

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Г. А. Голуб, С. М. Кухарець, В. В. Чуба, О. А. Марус

**ВИРОБНИЦТВО І ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВ В
АГРОЕКОСИСТЕМАХ.
МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ**

МОНОГРАФІЯ

За редакцією професора Г. А. Голуба

Київ – 2018

УДК 631.371:620.92

ББК 40.72+31

В 52

Рекомендовано Вченою радою Національного університету біоресурсів і природокористування України (протокол № 9 від 25 квітня 2018 р.)

Рекомендовано Вченою радою Житомирського національного агроекологічного університету (протокол № 6 від 31 січня 2018 р.)

Рецензенти:

Адамчук В. В. – доктор технічних наук, професор, академік Національної академії аграрних наук України, директор Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» НААН України;

Грабар І. Г. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри процесів, машин і обладнання Житомирського національного агроекологічного університету;

Теслюк В. В. – доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри сільськогосподарських машин та системотехніки ім. акад. П. М. Василенка Національного університету біоресурсів і природокористування України

В 52 Виробництво і використання біопалив в агроекосистемах. Механіко-технологічні основи: монографія / Голуб Г.А., Кухарець С.М., Чуба В.В., Марус О.А. – К.: НУБіП України, 2018. – 254 с.

У монографії наведено механіко-технологічні основи процесів виробництва і використання біопалив в агроекосистемах з підвищеним рівнем енергетичної автономності. Розроблена імітаційна модель функціонування агроекосистеми із виробництвом біопалив, яка дозволяє встановити основні показники сільськогосподарського виробництва при бездефіцитному балансі гумусу. Обґрунтовано конструкціо-технологічні параметри обладнання для виробництва і використання дизельного біопалива, обертового метантенка для виробництва біогазу, котла з верхнім горінням для спалювання твердої біомаси, показана економічна ефективність використання біопалив в агроекосистемах.

Призначена для науковців, викладачів, аспірантів, студентів, спеціалістів аграрної сфери, які займаються дослідженням та впровадженням технологій виробництва і використання біопалив в агроекосистемах.

ISBN 978-617-7630-29-5

© Голуб Г. А., Кухарець С.М., Чуба В.В., Марус О.А. 2018

© НУБіП України, 2018

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ОБҐРУНТУВАННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ АВТОНОМНОСТІ АГРОЕКОСИСТЕМ НА ОСНОВІ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	9
1.1 Обґрунтування основних принципів для розробки структурних моделей агроecosистеми	9
1.2 Розробка структурних схем агроecosистеми різної спеціалізації з виробництвом біопалив	28
1.3 Проведення імітаційного моделювання та обґрунтування рівня енергетичної автономності агроecosистем	32
Висновки по розділу 1	39
2 МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА І ВИКОРИСТАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА	41
2.1 Загальна характеристика процесу виробництва дизельного біопалива в агроecosистемах	41
2.2 Визначення впливу параметрів технологічного процесу перемішування на якісні показники при виробництві дизельного біопалива	43
2.3 Дослідження енергоємності виробництва дизельного біопалива за допомогою гідромеханічного перемішування	48
2.4 Розробка теоретичної моделі процесу виробництва дизельного біопалива з використанням циркуляційного перемішування та стаціонарних форсунок	57
2.5 Розробка теоретичної моделі процесу виробництва дизельного біопалива з використанням циркуляційного перемішування та дискової форсунки	66

2.6	Експериментальні дослідження процесу виробництва дизельного біопалива з використанням циркуляційного перемішування та дискової форсунки	72
2.7	Вплив параметрів плаваючої форсунки-змішувача на потужність насоса при виробництві дизельного біопалива	75
2.8	Теоретична модель процесу використання дизельного біопалива	79
2.9	Експериментальні дослідження процесу використання дизельного біопалива.....	99
2.10	Удосконалення експериментальної установки для температурної підготовки дизельного біопалива	107
2.11	Дослідження режимів нагріву дизельного біопалива в паливному баку	111
2.12	Виробництво дизельного біопалива із олії другого гарячого віджиму та відходів переробки зерна олійних культур.....	118
	Висновки по розділу 2.....	124
3	МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА І ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ.....	128
3.1	Розробка теоретичної моделі руху мінеральних та органічних частинок по лопатці обертових біогазових реакторів	128
3.2	Визначення траєкторії руху мінеральних та органічних частинок після сходу з лопаток обертових біогазових реакторів	144
3.3	Розробка теоретичної моделі для визначення енергетичних витрат на привід обертових біогазових реакторів	152
3.4	Обґрунтування основних конструкційних параметрів обертового реактора	165
3.5	Експериментальні дослідження параметрів обертового реактора	169
	Висновки по розділу 3.....	177

4 МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА І ВИКОРИСТАННЯ ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ.....	179
4.1 Розробка математичної моделі згоряння твердого біопалива у котлах з верхнім горінням.....	179
4.2 Експериментальні дослідження роботи обладнання для отримання теплової енергії із рослинної біомаси.....	197
4.3 Основні параметри типорозмірного ряду котлів із верхнім горінням для спалювання біомаси рослинного походження.....	204
Висновки по розділу 4.....	206
5 АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА І ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВА В АГРОЕКОСИСТЕМАХ.....	210
5.1 Економічна ефективність виробництва біогазу в обертових реакторах.....	210
5.2 Економічна ефективність використання котлів із верхнім горінням для спалювання соломи.....	220
5.3 Економічна ефективність виробництва дизельного біопалива.....	226
Висновок до розділу 5.....	229
ВИСНОВКИ.....	232
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	236

ВСТУП

На сучасному етапі перед людством постало декілька невідкладних проблем. Серед них – продовольча, енергетична та екологічна, розв'язання яких вимагає максимально ефективного збалансування харчових, сировинних та енергетичних потреб з можливостями агроecosystem при одночасному акумулюванні сонячної енергії у вигляді гумусу та утриманні й розширенні біологічного різноманіття біоценозів. Комплексне вирішення цих проблем спрямоване на подолання протиріччя, коли збільшення виробництва продуктів харчування або виробництва та споживання енергії призводить до порушення екологічної рівноваги та погіршення стану навколишнього природного середовища.

