повітряні прошарки. Використання повітряного прошарку між біореактором та тепловою ізоляцією може підвищити загальний термічний опір конструкції в 1,4...1,8 разів, бо коефіцієнт теплопровідності повітря має досить низьке значення ($\lambda=0,023\text{Вт/м}^2\cdot\text{°C}$ при $t = 0\text{°C}$). Ефективним способом є екранування, тобто покриття теплової ізоляції алюмінієвою фольгою, яка може зменшити тепловий потік у 20 разів [12, 20, 22].

Підвищити енергоефективність біогазової установки в цілому можна також застосовуючи рециркуляцію теплової енергії, тобто встановленням теплообмінників для відбору теплової енергії від утвореного біогазу і відпрацьованої біомаси та використання цієї енергії для підігрівання біомаси всередині біореактора [22]. Рециркуляцію теплової енергії рідко використовують у зв'язку зі збільшенням фінансових витрат, що обумовлено влаштуванням теплонасосного обладнання для відбору теплової енергії.

Одним із шляхів підвищення енергоефективності біоконверсії є раціональний вибір джерел тепlopостачання для забезпечення термостабілізації процесу ферментації, а саме – використання альтернативних джерел енергії. Використання альтернативних джерел енергії є більш економічно вигідним, але збільшує вартість біогазового вироб-

ництв та термін окупності, а також ускладнює систему виробництва біогазу. На сьогоднішній день здебільшого існують біогазові установи, які працюють завдяки традиційним джерелам енергії. Використання альтернативних джерел енергії для забезпечення термостабілізації процесу ферментації в біореакторі недооцінене та потребує науково-технічного обґрунтування [13, 42, 43]. Класифікацію напрямків підвищення енергоефективності біоконверсії шляхом зменшення енерговитрат на процес ферментації біомаси наведено на рис. 1.1.

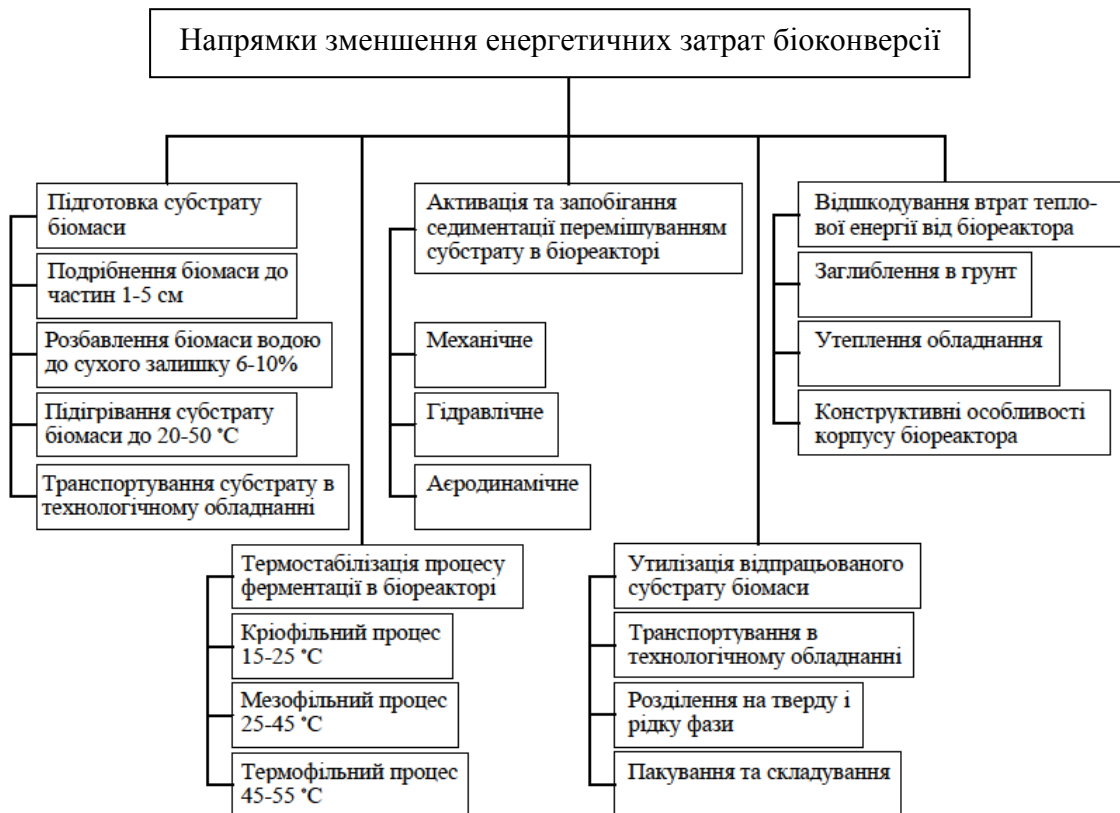


Рисунок 1.1 – Напрямки підвищення енергоефективності біоконверсії шляхом зменшення енергетичних затрат на ферментацію біомаси

1.2 Використання сонячної енергії для термостабілізації та інтенсифікації процесу ферментації субстрату в біореакторі

Сонячна енергія може використовуватись для безпосереднього нагрівання поверхні резервуара біогазової установки, а також отримання теплової та електричної енергії від сонячних колекторів й батарей для інтенсифікації процесу виробництва біогазу.

Ефективність нагрівання поверхні біогазової установки для інтенсифікації процесу ферментації біомаси розглядається в роботі В. М. Желиха та Ю. В. Фурдаса [24]. У ній наведено аналіз форм побутових біогазових установок і визначено, що енергоефективною формою для поглинання поверхнею сонячних променів є сферична з вершиною і низом в формі зрізаного конуса. В такому випадку буде відбуватись прогрівання органічної сировини в біореакторі шляхом прямого контакту сонячних променів з його поверхнею. Дослідження виконано для невеликого побутового реактора об'ємом 1 м^3 , резервуар якого повністю виконаний з металу та пофарбований в чорний колір. Найефективніше така система буде працювати в теплий період року та при найбільших сонячних теплонадходженнях. Авторами запропоновано методику визначення кількості теплової енергії для біореактора та визначено, що кількість теплоти, отриманої від сонця, для такого біореактора складає не більше $2700 \text{ кВт}\cdot\text{місяць}$ [24].

