

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула , К. В. Анохіна

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Вінниця
ВНТУ
2010

УДК 728.1

ББК 31.38

P25

Р е ц е н з е н т и:

Е. С. Малкін, доктор технічних наук, професор

О. М Зайцев, доктор технічних наук, професор

С. Й. Ткаченко, доктор технічних наук, професор

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки "Будівництво". Лист № 1/11-4621 від 01.06.2010 р.

Ратушняк, Г. С.

P25 Енергозберігаючі відновлювальні джерела теплопостачання : навчальний посібник / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула, К. В. Анохіна – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 170 с.

ISBN 978-966-641-384-3

В посібнику розглянуто основні джерела альтернативного енергозабезпечення фермерських господарств. Особлива увага надана біогазу як перспективному паливу. Запропоновано оригінальні конструкції реакторів для покращення процесів проходження анаеробного бродиння. Наведено основні методики підготовки біогазу до використання. Запропоновано нову методику інтелектуальної підтримки прийняття рішень з управління організаційно-технологічними механізмами підвищення продуктивності біогазових реакторів. Посібник розроблений згідно з програмою дисципліни "Енергозбереження та експлуатація в системах теплогазопостачання і вентиляції".

УДК 728.1

ББК 31.38

ISBN 978-966-641-384-3

© Г. Ратушняк, В. Джеджула, К. Анохіна, 2010

ЗМІСТ

Передмова.....	5
1 Сучасний стан та перспективи розвитку біогазових технологій на Україні	8
1.1 Альтернативна енергетика сучасності.....	8
1.2 Джерела відходів біомаси.....	9
1.3 Особливості анаеробного процесу бродіння в біогазових установках.....	14
1.4 Комплексна утилізація відходів населених пунктів	19
1.5 Фізико-хімічні властивості біогазу та біодобрих.....	23
2 Конструктивні особливості біогазових установок.....	25
2.1 Будова резервуару біогазових установок.....	25
2.2 Системи теплогазопостачання комплексу біогазової установки.....	36
2.3 Газгольдини систем біоконверсії.....	42
3 Шляхи підвищення ефективності роботи біогазових реакторів.....	46
3.1 Термостабілізація процесу анаеробного бродіння, тепловий баланс БГУ.....	46
3.2 Особливості нестационарного теплообміну в біогазовому реакторі.....	50
3.3 Тепловтрати в біогазових установках при різних температурних режимах анаеробного бродіння.....	54
3.4 Багатошарові захисні конструкції біогазових реакторів.....	61
3.5 Шляхи вдосконалення устаткування для інтенсифікації процесу анаеробного бродіння субстрату в БГУ.....	67
3.5.1 Барботажна інтенсифікація теплообміну між теплообмінником і середовищем.....	71
3.5.2 Вібраційна інтенсифікація процесів анаеробного бродіння	74
3.5.3 Перемішувальні пристрої для інтенсифікації теплообмінного процесу анаеробного бродіння	80
3.5.4 Конструкції біогазових установок з інтенсифікацією анаеробного бродіння шляхом перемішування субстрату.....	82
4 Енергозберігаюче управління процесами біоконверсії.....	92
4.1 Контроль та управління процесами анаеробного бродіння.....	92
4.2 Підготовка біогазу для використання в теплотехнічному обладнанні.....	98
4.2.1 Водяне очищення	100
4.2.2 Очищення газів від вуглекислого газу та сірководню розчинами етаноламінів.....	102

4.2.3 Очищення біогазу від діоксиду вуглецю гарячим розчином поташу.....	105
4.2.4 Лужне очищення біогазу від вуглекислого газу.....	106
4.2.5 Очищення біогазу від діоксиду вуглецю методом низькотемпературної абсорбції метанолом.....	108
4.2.6 Безупинна біокаталітична технологія очищення від сірководню біогазу	109
4.3 Енергозберігаючі технологічні схеми роботи біогазових установок.....	110
4.4 Моделювання інтелектуальної підтримки прийняття рішень з управління технологічними механізмами підвищення продуктив- ності біогазових реакторів.....	115
5 Комплексне енергозберігаюче теплохолодопостачання приватного будинку.....	133
5.1 Сонячні установки для отримання гарячої води.....	133
5.2 Комбіноване тепlopостачання з використанням біогазових установок і котлів, що працюють на соломі.....	141
5.3 Теплонасосні установки для комбінованого виробництва тепла і холоду в приватному господарстві.....	145
5.4 Приклад розрахунку теплового насоса.....	152
5.4.1 Розрахунок теплового навантаження	152
5.4.2 Розрахунок джерела тепла	153
5.4.3 Гідравлічний розрахунок ґрунтового колектора	157
5.4.4 Розрахунок економічної ефективності парокompресійного теплового насоса.....	159
5.5 Вітрова енергетика в приватних господарствах України.....	162
Додаток А.....	165
Додаток Б.....	166
Словник.....	169
Література.....	171

Передмова

Україна за рахунок своїх національних ресурсів може забезпечити лише на 50% потреби в паливі при сучасному рівні його споживання. Зменшити витрати енергоносіїв можна за рахунок енергозбереження до 50% всього енергоспоживання шляхом впровадження інноваційних технологій. Неосвоєним джерелом енергії є відновлювальні місцеві енергоресурси, потенціал яких сягає понад 100 млн. тонн умовного палива. Використання таких енергоресурсів становить щорічно лише 0,02 %.

Згідно з Постановою Верховної Ради України «Про проект розвитку паливно-енергетичного комплексу України до 2010 року» і за «Проектом національної енергетичної програми України до 2010 року» частка нетрадиційних і поновлювальних джерел у загальних об'ємах виробництва електричної енергії становитиме 8%, що може забезпечити економію в об'ємі 7,1 млн. тонн умовного палива щорічно.

До сучасних технологій виробництва нетрадиційних відновлювальних джерел енергії слід віднести:

- використання сонячної енергії для систем теплопостачання за допомогою колекторів і систем пасивного сонячного опалення;
- використання геотермальної води для теплопостачання;
- використання теплових насосів малої та середньої потужності для теплопостачання окремих будинків і утилізації теплових викидів, а великої потужності – в теплонасосних станціях для заміни малих і середніх котелень;
- виробництво біодизельного палива з ріпака та соняшника;
- отримання електричної енергії при використанні мініГЕС на річках;
- отримання електричної енергії при використанні вітрогенераторів;
- використання відходів сільськогосподарської продукції для отримання біогазу як палива та екологічно чистих органічних добрив.

В умовах подорожчання енергоносіїв та погіршення екологічної ситуації значну увагу слід приділити альтернативним джерелам енергозабезпечення. Наявні в Україні і в Вінницькому регіоні природні ресурси дозволяють використовувати свій потенціал для життєдіяльності малих та великих фермерських господарств, сільськогосподарських товариств, міст. Сучасна альтернативна енергетика представлена широким спектром засобів та джерел. Тому, враховуючи природно-кліматичні умови України і Вінницького регіону зокрема, можна зробити висновок про найбільшу перспективність поширення біогазових технологій. Використання біогазу у побуті як палива дозволить не тільки вирішити

енергетичну проблему на селі, але й покращити екологічний стан, отримати цінне добриво після переробки відходів у біореакторі.