У зв'язку з прогнозованим вичерпанням основних видобувних енергоносіїв у найближчі 40-50 років, енергія з відновлювальних ресурсів є однією з найбільш обговорюваних тем в Європі та в усьому світі. Величезні викиди вуглекислого газу і метану в атмосферу призводять до збільшення парникового ефекту. Інвестиції в розвиток технологій одержання енергії з поновлюваних джерел, таких як енергія сонця, вітру, води, біомаси (органічні речовини тваринного або рослинного походження), або геотермальна енергія нині стає гострою необхідністю.

Насамперед проблема диверсифікації енергетичних джерел постає перед країнами-імпортерами видобувної паливної сировини, якою є й Україна. Вона не має в достатній кількості власних запасів паливно-енергетичних ресурсів і напряму залежить від імпортерів, які поставляють 75 % необхідного обсягу природного газу та 85 % нафти й нафтопродуктів і встановлюють рік у рік дедалі вищі ціни.

Значними споживачами паливно-енергетичних ресурсів є вітчизняні аграрні підприємства, тому перед ними постає об'єктивна необхідність впровадження інноваційних енергозберігаючих технологій, орієнтованих на виробництво біологічних видів палива, які одержують у результаті переробки

біологічної сировини та органічних відходів.

В Україні сьогодні потребу в нафті і нафтопродуктах постачальники забезпечують на 80% за рахунок імпорту. Виробництво енергії з відновлюваних джерел, в тому числі біомаси, динамічно розвивається у більшості Європейських країн.

Розвиток біоенергетики є також дуже актуальним і для України з її значним потенціалом місцевих палив, доступних для отримання енергії. Основними складовими потенціалу біомаси є солома та інші відходи сільськогосподарського виробництва (кукурудзяні стебла, стержні), лушпиння тощо, а також відходи місцевого господарства, садівництва та енергетичні культури. Особливе місце в використанні біомаси займає отримання шляхом анаеробного зброджування енергонасиченого біогазу та високоякісних екологічно чистих органічних добрив.

Залучення в енергетичний баланс біологічних видів палива як поновлюваних ресурсів акумульованої сонячної енергії є одним із стратегічних напрямків розвитку цивілізації. Однак поширення використання біологічних енергоресурсів – доволі складний процес, що потребує додаткових витрат для надання їм споживчих якостей. Споживачі палива технологічно та технічно налаштовані впродовж останнього сторіччя на використання концентрованих неоновлюваних джерел енергії, а для стимулювання використання поновлюваних біологічних енергоресурсів необхідні значні витрати. В той же час, постійний ріст цін на паливо та необхідність збереження природного середовища потребують зосередження зусиль на розробці методів та технічних засобів для забезпечення енергоавтономності сільськогосподарського виробництва.

Таким чином, вирішення наукових проблем, що стосуються виявлення нових і удосконалення існуючих закономірностей для визначення конструкційно-технологічних параметрів машин та обладнання, які б дали змогу підвищити ефективність виробництва шляхом удосконалення й оновлення екологічно безпечних технологічних процесів, засобів механізації та

обладнання для виробництва біопалив, дозволить досягти подальшого ефективного розвитку суспільства.

Соціально-економічна доцільність підготовки монографії визначається потребами сільського господарства у постачанні якісних відновлювальних енергетичних ресурсів, якими для АПК є різні види біопалив з біосировини. Технічні та технологічні рішення, розроблені згідно із цим проектом дадуть можливість раціонального вибору екологічного та енергоощадного обладнання та інтегральних технологій залежно від фінансових умов підприємств АПК; а також правильного вибору технологічних параметрів при виробництві біогазу.

1 ОБҐРУНТУВАННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ АВТОНОМНОСТІ АГРОЕКОСИСТЕМ НА ОСНОВІ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

1.1 Обґрунтування основних принципів для розробки структурних моделей агроecosистеми

Загальний план досліджень передбачав розробку структурної схеми на основі типових сівозмін для інтенсивного землеробства з використанням розрахунку балансу гумусу методами агрохімічних балансів та імітаційної моделі виробництва і використання біопалив в агроecosистемах з визначенням ресурсів біомаси для переробки в біопалива та визначення рівня енергетичної автономності агроecosистем.

Під сільськогосподарською екологічною системою (агроecosистемою) розуміють природний комплекс, змінений (трансформований) сільськогосподарською діяльністю людини [89]. Тобто, агроecosистема – це система рослинних, тваринних та мікробіологічних угруповань з вираженим механізмом саморегулювання, проектна продуктивність якої підтримується за рахунок прямих і опосередкованих енергетичних інвестицій. При припиненні або критичному зниженні яких вона деградує та втрачає свої проектні властивості.

