

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Вінницький національний технічний університет

С. Й. Ткаченко, Н. В. Резидент

# **ТЕПЛООБМІН В СИСТЕМАХ БІОКОНВЕРСІЇ**

**Монографія**

Вінниця  
ВНТУ  
2011

УДК 536.2

ББК 31.31

T48

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 13 від 25.05.2010 р.)

Рецензенти:

**В. Р. Кулінченко**, доктор технічних наук, професор

**І. І. Пуховий**, доктор технічних наук, доцент

**Ткаченко, С. Й.**

T48 Теплообмін в системах біоконверсії : монографія / С. Й. Ткаченко, Н. В. Резидент. — Вінниця : ВНТУ, 2011. — 124 с.

ISBN 978-966-641-396-6

В монографії запропоновано нетрадиційний підхід та доступну експериментально-розрахункову методику визначення коефіцієнтів тепловіддачі від стінки до органічних сумішей з обмеженою інформацією про теплофізичні властивості в умовах вільної і вимушеної конвекції для різного геометричного виконання поверхні теплообміну. Обґрунтовано застосування експериментально-розрахункового методу в конструктивному розрахунку і числовому експерименті утилізатора теплоти відпрацьованої суміші в системі біоконверсії.

**УДК 536.2**

**ББК 31.31**

**ISBN 978-966-641-396-6**

© С. Ткаченко, Н. Резидент, 2011

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	6
1. ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ БІОКОНВЕРСІЇ.....	7
1.1. Процеси біоконверсії.....	8
1.2. Хімічні, фізико-механічні та теплофізичні властивості субстратів.....	12
1.3. Енергозберіжні системи термостабілізації біогазових установок.....	23
1.4. Систематизація гіпотетичної інформації по теплообмінних пристроях, доцільних для застосування в підсистемах термостабілізації БГУ.....	33
2. ЗАКОНОМІРНОСТІ ТЕПЛООБМІНУ У В'ЯЗКИХ І ВИСОКОВ'ЯЗКИХ НЬЮТОНІВСЬКИХ І НЕНЬЮТОНІВСЬКИХ СЕРЕДОВИЩАХ.....	36
2.1. Теплообмін і гідродинаміка в круглих трубах, кільцевих каналах однокомпонентних і дисперсних середовищ.....	36
2.2. Теплообмін за умов вільної конвекції.....	48
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ТЕПЛООБМІНУ В БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ОРГАНІЧНИХ СУМІШАХ.....	53
3.1. Передумови моделювання теплообміну в системі термостабілізації реактора БГУ.....	53
3.2. Загальна характеристика експериментальних досліджень.....	54
3.3 Дослідження закономірностей тепловіддачі від трубчастої поверхні до органічної суміші.....	57
3.4. Дослідження закономірностей тепловіддачі від поверхні вертикальних циліндричних стінок до органічних сумішей.....	68
3.5. Закономірності теплообміну в багатокомпонентних органічних сумішах.....	78
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РОЗРАХУНКОВИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ТЕПЛООБМІНУ В БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ОРГАНІЧНИХ СУМІШАХ.....	93
4.1. Обґрунтування та суть експериментально-розрахункового методу.....	93
4.2. Аналіз експериментальних результатів у зіставленні з ЕРМ.....	99
4.3. Застосування експериментально-розрахункового методу для розробки теплообмінного обладнання біоконверсії.....	102
ЛІТЕРАТУРА.....	112

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ

БГУ	біогазова установка;
ЕРМ	експериментально-розрахунковий метод;
КФВ	комплекс фізичних властивостей;
ПТФВ	поправка на теплофізичні властивості;
СОР	сухі органічні речовини;
ТФВ	теплофізичні властивості;
$\bar{\Delta}t$	середній температурний напір між стінкою і рідиною, °С;
$\bar{\Delta}t_3$	загальний температурний напір °С;
b	процентний вміст СОР в субстраті, частка;
d	діаметр, м;
$d_{\text{екв}}$	еквівалентний діаметр, м;
g	прискорення вільного падіння, м/с <sup>2</sup> ;
$\ell^*$	визначальний геометричний розмір, м;
t	температура, °С;
W	вологість, %;
w	швидкість, м/с;
$\alpha$	коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м <sup>2</sup> ·К);
$\beta_V$	коефіцієнт температурного розширення, 1/К;
$\delta$	товщина зазору, м;
$\lambda$	коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К);
$\mu$	динамічна в'язкість, Па·с;
$\nu$	кінематична в'язкість, м <sup>2</sup> /с;
$\rho$	густина, кг/м <sup>3</sup> ;
a	коефіцієнт температуропровідності, м <sup>2</sup> /с;
$C_p$	середня теплоємність, кДж/(кг·К);

$C_c$	масовий вміст сухих речовин в суміші, %;
$Gr_{p, \ell} = (g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot \ell^{*3}) / \nu^2$	критерій Грасгофа;
$Nu_{p, \ell} = \alpha \cdot \ell^* / \lambda$	критерій Нуссельта;
$Ra_{p, \ell} = Gr_{p, \ell} \cdot Pr_p$	критерій Релея;
$Re_{p, d} = w \cdot d / \nu$	критерій Рейнольдса;
$Pr_p = \nu / a$	критерій Прандтля;
$Pe_{p, d} = Re_{p, d} \cdot Pr_p$	критерій Пекле;

#### Верхні і нижні індекси

в	вода;
із	ізоляція;
нс	навколишнє середовище;
р	рідина;
с	суміш;
ст	стінка;
т	тверді частинки.

## ВСТУП

Використання відходів виробництва, перш за все біомаси, для виробництва теплоти і електроенергії є однією із важливих задач енергозбереження. При цьому не тільки економляться первинні енергоносії, але в більшості випадків зменшуються шкідливі викиди в атмосферу.

Для отримання максимальної кількості біогазу з одиниці об'єму реактора БГУ і досягнення позитивних результатів в енергозбереженні стоїть завдання вибору раціонального температурного режиму в біореакторі, а також методів і засобів його забезпечення без нанесення шкоди навколишньому середовищу. В існуючих конструкціях біогазових установок підтримання відповідних температурних режимів супроводжується значною витратою енергії на власні потреби.

Підсистеми термостабілізації систем біоконверсії характеризуються невизначеністю вхідних умов, які пов'язані з різноманітністю робочих середовищ, зміною їх теплофізичних властивостей за часом та впливом великої кількості факторів, які не завжди можна врахувати. Робочими середовищами, в основному, є трифазні колоїдно-дисперсні системи. Їх складові частини – це тверда та рідка фази, а також газ, який утворюється в результаті біохімічних процесів. Внаслідок цього теплофізичні властивості органічних сумішей змінюються в залежності від умов та часу зберігання перед завантаженням в БГУ. Невизначеність вхідних умов вимагає розробки оригінальних методик розрахунку і специфічних методів замикання математичних моделей процесів термостабілізації в обладнанні біогазової установки.

В монографії розглянуто теплообмін в багатокомпонентних органічних сумішах, що застосовуються в системах біоконверсії, запропоновано та обґрунтовано застосування експериментально-розрахункового методу (ЕРМ) як нового оригінального аспекту використання теорії подібності для визначення інтенсивності теплообміну в складних органічних середовищах з обмеженою інформацією про їх теплофізичні властивості.

# 1. ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ БІОКОНВЕРСІЇ

Для одержання газоподібного палива використовують сонячну енергію, яка запасасться в біомасі в результаті фотосинтезної діяльності рослин. Поширений спосіб одержання енергії з біомаси – анаеробне (без доступу кисню) бродіння органічних відходів. Отримані в результаті цього продукти – біогаз і напіврідка маса, що перебродила – це цінні газоподібне паливо і органічне добриво [1–10].

Кожне господарство, де є відходи органічного походження, повинно вирішувати питання їх утилізації. Переробка відходів існуючими методами є малоефективною та шкідливою для здоров'я людей. Тому питання розробки високоефективних енергозберігаючих та природоохоронних методів та засобів переробки органічних відходів є актуальним [11–13].

Перспективним методом є процес анаеробної переробки відходів в БГУ. Реалізуючи процес отримуємо чотири основних важливих ефекти. Найсуттєвішими для сільського господарства від використання методу є енергетичний, екологічний ефекти і ефекти від отримання високоякісних органічних добрив [14–16].

На теперішній час в світі розроблено біля 60 різновидів біогазових установок [17]. Особливості біогазових технологій залежать від сировини, та її попередньої обробки.

Біогаз, який містить в основному метан, в багатьох випадках використовується не тільки як паливо, але і як джерело отримання метану з домішками  $\text{CO}_2$  для місцевих споживачів [18–20]. В [21–29] розглянуто схеми і технічні характеристики основних видів біогазових установок, режими перемішування органічних сумішей, матеріали та елементи для виготовлення БГУ, основи будівництва, експлуатацію установок для збродження органічної сировини в анаеробних умовах. При цьому показано, що основними складовими установками є реактор, газгольдер, ємності для свіжої та зброженої сировини, теплообмінні пристрої, трубопроводи. Проаналізувавши літературні дані, можна зробити висновок, що за низьких температур навколишнього середовища частка виробки товарного біогазу в існуючих схемах біогазових установок буде низькою.