Забезпечення сонячною енергією біогазової установки запропоновано в роботах [18, 40]. Необхідна температура в біореакторі досягається використанням енергії Сонця за допомогою сонячних колектора і батареї таким чином, що підігрівання біомаси в реакторі здійснюється через теплообмінний радіатор або електронагрівач. За допомогою насоса воду прокачують через модулі-колектори сонячного колектора, які добре поглинають сонячне випромінювання і нагрівають воду до $60\text{--}80^\circ\text{C}$. В холодну пору року для одержання додаткового тепла в реакторі використовують електронагрівач, який живиться від акумулятора електричної енергії. При необхідності сонячний колектор через клапани може бути відключений від теплового акумулятора, що дозволяє заощаджувати енергію в темну пору доби, коли сонячний колектор не працює ефективно.

В роботі [28] розглянуто біогазову установку, що містить геліоустановку. В ній нагріта вертикальна стінка (мідна або алюмінієва) передає тепло жорстко закріпленому мідному або алюмінієвому трубчастому контуру, що заповнений рідким теплоносієм. Контур передає теплову енергію спіралі, яка в свою чергу нагріває біомасу.

Структурну схему використання сонячної енергії для термостабілізації та інтенсифікації процесу ферментації субстрату при виробництві біогазу наведено на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Структурна схема використання сонячної енергії для термостабілізації та інтенсифікації процесу ферментації субстрату

При термостабілізації процесу бродіння з використанням теплової енергії сонця на роботу частин біогазової установки з електроспоживанням витрачається електроенергія з мережі. Тому доцільним для підвищення енергоефективності біоконверсії перенесення теплової енергії від сонячного колектора до бака-акумулятора, з якого тепла енергія подається на термостабілізацію процесу ферментації в біореакторі, а сонячна батарея постачає електричним нагрівальним кабелем електричний струм до інвертора електричного струму. Інвертор електроенергії забезпечує електричним струмом роботу компресора, блока управління, терморегулятора, насосів та інші частини з електроспоживанням.

1.3 Використання теплоти ґрунту та природної води з артезіанських свердловин та ґрунтової і відкритих водойм для термостабілізації процесу ферментації за допомогою теплових насосів

На сьогоднішній день використання біогазу є досить обмеженим, тому що недостатньо досліджена енергетична сторона біогазового виробництва, а саме великі теплові втрати на термостабілізацію для підігрівання субстрату та нерациональне використання біогазу. Одним з шляхів вирішення цієї проблеми є використання низькопотенціальних джерел енергії, а саме ґрунту й природної води відкритих водойм та ґрунтової [44–46].

Тепловий насос – це екологічно чиста компактна установка, що дозволяє отримувати теплову енергію за рахунок перетворення низькопотенціальної теплоти в енергію більш високого температурного потенціалу. Ці установки можуть виробляти в 3–7 разів більше теплової енергії ніж споживають електричної на привід компресора, тому є найбільш ефективними. До переваг теплових насосів можна віднести також те, що: немає проблем з придбанням палива, транспортними витратами, немає штату обслуговуючого персоналу, відсутнє забруднення навколишнього середовища, не потрібні значні землевідводи під територію котельні, вони практично безшумні в роботі, вибухо- та пожежобезпечні. Також теплові насоси довговічні, адже термін експлуатації ґрунтового зонда може досягати 100 років, необхідна лише заміна компресора по закінченню терміну служби (15 років). Порівняння коефіцієнтів використання палива для теплового насоса, а саме водойм, ґрунту, повітря, дає змогу оцінити ефективність використання кожного. Досить високу ефективність можна отримати з ґрунту, при цьому коефіцієнт COP (коефіцієнт перетворення теплової енергії) може сягати 4,2, залежно від різниці температур між низькопотенціальним джерелом тепла і температурою тепlopостачання. Тобто з одиниці електричної енергії буде отримано до 4,2 одиниць теплової енергії. Тому важливим кроком в створенні енергоефективної біогазової установки буде застосування теплових насосів у термостабілізації процесу ферментації.

Система підігрівання субстрату з допомогою теплового насоса типу «вода–вода» полягає у застосуванні енергоефективних рішень, а саме зонда [45, 46]. Шляхом рекуперації тепла відпрацьованого шламу відбувається перша ступінь підігрівання свіжого субстрату, за якою йде друга ступінь підігрівання за допомогою теплового насоса типу «вода–вода». Відбір тепла при цьому здійснюється від відпрацьованого шламу після теплообмінника. Таке конструктивне вирішення процесу теплообміну в результаті дає коефіцієнт перетворення теплового насоса (COP) вищий 5.

Для термостабілізації процесу ферментації біомаси тепло доцільно використовувати в якості низькопотенціального джерела енергії ґрунт. В роботах [46, 47] пропонується для підвищення енергоефективності термостабілізації процесу ферментації біомаси комбіноване використання теплового насоса та сонячного колектора. За допомогою сонячного колектора здійснюється перетворення сонячної енергії в теплову, яка циркулює по замкненому контуру з використанням насоса і передається до теплообмінника. Тепловий насос споживає низькопотенціальну енергію ґрунту. У ґрунті розташовані технологічні свердловини, у які закладено трубопроводи з теплоносієм. Випарник та конденсатор теплового насоса перетворюють низькопотенціальну енергію у теплову, яка потрапляє по трубопроводах до теплообмінника. Далі тепла енергії з теплообмінника потрапляє до технологічного рукава, який знаходиться навколо біореактора та підігріває біомасу. Таким чином загальна енергоефективність, тобто ККД, біогазової установки підвищується. Недоліком є відсутність рекуперації відновлюваної теплової енергії біогазу та відпрацьованого шламу.