Отже, агроecosистема є динамічною системою агропопуляцій культивованих рослин на оброблювальних ґрунтах. Вона має певний склад, структуру й режим, які підтримуються і регулюються сільськогосподарськими працівниками. При відсутності контролю з боку працівників поступово втрачає свої властивості.

Таке визначення агроecosистеми не дозволяє встановити, який вплив на ефективність агроecosистеми здійснюють параметри машин та обладнання, а також техніко-економічні показники технологій, що задіяні в межах агроecosистеми.

Тому, необхідна формалізація агроecosистем у вигляді природно-

техногенних агроекосистем (ПТАС). Кожна з яких є складною багато параметричною ієрархічною структурою [62, 63], що складається з окремих об'єктів, які за визначеного рівня декомпозиції можуть вважатися за елементарні (такі що не підлягають подальшій їх декомпозиції) причому отримана структура визначена наявністю та щільністю енергії зв'язків поміж окремими її об'єктами. Крім того, така агроекосистема в процесі взаємодії з зовнішнім середовищем здатна до самоорганізації і розвитку, реагує на зовнішні впливи та зберігає стабільність у визначених просторово-часових межах.

Проведена декомпозиція дозволяє вважати машини та обладнання, що застосовуються в межах окремої агроекосистеми, об'єктами які входять у склад даної агроекосистеми. Це дозволяє оцінити та змодельовати вплив параметрів машин та обладнання на показники функціонування агроекосистеми. При цьому машини та обладнання можна в свою чергу розглядати як такі що, самі є підсистемою, яка входить до складу агроекосистеми.

Агроекосистема в цілому та її підсистеми зокрема, повинні відповідати умовами існування:

- наявність матеріальних об'єктів системи – матеріальна умова;
- енергетична щільність зв'язків поміж об'єктами системи – енергетична умова.
- обмін впорядкованою інформацією поміж об'єктами системи – ідеологічна умова.

Розглядаючи впливи на елементи агроекосистеми, необхідно уникати таких, що призводять до порушення визначених діапазонів варіювання матеріальних, енергетичних та інформаційних властивостей системи, знижують її стабільність і можуть вважатися зовнішніми «забруднювачами» [62, 63].

При представленні агроекосистеми у вигляді складної структури необхідно, щоб її функціонування відповідало узагальнюючим системним теоремам [11, 23, 57, 60, 62, 105, 144]:

- агроекосистема є тим більш стабільною, чим більше елементів та

в'язей її складають (принцип Барталанфі-Комонера);

– у конкуренції з іншими агроекосистемами виживає та з них, яка найкращим чином сприяє надходженню до неї зовнішньої енергії та найефективніше використовує максимальну кількість енергії, що надійшла (принцип Лотка-Одум-Моїсеєва);

– агроекосистема не може бути описаною одним параметром, вона завжди є суттєво багатопараметричною (принцип Мітчерліха);

– сталість агроекосистеми визначається найслабшою ланкою в ланцюгу її потреб (принцип Лібіха);

– агроекосистема не може спонтанно підвищити ступінь своєї симетрії (принцип Кюр'є);

– з найбільшою ефективністю агроекосистема функціонує у визначених просторово-часових межах (принцип Шелудченка);

– агроекосистема завжди протидіє зовнішнім впливам, які прагнуть змінити її стабільний стан (принцип ле Шательє-Брауна);

– агроекосистема з одного стабільного стану може перейти в інший стабільний стан лише через стан хаосу (принцип Чернавського);

– агроекосистему неможливо пояснити перебуваючи в її межах (принцип Гьоделя).

Таким чином при формалізації нової агроекосистеми необхідно чітко розуміти, на які цілі слід використати ресурси агроекосистеми. Причому, необхідно враховувати, що ґрунти є одночасно умовою і результатом сільськогосподарської діяльності. А також вони пов'язують у просторі і часі природні й економічні межі агроекосистем, тому необхідно оцінювати агроекосистему за впливом її складових на баланс гумусу, як основний параметр стану ґрунтового середовища агроекосистеми.

З такої точки зору опис агроекосистеми – це модель, яка дозволяє передбачити зміну взаємозв'язків між елементами системи, зміну самих елементів у визначеному діапазоні умов. Дослідження агроекосистеми необхідно виконувати із встановленням залежності «вплив – результат». Вплив

здійснюється на вході в елементи агроєкосистеми, результат формується в процесі функціонування агроєкосистеми:

$$Y = R(X), \quad (1.1)$$

де X – вплив на вході в агроєкосистему (динаміка параметрів машин та обладнання, зміна показників технологічних процесів); Y – результат на виході (економічний ефект, позитивний баланс гумусу); R – оператор, що характеризує ефективність енергетичних перетворень в середині агроєкосистеми.

Якщо вважати, що функціональні властивості моделі агроєкосистеми характеризуються R -перетвореннями, то опис R -оператора буде його функціональним описом. Також R -перетворення можна задати за допомогою алгебраїчного, логічного, диференціального, інтегрального, скалярного, векторного або матричного операторів, що складені на підставі вимірювання зовнішніх характеристик, або дослідження зв'язку «вплив-реакція». Тобто опис R -оператора буде морфологічним описом агроєкосистеми. Якщо ж R -оператор розглядати, як термодинамічну ентропію (тобто сутність організації агроєкосистеми) чи як рівень знань про організацію цієї агроєкосистеми – як інформаційну ентропію, то це буде її інформаційним описом.