Нааявні у кожному господарстві великі обсяги органічних відходів доцільно утилізувати з максимальним сумарним ефектом вирішення комплексних задач: енергетичної, екологічної, постачання власного господарства добривами, запобігання зараженню ґрунтових вод тощо.

Біогазові реактори в Україні не набули значного поширення у зв'язку з їх значною вартістю, примхливістю технології метанового бродіння, значним енергоспоживанням. Відхилення температури на 3°C від оптимальної для процесу вже сповільнює метаногенез. Значний вплив на протікання процесів виробництва біогазу має рухливість середовища, відсутність застійних зон, термостабілізація. В холодний період необхідно звести до мінімуму втрати тепла на підігрів субстрату та рівномірно розподілити тепло по всьому об'єму реактора. Практично відсутні засоби автоматизації процесу виробництва біогазу. Але необхідно пам'ятати, що зупинка реактора на годину може призвести до енергетичних проблем у підприємстві, оскільки процес бродіння пов'язаний з життєдіяльністю анаеробних бактерій і вони відновлюють свою активність після зупинки лише через декілька днів або тижнів. Процес потребує адаптації до умов України і постійного автоматичного моніторингу. Для умов українського села потрібні дешеві і надійні реактори, що будуть однаково ефективні як теплу пору року, так і в холодну.

Вирішення цих проблем потребує розроблення нових моделей і конструкцій реакторів, які повинні бути недорогими, енергоефективними, повинні мати автоматизоване управління, пристосовані до умов роботи в Україні. При їх конструюванні необхідно враховувати сучасні досягнення теплоенергетики, вирішувати специфічні задачі теплообміну у субстратах, використовувати останні досягнення автоматизації.

В даному посібнику, призначеному для студентів будівельних та екологічних спеціальностей, наведено основні джерела біомаси, їх ресурс для України, конструктивні особливості біогазових реакторів, а також описано особливості протікання анаеробного бродіння в біореакторах. Авторами наведено власні розробки конструкцій реакторів, а також результати експериментів з інтенсифікації та термостабілізації процесів бродіння. Класифіковано способи очищення біогазу від шкідливих домішок, наведено схеми управління та автоматизації процесів виробництва біогазу. Запропоновано методику моделювання

інтелектуальної підтримки прийняття рішень з управління організаційними механізмами підвищення продуктивності біогазових реакторів.

Наукове обґрунтування підходу до проблеми управління організаційними рішеннями ґрунтується на теорії нечітких множин та лінгвістичної змінної, які базуються на ідеях професора О. П. Ротштейна. Експертно-модельована система дозволяє враховувати кількісні і якісні характеристики типу і якості сировини, конструкції реакторів та параметри стабільності режиму, а саме тип інтенсифікації та вплив вібрації при прогнозуванні роботи біогазових установок.

Авторами запропоновано результати власних експериментальних і чисельних досліджень процесів інтенсифікації та термостабілізації анаеробного бродіння в біогазових реакторах, енергозберігаючі схеми і технології. Розглянуто і наведено розрахунки пристроїв для виробництва теплової енергії – теплових насосів, геліоколекторів лідерів світового виробництва.

При викладенні матеріалу навчального посібника використана сучасна нормативна база України, результати наукових досліджень та практичний досвід впровадження біогазових технологій у будівництві. Матеріал посібника враховує специфіку програм дисциплін підготовки інженерів-будівельників. Посібник призначений для активізації самостійної роботи студентів та буде сприяти розвитку енергоощадного мислення в отриманні знань і навичок при проектуванні інноваційних технологій. Також інформація, наведена в посібнику, буде корисна для інженерно-технічних працівників і всіх бажаючих досягнути енергетичної незалежності.

Автори вдячні рецензентам за поради та зауваження, врахування яких сприяло покращенню змісту даного навчального посібника.

1 СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ СИСТЕМ БЮКОНВЕРСІЇ

1.1 Альтернативна енергетика сучасності

Нафтові та газові кризи, погіршення екологічної ситуації змусили суспільство шукати шляхи задоволення своїх енергетичних потреб не тільки за рахунок вичерпних енергоресурсів, але й використовуючи нетрадиційні джерела. Україна задовольняє власні потреби в енергоресурсах на рівні 50%, тобто всі інші ресурси доводиться імпортувати. В середині минулого століття гостро постало питання енергозбереження. За рахунок енергозбереження в господарствах різних форм власності можливо досягти значної економії ресурсів та коштів. У серпні 1994 р. Верховною Радою України було прийнято Закон про енергозбереження [1], яким передбачено комплекс державних програм з енергозбереження та впровадження альтернативних джерел енергії. У 1996 році прийнята Національна енергетична програма до 2010 р., затверджена Верховною Радою України, яка передбачає використання альтернативних джерел енергії до 10% від загального енергоспоживання.

Сприяння поширенню альтернативних джерел енергопостачання відбувається як на місцевому, так і на загальнодержавному рівні. Зокрема, згідно з Законом України «Про альтернативні джерела енергії», основними засадами державної політики у сфері альтернативних джерел енергії є [2]:

- нарощування обсягів виробництва та споживання енергії, виробленої з альтернативних джерел з метою економного витрачання традиційних паливно-енергетичних ресурсів та зменшення залежності України від їх імпорту шляхом реструктуризації виробництва і раціонального споживання енергії за рахунок збільшення частки енергії, виробленої з альтернативних джерел;

- додержання екологічної безпеки за рахунок зменшення негативного впливу на стан довкілля при створенні та експлуатації об'єктів альтернативної енергетики, а також при передачі, транспортуванні, постачанні, зберіганні та споживанні енергії, виробленої з альтернативних джерел;

- додержання безпеки для здоров'я людини на об'єктах альтернативної енергетики на всіх етапах виробництва, а також при передачі, транспортуванні, постачанні, зберіганні та споживанні енергії, виробленої з альтернативних джерел;

- науково-технічне забезпечення розвитку альтернативної енергетики, популяризація та впровадження науково-технічних досягнень

у цій сфері, підготовка відповідних фахівців у вищих та середніх навчальних закладах;

- додержання законодавства всіма суб'єктами відносин, пов'язаними з виробництвом, збереженням, транспортуванням, постачанням, передачею і споживанням енергії, виробленої з альтернативних джерел;

- додержання умов раціонального споживання та економії енергії, виробленої з альтернативних джерел;

- залучення вітчизняних та іноземних інвестицій і підтримка підприємництва у сфері альтернативних джерел енергії, в тому числі шляхом розробки і здійснення загальнодержавних і місцевих програм розвитку альтернативної енергетики.

До сучасних технологій виробництва нетрадиційних джерел енергії з метою енергозбереження слід віднести:

- використання відходів сільськогосподарської продукції для отримання біогазу як палива;

- використання сонячної енергії для систем теплопостачання за допомогою колекторів і систем пасивного сонячного опалення;

- використання геотермальної води для теплопостачання;

- використання енергії вітру;

- використання енергії малих річок;

- використання теплових насосів малої та середньої потужності для теплопостачання окремих будинків і утилізації теплових викидів;

- виробництво біодизельного палива.