Отримання біогазу з процесу анаеробного бродіння за рахунок нагріву субстрату, що забезпечується тепловою енергією з теплообмінника, яка виробляється в тепловому насосі та сонячному колекторі розглянуто в роботах [43, 45]. Головна ідея використання альтернативних джерел енергії полягає у генерації тепла в денний час у сонячному колекторі за рахунок сонця і акумулювання її в бак акумулятор. Коли використання сонячного колектора стає не вигідним, то процес генерації тепла продовжується в тепловому насосі за рахунок зміни на-

прямку руху теплоносія за допомогою запірно-регулювальної арматури, переважно в нічний час. При цьому в якості джерела первинної енергії для теплового насоса може бути використана теплота ґрунту тощо.

Згадування про використання різних джерел низькопотенціальної енергії можна зустріти у роботах [35, 48–50]. В них представлено порівняння енергетичної ефективності різних джерел тепла та їх орієнтовних споживачів (табл. 1.1). Найвигіднішими з них виявляються варіанти відбору тепла з водойм та зворотної води технологічних процесів. Отриманий коефіцієнт перетворення теплового насоса в такому разі може сягати 4–4,5 залежно від різниці температур низькопотенціального джерела тепла та споживача.

Забезпечення термостабілізації процесу ферментації біомаси в біореакторі потребує оптимальної температури в залежності від вибраного режиму: кріофільного 20 °С, мезофільного 32–33 °С, термофільного 52–54 °С. Тобто, при виборі температури мезофільного процесу анаеробного бродіння та відбору тепла водойм з температурою 5–15 °С коефіцієнт перетворення буде більший за 4,5 і навпаки меншим за 4,5 при виборі термофільного процесу (див. табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Енергетична ефективність теплових насосів

Джерело низькопотенціальної енергії	Зворотна вода (15–25 °С)	Водойма (5–15 °С)	Стічні води (25–30 °С)	Відпрацьоване повітря (20–30 °С)	Атмосферне повітря
Температура отримана в тепловому насосі		(40–50 °С)	(25–31 °С)	(30–40 °С)	(20–25 °)
Коефіцієнт перетворення	4,0–4,2	4,2–4,5	4,5–5,0	3,1–3,3	3,5–3,7

Структурну схему використання низькопотенціальної теплової енергії ґрунту та природної води для підвищення енергоефективності біоконверсії шляхом зменшення затрат на термостабілізацію процесу ферментації біомаси наведено на рис. 1.3.

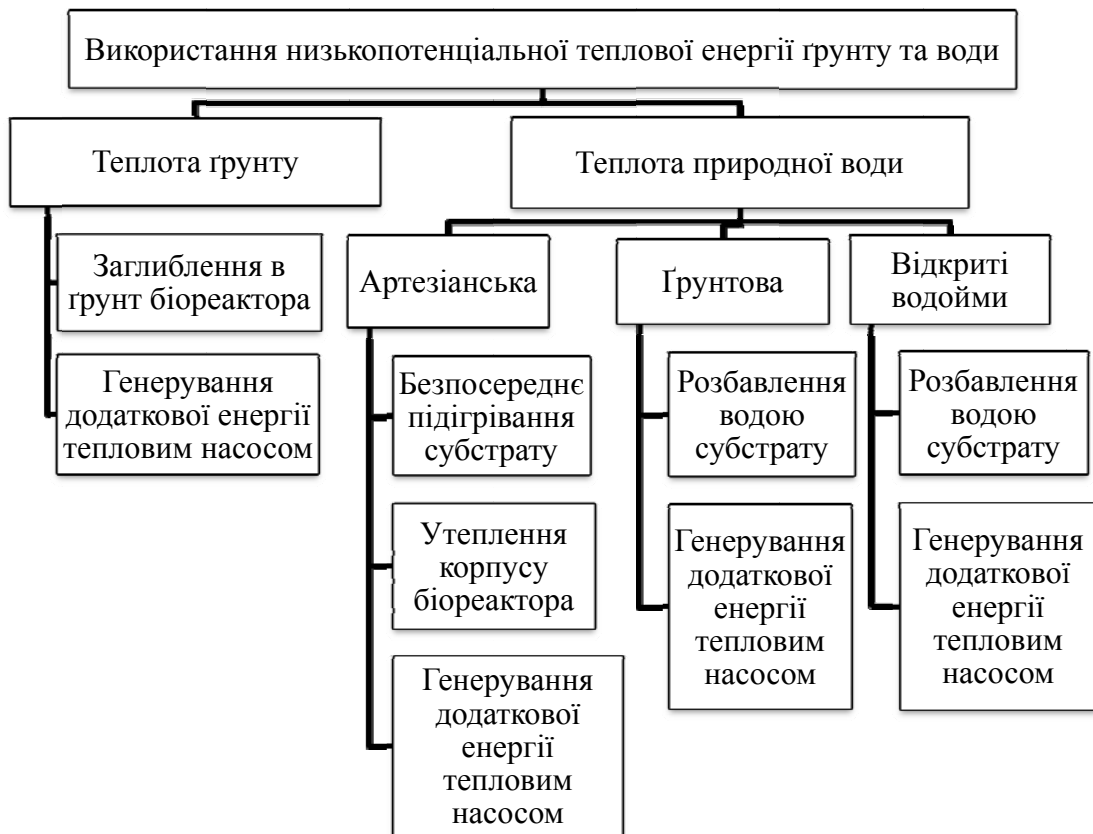


Рисунок 1.3 – Структурна схема використання низько потенціальної теплової енергії ґрунту та природної води

1.4 Використання тепла масиву полігону твердих побутових відходів для термостабілізації та інтенсифікації процесу ферментації субстрату в біореакторі

Теплота масиву полігону твердих побутових відходів може бути використана як для прямого підігрівання біомаси всередині біореактора, так і для непрямого впливу на цей процес, наприклад, для забезпечення роботи теплового насоса, який постачає теплову енергію на підігрівання біореактора. Застосування такої системи запропоновано в конструкції біореактора авторів (рис. 1.4) [51]. Техніко-економічні переваги такого технічного вирішення полягають в тому, що при використанні системи утилізації біогазу та тепла масиву полігону твердих побутових відходів зникають витрати на проведення додаткових бурових робіт зі збору та вилученню біогазу та тепла масиву, а також підвищується рентабельність процесу.