Проведено огляд технологій газифікації біомаси [18]. Авторами [30] систематизовано основні тенденції розвитку і вдосконалення, а також вартість обладнання теплогенераторів, які працюють на біомасі. В [17, 31–34] виконано огляд і аналіз механізмів регулювання розвитку біоенергетики в Європейських країнах та США, а також розглянуто основні заходи стимулювання біоенергетики в Україні [31, 34, 35]. В [36–38] розглянуто основні існуючі типи анаеробних реакторів.

В [39, 40] розглянуто можливості застосування основних видів біопалива в Україні та проведено систематизацію інформації з існуючих конструкцій водогрійних котлів і опалювальних апаратів, різної потужності, які працюють на природному газі.

В [41], використовуючи методику системного аналізу процесів одержання й використання викопних і біоенергетичних палив з врахуванням життєвого циклу систем, проведено розрахунки величини емісії парникових газів, якщо замінити біогазом видобувні палива. Проведено числове дослідження процесів спалювання сумішей природного газу та біогазу. Сучасну енергетичну та екологічну ситуацію проаналізовано в [39, 42–44]. При цьому показано, що перспективним напрямком у впровадженні нетрадиційних джерел енергії в Україні є розвиток біотехнологій. Досліджені особливості очищення біогазу від сірководню, зокрема біологічним методом [42], наведено результати теплотехнологічних і екологічних досліджень спалювання біогазу [9, 42, 43]. В [45–49] проведені дослідження роботи водогрійного котла зі спалюванням біогазу, розглянуто різні методи розділення компонентів біогазу, та його очищення. Методика розрахунку виходу біогазу описана в [38, 50].

В той же час, в літературних джерелах відсутня обґрунтована, надійна інформація з раціональними методами і апаратно-схемним оформленням, засобами термостабілізації і утилізації теплоти в системах біоконверсії.

## **1.1. Процеси біоконверсії**

**Процес анаеробної ферментації** є складним багатостадійним процесом біологічної конверсії органічних речовин, який здійснюється за участю багатьох, тісно взаємодіючих груп мікроорганізмів і перебігає в певній послідовності. На першій стадії ферментації складні



органічні з'єднання (жирні кислоти, протеїни, вуглеводи) розщеплюються на простіші з'єднання (полімери, амінокислоти тощо). Цей стан розкладання здійснюється гідролітичними бактеріями.

На другій стадії прості з'єднання підлягають дії кислотоутворюючих бактерій з утворенням простіших речовин – летких жирних кислот, спиртів, аміаку, вуглекислого газу і водню, які служать енергетичним і конструктивним субстратом для метаногенних бактерій [21, 22].

Заключна стадія анаеробного розкладання органічних речовин здійснюється за участю метаноутворювальних бактерій. На цій стадії, яка отримала назву алкалічної газифікації, в суворо анаеробних умовах і за відсутності світла метаноутворювальні бактерії використовують кінцеві продукти біохімічних перетворень речовин мікроорганізмів кислотної стадії бродіння і відновлюють вуглекислий газ в метан з поглинанням водню [21, 22].

**Термостабілізація БГУ.** Технологія метанового бродіння полягає в дотриманні науково обґрунтованих технологічних параметрів, які визначають оптимальні умови розвитку метаноутворювальних бактерій, швидкість процесу і продуктивність біогазової установки.

До визначальних параметрів процесу біоконверсії відносять: відсутність доступу кисню, температуру та кислотність середовища, співвідношення вуглецю і азоту в зброджуваній сировині [17, 21]. Метанове бродіння може протікати таких режимах: психрофільному 12...20 °С; мезофільному 32...35 °С; термотолерантному 39...42 °С; термофільному 52...54 °С [22].

Чим вища температура, тим вища швидкість біохімічних процесів [17], але в такому випадку підвищення температури збільшує енерговитрати на експлуатацію біогазової установки. Питання в тому, який температурний режим раціональніший. Мезофільний режим вимагає найменших витрат енергії, а тому його можна вважати раціональним, але для об'ємів реактора до 12 м<sup>3</sup>. Для більших об'ємів раціонально підтримувати термофільний режим. В процесі експлуатації біогазової установки можна використовувати різні режими. Мезофільний режим має ряд переваг. Досить просто підтримувати температуру в реакторі з відхиленням не більше 2,8 °С, такий режим не вимагає великої уваги з точки зору автоматизації процесу. Один з недоліків – це довший час бродіння і вихід газу менший порівняно з термофільним.

Термофільний режим вимагає витрат товарного газу на підтримання відповідної температури і досконалішої автоматизації процесу. Позитивною стороною термофільного режиму є надійне знезараження відходів, що покращує санітарно-гігієнічні показники, і малий час утилізації.

Крім цього, варто врахувати, що температура впливає на якість газу, так із підвищенням температури встановлено зниження  $\text{CH}_4$  в загальному об'ємі газу, що виділяється [17, 51]. Опираючись на результати досліджень та інші джерела інформації варто надати перевагу мезофільному режиму.

Мікроорганізми досить чутливі до перепаду температур, а тому мікробіологічна активність майже припиняється, якщо температура знижується до  $16,5\text{ }^\circ\text{C}$ . Із зниженням температури до  $16\text{ }^\circ\text{C}$  мікробіологічна активність майже не відновлюється. Тому в зимовий період, починаючи ще з осені, реактор необхідно утеплювати для зменшення тепловтрат, але частина об'єму газу повинна витратитись на підтримання необхідного температурного режиму.

Для створення оптимальних умов протікання процесу метаногенезу до системи потрібно підвести теплову і механічну енергію з регламентованими параметрами. Підведена теплота в БГУ використовується для компенсації втрат через огорожуючі конструкції ємностей, а також для попереднього підігріву сировини перед завантаженням в реактор. Підтримання режимної температури в метантенку забезпечується за допомогою підсистеми термостабілізації установки. До підсистеми термостабілізації БГУ входять: 1) теплообмінні пристрої; 2) тепла ізоляція метантенка; 3) ізоляція самих теплообмінників; 4) обладнання для одержання теплоносія; 5) циркуляційна система подачі теплоносія для термостабілізації. В підсистему попереднього підігріву сировини або утилізації теплоти зброженого субстрату, утилізації теплоти відхідних газів та ін. входять теплообмінники-регенератори та підсистема рециркуляції біомаси. Всі елементи ззовні ізольовані.

В якості нагрівальних пристроїв, які використовуються в підсистемі термостабілізації БГУ, можуть застосовуватись, змієвикові, кожухотрубчасті теплообмінники (з шаховим та коридорним розміщенням труб), труба в трубі тощо, які мають гладку поверхню нагріву. Пластинчасті теплообмінники можуть бути використані лише в разі

теплообміну між теплоносіями: вода – вода, газ – вода. Теплообмінники можуть бути розміщені як безпосередньо в реакторі, так і ззовні реактора. Нагрівальні пристрої, які розміщені поза реактором, потрібно застосовувати тільки разом з системою примусової циркуляції силовини для запобігання відкладень твердих часток на теплообмінній поверхні. У зв'язку з наявністю корозійноактивного середовища в реакторі теплообмінника поверхня повинна бути виконана з корозійностійкого матеріалу [52].

Стабілізація температурного режиму може також відбуватися з використанням теплоти відхідних газів двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ), гарячою водою від рубашки охолодження ДВЗ та з використанням відновлюваних джерел енергії. Методи, засоби і вартість стабілізації температурного режиму для забезпечення відповідних умов тепломасообміну та гідродинаміки в великій мірі визначаються кліматичними умовами та розміщенням БГУ.

Одним із шляхів збільшення кількості товарного біогазу є зменшення його витрат на потреби технологічного процесу завдяки зменшенню довжини і поверхні трубопроводів та правильно підібраній теплоізоляції обладнання, в якому температури вищі, ніж температура навколишнього середовища. В складі біогазової установки доцільно передбачити обладнання для утилізації теплоти від вихідних потоків (зброджена маса, відхідні димові гази, біогаз тощо) з поверненням їх на технологічні потреби [53].

Систематизація гіпотетичної інформації по теплообмінних пристроях в підсистемах термостабілізації БГУ наведена в підрозділі 1.4. В основу систематизації теплообмінних пристроїв систем біоконверсії покладено класифікацію, запропоновану в [54, 55], яка проведена на основі існуючої інформації в літературних джерелах [21–29, 52, 56–59].

Порівняння гіпотетичної інформації з дійсним станом застосування теплообмінного обладнання в системах біоконверсії свідчить, що в літературних джерелах є досить обмежена кількість інформації з формування ефективних схем систем біоконверсії і теплообмінних пристроїв підсистем термостабілізації біогазових установок. Недостатньо використаний потенціал вдосконалення схем біогазових установок.

Отже, характер впливу технологічних параметрів на анаеробні процеси в системах біоконверсії залежить від температури суміші в реакторі, сталості цієї температури в об'ємі реактора. Вихід товарного

біогазу в значній мірі залежить від досконалості системи термостабілізації, утилізації теплової енергії та теплообмінного обладнання цієї системи.