Використання енергії сонця, вітру та низькопотенційних ресурсів потребує встановлення дорогого і складного обладнання, яке не завжди спроможне фермерське господарство купити. Так, наприклад, вартість якісного іноземного теплового насоса може коливатися в межах від декількох десятків тисяч до мільйонів гривень. Використання процесу анаеробного бродіння як джерела альтернативного енергозабезпечення дасть можливість за досить невеликі кошти вирішити комплексну задачу щодо збереження навколишнього середовища, вирішення енергетичної проблеми господарства та утилізації органічних відходів з метою охорони довкілля.

1.2 Джерела відходів біомаси

Відходи біомаси – це цінна сировина для харчової, хімічної, переробної, легкої промисловості та в системах біоконверсії.

Використовувати її як паливо необхідно не в останню чергу. Слід враховувати, що в процесі господарської діяльності велика кількість біомаси залишається не використаною. Так, при заготівлі деревини та її переробці з відходами втрачається близько 50% біомаси. До основних джерел біомаси належать:

- відходи тваринництва;
- рослинні залишки сільськогосподарського виробництва – солома, листя, стружка;
- тверді побутові відходи комунального господарства міст;
- промислові відходи і побутові відходи міст.

Відходи тваринництва є одним з найперспективніших джерел отримання енергії шляхом анаеробного бродіння в біореакторах [3]. Вони є в будь-якому господарстві, не вимагають попередньої обробки і сортування, їх не важко транспортувати.

Потенціал відходів тваринництва для їх використання в системах біоконверсії з метою енергозбереження в Україні значний (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Енергетичний потенціал відходів тваринницького комплексу України (станом на 2007 р)

Джерело відходів	Вихід відходів, 10 ⁶ т/рік	Вихід біогазу, 10 ⁹ м ³ /рік	Нижча теплота згорання Q _н ^p , МДж/м ³	Енергетичний потенціал відходів, млн. т. у. п./ рік
Велика рогата худоба	58,4	1,46	23	1,144
Свині	4,79	0,124	21	0,088
Птахи	2,8	0,11	21	0,079
Всього	65,99	1,694	-	1,311

У коливанні поголів'я домашньої худоби намітилася тенденція до зменшення кількості тварин у колективних господарствах, але зростання їх кількості в індивідуальних. Таким чином, загальна кількість виходу відходів, які можна використовувати в системах біоконверсії, залишається майже незмінною.

Рослинні залишки – це відходи лісопереробної галузі та відходи сільськогосподарського господарства. При заготівлі лісу та подальшій його переробці з відходами втрачається близько 50% деревини. Ця біомаса у вигляді тирси, листя, гілок вивозиться на полігони, де гниє чи спалюється на місці, таким

чином погіршуючи екологічний стан довкілля. У сільськогосподарському виробництві основними залишками біомаси є солома та сіно. Для рослинних залишків характерною є особливість сезонної відтворюваності. Пік використання їх припадає на другу половину літа та осінь. Можливість використання рослинних залишків для виробництва енергії залежить від характеру переважної культури, якою засівають більші площі, і від кількості залишків, які можуть бути зібрані з одиниці посівної площі. Польові культури дають більше рослинних залишків, ніж овочеві. У грубому наближенні кількість рослинних залишків, що збирають, для даної сільськогосподарської культури можна визначити шляхом множення маси даної культури на характерну для неї частку залишку, що є відношенням сухої маси наземних залишків до маси зібраного з польовою вологістю врожаю. Ці коефіцієнти для основних сільськогосподарських культур становлять: пшениця - 0,47-1,75; кукурудза - 0,55-1,20; бавовна - 1,20-3,0; цукровий буряк - 0,07-0,20.

У Вінницькій області великий потенціал для перероблення в біореакторах має солома, що залишається від зернових культур (табл 1.2)

Таблиця 1.2 – **Валовий збір зернових у Вінницькій області у 2007 році**

Назва культури	Площа збору, тис. га	Об'єм зерна, тис. тонн	Об'єм соломи, тис. тонн
Озима пшениця	343	936	748,8
Жито озиме	27	61	48,8
Ячмінь озимий	20	56	44,8
Ячмінь ярий	209	520	416
Пшениця яра	15	36	28,8
Овес ярий	16	34	27,2
Просо	5	4	3,2
Гречка	54	36	28,8
Горох	40	84	67,2
Квасоля	11	23	18,4
Всього	740	1790	1432

Полігони твердих побутових відходів (ТПВ) міст та промислових підприємств займають великі площі, отруюють навколишнє середовище, є розплідниками для пацюків, мишей та інших тварин. Згідно з дослідженнями [4], на одну людину припадає близько 300...700 кг твердих побутових відходів на рік. Склад ТПВ міст наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Склад ТПВ міст

Компоненти	Вміст, по масі, %
Папір	43,2
Метали	8,0
Скло, кераміка, ґрунт	10,8
Пластмаси, гума, ганчір'я	4,5
Харчові й тваринні відходи	23,5
Інші відходи	10,0
Разом	100

В Україні 92% ТПВ міст залишаються непереробленими, тоді як у західних країнах частка біогазових установок з переробки даного виду сировини постійно зростає і є досить значною (табл. 1.4).

З промислових відходів для перероблення становлять інтерес тільки відходи харчового і спиртового виробництва, оскільки в них велика кількість органічних речовин. Велика кількість вологи в відходах даного типу дозволяє використовувати їх для анаеробного бродіння в біогазових реакторах.

Таблиця 1.4 – Виробництво біогазу на полігонах ТПВ у деяких державах

Держава	Кількість установок, шт	Вихід біогазу, млн.м ³ /рік
США	244	4300
Німеччина	98	400
Англія	33	178
Швеція	24	60
Італія	13	38
Франція	9	50
Данія	6	8,5

У Вінницькій області зосереджена велика кількість спиртових заводів, переробка стічних вод яких дозволить отримувати значну кількість біогазу. Вихід біогазу з 1 м³ таких відходів становить 28...30 м³. На одному заводі середньої потужності можливо отримати за добу 24000 м³, а за рік близько 6 млн. м³ біогазу, що дозволить зменшити витрати тільки на виробництво спирту близько 40%.

Загальну кількість органічних відходів, що утворюються в СНД та Україні, наведено в таблиці 1.5. Як видно, потенціал отримання біогазу в нашій країні надзвичайно великий. Перероблення органічних відходів в

біогазових реакторах дозволило б вирішити значною мірою енергетичну проблему на селі та у фермерських господарствах України.

Таблиця 1.5 – Утворення органічних відходів за масою сухої речовини (СР) в республіках СНД і на Україні, млн. т

Галузі утворення органічних відходів	СНД	Україна
Тваринництво і птахівництво	230	46
Рослинництво	160	32
Тверді відходи міст	60	12
Стічні каналізаційні води	7	1,4
Відходи деревообробної, харчової і інших галузей промисловості	43	8,6

Кожен з видів органічних відходів дозволяє отримати при анаеробній переробці певну кількість біогазу з різним вмістом у ньому метану (таблиця 1.6).