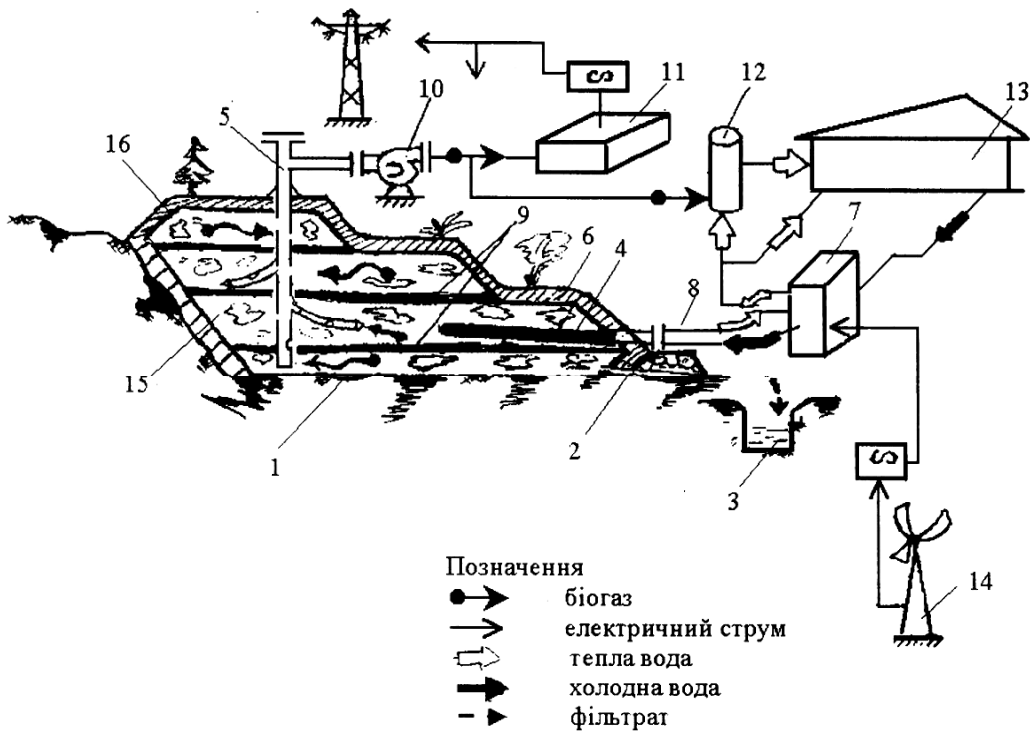


Рисунок 1.4 – Спосіб використання тепла твердих побутових відходів

Спосіб реалізують таким чином. На вибраній під будівництво полігону ТПВ ділянці на рельєфі з нахилом 7 % проводять геологічні та гідрогеологічні пошукові роботи: досліджують порядок напластування, потужність та склад порід в основі полігону, а також визначають рівень залягання ґрунтових вод. Визначають коефіцієнт фільтрації (k) ґрунтів в основі полігону та приступають до формування базової гідронепроникної підстилки 1 (екрану). При k більше 0,00864 м/добу створюють водостійку основу, наприклад, з поліетиленової плівки товщиною 2 мм покладеної на вирівняний шар піску. Потім над плівкою по гравійній підстилці вздовж основи полігону з уклоном прокладають дренажні перфоровані труби 2 діаметром 200–300 мм. Труби покривають шаром ґрунту та з'єднують з фільтратозбірником 3, звідки шкідливий фільтрат в подальшому відкачують на утилізацію або повторно подають в масив полігону. На сформовану базову водостійку підстилку складують тверді побутові відходи, ущільнюючи їх механізмами. Ущільнення відходів зменшує їх об'єм в 3–4 рази та покращує експлуатацію полігону. При досягненні першого прошарку 4 відходів

висоти 2 м на їх поверхні прокладають горизонтальну систему дегазаційних труб та бурять свердловини 5 або шурфи-колодязі для відводу біогазу. Свердловини 5 та шурфи-колодязі в міру підсилення відходів нарощують. Одночасно на цьому рівні закладають систему збору низькопотенціального тепла масиву полігону твердих побутових відходів, для чого використовують тепловий насос. Така система є ефективною для утилізації тепла та дозволяє отримати 2,5–3,5 кВт корисного тепла на 1кВт затраченої електроенергії, що необхідна для роботи теплового насоса 5. Система збору тепла представляє собою ділянку полігону з прокладеними в масиві ГПВ реєстрами труб 6 теплообмінника та включає такі основні елементи:

- насос 7 для вимушеної циркуляції теплоносія в теплообміннику;
- ділянку теплотраси 8, яка з'єднує систему теплосбору з випарувачем теплового насоса.

В якості теплоносія використовують нетоксичний антифриз. Контроль за температурою, тиском, швидкістю руху теплоносія здійснюють на виході та вході системи збору тепла масиву. Реєстри 6 труб теплообмінника з'єднують в послідовно-паралельні групи та передбачають можливість їх автономної роботи. Таке виконання реєстрів труб 6 дає також можливість експлуатувати також одночасно одну групу модулів теплообмінника в режимі тепlopостачання, а іншу – в режимі холодopостачання. Після закладання дегазаційних труб та реєстрів труб 6 теплообмінника на них досипають шар відходів до досягнення проектної висоти – 2,5 м та здійснюють поверхневу ізоляцію першого прошарку 9. Для ізоляції використовують глину, яку укладають на висоту 0,2 м та утрамбовують. На цій стадії робіт в масиві відходів бурять також дегазаційну свердловину 5, гирло якої підключають до витяжного вентилятора 10. На поверхні поза площею складування відходів влаштовують також тепловий насос 7 та відповідні комунікації для утилізації енергії масиву складування.