Функціональний опис агроєкосистеми може бути заданий, як [23, 63, 150]:

$$S_{\varphi} = \{T, x, C, Q, y, Y, \varphi, \eta\}, \quad (1.2)$$

де T – множина моментів часу; x – множина миттєвих значень вхідних впливів (параметри машин та обладнання, що входять до складу агроєкосистеми, показники, що описують процеси їх роботи); $C = \{c: T \rightarrow x\}$ – множина допустимих вхідних впливів (конструкційні та технологічні обмеження); Q – множина станів агроєкосистеми; y – множина значень

вихідних величин (економічний ефект, баланс гумусу, енергетична ефективність); $Y = \{u : T \rightarrow y\}$ – множина вихідних величин; $\varphi = \{T \cdot T \cdot T \cdot c \rightarrow Q\}$ – перехідна функція стану; $\eta = \{T \cdot Q \rightarrow y\}$ – вихідне відображення; c – приріст вхідного впливу; u – приріст вихідної величини.

Приведений опис охоплює широкий діапазон властивостей. Проте його складно інтерпретувати для практичного застосування. Крім того, функціональний опис повинен відображати процес та ієрархію агроecosистеми.

Згідно до рівняння (1.2), можна зробити висновок, що функціональний опис необхідний для того, щоб визначити відношення системи, щодо інших систем. А функціональна модель, виконана на основі функціонального опису, повинна орієнтувати зовнішні в'язі системи, її контакти з довкіллям та напрями можливих змін системи. Тобто, функціональний опис дозволяє розглядати систему при заміні зовнішніх в'язей, контактів та напрямків розвитку системи відповідними реакціями у вигляді імітаційної моделі із адекватною поведінкою.

При створенні імітаційної моделі системи необхідно враховувати, що система може мати ряд функціональних станів [57, 62, 63, 150]:

- пасивне існування (система виступає, як матеріал інших систем);
- обслуговування систем більш високого порядку;
- протидія іншим системам чи зовнішньому середовищу (виживання системи);
- експансія інших систем або зовнішнього середовища;
- перетворення інших систем або зовнішнього середовища.

Тому, функція системи визначається числовим функціоналом, що залежить від функцій, які описують внутрішні процеси системи. Причому, щоб система функціонувала із необхідними параметрами, показники і процеси самої системи повинні бути обмежені визначеними межами. Ефективність системи, можна оцінити функціоналом ефективності системи, який можна отримати на основі рівняння (1.2).

Конкретизацію опису системи необхідно провести на такому рівні деталізації, щоб елементи, що розглядаються були придатні для створення уяви

про досліджуванні властивості структури агроєкосистеми, що дозволяє зробити морфологічний опис. Під елементом агроєкосистеми необхідно розуміти підсистему всередину якої опис не проникає. Причому елементний склад типової агроєкосистеми є гетерогенним. Морфологічні властивості системи суттєво залежать від характеру зв'язків між елементами системи. Перш за все, необхідно виокремити інформаційні, енергетичні та матеріальні зв'язки, визначивши відповідно інформаційні, енергетичні та матеріальні властивості. Необхідно також виокремлення прямих, зворотних та нейтральних зв'язків, залежно від виконуваних ними функцій щодо передачі речовини, енергії, інформації в системі, або від характеру керуючих функцій та ієрархії окремих елементів системи.

Морфологічний опис агроєкосистеми можна виразити наступним чином [23, 63, 150]:

$$S_M = \{ \Sigma, V, \sigma, K \}, \quad (1.3)$$

де $\Sigma = \{ \Sigma_i \}$ – множина елементів та їх властивостей (склад – гомогенний, гетерогенний, мішаний, невизначений; властивості елементів – інформаційні, енергетичні, матеріальні, нейтральні, невизначені); $V = \{ V_j \}$ – множина зв'язків (інформаційні, енергетичні, матеріальні, зворотні, прямі, нейтральні); σ – структура (детермінована, ймовірнісна); K – композиція (слабкість, сила, наявність підсистем, тип підсистем).

Морфологічний опис агроєкосистеми необхідно будувати за ієрархічним принципом шляхом послідовної декомпозиції системи та її підсистем.

Морфологічний опис системи дозволяє чітко встановити структуру системи, що відповідає функціональній моделі та виокремити інформаційні, матеріальні та енергетичні в'язі системи. На основі морфологічного опису системи можна визначити її структурні властивості, що визначають характер, стабільність взаємовідношень між елементами системи та просторове

розташування або локалізацію елементів системи. Крім того, можливо встановити композиційні властивості системи, які характеризують об'єднання елементів в підсистеми та підсистем в систему.

З огляду на морфологію системи доречно говорити про такі підсистеми:

- ефекторні, ті що перетворюють зовнішній вплив та впливають на інші підсистеми і системи, зокрема на довкілля, загалом;
- рецепторні, ті що перетворюють зовнішній вплив в інформаційний сигнали, що зберігаються або передаються;
- рефлексійні, ті що здатні до репродукування та генерації інформації.

Тобто функціональний опис дає відповідь на питання, які функції виконує система, а морфологічний – яким чином дана система виконує свої функції.

При виокремленні інформаційних в'язей, виникає можливість формального опису системи у вигляді рівнянь та залежностей. Тому важливим є також розгляд поняття, інформаційного опису.