Таблиця 1.6 – Вихід біогазу і вміст у ньому метану при використанні різних видів відходів [3, 5, 6]

Вихідна сировина	Вихід біогазу на 1 кг сухої речовини, л/кг	Вміст метану (CH ₄), %
Гній великої рогатої худоби	200 – 300	50
Гній свинячий	340 – 480	60 ... 75
Кінський гній із соломою	250	56 ... 60
Бадилля картопляне	420	60
Стебла кукурудзи	420	53
Солома пшенична	342	58
Лузга соняшникова	300	60
Силос	250	84
Трава свіжа	360	52
Буряк	430	84
Відходи моркви	250	60
Тирса деревини	220	51
Твердий осад стічних вод	570	70
Фекальний осад	250 – 310	60
Домашні відходи і сміття	600	50

1.3 Особливості анаеробного процесу бродіння в біогазових установках

Оскільки розкладання органічних відходів відбувається за рахунок діяльності певних типів бактерій, то істотний вплив на нього робить навколишнє середовище. Кількість вироблюваного газу значною мірою залежить від температури: чим тепліше, тим більші швидкість і ступінь ферментації органічної сировини. Саме тому перші установки для одержання біогазу з'явилися в країнах з теплим кліматом. Однак застосування надійної теплоізоляції, а іноді і підігрітої води, дозволяє освоїти застосування генераторів біогазу в районах, де температура узимку опускається до мінус 20°C.

Існують також певні вимоги до сировини. Вона повинна бути придатна для розвитку бактерій, містити органічну речовину, що біологічно розкладається, й у великій кількості воду (90-94%). Бажано, щоб середовище було нейтральним і без речовин, що заважають дії бактерій. Такими речовинами є, наприклад, мило, пральні порошки, антибіотики тощо.

Для одержання біогазу можна використовувати рослинні і господарські відходи, гній, стічні води та інші відходи. У процесі ферментації суміш в резервуарі має тенденцію до поділу на три фракції. Верхня – кірка, утворена з великих часток, яка захоплюється пухирцями газу, що піднімаються. Через якийсь час вона може стати досить твердою і буде заважати виділенню біогазу. У середній частині ферментатора накопичується рідина. В нижній частині фракція випадає в осад.

Бактерії найактивніші в середній зоні. Тому вміст резервуара необхідно періодично перемішувати, бажано до шести разів на добу. Перемішування може здійснюватися за допомогою механічних пристосувань гідравлічними засобами (під дією насоса), під напором пневматичної системи (часткова рециркуляція біогазу) чи за допомогою різних методів самоперемішування.

Анаеробне бродіння в біореакторі процес складний і хиткий, на нього впливають як зовнішні, так і внутрішні чинники. Основні фактори, що впливають на процес бродіння [3, 5 - 7]:

- зовнішня температура;
- внутрішня температура середовища;
- лужність середовища, рН;
- наявність речовин інгібіторів;
- фракційний склад субстрату та його вологість і в'язкість;

- час бродіння;
- інтенсивність перемішування;
- вплив хімічного складу та типу вихідного матеріалу;
- термостабілізація процесу бродіння;
- тиск в системі;
- будова резервуара.

Вплив деяких із наведених чинників є досить значним і недотримання технологічних меж може зупинити процес. Інші мають не такий критичний вплив, але при сукупності дії всіх чинників їх ефект додається.

Жорсткість середовища повинна бути для нормального процесу бродіння в межах 1500...5000 мг CaCO₃ на 1 літр субстрату, а значення рН в межах 6,5...7,5. До речовин, що сповільнюють процес бродіння, належать солі важких металів, антибіотики, аміак, розчинники, лужні метали, поверхнево активні речовини, що містяться у пральних засобах. Наприклад, гранично допустима концентрація міді складає 10 мг на 1 літр субстрату, нітратів – 50 мг/л., аміаку – 1500 мг/л. Субстрат для анаеробного бродіння є суспензією з концентрацією сухої речовини 2...12%. Довжина стебел соломи, що може знаходитися в ньому, не повинна перевищувати 3 см. Більш великі значення наведених речовин призведуть до збільшеної в'язкості середовища, а відповідно до ускладнень при перемішуванні і утворенні бульбашок газу. Велика в'язкість середовища не дозволить отриманим бульбашкам газу вільно прориватися через нього назовні.

Процес утворення метану відбувається у три основні стадії (рис 1.1): на першій стадії ферментативні бактерії гідролізують органічну речовину субстрату з утворенням кінцевих продуктів у вигляді оцтової кислоти і інших ненасичених жирних кислот, CO₂ і водню.

На другій стадії ацетогенні бактерії виробляють водень і оцтову кислоту з кінцевих продуктів першої стадії. Третя стадія – розклад метаногенними бактеріями оцтової кислоти, CO₂ і водню в метан. У процесі розкладу важливе значення має наявність водню в системі.

Для теплотехнічних розрахунків біореакторів, оцінювання значення тепловіддачі від нагрівального елемента до середовища, визначення кількості тепла, необхідного для нагрівання сировини, потрібно знати теплофізичні властивості субстрату.

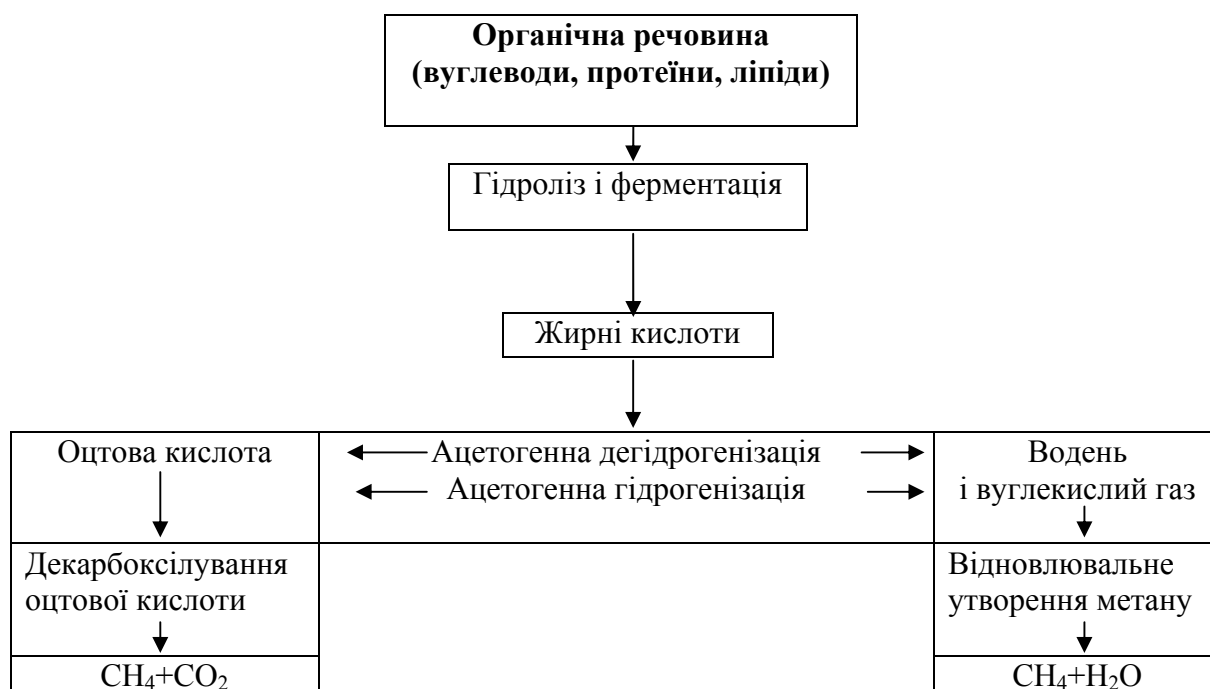


Рисунок 1.1 – Структура стадій розкладання органічної речовини

Для оцінювання значень теплоємності C , в'язкості μ та густини субстрату ρ доцільно користуватися залежностями [8-10]:

$$\rho = 1000 + 2,4 \cdot c, \quad (1.1)$$

$$C = C_{\text{сух}} \cdot c + C_{\text{в}} \cdot (1 - c), \quad (1.2)$$

$$\mu = \mu_{\text{в}} \cdot \left[1 + 10 \cdot \left(\frac{10 \cdot (c - 2)}{(11 - \beta_u \cdot c)} + c \right) \right], \quad (1.3)$$