Технологічну лінію дегазації масиву під'єднують до блока 11 силової установки. Біогаз подають компресором на спалювання і при витраті біогазу, наприклад, 120 м³/год, установка вироблятиме протягом експлуатації полігону 15–20 років до 1 млн кВт електроенергії. Частина газу спалюють у водогрійному котлі 12, отримуючи теплу воду, яку подають, наприклад, у теплицю 13. Технологічну лінію ви-

користання тепла масиву підключають до теплового насоса 7. Тепло передається скраплювачем до споживача тепла – теплиці 13. В процесі скраплювання теплоносій відбирає тепло із джерела – масиву твердих побутових відходів. Для роботи теплового насоса 7 необхідну енергію для споживання отримують від електричного газогенератора, що працює на біогазі, який отримують при дегазації полігону. Одночасно для електричного живлення теплового насоса підключають вітровий генератор 14 електричного струму, роботу якого корегують із роботою контейнерної електростанції, що працює на біогазі. В залежності від потреб споживача тепловий насос 7 переводять також в режим роботи холодопостачання. Наприклад, коли влітку теплиці 13 використовують як овочесховища, їх приміщення служать для насоса 7 джерелом тепла.

Після завершення формування першого прошарку 4 відходів приступають до складування наступного ярусу 15. Операції формування полігону повторюють. При досягненні відходами проектної висоти складування приступають до завершальних етапів робіт, що передбачають рекультивацію території з її екологічним окультуренням. Для цього на поверхні масиву створюють газогідронепроникний настил 4 із шару утрамбованої глини висотою 0,5 м. Поверх насипають родючий шар ґрунту.

1.5 Особливості утилізації низькопотенціальних теплових вторинних ресурсів в системах інтенсифікації біоконверсії

1.5.1 Утилізація теплових викидів агропромислових та сільськогосподарських підприємств

Щоб тепла енергія відходів агропромислових та сільськогосподарських господарств не втрачалась необхідно використовувати її для отримання біогазу в біореаторах. Тому для утилізації теплових викидів агропромислового та сільськогосподарського виробництва необхідно спочатку створити і впровадити ефективний технологічний спосіб анаеробного перероблення сільськогосподарських відходів з урахуванням специфічної тривалості циклу бродіння окремих компонентів. Анаеробна переробка органічних відходів тваринництва, рослинництва фермерських та переробних підприємств в біогаз і добрива дає найбільший вихід біогазу. Приблизні значення виходу біогазу при використанні різних відходів наведено в табл. 1.2.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про енергозбереження» [Електронний ресурс] : за станом на 1 липня 1994 р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К. : Відомості Верховної Ради, 1994. – 283 с. Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=74%2F94-%E2%F0>.
2. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» [Електронний ресурс] : за станом на 20 лютого 2003 р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К. : Відомості Верховної Ради, 2003. – 155 с. Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=555-15>.
3. Калетнік Г. М. Розвиток ринку біопалив в Україні: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора екон. наук : спец. 08.00.03 «Національне господарство» / Г. М. Калетнік. – К., 2009. – 34 с.
4. Біоенергія в Україні – розвиток сільських територій та можливості для окремих громад / [В. О. Дубровін, М. Д. Мельничук, Ю. Ф. Мельник та ін.]. – К., 2009. – 111 с.
5. Забарний Г. М. Енергетичний потенціал нетрадиційних джерел енергії України / Г. М. Забарний, А. В. Шурчков. – К., 2002 – 211 с.
6. Кудря С. О. Потенціал і структура використання нетрадиційних поновлюваних джерел енергії / С. О. Кудря // Енергетичні ресурси та потоки. – К., 2003. – 468 с.
7. Дудюк Д. Л. Нетрадиційна енергетика : навч. посіб. / Д. Л. Дудюк, С. С. Мазепа, Я. М. Гнатишин. – Львів : Магнолія 2006, 2008. – 188 с.
8. Сербін В. А. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії в системах ТГП / В. А. Сербін. – Макіївка : ДонДАБА, 2003. – 153 с.
9. Рожко А. Економічні аспекти використання відновлювальних джерел енергії в умовах Євроінтеграції [Електронний ресурс] / А. Рожко. Режим доступу: http://www.library.tane.edu.ua/images/nauk_vydannya/SWFoCT.pdf.
10. Баадер Б. Биогаз: Теория и практика / Б. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер ; пер. М. И. Серебряного. – М. : Колос, 1982. – 148 с.
11. Гелетуха Г. Г. Перспективы развития современных технологий анаэробного сбраживания биомассы в Украине (Обзор) / Г. Г. Гелетуха, С. Г. Кобзарь // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2002. – № 5. – С. 3–9.
12. Ратушняк Г. С. Енергозберігаючі відновлювальні джерела тепlopостачання : навч. посібник / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула, К. В. Анохіна. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 170 с.
13. Ткаченко С. Й. Теплообмінні та гідродинамічні процеси в елементах енергозабезпечення біогазової установки / С. Й. Ткаченко, Д. В. Степанов. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 132 с.