Інформаційний опис агроєкосистеми повинен бути спрямований на ідентифікацію її апріорної мети та опис методології реалізації цієї мети, таким чином виражати ідеологію системи. Тобто, такий опис повинен відображати передбачуваність властивостей системи в часі.

Необхідно зазначити, що апріорна мета – максимальна економічна ефективність, є головною властивістю агроєкосистеми в цілому. Мета повинна визначатись не лише в межах інформаційного наповнення системи, але й бути зумовлена інформацією про оточуюче систему середовище. Таким чином, інформаційний опис системи має включати опис зовнішніх інформаційних потоків, що беруть участь у реалізації функцій та мети агроєкосистеми.

Необхідно також розглянути рівень впливу інформації на досягнення мети агроєкосистеми оцінивши його рангом інформації.

Загалом інформаційний опис агроєкосистеми має такий вигляд [23, 63, 150]:

$$S_I = \{G, m_G, I, W\}, \quad (1.4)$$

де G – апріорна мета агроєкосистеми; m_G – методологія реалізації апріорної мети за певного рівня її ідентифікації; $I = \{i: T \rightarrow I_{\pm i}\}$ – множина ранжованої інформації; T – множина моментів часу; $\pm i$ – ранг інформації; $W = \{w: I_{\pm i} \xrightarrow{H_w} m_G\}$ – множина внутрішніх та зовнішніх каналів інформації; H_w – ефективність обміну інформацією.

Інформаційний опис агроєкосистеми визначає вплив морфологічних та функціональних властивостей системи на ступінь досягнення мети від якості інформації всередині агроєкосистеми та такої, що надходить ззовні. Тому, інформаційний опис системи повинен включати опис зовнішніх інформаційних потоків, ранжованих відповідно до ступеня участі у реалізації функції системи.

Сукупність функціонального, морфологічного та інформаційного описів агроєкосистеми відображає зміни та їх ефективність в часі. Очевидно, що ефективність агроєкосистеми буде залежати від ефективності складових елементів агроєкосистеми. Тому опис та подальше конструювання елементів агроєкосистеми необхідно проводити із наслідуванням властивостей структури агроєкосистеми. Використовуючи при цьому принцип поліморфізму [39, 151] та базуючись на твердженні про те, що ґрунтове середовище є одночасно умовою і результатом антропогенної сільськогосподарської діяльності, а також про те, що ґрунтове середовище та антропогенна діяльність, виражена через вплив сільськогосподарських машин та обладнання на множину станів агроєкосистеми та вихідних величин, пов'язують за територією та часом природні й економічні межі агроєкосистеми [140].

Наукові проблеми, що виникають при виробництві біопалива в агроєкосистемах, можна встановити на основі функціонального, морфологічного та інформаційного описів. Необхідно зважати на те, що опис будь-якої наукової проблеми є системною моделлю цієї проблеми. Модель, формулює всі питання цієї проблеми в одному інформаційному, функціональному чи морфологічному полі. Розв'язок проблеми не може бути визначений повністю тому, що має постійно уточнюватись в процесі

дослідження. А проблема має діалектичне протиріччя, яке необхідно вирішити. Тому, необхідно шукати додатковий зв'язок між об'єктами імітаційної моделі агроєкосистеми, який би виключив із дослідження моделі її суперечливі властивості з одночасним коригуванням інших властивостей системи.

Функціональний, морфологічний та інформаційний описи системи також визначають принципи створення задач досліджень при вирішенні наукової проблеми. При визначенні напрямів дослідження агроєкосистеми та її складових підсистем, необхідно враховувати, що морфологічні властивості системи пов'язані з розподіленням речовини, функціональні – з обміном енергією між складовими системи та довкіллям, а інформаційні - із загальною організацією або ідеологією агроєкосистеми. Проте, наявність трьох окремих описів системи не дозволяє достатньо повно виразити динаміку розподілу речовин та енергетичних процесів всередині агроєкосистеми та пов'язати їх із організацією агроєкосистеми. Тому, для створення імітаційної моделі функціонування агроєкосистеми необхідна побудова єдиного морфо-функціонально-енергетичного опису який і формує наукову проблему дослідження агроєкосистеми.

Відповідно, із створенням імітаційної моделі функціонування агроєкосистеми стає можливим здійснення речовинно-енергетичної формалізації агроєкосистеми, що дозволяє визначити рівень її енергетичної ефективності. Ефективність функціонування структурних елементів агроєкосистеми залежить від параметрів робочих машин, які використовуються в технологічних процесах відповідних структурних елементів.

Порівняльну оцінку ефективності механізованих технологічних процесів проводять, як правило, на основі економічних критеріїв. Основними серед них є витрати на виробництво продукції (визначається як сума відрахувань на технічне обслуговування та ремонт, заробітної плати, вартості пального або електроенергії, втраченої продукції та інших складових) і термін окупності машин та обладнання. Деякі параметри машин і обладнання встановлюються на основі мінімізації витрат на виконання технологічної операції [45, 46].

Зменшення витрат енергії на виконання заданої технологічної операції, збільшення продуктивності машин та обладнання, дотримання надійності й відповідності агротехнічним та зоотехнічним вимогам є основними напрямками удосконалення засобів механізації і обладнання в технологічних процесах сільськогосподарського виробництва. У зв'язку з цим, порівняння робочих органів однотипних машин і обладнання в технологічному процесі виробництва або визначення оптимальних параметрів робочих органів окремої машини чи обладнання доцільно проводити на основі комплексного кількісного показника, що враховує кількість енергії, яка необхідна для забезпечення функціонування техніко-технологічної системи або реалізації технологічного процесу. Даний комплексний показник визначається енергетичними показниками, параметрами продуктивності, надійності та якості виконання операцій технологічного процесу.