де c – вміст сухих речовин, 2-15%;

$C_{\text{сух}}$ – теплоємність сухої речовини субстрату;

$C_{\text{в}}$ – теплоємність води;

$\mu_{\text{в}}$ – в'язкість води при даній температурі;

β_u – коефіцієнт, що залежить від виду стоків і складає 0,7...0,75 для великої рогатої худоби та $\beta=0,6...0,7$ для свиней.

Час бродіння залежить від типу субстрату, заданої глибини розкладання органічних речовин, типу реактора, температурних режимів та інших чинників. Реактор може працювати в безперервному та в дискретному режимі.

Безперервний режим дозволяє постійно отримувати біогаз, але вимагає великої кількості органічної маси та спеціальних конструкцій реакторів. Найбільший вихід біогазу спостерігається при надходженні в реактор такої кількості органічної маси, яка на даний час вже розклалася. В іншому випадку кількість наявних бактерій буде не в змозі розкласти нову порцію органіки і процес буде проходити повільніше. Дискретний режим дозволяє отримати більшу кількість біогазу з одиниці маси речовини, але потребує на ферментацію більше часу. Збільшення часу бродіння дозволяє більш глибоко розкласти органічні речовини, таким чином зменшуючи токсичність шламу, що залишається після бродіння, покращити якість біогазу, збільшуючи концентрацію CH_4 . Оптимальним вважається час бродіння 10...20 діб. За цей період досягається максимальна якість отриманого біогазу та максимальне розкладення органіки. Оптимальне завантаженням робочого об'єму біореактора для різних видів органічних речовин наведено в таблиці 1.7 [3]:

Таблиця 1.7 – Завантаження робочого об'єму реактора, час перебування і розкладання органічних речовин при температурі 33°C

Джерела органічних відходів	Завантаження органіки на 1м ³ реактора на добу, кг	Час бродіння, діб	Ступінь розкладення маси, %
Дійні корови	6,0	15	40
Бички	4,5	10	40
Свині	3,0	10	50
Кури	1,5	50	55

Авторами запропонована оригінальна конструкція біореактора для безперервного циклу бродіння [11]. В основу конструкції покладено задачу створення біогазового реактора, в якому за рахунок введення нових елементів та зв'язків досягається збільшення продуктивності біогазового реактора та економія часу при виробництві біогазу.

На рис. 1.2 подано загальну схему запропонованої конструкції біогазового реактора. Пристрій містить резервуар 1, який зверху закритий ковпаком 2 з шахтами завантаження біомаси 12 і заслінками 8, та поділений провальними колосниковими решітками 4 з можливістю зміни гідравлічного опору за допомогою регулятора 13 на три секції 9. В кожній

з секцій знаходиться підігрівач біомаси 3. Ковпак 2 встановлюється з можливістю його руху по напрямних 10 і містить труби споживача 6, які сполучені з кожною секцією. Також кожна секція 9 резервуара 1 має оглядові вікна 11. Ємність 5 з заслінкою 7 для збору біодобрив знаходиться в нижній частині резервуара 1.

Реактор працює таким чином. При завантаженні біомаси в резервуар 1 через шахти завантаження біомаси 12 подачу регулюють заслінками 8. Біомаса опиняється в першій секції 9 резервуару 1, де вона нагрівається підігрівачем 3 і проходить першу стадію бродіння. Після чого за рахунок зміни гідравлічного опору колосникових решіток 4 за допомогою регулятора 13, біомаса опиняється в другій секції 9, де проходить другу стадію бродіння. В першу секцію завантажується нова порція біомаси. Отриманий біогаз відводиться за допомогою труб споживача 6. Третя стадія бродіння біомаси проходить в нижній секції 9 резервуара 1, де після завершення бродіння біомаса потрапляє в ємність збору біодобрив 5, завантаження якої регулюється заслінкою 7. За процесом бродіння візуально спостерігають за допомогою оглядових вікон 11. При необхідності відкрити резервуар 1 ковпак 2 рухається по напрямних 10 і знімається.

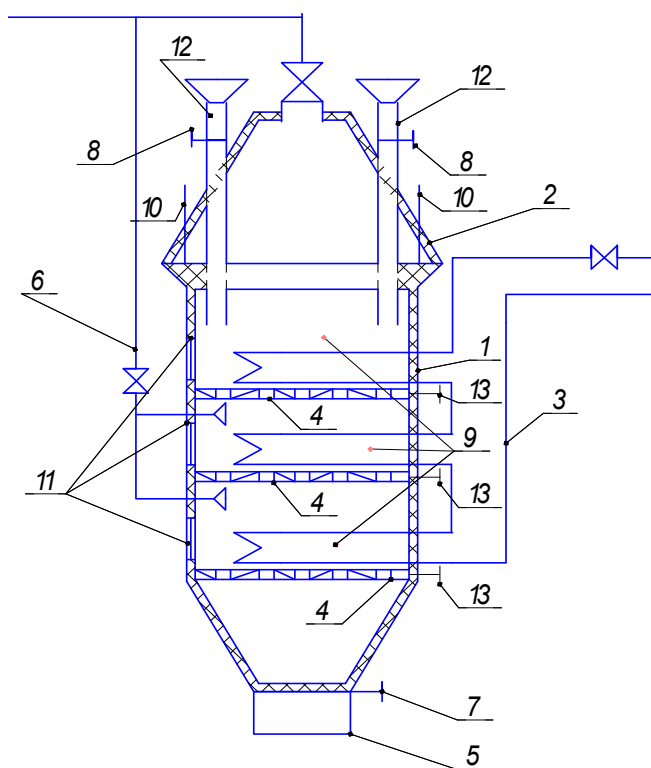


Рисунок 1.2 – Біогазовий реактор з безперервним циклом бродіння

Регуляція гідравлічного опору провальних колосникових решіток відбувається за рахунок регулятора 13. Конструкція такого біореактора також забезпечує безперервність завантаження біомаси та роботу без зупинення біогазового реактора, безперервне отримання біогазу, перемішування біомаси при провалюванні крізь колосникові решітки, можливість візуального контролю процесу бродіння та регуляції отримання біодобрив й біогазу, збільшення продуктивності біогазового реактора.

Процес бродіння відбувається у три стадії. На першій стадії шляхом гідролізу розкладаються вуглеводи, жири, білки на низькомолекулярні органічні сполуки. Другий етап протікає за участі кислотоутворювальних бактерій, що розкладають низькомолекулярні сполуки, вуглеводи та жири на кислоти, солі, спирти, вуглекислий газ, водень, сірководень та аміак. На третьому етапі відбувається безпосереднє метанове бродіння, коли органічні речовини розкладаються на метан і вуглекислий газ.