14. Ратушняк Г. С. Інтенсифікація біоконверсії коливальним перемішуванням субстрату : монографія / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 117 с.
15. Землянка О. О. Вибір раціональних режимів роботи реактора біогазової установки / О. О. Землянка, М. В. Губінський // Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. – 2009. – № 1. – С. 112–120.
16. Weiland P. Production and energetic use of biogas from energy crops and wastes in Germany [Електронний ресурс] / P. Weiland // Applied Biochemistry and Biotechnology. – 2003. – № 109 – p. 263–274. Режим доступу: <http://www.springerlink.com/content/p01720g04122n251>.
17. Ratushnyak G.S. Intensification of Biogas Production By Means Of Mechanical Mixing of The Substrate / G. S. Ratushnyak, K. V. Anokhina // Tap Chi Khoa hoc & Cong nghe. – 2012. – № 8 (57). – С. 177–179.
18. Noyola A. Treatment of biogas produced in anaerobic reactors for domestic wastewater: odor control and energy/recourse recovery [Електронний ресурс] / A. Noyola, J. Morgan-Sagastume, J. Lopez-Hernandez // Environmental Science and Biotechnology. – 2006. – p. 93–114. – DOI 10.1007. Режим доступу: <http://www.springerlink.com/content/632346413v5366k3>.
19. Дубровін В. О. Забезпечення якості біопалива / В. О. Дубровін, М. Д. Мельничук, С. В. Драгнєв // Вісник ВПІ. – 2007. – № 4. – С. 98–102.
20. Друкований М. Ф. Технологія переробки біомаси : монографія / М. Ф. Друкований, О. С. Яремчук, Л. В. Сосновська. – Вінниця : ВНАУ. – 432 с.
21. Топілін Г. Е. Принцип одержання біогазу і добрив з органічних відходів з агровиробництва / Г. Е. Топілін, С. М. Умінський, С. В. Інютін // Аграрний вісник Причорномор'я. – 2009. – № 49. Режим доступу: http://www.nbuu.gov.ua/portal/chem_biol/avpch/Tn/2009_48/Topilin_Uminsky_Injutin.pdf.
22. Ратушняк Г. С. Енергоефективні технологічні процеси та обладнання біоконверсії : монографія / Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 148 с.
23. Желих В. М. Дослідження ексергетичної ефективності низькотемпературних сонячних колекторів / В. М. Желих, Х. Р. Лесик, Б. І. Пізнак // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2013. – № 1. – С. 135–142.
24. Желих В. М. Теплозабезпечення побутового біореактоа шляхом використання сонячної енергії / В. М. Желих, Ю. В. Фурдас, В. Б. Шепітчак // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2013. – № 1. – С. 142–149.
25. Веденев А. Г. Руководство по биогазовым технологиям / А. Г. Веденев, А. Т. Веденева. – Бишкек : ДЭМИ, 2011. – 84 с.

26. Пат. 7184 Україна, МПК. С 02F 11/04. Біогазова установка / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула, заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № u 20041008416 ; заявл. 18.10.2004 ; опубл. 15.06.2005, Бюл. № 6.

27. Пат. 27445 Україна, МПК. С 02F 11/04. Установка для одержання біогазу і біодобрива з органічних відходів / І. О. Аксютов, Я. В. Бабкін, заявник і власник патенту Аксютов І.О. – № u 200708488 ; заявл. 24.07.2007 ; опубл. 25.10.2007.

28. Пат. 90617 Україна, МПК С 02 F 11/04 Біогазова геліоустановка / В. І. Гуйтур, В. Д. Будак, заявник і власник патенту Гуйтур В. І. – № u201311677 ; заявл. 03.10.2013 ; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 11.

29. Ратушняк Г. С. Управління технологічним процесом біоконверсії при перемішуванні субстрату / Г. С. Ратушняк, О. Г. Ратушняк, К. В. Анохіна // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2010. – № 2 – С. 117–122.

30. Пат. 49746 Україна, МПК С 02 F 11/04. Біогазова установка / Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна, заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № u200911674 ; заявл. 16.11.2009 ; опубл. 11.05.2010, Бюл. № 9.

31. Желих В. М. Теплозабезпечення побутового біореактора шляхом використання сонячної енергії / В. М. Желих, Ю. В. Фурдас, В. Б. Шепітчак // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2013. – № 1. – С. 142–149.

32. Желих В. М. Енергоефективні системи теплозабезпечення виробничих приміщень / В. М. Желих, О. І. Дзерин, Н. А. Сподинюк // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2012. – № 2. – С. 152–157.

33. Пат. 57360 Україна, МПК С 02 F 11/04 Біогазовий реактор / В. М. Желих, Ю. В. Фурдас, заявник і власник патенту національний університет «Лвівська політехніка». – № u201009106 ; заявл. 20.07.2010 ; опубл. 25.02.2011, Бюл. № 4.

34. Пат. 90880 Україна, МПК С 02 F 11/04 Біогазова установка з системою утилізації тепла / Н. В. Колосова, С. І. Монах, Д. В. Виборонов, заявник і власник патенту Колосова Н.В. – № u 201400725 ; заявл. 27.01.2014 ; опубл. 10.06.2014р, Бюл.№11.

35. Ратушняк Г. С. Моделювання теплового режиму на початковій фазі бродіння в біогазовій установці з пропелерною мішалкою / Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна // Вісник ХНУ. – 2010. – № 4. – С. 19–22.

36. Гелетуша Г. Г. Обзор технологи добычи и использования биогаза на свалках и полигонах твердых бытовых отходов и перспективы их развития в Украине / Гелетуша Г. Г., Марценюк З. А. // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1999. – № 4. – С. 6–14.

37. Дрыгина Е. С. Биоустановки в СССР. – Серия 19. – М. : ВНИИСЭНТИ, 1989. – 24 С.

38. Biogas: Kalkuliren Sie genau // Management Erne bare Energien. – 2000. – № 5. – P. 145–150.

39. Пат. 20193 Україна, МПК С 02 F 11 / 07 Біогазова установка / П. М. Горлей, В. І. Микитюк, В. В. Шлемкевич, заявник і власник патенту Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича. – № u200607716 ; заявл. 10.07.2006 ; опубл. 16.01.2007, Бюл. № 1.