Відомо, що ефективність використання енергії в процесі роботи техніко-технологічної системи оцінюється величиною коефіцієнту корисної дії η , а величина непродуктивних втрат енергії визначається коефіцієнтом втрат енергії ψ [13, 23, 63, 88]. Проте мінімізація втрат енергії машинами та обладнанням без урахуванням якісних показників їх роботи не дозволяє визначити оптимальні значення конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів машин та обладнання і провести їх об'єктивну порівняльну оцінку на етапі виконання науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт [140].

Тому, комплексний кількісний показник, як критерій оптимізації для визначення параметрів робочих органів машин та обладнання, має бути прямо пропорційним витратам енергії і обернено пропорційним обсягу виконаних робіт, ймовірності безвідмовної роботи (або коефіцієнту готовності) та ймовірності того, наскільки показники якості роботи машин та обладнання відповідають агротехнічним та зоотехнічним вимогам. У цьому разі комплексний кількісний показник, як критерій оптимізації, повинен набувати мінімального значення. Формалізовано це виглядатиме так:

$$E = \frac{W}{Q p_H \sum_{i=1}^n \alpha_i p_i} \rightarrow \min \quad (1.5)$$

де E – комплексний показник, як критерій оптимізації роботи машин і обладнання в технологічному процесі, кВт год./га для мобільних машин або кВт год./т для стаціонарних машин; Q – обсяг виконаних робіт, га для мобільних машин або т для стаціонарних машин; W – витрати енергії на виконання технологічної операції, кВт год.; p_H – ймовірність безвідмовної роботи машини чи обладнання (або коефіцієнт готовності), відн. од.; p_i – ймовірність того, що значення i -го показника для оцінки якості роботи машин або обладнання знаходиться в межах заданих агротехнічними або зоотехнічними вимогами, відн. од.; α_i – вагомість i -го показника для оцінки якості роботи машини чи обладнання, яка встановлюється на основі експертних оцінок, відн. од.

Для мобільних машин і обладнання витрати енергії на виконання технологічної операції становлять:

$$W = \frac{V_{II} \rho_{II} q_{II}}{k}, \quad (1.6)$$

де V_{II} – витрати палива на виконання технологічної операції, л; ρ_{II} – щільність палива, кг/л; q_{II} – теплотворна здатність палива, кДж/кг; $k = 3600 \text{ с/год.}$ – коефіцієнт перерахунку одиниць часу.

Використання даного критерію дозволяє вибрати оптимальні параметри робочих органів машин і обладнання або порівняти декілька машин і обладнання у разі виконання заданої операції в технологічному процесі. При цьому, витрати енергії на виконання технологічної операції визначаються протягом заданого часу вимірюванням витрат електроенергії за допомогою лічильника в стаціонарних процесах або витрат палива за величиною об'єму

для мобільних машин і обладнання. Обсяг виконаних робіт у стаціонарних процесах визначають за кількістю виробленої продукції, а в мобільних – за обробленою площею, що також не спричиняє труднощів.

Можна також зробити висновок, що при послідовному з'єднанні елементів агроєкосистеми, загальна ефективність агроєкосистеми обмежується ефективністю найслабшої ланки [30, 101, 117], а при паралельному можливе проходження процесів, в режимі забезпечення більшої надійності функціонування агроєкосистеми.

Тому, для встановлення раціональних показників функціонування структурних елементів агроєкосистеми та агроєкосистеми в цілому, необхідно подальші дослідження скеровувати на проведення конкретної оптимізації параметрів машин та обладнання на основі запропонованих критеріїв та на раціональне розміщення машин та обладнання в технологічному процесі.

Зважаючи на те, що на стадії розробки технічної пропозиції і в подальшому – технічного завдання та проектування перспективних технічних засобів сільськогосподарського виробництва виникає проблема вибору оптимального варіанту конструкції, аналітичному обґрунтованні параметрів роботи обладнання (кінематичних, геометричних, динамічних тощо) мають бути апробовані з точки зору працездатності конструкції, доцільності обраних параметрів та раціональності запропонованого рішення [17, 56, 117, 156]. Перевірка аналітично обґрунтованих рішень ускладнена з огляду на багатоваріантність пропозицій і пов'язана із значними витратами на виготовлення робочих зразків обладнання. Разом з тим відомо, що на стадії технічної пропозиції запропоновані рішення можуть бути апробовані у вигляді аналітичної моделі з використанням комп'ютерної техніки. Така апробація зводить до мінімуму можливі помилки при розробці технічного завдання та проектування.

При розгляді енергетичних потоків та взаємозв'язків в агроєкосистемах необхідно на рівні технічного завдання визначити нові ознаки (показники) конструйованої підсистеми. Ці ознаки стануть узагальненими координатами

нової природно-техногенної агроєкосистеми. Для отримання таких ознак необхідно визначити вектори (тренди) їх досягнення з дотриманням принципів каскадних біфуркацій, виконавши аналіз руйнування структур. Також необхідно виконати оцінку потоків енергії в середині самої природно-техногенної агроєкосистеми із дотриманням законів термодинаміки систем.

Очевидно, що техніко-технологічні заходи, що виконуються в сільському господарстві також повинні бути узгодженні із потребами суміжних галузей аграрного виробництва, підтримувати баланс гумусу ґрунтового середовища та сприяти відтворенню родючості ґрунтів.