**Біогаз, енергетичні властивості.** Біогаз з теплотою згорання 21...25 МДж/м<sup>3</sup> складається з 55...70 % метану, 27...44 % двоокису вуглецю, менше 1 % Н<sub>2</sub>, 0,5...1 % азоту, сірководню до 3 %. Біогаз зріджується за температури – 161,5 °С [21, 22]. Для обігрівання житлового будинку необхідно 60 м<sup>3</sup>/рік біогазу на 1 м<sup>2</sup> житлової площі, на вироблення 1 кВт·год електроенергії – 0,7...0,8 м<sup>3</sup> біогазу. Підігрівання води на 100 голів великої рогатої худоби на добу потребує 5...6 м<sup>3</sup> біогазу [36]. Для двигунів внутрішнього згорання використовують суміш 15...20 % рідкого палива і 80...85 % біогазу [20]. Вихід біогазу розраховується за методиками авторів [38, 50].

## 1.2. Хімічні, фізико-механічні та теплофізичні властивості субстратів

До основних фізико-механічних властивостей органічних сумішей відносяться вологість, вміст сухої речовини, фракційний склад, густина, масова концентрація зависей, реологічні та седиментаційні властивості, гідравлічна крупність твердих включень, поверхневий натяг, а до хімічних – вміст поживних речовин та різноманітних інгредієнтів [60–65].

**Хімічний склад.** Активність реакції в процесі анаеробного зброджування в значній мірі визначається співвідношенням вуглецю та азоту. Вихідна сировина для метанового зброджування відрізняється великим різноманіттям і має різні співвідношення С/Н. Для досягнення оптимального співвідношення С/Н змішують різні відходи, отримуючи при цьому високий вихід біогазу. Наприклад, субстрат ВРХ + пташиний послід (1:1), субстрат свиней + пташиний послід + субстрат ВРХ (1:0,5:0,5 або 1:1:1), субстрат свиней + подрібнений бур'ян (5л + 5кг) та ін. [22].

Хімічний склад субстратів ВРХ та свиней – це складна і неоднорідна структура. На основі інформації, наведеної в [60–66], такий субстрат складається з органічних і неорганічних речовин: з'єднання Mg,

Na, B, Mo, Mn, Ca, N, Zn, K, P, Cu, H<sub>2</sub>O. До органічних речовин входять: азотисті, вуглецеві з'єднання та з'єднання сірки.

**Фізико-механічні та теплофізичні властивості.** Безпідстилковий субстрат – це трифазна колоїдно-дисперсна система. Складовими частинами її є тверді та рідкі виділення тварин, залишки їжі, технологічна вода, а також газ, який утворюється в результаті біохімічних процесів, які протікають в субстраті під час його зберігання [67]. Субстрат ВРХ і свиней являє собою неоднорідну систему, дисперсійним середовищем якої є розчинні у воді солі і низькомолекулярні органічні з'єднання екскрементів тварин, а дисперсною фазою – тверді частинки, нерозчинні домішки мінерального і органічного походження. Нерозчинні домішки можуть знаходитися в грубодисперсному (крупні зависі), тонкодисперсному (грубі і тонкі суспензії) і колоїдному стані. Безпідстилковий субстрат в залежності від кількості в ньому води – це в різній мірі текуча, полідисперсна суспензія з квазіпластичними властивостями. Реологічні властивості субстрату залежать від вмісту в ньому сухих речовин і колоїдних часток [68].

*Розшарування.* Полідисперсність субстрату забезпечує його розшарування, особливо з розбавленням водою, в субстратозбірниках, відстійниках та інших ємностях. Під впливом процесів бродіння розшарування прискорюється. В субстратах з вологістю 98 % і більше при відстоюванні у великих ємностях вже через 15...30 хв випадає в осад 80 – 85 % всіх зважених частинок, а через 2 год. – до 90 %. Навіть в більш великих ємностях, де товща шару субстрату досягає 2...2,5 м, через 24 год. процес седиментації в основному завершується. З подальшим зберіганням відбувається ущільнення стоків, а через 7...8 діб починається зброджування. Якщо вологість до 94 %, то розшарування менш інтенсивне, і процес седиментації закінчується через 5...6 діб [62].

Згідно з [69] рідкий субстрат свиней найбільш інтенсивно розшарується з вологістю вище 90 %, а великої рогатої худоби – більше 91 %. В залежності від концентрації видимі границі розділення у рідкого субстрату свиней спостерігаються через 15...30 хв., а ВРХ – через 5...7 діб, тому освітлення останнього відбувається через 35...40 діб. За температур вище 0 °С у рідкому субстраті ВРХ вологіс-

тю 90...93 % спостерігається бродіння і перемішування всіх фракцій, але на другий місяць відстоювання процес розшарування знову поновлюється. У субстрату ВРХ вологістю 91...92 % освітлення відбувається після трьох місяців відстоювання, а свиней – 5...6 діб. Висота шару осаду, що утворюється в горизонтальних відстійниках при розділенні рідкого субстрату, залежить від часу підсушування. Для субстрату свиней вологість верхнього (1,8...2 м), середнього (1...1,2 м) і нижнього (0,9...1,1 м) шарів першопочатково складає відповідно 91,7; 90,0 і 87,6 %; через 10 днів – 78,3; 85,0 і 86,3 %; 25 днів – 75,7; 82,3 і 86,0 %. Об'єм осаду зменшується зі зниженням з 92 до 83...88 % за рахунок фільтрації, а з 80 до 70...75 % – за рахунок випаровування.

Осадження з часом сповільнюється, оскільки об'ємні маси рідини і твердих частинок близькі між собою. Осадження також зменшується зі збільшенням вмісту в субстраті підстилки. Субстрати є структурованими дисперсними системами, і тому в залежності від крупності твердих частинок в суміші змінюється характер взаємодії твердої фази і рідини. Із зменшенням крупності частинок ця взаємодія посилюється. Умови гідродинамічної взаємодії твердих частинок субстрату з рідиною виражаються такою характеристикою як гідравлічна крупність частинок, тобто швидкістю вільного падіння твердих частинок в рідині. Встановлено, що швидкість осадження частинок основного класу (до 2 мм) складає біля 0,003 м/с. Мірою стійкості суміші субстрату може бути швидкість седиментації [60, 63].

Рідкий субстрат ВРХ, на відміну від субстрату свиней, має меншу питому вагу через велику кількість колоїдів і тому розшаровується повільніше. Підвищення температури знижує в'язкість і прискорює процес седиментації [63, 67].

*Коефіцієнт прилипання.* Субстрати характеризуються коефіцієнтом прилипання, який залежить від раціону тварин, вологості, ступеня розкладання субстрату, віку тварин, а також від матеріалу поверхні контакту. Діапазон коефіцієнта липкості складає 400...6000 Па [60].

Згідно з [69] для безпідстилкового субстрату ВРХ максимальна сила прилипання на поверхні сталі, бетону та сосни відповідно дорівнює 660; 860 і 1230 Па. Вологість субстрату, для якої сила прилипання

досягає свого максимального значення, коливається в межах 75,5...82,7 %.

*Структурна в'язкість і граничне напруження зсуву.* Для характеристики структурно-механічних властивостей субстратів важливими є реологічні властивості. Найхарактернішими з них для субстратів є структурна в'язкість і граничне напруження зсуву. В'язкість  $\mu$  і граничне напруження зсуву  $\tau_0$  залежать від вологості субстрату, крупності частинок, додавання підстилки і температури суміші.

Із зменшенням вологості субстратів структурна в'язкість і граничне напруження зсуву зростають, причому в діапазоні вологості 84...86 %  $\mu$  різко зростає, що свідчить про втрату текучості суміші. Однак оцінити вплив гранулометричного складу на реологічні властивості субстратів неможливо через велику різноманітність кормових раціонів.

Зі збільшенням температури значення  $\mu$  і  $\tau_0$  зменшуються. Найсуттєвіше зменшуються ці величини в діапазоні температур від 5 до 35 °С. Руйнуванню просторової структури субстратів зі збільшенням температури сприяє наявність в субстраті крупних включень, які викликають швидке розшарування суміші в цих умовах [60].

Граничне напруження зсуву рідкого субстрату і в'язкість у всіх випадках зростають із зменшенням вологості. Найменші значення в'язкості (0,02...0,245 Па·с) отримані для субстрату тримісячного зберігання. Після тримісячного зберігання зі зміною вологості субстрату від 94,5 до 78,8 % напруження зсуву збільшується від 20,7 до 260,8 Н/м<sup>2</sup>. Найбільше напруження зсуву спостерігається у свіжого безпідстилкового субстрату шестимісячного зберігання [67].

Згідно з [70] граничне напруження зсуву  $\tau_0$  показник жорсткості" потрібно враховувати тільки для вологості  $W \leq 91$  %. Для  $W \geq 95$  % значення  $\tau_0$  наближаються до нуля, тобто стоки набувають властивостей "ньютонівської" рідини високої в'язкості. Підвищення температури знижує в'язкість субстрату і прискорює процес седиментації [67]. Згідно з [69] субстрат ВРХ – це в'язка пластична маса. В'язкість її тим менша, чим більша вологість, тому напруження зсуву коливається від 0 до 10 Н/м<sup>2</sup>. Зі зменшенням вологості рідкого субстрату збільшується граничне напруження зсуву, найменше значення якого знаходиться для вологості більше 79 %.

В'язкість субстрату з вологістю від 90 до 98% можна визначити за співвідношенням [67]

$$\mu_c = \mu_g \cdot \left[ 1 + 2,5 \left( C_c + 10 \frac{C_c - 2}{8 - 0,7 \cdot C_c} \right) \right], \quad (1.1)$$

де  $\mu_g$  – динамічна в'язкість води, Па·с;  $C_c$  – вміст сухих речовин в субстраті, %.