40. Пат. 58740 Україна, МПК С 02 F 11/04 Біогазова установка для переробки органічних відходів / В. М. Кломицев, Ю. М. Куценко, О. А. Потішний, заявник і власник патенту Таврійський державний агротехнологічний університет. – № u201011213 ; заявл. 20.09.2010; опубл. 26.04.2011, Бюл. № 8.

41. Ратушняк Г. С. Шляхи вдосконалення енергоощадних технологій при утилізації органічних відходів в системах біоконверсії / Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна // Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація. – 2009. – № 659. – С. 151–153.

42. Теплообмінні процеси та обладнання переробних та харчових виробництв / І. П. Паламарчук, В. С. Берник [та ін.] – Львів : Бескид Біт, 2006. – 368 с.

43. Ратушняк Г. С. Інтенсифікація біоконверсії шляхом використання відновлювальних джерел енергії / Г. С. Ратушняк, І. А. Кошечев // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2011. – № 2. – С. 157–161.

44. Експертна система для інтелектуальної підтримки енергозберігаючого управління технологічним процесом біоконверсії / Є. П. Ларюшкін та ін. // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2008. – № 1. – С. 144–150.

45. Низькопотенційна енергетика : навч. посіб. / А. О. Редько, М. К. Безродний, М. В. Загорученко [та ін.] ; під ред. академіка НАНУ А. А. Долинського. – Харків : Друкарня Мадрид, 2016. – 412 с.

46. Шовкалюк Ю. В. Використання теплових насосів у тепlopостачанні. // Нова тема. – 2007. – №3. – С. 140–151

47. Ратушняк Г. С. Експертна система на базі нечіткої логіки прогнозування продуктивності біогазової установки з механічним перемішувальним пристроєм / Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2010. – № 3 (19). – С. 20–25.

48. Пат. 50357 Україна, МПК. С 02F 11/04, С 02F 3/28. Установка для одержання біогазу / В. І. Юрченко, І. В. Юрченко, А. В. Юрченко, заявник і власник патенту Юрченко В.І. – № u 2001129093 ; заявл. 27.12.2001 ; опубл. 15.10.2002, Бюл. № 10.

49. Пат. 46807 Україна, МПК. С 02F 11/04. Установка для отримання біогазу / С. Й. Ткаченко, Н. В. Резидент, Н. Д. Степанова, Н. В. Пі-

шеніна, заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № u 200906401 ; заявл. 19.06.2009 ; опубл. 11.01.2010, Бюл. № 1.

50. Пат. 51129 Україна, МПК. С 02F 11/04, F 24J 2/32. Спосіб термостатування біореактора при виробництві біогазу і добрива / В. В. Притула, Є. Х. Русов, І. Д. Глазирін, М. І. Гоголь, Ф. П. Ржепішевський, заявник і власник патенту Одеська державна академія холоду – № u 200909931 ; заявл. 29.09.2009 ; опубл. 12.07.2010, Бюл. № 13.

51. Пат. 58244 А Україна, МПК E21C 41/00. Система утилізації біогазу та тепла з масиву полігону твердих побутових відходів / О. В. Гвоздевич, Ю. В. Стефанік, Я. Й. Гронський, Б. М. Горбаль, заявник і власник патенту Інститут геології і геохімії горючих копалин національної академії наук України та національної акціонерної компанії «Нафтогаз України» – № 2002118736 ; заявл. 05.11.2002 ; опубл. 15.07.2003, Бюл. №7.

52. Пат. 12596 Україна, МПК С 02 F 11/04. Спосіб переробки сільськогосподарських відходів з одержанням біогазу і добрив / Г.Є. Мовсесов, заявник і власник патенту Інститут механізації тваринництва Української академії аграрних наук – № u200508037 ; заявл. 15.08.2005 ; опубл. 15.02.2006, Бюл. № 2.

53. Пат. 80552 Україна, МПК С 02 F 11/04. Установа для виробництва енергоносіїв з органічних відходів / Д. С. Степанов, С. Й. Ткаченко, Н. Д. Степанова, заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет – № u201211047 ; заявл. 24.09.2012 ; опубл. 10.06.2013, Бюл. № 11.

54. Ратушняк Г. С. Інтенсифікація теплообміну та термостабілізація біореакторів / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула // Вісник ВПІ. – 2006. – № 2. – С. 26–32.

55. Пат. 79368 Україна, МПК С 02 F 11. Біогазова установка / Г. С. Ратушняк, О. Г. Лялюк, І. А. Кощєєв, заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет – № u201209984 ; заявл 20.08.2012 ; опубл. 25.04.2013, Бюл. № 8.

56. Пат. 63826 Україна, МПК С 02 F 11/04. Біогазова установка/ Г. С. Ратушняк, О. Г. Лялюк, К. В. Анохіна, І. А. Кощєєв, заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет – № u201102659 ; заявл. 09.03.2011 ; опубл. 25.10.2011, Бюл. № 20.

57. Пат. 63825 Україна, МПК С 02 F 11/04. Біогазова установка/ Г. С. Ратушняк, О. Г. Лялюк, К. В. Анохіна, І. А. Кощєєв, заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет – № u201102656 ; заявл. 09.03.2011 ; опубл. 25.10.2011, Бюл. № 20.

58. Пат. 90255 Україна, МПК С 02 F 11. Біогазова установка / Г. С. Ратушняк, О. Г. Лялюк, І. А. Кощєєв, М. В. Поліщук, заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № u201306623 ; заявл. 28.05.2013 ; опубл. 26.05.2014, Бюл. № 10.

59. Пат. 95068 Україна, МПК С 02 F 11. Біогазова установка з сонячною батареєю / Г. С. Ратушняк, О. Г. Лялюк, І. А. Кощєєв, О. Я. Сімакова, заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № u201406963 ; заявл. 20.06.2014 ; опубл. 10.12.2014, Бюл. № 23.