Загальна функціональна модель агроєкосистеми повинна включати основні галузі сільськогосподарського виробництва: тваринництво та рослинництво, допоміжні – переробка сільськогосподарської продукції. Крім того, в складі агроєкосистеми необхідно розглядати виробництво біопалива, як окрему підсистему [98, 104, 107, 143, 164].

Основною метою формалізації агроєкосистеми є створення стійкої природно-техногенної конструкції [142], що є часткою біосфери Землі і її розвиток не повинен деградувати під впливом техногенних навантажень. Тому необхідно встановити чітку морфологічну структуру природно-техногенної агроєкосистеми із чіткою оцінкою впливу техногенних об'єктів, що дозволить стежити за змінами в агроєкосистемі, прогнозувати її розвиток та керувати її станом [32, 106].

Типова агроєкосистема передбачає: вирощування культур у відповідній сівозміні [109, 114]; виробництво основної продукції рослинництва та тваринництва; виробництво кормів для тваринництва та птахівництва; виробництво тепла та енергії із біогазу, отриманого в результаті зброджування продуктів життєдіяльності тварин та птиці; підготовку та використання деякої частки незернової частини урожаю на теплові потреби у вигляді генераторного газу, пелет, брикетів, тюків, рулонів або січки [26]; виробництво компосту, з використанням біологічної конверсії органічної сировини; виробництво рідкого біопалива – дизельного палива та етанолу [43, 93].

Для морфологічного опису нової природно-техногенної агроєкосистеми необхідно виділити її елементарні блоки. Згідно із структурною схемою (рис. 1.1) необхідно виділи такі елементарні блоки агроєкосистеми: рослинництво, тваринництво та птахівництво, переробка та зберігання сільськогосподарської продукції, виробництво біопалива.

Ці блоки також, матимуть у своєму складі відповідні блоки – машини та обладнання, що забезпечують технологічні процеси в елементарних блоках агроєкосистеми.

Крім того кожен елементарний блок, наприклад виробництво біопалива можна представити в свою чергу, як окрему природно-техногенну систему, також розділивши її на елементарні блоки: виробництво твердого палива (пелети, брикети, пряме спалювання біомаси), виробництво рідкого палива (дизельне біопаливо, біоетанол), виробництво газоподібного палива (біометан, генераторний газ), з яких також можна виділити окремі підсистеми – технологічні процеси виробництва та використання біопалива, та при подальшій декомпозиції перейти до параметрів машин та обладнання що забезпечують дані процеси.

Заходи спрямовані на відновлення органічних речовин в ґрунті, тобто підтримання позитивного балансу гумусу необхідно також виокремити в елементарний блок – підтримання балансу гумусу. У блоці підтримання балансу гумусу необхідно виділити підсистеми: внесення мінеральних та органічних речовин (в тому числі отриманих в результаті виробництва та використання біопалива), обробіток ґрунту [138], збереження агрономічно цінної структури ґрунту [56, 117], використання компостів, використання сидератів; з подальшою декомпозицією до параметрів машин та обладнання, що використовується в технологічних процесах даного елементарного блоку.

Баланс гумусу в сівозміні визначається як різниця між кількістю мінералізованого гумусу та його надходженням за рахунок гуміфікації корневих решток, пожнивних залишок, біомаси бур'янів та сидератів, а також внесеного підстилкового гною та інших органічних речовин.