У рідкого субстрату ВРХ і свиней зі зниженням вологості від 94,5 до 84 % в'язкість відповідно змінюється від 0,3...7,8 і 0,2...1,2 Па·с; менша величина в'язкості субстрату свиней пояснюється тим, що він містить в 5 разів менше колоїдних речовин [69]. Значно знижується в'язкість рідкого субстрату з його зберіганням (в каналах і субстрато-збірниках), що обумовлене руйнуванням його первинної структури, а також впливом біологічних і фізико-механічних процесів [63].

В [70] зазначено, що численні досліді з визначення динамічної в'язкості субстратів ВРХ і свиней показують, що для вологості стоків  $W < 92$  % вона залежить від виду і типу тварин, раціону, строків зберігання, а для  $W > 92$  % вирішальне значення має кількість вільного дисперсного середовища і за температури 20 °С може бути визначена з рівняння

$$\mu_c = \mu_g \cdot \left[ 1 + 2,5 \left( C_c + 10 \frac{C_c - 2}{8 - \beta \cdot C_c} \right) \right], \quad (1.2)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт, який залежить від виду субстрату і складає  $\beta = 0,6...0,75$  для ВРХ,  $\beta = 0,6...0,7$  – для субстратів свиней.

Більші значення  $\beta$  вибирають, якщо в раціоні переважають концентрати, менші – харчові відходи, овочеві і рослинні компоненти.

Для  $W = 98$  % ця залежність приймає вигляд

$$\mu_c = \mu_g \cdot [1 + 2,5 \cdot C_c]. \quad (1.3)$$

Залежність в'язкості від температури носить лінійний характер і зі зміною температури в межах від 8 до 32 °С в'язкість зменшується на 45 % [70].

Для визначення в'язкості потоків рідинних суспензій згідно [71] існують залежності (1.4–1.9):

$$\mu_n = \mu_g \cdot (1 + 2,5\beta_m + 7,17\beta_m^2 + 16,2\beta_m^3), \quad (1.4)$$

де  $\beta_m$  – об'ємна концентрація твердої фази,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;

$$\mu_n = \mu_g (1 - \beta_m)^{-2,8}. \quad (1.5)$$



Ця формула досить близька за значеннями до виразу

$$\mu_n = \mu_\epsilon (1 - \beta_m)^{-2,5} \quad (1.6)$$

або 
$$\mu_n = \mu_\epsilon (1 - \beta_m)^{-2,285} \quad (1.7)$$

Залежність згідно з [71], отримана для систем рідина-тверді частинки для  $\beta_m = 0...0,7$ , має вигляд

$$\mu_n = \mu_\epsilon \cdot \left[ 1 + 2\beta_m \cdot \frac{(1 + \beta_m^2)}{(1 - \beta_m^2)} \right] \quad (1.8)$$

Формули (1.4–1.5) згідно з [71] добре узгоджуються з експериментальними даними для всіх значень концентрацій, коли ще зберігається текучість системи.

Залежність для визначення в'язкості рідинних суспензій, яка введена в [71] має вигляд

$$\mu_c = \mu_\epsilon \cdot \left[ 1 + 2 \cdot b \cdot \frac{(1 + b)^2}{(1 - b)^2} \right]^m, \quad (1.9)$$

$$\text{де } b = \frac{m \cdot \left( \frac{\rho_\epsilon}{\rho_m} \right)}{1 + m \cdot \left( \frac{\rho_\epsilon}{\rho_m} \right)}, \quad m = \frac{(\rho_c - \rho_\epsilon) \cdot \left( \frac{\rho_m}{\rho_c} \right)}{\rho_m - \rho_\epsilon},$$

де  $\rho_\epsilon$  – густина води,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\rho_m$  – густина твердих частинок,  $\text{кг/м}^3$ .

Згідно з [72] коефіцієнт динамічної в'язкості для температури  $T$  можна визначити зі співвідношення

$$\mu = \mu_0 \cdot \exp(n \cdot (T - T_0)), \quad (1.10)$$

де  $\mu_0$  – динамічна в'язкість для середньої температури потоку  $T_0$ , Па·с;  $n$  – міра впливу температури на динамічну в'язкість рідини.

*Густина.* Вологість субстратів разом з технологічними відходами води коливається в межах 88...92 %, об'ємна маса субстрату при цьому складає 1020...1050  $\text{кг/м}^3$  [60].

Із збільшенням вологості від 78,8 до 94,7 % густина субстрату 3...6 – місячного зберігання зменшується від 1108...1022  $\text{кг/м}^3$  до 1074...1028  $\text{кг/м}^3$ , свіжого – від 1082 до 1001  $\text{кг/м}^3$  [67].

Об'ємна вага субстрату ВРХ складає 1010  $\text{кг/м}^3$ , а свиней – 1050...1070  $\text{кг/м}^3$ , питома вага нерозбавленого субстрату свиней дорівнює 1100...1170  $\text{кг/м}^3$ , ВРХ – 1010...1100  $\text{кг/м}^3$ , а сухої речовини субстрату свиней – 1280...1320  $\text{кг/м}^3$ . Питома вага осаду ВРХ і свиней

відповідно дорівнює 1050...1090 кг/м<sup>3</sup> і 1120...1180 кг/м<sup>3</sup> і залежить від терміну відстоювання [69].

Густину субстрату можна оцінити за формулою

$$\rho_c = 1000 + 2,4 \cdot (100 - W), \quad (1.11)$$

де  $W$  – вологість стоків, % [61, 62, 70].

Відповідно до [70] для вологості рідкого субстрату  $W \leq 92\%$  густина може досягати 1080 кг/м<sup>3</sup>, густина твердих включень субстрату від 800...1500 кг/м<sup>3</sup>. Частинки з густиною 1050...1750 кг/м<sup>3</sup> складають не більше 80 %.

Основні фізико-механічні властивості субстратів для  $t_c = 20$  °C наведені в табл. 1.1. Інформація наведена з використанням літературних даних [70, 73, 62–64].

Таблиця 1.1

**Фізико-механічні властивості субстратів в залежності від вологості**

Вологість, %	Стоки					
	ВРХ			свиной		
	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Граничне напруження зсуву, Па	Динамічна в'язкість, Па·с	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Граничне напруження зсу- ву, Па	Динамічна в'язкість, Па·с
86	1034	140	3,8	1054	20	0,8
88	1030	50 (70)*	2,3	1046	20 (9,6)	0,6 (0,6)
89		40			15	
90	1024	37 (27)	1,75	1038 (1024)	9 (3,2)	0,38 (0,38)
91		14			5	
92	1019	5 (11)	1,3	1030 (1019)	1,8 (1,7)	0,23 (0,23)
93		2,5			1,6	
94	1014	1,0 (1)	0,7	1022 (1014)	0,9 (0,2)	0,1 (0,1)
95		-			-	
96	1010	-	0,3	1014 (1010)		0,04 (0,04)
97						
98	1005		0,01	1005 (1005)		0,002 (0,002)

\* – дані з [62]

*Теплоємність, температуропровідність та теплопровідність.* Температуропровідність і теплоємність субстрату великої рогатої худоби з підвищенням температури і вологості (86...98 %) збільшуються, що пояснюється підвищенням температуропровідності і теплоємності вільної води та відсутністю змін в структурі макромолекул [69]. Згідно з [69] питома теплоємність субстрату в залежності від вмісту сухої речовини в ньому коливається від  $C_c = 1,71 \dots 3,22$  кДж/(кг·К), при цьому теплоємність збільшується із зменшенням вмісту сухих речовин.

Залежності для визначення теплоємності, теплопровідності, коефіцієнта температурного розширення стоків (субстратів) невідомі. На цьому етапі досліджень для оцінки значень теплоємності  $C$ , теплопровідності стоків (субстратів)  $\lambda$  існують залежності для дисперсних потоків рідина-тверді частинки [74, 75]

$$C = C_{\text{сух}} \cdot b + C_v \cdot (1 - b), \quad (1.12)$$

де  $C_{\text{сух}}$  – питома теплоємність безводної речовини, кДж/(кг К);  $C_v$  – питома теплоємність води, кДж/(кг К);  $b$  – вміст СОР в субстраті, частка.

Для визначення теплопровідності в [74, 75] рекомендується використовувати формулу

$$\lambda = \lambda_{\text{сух}} \cdot b + \lambda_v \cdot (1 - b), \quad (1.13)$$

де  $\lambda_v$  – теплопровідність води, Вт/(м К);  $\lambda_{\text{сух}}$  – теплопровідність безводної речовини (твердих частинок), Вт/(м·К).

Максимальне значення теплопровідності серед органічних речовин має дерево (сосна)  $\lambda_{\text{сух}} = 0,72$  Вт/(м·К), а мінімальне – волокна льону  $\lambda_{\text{сух}} = 0,073$  Вт/(м·К) [76]. Розходження в коефіцієнтах теплопровідності субстрату з використанням в розрахунках таких значень теплопровідності СОР складає 2,2 %. Для визначення інтенсивності теплообміну в субстратах можна використовувати середні значення описаних вище коефіцієнтів теплоємності та теплопровідності вологого субстрату.