60. Пат. 97208 Україна, МПК С 02 F 11. Біогазова установка з сонячною батареєю / Г. С. Ратушняк, О. Г. Лялюк, І. А. Кощєєв, О. Я. Сімакова заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № u201406964 ; заявл. 20.06.2014 ; опубл. 10.03.2015, Бюл. № 5.

61. Пат. 97959 Україна, МПК С 02 F 11. Біогазова установка / Г. С. Ратушняк, О. Г. Лялюк, І. А. Кощєєв, заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № u201412021 ; заявл. 06.11.2014 ; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 7.

62. Пат. 67819 Україна, МПК С 02 F 11/04. Біогазова установка з тепловим насосом / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула, І. А. Кощєєв, заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № u201108680 ; заявл. 11.07.2011 ; опубл. 11.07.2012, Бюл. № 5.

63. Пат. 101177 Україна, МПК С 02 F 11. Біогазова установка з тепловим насосом / Г. С. Ратушняк, О. Г. Лялюк, І. А. Кощєєв, заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № u201502928 ; заявл. 30.03.2015 ; опубл. 25.08.2015, Бюл. № 16.

64. Пат. 64957 Україна, МПК С 02 F 11 Біогазовий реактор / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула, І. А. Кощєєв, заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № u201104704 ; заявл. 18.04.2011 ; опубл. 25.11.2011, Бюл. № 22.

65. Пат. 100433 Україна, МПК С 02 F 11. Біогазова установка з сонячним колектором / Г. С. Ратушняк, О. Г. Лялюк, І. А. Кощєєв, заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № u201500972 ; заявл. 09.02.2015 ; опубл. 27.07.2015, Бюл. № 14.

66. Ратушняк Г. С. Інтенсифікація теплообміну та термостабілізація біореакторів / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула // Вісник ВПІ. – 2006. – № 2. – С. 26–32.

67. Кощєєв І. А. Моделювання процесу біоконверсії в біореакторі з нетрадиційними джерелами енергії з використанням нечіткої логіки / І. А. Кощєєв // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2015. – № 1. – С. 86–92.

68. Ратушняк Г. С. Вплив температурних режимів ферментації та седиментаційних параметрів субстрату на продуктивність біогазової установки / Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна, І. А. Кощєєв // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2015. – № 1. – С. 61.

69. Ратушняк Г. С. Энергоефективність біоконверсії при термостабілізації анаеробного бродіння субстрату в біогазовій установці з тепловим насосом / Г. С. Ратушняк, І. А. Кощев // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2012. – № 2. – С. 145–152.

70. Ратушняк Г. С. Використання геліоустановок для термостабілізації процесу виробництва біогазу / Г. С. Ратушняк, І. А. Кощев // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2014. – № 1. – С. 156–162.

71. Ратушняк Г. С. Моделювання теплових процесів енергоефективного біореактора з сонячним колектором / Г. С. Ратушняк, І. А. Кощев // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2014. – № 2. – С. 120–124.

72. Ратушняк Г. С. Моделювання енергоощадності біореактора з альтернативними джерелами енергії з використанням функцій належності лінгвістичних змінних / Г. С. Ратушняк, І. А. Кощев // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2015. – № 3. – С. 13–17.

73. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Наука, 1976. – 279 С.

74. Бердыев О. Экспериментальное исследование теплообмена в установках по выработке биогаза : автореф. дисс. на соискание науч. звания канд. техн. наук : спец. 05.14.04 «Промышленная теплоэнергетика» / Ашхабад : Солнце, 1989. – 24 с.

75. Качан Ю. Г. Біогазові установки та методи їх розрахунку / Ю. Г. Качан, Ю. В. Куріс, І. М. Левицька // Відновлювальна та нетрадиційна енергетика. – 2009. – № 5. – С. 46–52.

76. Друкований М. Ф. Альтернативні джерела енергії : монографія / М. Ф. Друкований, В. П. Янович. – Вінниця : ВНАУ, 2016. – 495 с.

77. Панцхава Е. С. Метангенерация твердых органических отходов городов / Е. С. Панцхава, Е. В. Давиденко // Биотехнология. – 1990. – № 4. – С. 49–53.

78. Ратушняк Г. С. Визначення енергетичних складових моделі енергоефективного біореактора з використанням сонячної енергії / Г. С. Ратушняк, І. А. Кощев // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 3. – С. 41–45.

79. Ротштейн О. П. Soft Computing в біотехнології: багатофакторний аналіз і діагностика : монографія / О. П. Ротштейн, Є. П. Ларюшкін, Ю. І. Мітюшкін. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 144 с.

80. Богословский В. Н. Справочник проектировщика : Книга 1. Ч. 3. / В. Н. Богословский ; под. ред. Н. Н. Павлова. – 4-е. изд. – М. : Стройиздат, 1992. – 320 с.

81. Будівельна кліматологія : ДСТУ НБВ.1.1–27:2010. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 123 с. (Офіційне видання).

Наукове видання

**Ратушняк Георгій Сергійович
Лялюк Олена Георгіївна
Кощесів Іван Анатолійович**

**БІОГАЗОВІ УСТАНОВКИ
З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ
ЕНЕРГІЇ ТЕРМОСТАБІЛІЗАЦІЇ
ПРОЦЕСУ ФЕРМЕНТАЦІЇ БІОМАСИ**

Монографія

Редактор С. Малішевська

Оригінал-макет підготовлено О. Лялюк, І. Кощесівим

Підписано до друку 6.10.2017 р.

Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.

Гарнітура Times New Roman.

Друк різнографічний. Ум. др. арк. 4,85.

Наклад 300 (1-й запуск 1–75) пр. Зам № В2017-24

Вінницький національний технічний університет,

КІВЦ ВНТУ,

21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,

ВНТУ, ГНК, к. 114.

Тел. (0432) 59-85-32.

publish.vntu.edu.ua; *email*: kivc.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано ФОП Барановська Т. П.

21021, м. Вінниця, вул. Порика, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

серія ДК № 4377 від 31.07.2012 р.