1.4 Комплексна утилізація відходів населених пунктів

Відходи населених пунктів видаляються системами сплавної і вивізної каналізації. Тверді побутові відходи вивозяться за межі міст на полігони для зберігання, рідкі відходи транспортуються системами трубопроводів до очисних споруд, де відбувається очищення та скидання води у водойми [12-16] (рис 1.3).

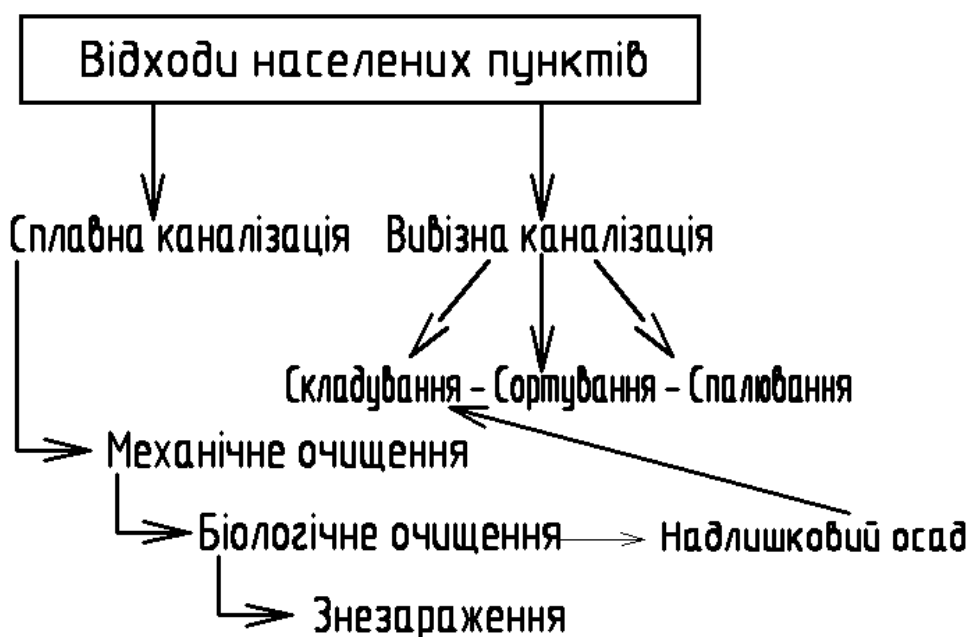


Рисунок 1.3 – Схема утилізації відходів населених пунктів

Переважними процесами утилізації відходів є: для рідких відходів – механічне очищення від залишків та сміття у решітках та піскоуловлювачах з отриманням рідкого осаду, біологічне очищення у аеротенках та біоставках або полях фільтрації; знезараження хлором і випуск очищених стічних вод у водойми. Для твердих побутових відходів (ТПВ) переважним методом утилізації є складування на полігонах.

На даний час актуальним є більш глибока і енергоефективна переробка відходів міст, яку пропонується виконувати за такою схемою (рис. 1.4). Сплавну каналізацію після механічного очищення направляти на біологічну переробку в метантенки для отримання подвійного ефекту: очищення стічних вод і отримання біогазу. Фактором, що буде обмежувати вихід біогазу, є наявність поверхнево-активних речовин у стічних водах. При біологічному очищенні стічних вод і сирого осаду буде утворюватися надлишковий осад, який рекомендується направляти на спалювання. Вивізну каналізацію рекомендовано спочатку направляти на сортування для видалення металу, скла, паперу та інших матеріалів, що можна переробляти, а органічні відходи та несортоване сміття спалювати у установках для спалювання сміття разом з надлишковим осадом.