Для визначення теплопровідності суспензій в [71] запропонована залежність Максвела і Венда, яка має вигляд

$$\frac{\lambda}{\lambda_v} = \frac{2\lambda_v + \lambda_m - 2\beta_m(\lambda_v - \lambda_m)}{2\lambda_v + \lambda_m + 2\beta_m(\lambda_v - \lambda_m)}. \quad (1.14)$$

Апроксимаційні залежності для визначення густини, в'язкості, теплопровідності посліду курей в діапазоні температур  $t_c = 30 \dots 60 \text{ }^\circ\text{C}$  та вологостей  $W = 86 \dots 98 \%$  наведені в [77].

Таким чином, виявлено, що субстрати тваринного походження – це складні органічні суміші, які з часом змінюють свої властивості. Існуюча інформація з визначення їх теплофізичних властивостей обмежена, суперечлива, а частіше відсутня.

*Сумісний аналіз та рекомендації.* Для сумісного аналізу існуючої інформації [62–64, 70, 73] з визначення теплофізичних властивостей субстрату з вологістю  $W = 86 \dots 98 \%$  в діапазоні температур  $\bar{t}_c = 20 \dots 55 \text{ }^\circ\text{C}$  вибрані залежності для визначення в'язкості, густини, теплопровідності та теплоємності.

Кінематична в'язкість визначалася за такими співвідношеннями: (1.2), (1.4), (1.5) та (1.9). Недоліком залежності (1.9) є те, що вона не враховує концентрації сухих органічних речовин, а тому визначити в'язкість субстрату користуючись формулою (1.9) для різних вологостей, неможливо.

Розрахункові залежності, що наведені в огляді (1.4–1.9), дають значення динамічної в'язкості субстрату, які мають розбіжність між собою від 0,8 до 5 %.

За результатами розрахунків за формулами (1.2), (1.4) та (1.5) отримали графічні залежності, які показано на рис. 1.1. Порівняння отриманих значень із в'язкістю води показано на рис. 1.2.

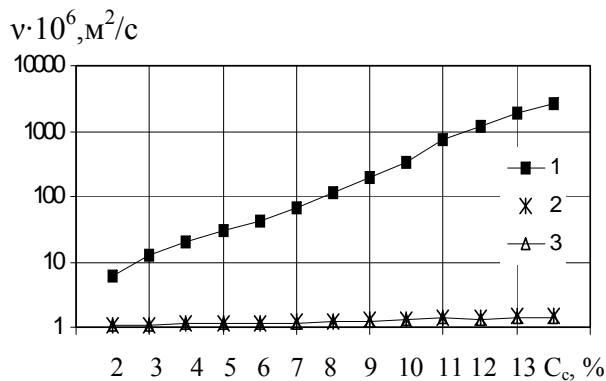


Рис. 1.1. Залежність в'язкості субстрату від концентрації СОР для  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ :  
1 – ф-ла (1.2); 2 – ф-ла (1.4); 3 – ф-ла (1.5)

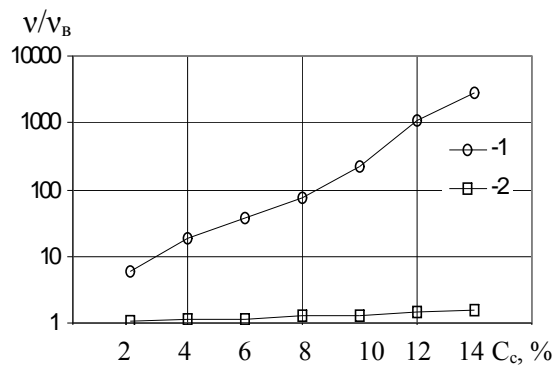


Рис. 1.2. Відношення в'язкостей розрахованих за 1 – (1.2); 2 – (1.4) до в'язкості води

Із рис. 1.1 видно, що розбіжність між результатами розрахунків за залежностями (1.5) та (1.2) складає від 5 до 1800 разів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Панцхава Е. С. Биогаз – возобновляемый вид топлива и энергии / Е. С. Панцхава // Теплоэнергетика. – 1982. – № 9. – С. 35–37.
2. Панцхава Е. С. Техническая биоэнергетика / Е. С. Панцхава. – М. : Знание, 1990. – 64 с.
3. Панцхава Е. С. Метангенерация твердых органических отходов городов / Е. С. Панцхава, Е. В. Давиденко // Биотехнология. – 1990. – № 4. – С. 49–53.
4. Панцхава Е. С. Биоэнергетические установки по конверсии органических отходов в топливо и органические удобрения / Е. С. Панцхава, Н. Л. Кошкин // Теплоэнергетика. – 1993. – № 4. – С. 20–23.
5. Ткаченко С. Й. Відходи тваринницьких підприємств / Екологічні проблеми, їх вирішення методами анаеробної біоконверсії С. Й. Ткаченко, Д. В. Степанов, А. А. Моргунов // Бізнес і екологія : Матеріали I Всеукр. наук.-практ. конф. – Донецьк, 2001. – С. 34.
6. Современное состояние и перспективы развития биоэнергетики в Украине / [Г. Г. Гелетуца, Т. А. Железная, Н. М. Жовмир, Ю. Б. Матвеев] // Промышленная теплотехника. – 2005. – Т. 27. – № 1. – С. 78–85.
7. Маслич Б. В. Можливості біогазових технологій переробки органічних відходів / Б. В. Маслич // Ринок інсталяційний. – 1997. – № 2. – С. 24–25.
8. Сигал И. Я. Использование биогаза в промышленности / И. Я. Сигал // Відновлювальна енергетика. – 2006. – № 2. – С. 84–90.
9. Сжигание биогаза в промышленных котлах / Сигал И. Я., Щокин А. Р., Домбровская Э. П. и др. // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2002. – № 2. – С. 15–20.
10. Маслич Б. В. Біогаз енергія майбутнього / Б. В. Маслич, В. К. Маслич // Ринок інсталяційний. – 2001. – № 1 – 9. – С. 39–43.
11. Калюжный С. В. Биогаз: проблемы и решения / С. В. Калюжный, А. Г. Пузанков, С. Д. Варфоломеев // Итоги науки и техн. – ВИНТИ. Серия «Биотехнологии». 1988. – № 21. – С. 5 – 6.
12. Кива А. А. Биоэнергетическая оценка и снижение энергоемкости технологических процессов в животноводстве / А. А. Кива, В. М. Рабштына, В. И. Сотников. – М. : Агропромиздат, 1990. – 176 с.
13. Тарасов С. И. Эффективность применения сброженного навоза крупного рогатого скота в качестве органического удобрения / С. И. Тарасов // Агрохимия. – 1991. – № 5. – С. 96–102.

14. Грицаєнко В. І. Енергозберігаючі технології у молочному скотарстві / В. І. Грицаєнко, М. І. Машкин. – К. : Урожай, 1992. – 182 с.
15. Кацинський Б. Б. Біоенергетичний комплекс для виробництва високоякісних добрив, електроенергії і тепла / Б. Б. Кацинський, Т. К. Крушневич / Ринок інсталяційний. – 1997. – № 9. – С. 10–11.
16. Оцінка енергетичної ефективності біогазової установки / [С. Й. Ткаченко, Є. П. Ларюшкін, Г. О. Нудель, В. С. Таргоня] // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1998. – № 2. – С. 48–55.
17. Гелетуша Г. Г. Современные технологии анаэробного сбраживания биомассы / Г. Г. Гелетуша, С. Г. Кобзар // Экотехнологии и ре-сурсосбережение. – 2002. – № 4. – С. 3 – 11.
18. Гелетуша Г. Г. Обзор технологии газификации биомассы / Г. Г. Гелетуша, Т. А. Железная // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1998. – № 2. – С.21–29.
19. Губинский М. Энергетическое использование биомассы. Перспективы и реальность / М. Губинский, Т. Введенская // Промышленная теплотехника. – 2002. – Т. 24. – № 2–3. – С. 138–142.
20. Биогаз: использование в качестве моторного топлива для автомобилей / [В. Г. Ковальчук, А. И. Пятничко, Т. К. Крушневич и др.] // Экотехнологии и ресурсозбережение. – 1999. – № 5. – С. 12–15.
21. Баадер Б. Биогаз: Теория и практика / Б. Баадер, Е. Доне, М. Брендерфер. – М. : Колос, 1982. – 148 с.
22. Семененко И. В. Проектирование биогазовых установок / И. В. Семененко. – К. : Техніка, 1992. – 346 с.
23. Цветков Б. П. Оборудование для производства биогаза из животноводческих отходов / Б. П. Цветков, В. А. Ясенецкий // Промышленная энергетика. – 1988. – № 11. – С. 9–13.
24. Ясенецкий В. А. Оборудование для получения биогаза из навоза / В. А. Ясенецкий, В. С. Таргоня // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1990. – № 44. – С. 23–24.
25. Савицкас Ю. Ю. Опыт эксплуатации биогазовых установок при анаэробной обработке органических отходов / Ю. Ю. Савицкас // Промышленная теплотехника. – 2001. – Т. 23. – № 4–5. – С. 128–131.
26. Коновалов С. В. Відновлювана енергетика та енергозберігаючі технології / С. В. Коновалов, С. Й. Ткаченко. – Немирів, Екоенергетик, 2003. – 125 с.
27. Жирков В. Основы строительства биогазовой установки для анаэробной переработки сельскохозяйственных отходов [Елект-

- ронний ресурс] / В. Жирков, А. Герман, Ю. Матвеев. – Режим доступа : <http://www.biomass.kiev.ua>, <http://www.ukrntec.com>.
28. Анцюнас А. Биогаз на ферме [Электронный ресурс] / А. Анцюнас, Р. Янушаускас. – Режим доступа : <http://www.ecomuseum.freenet.kz>.
  29. Толстых С. В. Применение биогазовых технологий при утилизации органических отходов [Электронный ресурс] / С. В. Толстых, А. А. Васливанов. // Научно-технический сборник – № 74 – Режим доступа : <http://www.eprints.ksame.kharkov.ua>.
  30. Борисов И. И. Теплогенераторы, работающие на биомассе: анализ рынка Украины / И. И. Борисов, А. А. Халатов // Промышленная теплотехника – 2002. – Т. 24. – № 1. – С. 102–105.
  31. Гелетуха Г. Г. Энергетический потенциал биомассы в Украине / Г. Г. Гелетуха, З. А. Марценюк // Промышленная теплотехника. – 1998. – № 4. – С. 52–55.
  32. Гелетуха Г. Г. Государственное регулирование развития биоэнергетики в странах Европы и США / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железная // Промышленная теплотехника. – 2002. – Т. 24. – Ч. 1. – № 4. – С. 81–88.
  33. Гелетуха Г. Г. Государственное регулирование развития биоэнергетики в странах Европы и США / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железная // Промышленная теплотехника. – 2002. – Т. 24. – Ч. 2. – № 5. – С. 78–86.
  34. Гелетуха Г. Г. Перспективы энергетического использования промышленных и бытовых отходов органического происхождения / Г. Г. Гелетуха, Ю. Б. Матвеев // Энергетика и электрификация. – 2002. – № 7. – С. 11–14.
  35. Дубровін В. О. Перспективи створення біогазових установок в Україні / В. О. Дубровін, М. О. Корчемний, М. Д. Мельничук // Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні: Матеріали третьої міжнар. наук.-практ. конф. – Львів : ЛьвЦНТЕІ, 2005. – С.167–171.
  36. Дубровский В. С. Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов / В. С. Дубровский, У. Э. Виестур. – Рига : Зинатне, 1988. – 204 с.
  37. Интенсификация анаэробного сбраживания путем предварительного уплотнения осадков / [А. И. Мацнев, О. П. Синев, Т. С. Мацнева, И. М. Козьмина] // Опыт внедрения безотходной технологии обработки сточных вод, утилизация осадков: материалы науч.-практ. конф. – Л. : ЛьвЦНТЕІ, 1989. – С. 41–45.
  38. Янко В. Г. Обработка сточных вод и осадка в метантенках / В. Г. Янко, Ю. Г. Янко. – К. : Будівельник, 1978. – 120 с.

39. Майстренко А. Ю. Социальные и экономические аспекты в области альтернативной энергетики / А. Ю. Майстренко, Д. В. Степанов, Ю. В. Курис // Промэлектро. – 2007. – № 4. – С. 45–48.
40. Аналіз процесів біоконверсії та експериментальне визначення технологічних можливостей спалювання біогазу / [Е. М. Крючков, Ю. В. Куріс, С. Й. Ткаченко і ін.] // Енергетика та електрифікація. – 2007. – № 1. – С. 57–62.
41. Емісія парникових газів у процесі спалювання біогазу та його сумішей / [С. Й. Ткаченко, Д. В. Степанов, Е. Н. Крючков і ін.] // Енергетика та електрифікація. – 2007. – № 5. – С. 63–66.
42. Екологічні проблеми утилізації біогазу в системах біоконверсії та деякі методи їх вирішення / [С. Й. Ткаченко, Д. В. Степанов, Е. М. Крючков і ін.] // Новини енергетики. – 2006. – № 8. – С. 41–43.
43. Особливості роботи водогрійного котла на біогазі / [С. Й. Ткаченко, Ю. В. Куріс, Д. В. Степанов і ін.] // Наукові вісті КПІ. – 2006. – № 1. – С. 25–29.
44. Показатели работы бытового котла при сжигании смесей природного газа и биогаза / [Д. В. Степанов, Ю. В. Курис, С. И. Ткаченко, Е. Н. Крючков] // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2007. – № 1. – С. 17–19.
45. Енерго-екологічна ефективність роботи побутового котла на біогазі / [С. Й. Ткаченко, Ю. В. Куріс, Д. В. Степанов і ін.] // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2006. – № 2. – С. 165–168.
46. Систематизация особенностей конструирования водогрейных котлов для сжигания биогаза / [Ю. В. Курис, А. Ю. Майстренко, С. Й. Ткаченко, Д. В. Степанов] // Промэлектро. – 2006. – № 6. – С. 66–48.
47. Увеличение эффективности дальнейшего использования и сжигания биогаза: достижения и перспективы / [Ю. В. Курис, Д. В. Степанов, С. Й. Ткаченко и др.] // Енергетика та електрифікація. – 2006. – № 12. – С. 67–76.
48. Розробка методики визначення емісії парникових газів при заміні натурального палива біоенергетичним паливом / [Д. В. Степанов, Ю. В. Куріс, С. Й. Ткаченко, Р. Г. Хейфец] // Енергетика та електрифікація – 2007. – № 4. – С. 71–62.
49. Ефективність спалювання сумішей природного газу та біогазу на побутовому котлі / [С. Й. Ткаченко, Д. В. Степанов, Е. М. Крючков, Ю. В. Куріс] // Новини енергетики. – 2006. – № 12. – С. 41–43.
50. Ткаченко С. Й. Маловитратні режими біоконверсії / С. Й. Ткаченко, С. В. Коновалов, Є. П. Ларюшкін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2000. – № 2. – С. 36–40.



51. Ткаченко С. Й. Потенційні можливості виробки енергії методами біоконверсії / С. Й. Ткаченко, Д. В. Степанов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2001. — № 1. — С. 20–24.
52. Ткаченко С. Й. Методи та засоби термостабілізації біогазової установки / С. Й. Ткаченко, Н. В. Резидент, Д. В. Степанов // Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні : Матеріали третьої міжнар. наук.-практ. конф. — Львів : ЛьЦНТЕІ, 2005. — С. 167–171.
53. Ткаченко С. Й. Енергоефективні схеми біогазових установок з утилізацією теплоти / С. Й. Ткаченко, Н. В. Резидент, І. В. Буженко // Энергосбережение. — 2009. — № 2. — С. 11–13.
54. Каневец Г. Е. Обобщенные методы расчета теплообменников / Г. Е. Каневец. — К. : Техніка, 1979. — 352 с.
55. Каневец Г. Е. Оптимизация теплообменного оборудования пищевых производств / Г. Е. Каневец, И. И. Сагань, Н. И. Иванова. — К. : Техніка, 1981. — 192 с.
56. Комбінована вітробіогазова установка для потреб підприємств / [А. К. Ільницький, М. П. Кузик, І. І. Марчак, О. В. Муха] // Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні : Матеріали третьої міжнар. наук.-практ. конф. — Львів: ЛьЦНТЕІ, 2005. — С. 108–112.
57. А. с. № 37959А. Україна, МКИ С02F 11/04. Біогазова установка / О. В. Гвоздевич, Д. М. Брик, О. В. Муха, О. З. Бутін, І. М. Лоїк (Україна). — № 2000052646 ; заявл. 15.05.01 ; опубл. 15.04.02 , Бюл. № 4.
58. А.с. № 30928 Україна, МКИ С02F 11/04. Спосіб анаеробного зброджування органічних відходів та установка для його здійснення / І. В. Семененко, М. Г. Зінченко, Д. Н. Дрожина (Україна). — № 98063214 ; заявл. 15.12.2000 ; опубл. 15.07.01 ; Бюл. № 7.
59. Пат. № 51209А Україна, МКИ С02F11/04. Біогазова установка / Г. Є. Мовсесов (Україна). — № 2002010796 ; заявл. 31.01.02 ; опубл. 15.11.02, Бюл. № 11.
60. Мельников С. В. Гидравлический транспорт в животноводстве / С. В. Мельников, В. В. Калюга, Ю. К. Сазонов. — М. : Россельхозиздат, 1976. — 190 с.
61. Голченко М. Г. Орошение сточными водами / М. Г. Голченко, В. И. Железяко. — М. : Агропромиздат, 1988. — 104 с.
62. Андреев В. А. Использование навоза свиней на удобрения / В. А. Андреев, М. Н. Новиков, С. М. Лукин. — М.: Росагропромиздат, 1990. — 94 с.