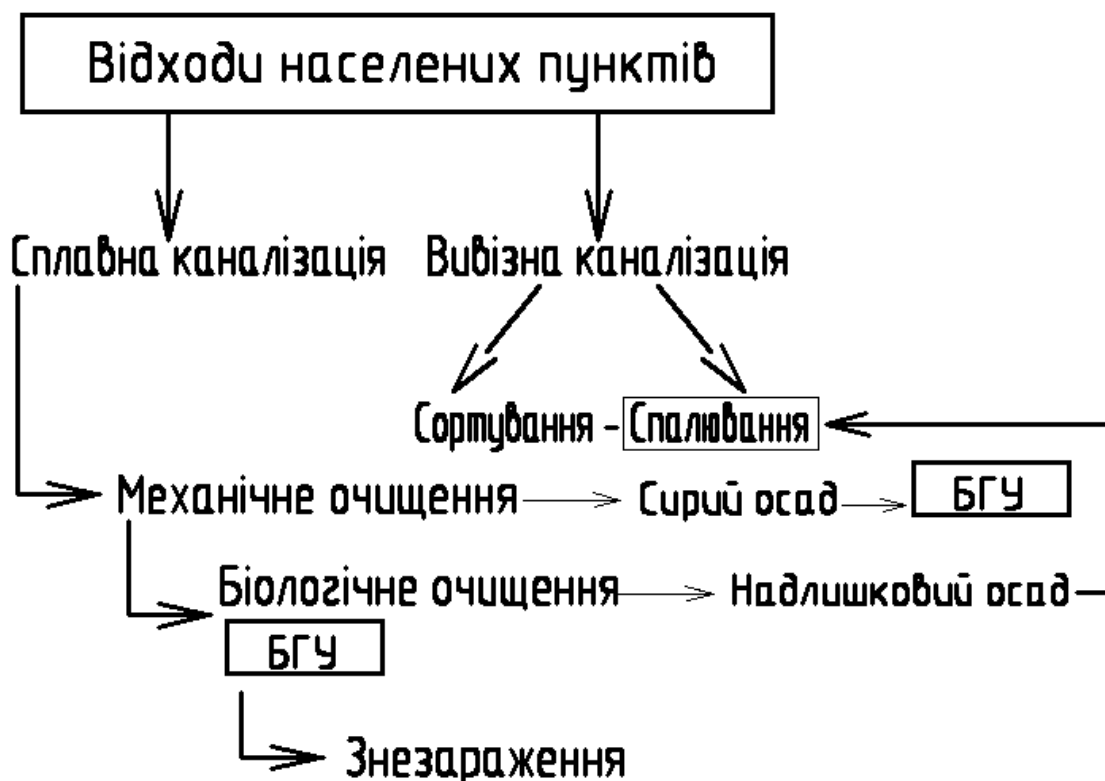


Рисунок 1.4 – Енергозберігаюча схема утилізації відходів населених пунктів

ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України « Про енергозбереження»: Офіц. текст зі змінами станом на 09.02.2006. [Електроний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=74%2F94-%E2%F0> – Назва з екрану.
2. Закон України « Про альтернативні джерела енергії» Офіц. текст станом на 20.02.2003 [Електроний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=555-15> – Назва з екрану.
3. Баадер Б. Биогаз: Теория и практика. / Баадер Б., Доне Е., Брендерфер М.; Пер. с нем. М. И. Серебрянного – М. : Колос, 1982. – 148 с.
4. Гелетуха Г. Г. Биогаз зі звалищ. Перспективи використання в Україні/ Гелетуха Г. Г., Копейкін К. О. // Зелена енергетика. – 2002. – №1. – С. 13–16. – ISSN 1684-2294.
5. Бойлс Д. Биоэнергия: технология, термодинамика, издержки. / Бойлс Д.; Пер. з англ. – М. : Агропромиздат, 1987. – 152 с.
6. Соуфер С. Биомасса как источник энергии. / Соуфер С., Заборски О.; Пер. з англ. – М. : Мир, 1985. – 368 с.
7. 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.
8. 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.
9. Ратушняк Г. С. Інтенсифікація теплообміну та термостабілізація біореакторів / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. // Вісник ВПІ. – 2006. – № 2. – С. 26–31. – ISSN 1997–9266.
10. Ткаченко С. Й. Закономірності розподілу температурних напорів за умов локального газорідного омивання поверхні / Ткаченко С. Й., Степанов Д. В., Джеджула В. В. // Вісник ВПІ. – 2003. – № 4. – С. 42–45. – ISSN 1997–9266.
11. Деклараційний пат. № 7184 Україна. Біогазовий реактор / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. Державний департамент інтелектуальної власності. – № 20041008416; Заяв. від 18.10.2004; Опубл. 15.06.2005; Бюл № 6.

12. Матвеев Ю. Биогазовые установки Дании / 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. Панцхава Е. С. Биоэнергетические установки по конверсии органических отходов в топливо и органические удобрения / Панцхава Е. С., Кошкин Н. Л. // Теплоэнергетика. – 1993. – № 4. – С. 20–23.
15. Давиденко Е. В. Метангенерация твердых органических отходов городов / Давиденко Е. В., Панцхава Е. С. // Біотехнологія. – 1990. – № 4. – С. 49 – 53.
16. В. Г. Лабейш. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учеб. пособие / В. Г. Лабейш – СПб. : СЗТУ, 2003. – 79 с.
17. Гелетуха Г. Г. Энергетический потенциал биомассы в Украине / Г. Г. Гелетуха., З. А. Марценюк // Промышленная теплотехника. – 1998. – № 4. – С. 52–55.
18. Современное состояние и перспективы развития биоэнергетики в Украине / Гелетуха Г. Г., Железна Т. А., Жовмир Н. М., Матвеев Ю. Б. // Промышленная теплотехника. – 2005. – №1. – С. 78–85.
19. Гелетуха Г. Г., Железна Т. А. Біоенергетика у Фінляндії // Зелена енергетика. – 2002. – №3. – С. 16. – ISSN 1684-2294.
20. Гелетуха Г. Г. Біоенергетика в Австрії / Гелетуха Г.Г., Железна Т.А. // Зелена енергетика – 2003. – №2. – С. 18–19.– ISSN 1684-2294.
21. Матвеев Ю. Б. Біогаз із Луганського полігона ТПВ / Матвеев Ю. Б. // Зелена енергетика. –2003. – №2. – С. 8–10.
22. Електроенергетика України повинна "позеленіти" / Вольчин І., Потапов А., Гелетуха Г., Жовмір М. // Зелена енергетика. – №3. – 2003. – С. 16–18.
23. Петрук В. Г. Экономические аспекты использования соломы как альтернативного источника энергии в Винницкой области / Петрук В. Г., Петрук Д. В., Денисюк Н. М. // Праці за матеріалами І всеукраїнської науково–технічної конференції «Енергія з біомаси». – К., 2002.
24. Виробництво біогазу на станціях очистки стічних вод //Ринок інсталяційний. – 2000. – № 11. – С. 34 –35. – ISSN 1684-2251.
25. Семенов І. В. Проектирование биогазовых установок. / Семенов І. В. – К. : Техніка, 1992. – 346 с.

26. Исаченко В. П. Теплопередача : учебник для вузов. / Исаченко В. П. Изд. 3-е перераб. и доп. – М.: Энергия, – 1975. – 488 с.
27. Галицейский Б. М. Тепловые и гидродинамические процессы в колеблющихся потоках / Галицейский Б. М., Рыжов Ю. А., Якуш Е. В. – М. : Машиностроение, 1977. – 256 с.
28. Михеев М. А. Основы теплопередачи / Михеев М. А, Михеева И. М. – М. : Энергия. 1977 – 344 с.
29. Біопалива (технології, машини і обладнання) / В. О. Дубровін та інш.– К. : ЦТІ „Енергетика і електрифікація”, 2004. – 137с.
30. 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.
31. Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. Підвищення продуктивності біогазового реактора управлінням параметрами вільноконвективних процесів теплообміну // Вісник Хмельницького національного університету. – 2006. – №2. – С. 29–32.
32. Деклараційний пат. № 15894 Україна. Біогазовий реактор / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В., Державний департамент інтелектуальної власності. – № u 2006 01110; Заяв. від 06.02.2006; Опубл. 17.07.2006; Бюл № 7.
33. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации. Нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети/ Ротштейн А. П. – Винница : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 1999. – 320 с.
34. Митюшкин Ю. И. Soft Computing: идентификация закономерностей нечеткими базами знаний. / Митюшкин Ю. И., Мокин Б. И., Ротштейн А. П. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2002. – 145 с.
35. Пат. 17230 Україна, МПК Е 04 В 2/02, Е 04 В 2/14. Теплоізоляційна панель / Ратушняк Г. С., Анохіна К. В., Чухряєва О. Г.; Державний департамент інтелектуальної власності. – № u200603243; заявл. 27.03.2006; опубл. 15.09.2006, Бюл. №9.
36. Ратушняк Г. С. Моделювання віброінтенсифікуючих процесів в біореакторах на основі лінгвістичної інформації/ Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2006. – № 3. – С. 74 – 80.
37. Ратушняк Г. С. Автоматичне управління в системах біоконверсії/ Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. // Тези доповідей XIII Міжнародної конференції з автоматичного управління. – 2006. – С. 227.

38. Деклараційний пат. № 13260 Україна. Експериментальна установка для вимірювання середніх температур стінки та температурних напорів / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В., Державний департамент інтелектуальної власності.– № u 2005 09738; Заяв. 17.10.2005; Опубл. 15.03.2006; Бюл № 3.
39. 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.
40. 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.
41. Степанов Д. В. Теплообмінні пристрої в системі біоконверсії / Степанов Д. В., Боднар Л. А. // Вісник ВПІ. – 2005. – № 1. – С. 55–57.
42. 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.
43. 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.
45. Разработка технологии очистки биогаза от сероводорода с помощью жидкого поглотителя в скрубберной схеме / Боровой И.А., Колобродов В. Г., Кулько В. Б., Винокуров Э. И. // Вибрані праці Першої міжнародної конференції „Енергія з біомаси”. – К.: – 2002.
46. Комплекс по переработке биогаза. / Карнацевич Л. В., Хажмурадов М. А., Колобродов В. Г. та інш. // Вибрані праці Першої міжнародної конференції „Енергія з біомаси”. – К. – 2002.
47. Некрасов В. Г. Перспективы использования биогаза / Некрасов В. Г. // Техника в сельском хозяйстве. – 1988. – № 4. – С. 25.
48. Авизов А. Х. Экономическая эффективность технологии конверсии биомассы в топливо и удобрения/ Авизов А. Х., Синяк Ю. В. // Биотехнология кормопроизводства и переработки отходов. Рига. – 1987. – С. 197– 202.
49. Медведев И. Л. Экономические аспекты создания безотходных производств в условиях интенсификации с/х / Медведев И. Л. // Биотехнология. –1988. – Т.4, № 5. – С. 640–642.

50. 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.
51. 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.
52. 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.
53. Никитин Г. А. Метановое брожение в биотехнологии: учебное пособие / Никитин Г. А. – К.: Вища школа. 1990. – 207 с.
54. 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.
55. Цветков Б. П. Оборудование для производства биогаза из животноводческих отходов / Цветков Б. П., Ясенецкий В. А. // Промышленная энергетика. – 1988. – № 11. – С. 9–13.
56. Батунер Л. М. Математические методы в химической технике / Батунер Л. М., Позин М. Е. – М.: Стройиздат, 1985. – 310 с.
57. Панцхава Е. С. Техническая биоэнергетика / Панцхава Е. С. – М.: Знание, 1990. – 64 с.
58. Таргоня В. С. Оборудование для получения биогаза из навоза / Таргоня В. С., Ясинецкий В. А. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1990. – № 44. – С. 23–24.
59. Пат. 31173 Україна, МПК С 02 F 11/04. Біогазовий реактор / Ратушняк Г. С., Анохіна К. В., Джеджула В. В.; Державний департамент інтелектуальної власності. – № u200714164; Заявл. 17.12.2007; опубл. 25.03.2008, Бюл. №6.
60. Дурдыбаев С. Д. Утилизация отходов животноводства и птицеводства / Дурдыбаев С. Д., Данилкина В. С., Рязанцев В. П. // ВНИИТЭИ Агропром. Обзорная информация. – М., 1989.
61. Hashimoto A. G. Methane from cattle waste / Hashimoto A. G. // Biotechnologie & Bioengineering. – 1982. – Vol. 24, № 9. – P. 2039–2052.
62. Малогабаритні біогазові установки. // Новітні технології в сфері нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії. – 1999. – № 2. – С. 83.

63. Корнеев А. Д. Исследование теплообмена в биореакторах / Корнеев А. Д., Попов В. Д., Матвеев В. Е. // Гидродинамика и процессы переноса в биореакторах : Сб. науч. тр. – Новосибирск: АН СССР СО, Ин-т теплофизики. – 1989. – С. 63–72.
64. Югов С. А. Вопросы теплообмена в суспензиях / Югов С. А. // Исследование тепло- и массообмена в аппаратах с дисперсными системами : Сб. научн. тр. – Минск : ИТМО, 1991. – С. 170–174.
65. Кутателадзе С. С., Боришанский В. М. Справочник по теплопередаче / Кутателадзе С. С., Боришанский В. М. – Л. – М. : Государственное энергетическое издательство, 1958. – 418 с.
66. Остапчук Н. В. Основы математического моделирования процессов пищевых производств : учеб. пособие / Остапчук Н. В. – 2-е изд. перераб. и доп. – К. : Вища школа, 1991. – 367 с.
67. Григор'єва В. В. Загальна хімія / Григор'єва В. В. – К. : Вища школа., 1991. – 431 с.
68. Жовмір Н. Альтернативне теплопостачання за рахунок використання соломи / Жовмір Н., Олійник Є., Чаплигін С. // Коммунальное хозяйство – 2007. – № 8. – С. 24-27.
69. Скафтымов Н. А. Основы газоснабжения / Скафтымов Н. А. – Л. : Недра, 1975. – 343 с.
70. Дыбан Е. П. Конвективный теплообмен при струйном обтекании тел / Дыбан Е. П., Мазур А. И. – К. : Наук. думка, 1982. – 303 с.
71. 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. – Режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/20081/uk.files/08rgsmob_uk.pdf
72. Брдлик П. Н., Купцова В. С., Малинин В. Г. Расчет средних коэффициентов теплоотдачи на поверхности горизонтального цилиндра при различных граничных условиях в случае ламинарной свободной конвекции. Вопросы теплообмена : Сб. научн. тр. / Брдлик П. Н., Купцова В. С., Малинин В. Г. – 1977. – № 102. – С. 58 – 63.
73. Гюнтер Л. И. Метантенки / Гюнтер Л. И., Гольдфарб Л. Л. – М. : Стройиздат, 1991. – 128 с.
74. Гелетуха Г. Г. Дополнительные инвестиции в энергосбережение / Гелетуха Г. Г., Матвеев Ю. Б., Филоненко А. В. // Монтаж и технологии. – 2006. – №4. – С. 40–44.

75. Долинский А. А. Возможности замещения природного газа в Украине за счет местных видов топлива / Долинский А. А., Гелетуха Г. Г. // Энергетическая политика Украины. – 2006. – № 3–4. – С.60–65.
76. Гелетуха Г. Г., Железная Т. А. Обзор технологий сжигания соломы с целью выработки тепла и электроэнергии / Гелетуха Г. Г., Железная Т. А. // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1998. – № 6. – С. 3–12.
78. 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.
79. Фокін В. М. Теплогенеруючі установки систем тепlopостачання / В. М. Фокін // М. : Машинобудування -1. – 2003. – 240 с.
79. Ткаченко С. Й. Моделювання інтенсивності теплообміну до багатокомпонентних органічних сумішей / Ткаченко С. Й., Резидент Н. В. // Вісник ВПІ. – 2005. – № 6. – С. 187 – 193. – ISSN 1997–9266.
80. Ратушняк Г. С., Енергозбереження в системах виробництва біогазу / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. // Сотрудничество для решения проблем отходов. Материалы IV Международной конференции. – Х. : ЭкоИнформ, 2007. – С. 180 – 182.
81. 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>
82. Закон України «Про державну підтримку сільського господарства України» Офіц. текст зі змінами станом на 16.12.2006 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=1877-15>
83. 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.
84. Ратушняк Г. С. Автоматичне управління в системах біоконверсії / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. // Вісник ВПІ. – 2006. – № 6. – С. 116 –121. – ISSN 1997–9266.
85. Мовсесов Г. Е. Биогазовые установки для переработки органических отходов фермерских хозяйств / Мовсесов Г. Е. // Сотрудничество для решения проблем отходов. – Х.: ЭкоИнформ, 2007. – С. 176 – 179.

86. Ратушняк Г. С. Обладнання із віброактиватором для виробництва біогазу / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. // Вісник ВПІ. – 2007. – № 4. – С. 71 –75. – ISSN 1997–9266.
87. Офіційний сайт Viessmann [Електронний ресурс]. – режим доступу: <http://www.viessmann.ru>
88. Scienmet [Електронний ресурс]. – режим доступу <http://www.scienmet.com>

Навчальне видання

**Георгій Сергійович Ратушняк
В'ячеслав Васильович Джеджула
Катерина Володимирівна Анохіна**

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Навчальний посібник

Редактор Т. Старічек

Оригінал-макет підготовлено В. Джеджулою

Підписано до друку 22.10.2010 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 10.80.
Наклад 300 прим. Зам. № 2010-175.

Вінницький національний технічний університет,
науково-методичний відділ ВНТУ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК №746 від 25.12.2001 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК №746 від від 25.12.2001 р.