63. Буряк Ю. Н. Системы удаления и хранения бесподстилочного навоза. Обзорная информация / Ю. Н. Буряк, В. Г. Рязанцев. – М. : Росагропромиздат, 1986. – 48 с.
64. Бесподстилочный навоз и его использование для удобрения; [пер. с нем. П. Я. Семенова]. – М. : Колос. 1978. – 271 с.
65. Смирнов О. П. Сооружения по подготовке к использованию отходов животноводства / О. П. Смирнов – К. : Урожай, 1989. – 152 с.
66. Васильев В. А. Применение бесподстилочного навоза для удобрения / В. А. Васильев, Н. М. Швецов. – М. : Колос. – 1983. – 174 с.
67. Пузанков А. Г. Обеззараживание стоков животноводческих комплексов / А. Г. Пузанков, Г. А. Мхитарян, И. Д. Гришаев. – М. : Агропромиздат, 1986. – 175 с.
68. Письменов В. Н. Получение и использование бесподстилочного навоза / В. Н. Письменов. – М. : Росагропромиздат, 1988. – 206 с.
69. Сурнин В.И. Использование жидкого навоза / В. И. Сурнин. – М. : Россельхозиздат, 1978. – 64 с.
70. Технология орошения животноводческими стоками / [А. М. Буцыкин, В. Г. Луцкий, А. Г. Пономарев, Л. П. Рева]. – М. : Агропромиздат, 1987. – 160 с.
71. Горбис З. Р. Теплообмен и гидромеханика дисперсных сквозных потоков / З. Р. Горбис. – М. : Энергия, 1970. – 424 с.
72. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена / С. С. Кутателадзе. – М. : Атомиздат, 1979. – 416 с.
73. Погорелый Л. В. Биотехнические системы в животноводстве / Л. В. Погорелый. – К. : Урожай, 1992. – 344 с.
74. Лебедев П. Д. Теплообменные сушильные и холодильные установки / П. Д. Лебедев. – М. : Энергия, 1972. – 317 с.
75. Промышленные теплообменные процессы и установки / [А. М. Бакластов, В. А. Горбенко, О. Л. Данилов и др.]; под ред. А. М. Бакластова. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 328 с.
76. Исаченко В. П. Теплопередача: [учебн. для вузов] / В. П. Исаченко, – [3-е изд. доп.]. – М. : Энергия, 1975. – 488 с.
77. Драганов Б. Х. Анализ параметров теплообменных процессов в реакторе биогазовой установки / Б. Х. Драганов // Відновлювана енергетика. – 2007. – № 1. – С. 79–81.
78. Ткаченко С. Й. Залежності для оцінки значень коефіцієнтів тепловіддачі в системах термостабілізації біогазового реактора / С. Й. Ткаченко, Д. В. Степанов, Н. В. Резидент // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2004. – № 2. – С. 65–70.
79. Ткаченко С. Й. Дослідження теплообміну до багатоконпонентних органічних сумішей в умовах вільної конвекції біля вертикальної циліндричної стінки / С. Й. Ткаченко, Н. В. Резидент //

- Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2006. – № 4. – С. 37–41.
80. Ткаченко С. Й. Тепловіддача до багатокомпонентного середовища в умовах вимушеної і природної конвекції / С. Й. Ткаченко, Н. В. Резидент // Вісник Хмельницького національного університету. – 2006. – № 1. – С. 111–114.
81. Ткаченко С. Й. Методичні основи моделювання системи термостабілізації реактора біогазової установки / С. Й. Ткаченко, Д. В. Степанов, Н. В. Резидент // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – Вінниця, 2004. – С. 70–78.
82. Бердыев О. Экспериментальное исследование теплообмена в установках по выработке биогаза : автореф. дис. на соиск уч. степ. канд. техн. наук / О. Бердыев; НПО «Солнце». – Ашхабад, 1989. – 24 с.
83. Ткаченко С. Й. Моделювання інтенсивності теплообміну до багатокомпонентних органічних сумішей / С. Й. Ткаченко, Н. В. Резидент // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 6. – С. 187–192.
84. Ткаченко С. Й. Стабілізований теплообмін в системі: нагрівальний елемент – обмежений об'єм рідини – навколишнє повітря / С. Й. Ткаченко, Д. В. Степанов, О. Ю. Співак // Вісник ТУП. – 2001. – № 1. – С. 134 – 139.
85. Степанов Д. В. Методи розрахунку тепловіддачі від стінки до локального нерівномірного газорідного середовища / Д. В. Степанов, С. Й. Ткаченко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 5. – С. 50–56.
86. Пат. України 15905, МПК 7 C02F11/04. Установа для отримання біогазу / Ткаченко С. Й., Резидент Н. В., Пішеніна Н. В., Гуменюк М. С; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № 200601131 ; заявл. 06.02.2006 ; опубл. 17.07.2006, Бюл. № 7.
87. Пат. України 41855, МПК 7 C02F11/04. Установа для отримання біогазу / Ткаченко С. Й., Резидент Н. В., Пішеніна; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № 200900482 ; заявл. 23.01.2009 ; опубл. 10.06.2010, Бюл. № 11.
88. Ткаченко С. Й. Нові аспекти застосування теорії подібності в теплотехнічних розрахунках систем біоконверсії [Електронний ресурс] / С. Й. Ткаченко, Н. В. Резидент // Наукові праці ВНТУ. – 2009. – № 2. Режим доступу до журналу: <http://www.nbuuv.gov.ua/e-journals/VNTU/2009-2/2009-2.htm>.
89. Ткаченко С. Й. Ідентифікація закономірностей теплообміну за умов невизначеності вхідних даних / С. Й. Ткаченко, Н. В. Рези-

- дент // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2006. – № 6. – С. 142–146.
90. Пат. 24616 України, МПК (2006) G01N25/18. Спосіб визначення коефіцієнта тепловіддачі за умов конвективного теплообміну органічної суміші / Ткаченко С. Й., Резидент Н. В.; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. університет. – № 200701190 ; заявл. 05.02.07 ; опубл. 10.07.07, Бюл. № 10.
  91. Михеев М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – 2-е изд. – М. : Энергия, 1977. – 344 с.
  92. Стрелкова К. С. Теплообмен при течении водоугольной суспензии в трубах / К. С. Стрелкова, В. М. Марушкин, А. В. Резвов // Теплоэнергетика. – 1991. – № 12. – С. 55–59.
  93. Исследование теплообмена при полимеризации стирола в реакторе с мешалкой / [С. А. Городинская, В. И. Гнатовский, Ю. И. Трохин, Ю. А. Остапенко] // Теплофизика и теплотехника. – 1970. – № 16. – С. 69–72.
  94. Исследование теплообмена при полимеризации стирола в циркуляционном контуре / [С. А. Городинская, В. И. Гнатовский, Ю. И. Трохин, Ю. А. Остапенко] // Теплофизика и теплотехника – 1969. – № 15. – С. 110–114.
  95. Исследование теплообмена в реакторе-форполимеризаторе стирола с трубчатым перемешивающим устройством / [В. Д. Медведев, С. А. Городинская, А. Н. Новичков, Ю. И. Трохин] // Теплофизика и теплотехника. – 1969. – № 15. – С. 110–114.
  96. Антипов А. И. Конвективный теплообмен при течении водонефтяных эмульсий в аппаратах объектов промышленной подготовки нефти / А. И. Антипов, Л. Г. Голубев, Я. С. Мухтаров // Проблемы энергетики. – 2003. – № 1–2. – С. 54–59.
  97. Мелехин А. Н. Выбор способов контроля физических параметров высококонцентрированной водоугольной суспензии / А. Н. Мелехин, М. Н. Новиков, А. М. Хидиятов // Теплоэнергетика. – 1997. – № 6. – С. 58–60.
  98. Розенцвайг А. К. Структурный анализ механизмов взвешивания частиц в турбулентном потоке сплошной среды жидкостных дисперсных систем / А. К. Розенцвайг // Проблемы энергетики. – 2003. – № 9–10. – С. 19–34.
  99. Фройштетер Г. Б. Конвективный теплообмен ламинарного потока неньютоновских жидкостей в трубах с внутренними источниками тепла / Г. Б. Фройштетер, Э. Л. Смородинский // Теплофизика и теплотехника – 1970. – № 17. – С. 119–125.

100. Семена М. Г. Исследование теплообмена при ламинарном течении битума в канале сложной формы / М. Г. Семена, Е. В. Климин // Теплофизика и теплотехника – 1975. – № 29. – С. 78–83.
101. Маслов А. М. Аппараты для термообработки высоковязких жидкостей / А. М. Маслов. – Л. : Машиностроение, 1980. – 208 с.
102. Шульман З. П. Реодинамические особенности течения и массообмен водных дисперсных глин в трубе / З. П. Шульман, Н. А. Покрываило, Ю. Г. Грозберг // Транспортные процессы в полимерных и суспензионных жидкостях. – Минск : ИТМО им. А. В. Лыкова АН БССР, 1986. – С. 119–121.
103. Шульман З. П. Конвективный тепломассоперенос реологически сложных жидкостей / З. П. Шульман. – М. : Энергия, 1975. – 352 с.
104. Зозуля Н. В. Влияние спиральных вставок на теплоотдачу при движении вязкой жидкости внутри трубы / Н. В. Зозуля, И. Я. Шкуратов // Теплофизика и теплотехника. – 1964. – № 5. – С. 55–56.
105. Назмеев Ю. Г. Интенсификация теплообмена при течении вязкой жидкости в трубах с винтовой накаткой / Ю. Г. Назмеев, И. А. Конахина // Теплоэнергетика. – 1993. – № 11. – С. 59–62.
106. Теплообмен и гидравлическое сопротивление при ламинарном течении вязкой жидкости в трубах с искусственной шероховатостью / [Ю. Г. Назмеев, А. М. Конахин, Б. А. Кумиров, В. В. Олимпиев] // Теплоэнергетика. – 1993. № 4. – С. 66–69.
107. Ковецкая М. М. Моделирование процессов теплообмена в каналах с регулярной шероховатостью обогреваемой поверхности / М. М. Ковецкая, Е. Д. Домашев // Промышленная теплотехника. – 1996. – Т. 18. – № 3. – С. 12–21.
108. Валуева Е. П., Теплоотдача при ламинарном пульсирующем течении в круглой трубе / Е. П. Валуева, В. Н. Попов, С. Ю. Романова // Теплоэнергетика. – 1993. – № 8. – С. 47–54.
109. Валуева Е. П. Теплоотдача при турбулентном пульсирующем течении в круглой трубе / Е. П. Валуева, В. Н. Попов, С. Ю. Романова // Теплоэнергетика. – 1994. – № 3. – С. 24–35.
110. Романова С. Ю. Теплоотдача при переходном пульсирующем течении в круглой трубе / С. Ю. Романова, В. Н. Попов // Теплоэнергетика. – 1994. – № 4. – С. 54–62.
111. Пошкас П. Теплоотдача и гидродинамика потока в изогнутых каналах / П. Пошкас, Ю. Вилемас // Промышленная теплотехника. – 1997. – Т. 19. – № 4–5. – С. 50–55.
112. Пермяков Б. А. Исследование локальных значений теплообмена в спиральном трубном змеевике / Б. А. Пермяков, Х. Фараг Эл // Промышленная теплоэнергетика. – 2005. – № 5–3. – С. 23–26.

113. Бердыев О. Результаты экспериментального исследования конвективной теплоотдачи при вынужденном движении жидких органических отходов в теплообменных аппаратах. / О. Бердыев // Изв-тия АН ТССР. Серия ФТН и ТН – 1988. – С. 103–104.
114. Тепловой баланс теплообменного аппарата для жидкого навоза / [В. М. Шрамков, В. Л. Савин, Б. Д. Таиров, О. Бердыев] // Труды ВНИИКОМЖ. Серия «Исследование и конструирование машин и механизмов для кормопроизводства» – М., 1986. – С. 116–123.
115. Петухов Б. С. Теплообмен и сопротивление при ламинарном течении жидкости в трубах / Б. С. Петухов. – М.: Энергия, 1967. – 412 с.
116. Михеев М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – 2-е изд. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.
117. Беляев Н. М. Основы теплопередачи / Н. М. Беляев. – К.: Выща школа, 1989. – 343 с.
118. Кутателадзе С. С. Справочник по теплопередаче / С. С. Кутателадзе, В. М. Боришанский. – М.: Государственное энергетическое издательство, 1958. – 418 с.
119. Hausen В. Z. VDI Beihefte Verahrenstechnik / В. Z. Hausen. – № 4. – Р. 91–98.
120. Тарасов Ф. М. Тонкослойные теплообменные аппараты / Ф. М. Тарасов. – М.: Машиностроение, 1964. – 364 с.
121. Экспериментальное исследование конвективного теплообмена в многоканальных трубах / [Л. И. Тучинский, Е. М. Векслер, О. Б. Стрельчук, Ю. В. Соколов] // Промышленная теплотехника. – 1993. – Т.15. – № 2. – С. 56 – 63.
122. Аснин Я. И. Тепловое подобие, конвективный теплообмен и энтропия / Я. И. Аснин. – М.: Изд. ун-та им. А. М. Горького, 1962. – 112 с.
123. Langmuir L. Convection and conduction of heat in gases / L. Langmuir // Phys. Rev. 1982. – Vol 32. № 6. – Р. 401–422.
124. Малинин В. Г. Ламинарная свободная конвекция около горизонтальных цилиндрических поверхностей : автореф. дис. на соиск науч. степ. канд. техн. наук / В. Г. Малинин. – М.: – 1978. – 24 с.
125. Бердлик П. Н. Расчет средних коэффициентов теплоотдачи на поверхности горизонтального цилиндра при различных граничных условиях в случае ламинарной свободной конвекции / П. Н. Бердлик, В. С. Купцова, В. Г. Малинин // Вопросы теплообмена – 1977. – № 102. – С. 58–63.
126. Михеева И. М. Теплоотдача при свободном движении капельных жидкостей: автореф. дис. на стиск. уч. степени канд. техн. наук / И. М. Михеева. – Минск. – 1955. – 24 с.

127. Новиков И. И. Прикладная термодинамика и теплопередача / И. И. Новиков, К. Д. Воскресенский. – [2-е изд.]. – М. : Атомиздат. – 1977. – 352 с.
128. Кулинченко В. Р. Справочник по теплообменным расчетам / В. Р. Кулинченко. – К. : Техніка. – 1988. – 256 с.
129. Бон, Андерсон. Распределения температуры и теплового потока при свободно-конвективном течении в полости / Бон, Андерсон // Труды амер. об-ва инженеров-механиков. Серия С «Теплопередача» – 1986. – № 2. – С. 200–204.
130. Гусев С. Е. Свободно-конвективный теплообмен при внешнем обтекании тел. / С. Е. Гусев, Г. Г. Шкловер. – М. : Энергоатомиздат. – 1992. – 160 с.
131. Степанов Д. В. Моделювання системи термостабілізації реактора біогазової установки / Д. В. Степанов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2000. – № 6. – С. 25–29.
132. Ткаченко С. Й. Теплообмінні та гідродинамічні процеси в елементах енергозабезпечення біогазової установки / С. Й. Ткаченко, Д. В. Степанов: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2004. – 132 с.
133. Taylor G. I. The Instability of Liquid surfaces when accelerated in a direction perpendicular to their planes / G. I. Taylor. – Part I, Proc. Royal Soc, A-201, 1950, P. 192.
134. Taghavi-Tafreshi K. Study of thermal and hydrodynamic processes associated with melting of horizontal substrate / K. Taghavi-Tafreshi. – M. S. thesis, UCLA, 1978.
135. Карслоу Г. Теплопроводность твердых тел. / Г. Карслоу, Д. Егер. – М. : Наука, 1964. – 488 с.
136. Faw R. E. Post Accident heat removal / R. E. Faw, L. Baker. – Part II. Nuc. Sci. Engr., Vol. 61, No.2, Oct. 1976.
137. М. Кейхани. Свободная конвекция в вертикальном кольцевом канале с постоянной плотностью теплового потока на внутренней стенке / М. Кейхани, Ф. Кулаки, Р. Христенсен // Труды амер. об-ва инженеров-механиков. Серия С «Теплопередача» – 1983. – Т. 105. – № 3. – С. 31–37.
138. Churchill S. W. Correlating Equations for laminar and turbulent free convection from a horizontal cylinder. International journal of heat and mass transfer / S. W. Churchill, H. S. Chu. – Vol. 18, 1975. P. 1049–1053.
139. Е. Спэрроу. Влияние поперечного смешения на свободную конвекцию от пары параллельных расположенных друг над другом горизонтальных цилиндров / Е. Спэрроу, Д. Босняк // Труды амер. об-ва инженеров-механиков. Серия С «Теплопередача» – 1983. – Т.105. – № 2. – С. 29–36.

140. Лыков А. В. Тепломассобмен. Справочник / А. В. Лыков. – М. : Энергия, 1971. – 560 с.
141. Михеева И. М. Теплоотдача горизонтальной трубы при свободном движении различных жидкостей / И. М. Михеева // Теплоэнергетика. – 1956. – № 4. – С. 19–21.
142. Ткаченко С. Й. Експериментальне визначення інтенсивності теп-ловіддачі до багатокомпонентних органічних сумішей / С. Й. Ткаченко, Н. В. Резидент, Є. П. Ларюшкін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2006. – № 1. – С. 35–44.
143. Аналитический контроль в основной химической промышленности / [Н. Ф. Клещев, Т. Л. Костыркина, Г. С. Бескова и др.] – М. : Химия, 1992. – 272 с.
144. Осипова В. А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена / В. А. Осипова. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Энергия, 1969. – 392 с.
145. О гидродинамической обстановке вблизи стенки вертикальной трубы при движении жидкости со взвешенными частицами / Ю. Т. Борщевский, С. Й. Ткаченко, Ю. К. Пинчук, М. Н. Чепурной] // Пищевая технология. – 1971. – № 5. – С. 102–106.
146. Колесников В. А. Теплосиловое хозяйство сахарных заводов / В. А. Колесников, Ю. Г. Нечаев. – М.: Пищевая промышленность, 1980. – 392 с.
147. Демчук Г. С. Упарювання мелясної барди / Г. С. Демчук, С. М. Константинов. Київ : Техніка, 1966. – 108 с.
148. Разработка, внедрение и исследование промышленной выпарной установки для упаривания мыльно-щелочного раствора: Отчет о НИР (заключительный) / Винницкий политехнический институт. – 06.АВГ8І; № ГР 79048086; Инв. № Б971919. – Винница, 1980. – 228 с.
149. Гухман А. А. Применение теории подобия к исследованию процессов тепломассообмена / А. А. Гухман. – М. : Высшая школа, 1974. – 328 с.
150. Резидент Н. В. Застосування експериментально-розрахункового методу при розробці теплообмінного обладнання біоконверсії / Н. В. Резидент // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2009. – № 2. – С. 233–237.



*Наукове видання*

**Ткаченко Станіслав Йосипович**

**Резидент Наталя Володимирівна**

## **ТЕПЛООБМІН В СИСТЕМАХ БІОКОНВЕРСІЇ**

Монографія

Редактор Н. Мазур

Оригінал-макет підготовлено Н. Резидент

Підписано до друку 02.02.2011 р.  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 7,16  
Наклад 100 прим. Зам № 2011-023

Вінницький національний технічний університет,  
КІВЦ ВНТУ,  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-85-32.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 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) 59-81-59  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.