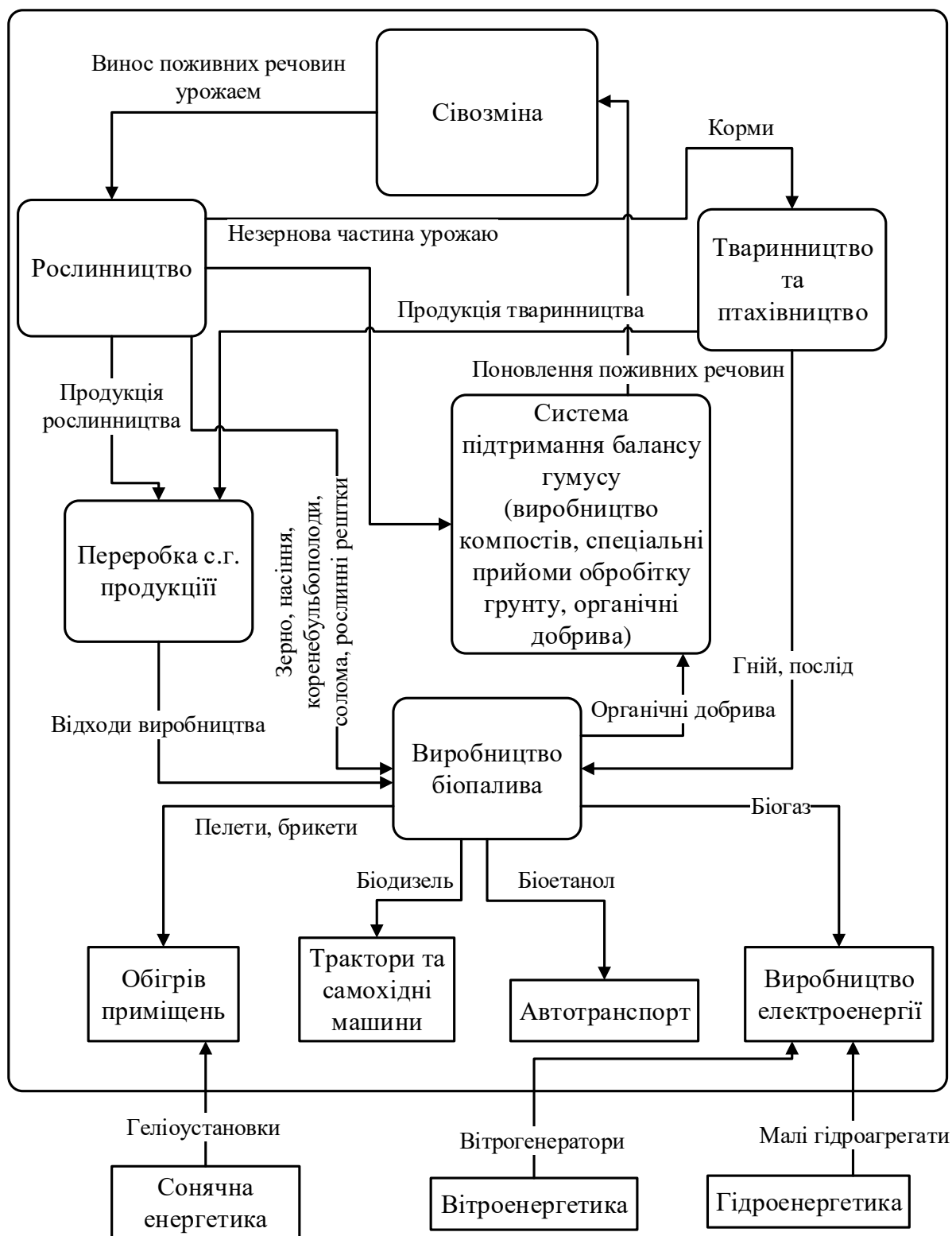


Рис. 1.1 – Структурна схема агроєкосистеми

Вихідними параметрами (даними) для розрахунку балансу гумусу в сівозміні є комплекс статистичних, агрономічних та агрозоотехнічних показників. Серед них мінералізація гумусу культурами сівозміни, вихід сухої маси кореневих решток та сухої біомаси польових культур є такими

параметрами, що залежать від урожайності польових культур і які згідно літературних джерел змінюються у широких межах [154]. Це дає можливість розробити лише наближений алгоритм розрахунку балансу гумусу в межах функціонального опису системи.

Виділення підтримання балансу гумусу в окремий елементарний блок агроєкосистеми дозволяє змодельовати динаміку балансу гумусу під впливом зовнішніх факторів.

Тому, ще одним фактором, який ставить обмеження на функціонування елементарних блоків агроєкосистеми буде умова дотримання позитивного балансу гумусу:

$$\begin{aligned}
 BG = & \sum_{i=1}^n s_i u_i (k_{kp}^{iz} k_{kp}^{ie} + k_{nm}^{iz} k_{nm}^{ie}) + k_{3z} k_{6y} \sum_{j=1}^m N_j T_j (m_e^j + m_g^j + m_n^j) + \\
 & + k_{k2} \left(\sum_{i=1}^n s_i u_i k_{\kappa}^i + k_{\kappa\kappa} \sum_{j=1}^m N_j T_j (m_e^j + m_g^j + m_n^j) \right) + s_c u_c k_{zc} - \sum_{i=1}^n k_m^i s_i u_i \geq 0,
 \end{aligned} \tag{1.7}$$

де BG – баланс гумусу сівозміни, кг; n – кількість культур в сівозміні; s_i – площа виділена під вирощування i -ї культури, га; u_i – урожайність i -ї культури, ц/га; k_{kp}^{iz} ; k_{nm}^{iz} – коефіцієнти гуміфікації корневих решток та побічної продукції i -ї культури; k_{kp}^{ie} ; k_{nm}^{ie} – коефіцієнти, які враховують обсяг кореневої системи та побічної продукції, що залишається на полі після збирання i -ї культури; k_{3z} – коефіцієнт гуміфікації зброженого гною; k_{6y} – коефіцієнт використання гною в біогазових установках; m – кількість груп тварин, що отримують корми із сівозміни; N_j – поголів'я тварин та птиці j -го виду; T_j – стійловий період поголів'я тварин та птиці j -го виду, діб; m_e^j – маса екскрементів j -го виду тварин та птиці, кг/голову за добу; m_g^j – маса вологи, що надходить в екскременти j -го виду тварин та птиці, кг/голову за добу; m_n^j – маса підстилки для j -го виду тварин та птиці, кг/голову за добу; k_{k2} – коефіцієнт

гуміфікації компостів; k_{κ}^i – коефіцієнт надходження побічної продукції на компостування; $k_{\text{зк}}$ – коефіцієнт надходження гною на компостування; s_c – площа виділена під сидерати, га; u_c – урожайність сидератів, ц/га; k_{zc} – коефіцієнт гуміфікації сидератів; k_m^i – коефіцієнт мінералізації гумусу i -ю культурою.

Виходячи із дотримання балансу гумусу можна встановити потенціали для елементарних блоків природно-техногенної агроєкосистеми із виробництва біопалива.

Так, для твердого біопалива потенціал сировини рослинного походження становитиме:

$$CE = \sum_{i=1}^n s_i u_i \left(k_{mn}^i - (k_{mn}^{ie} + k_{\kappa}^i) - \sum_{j=1}^m N_j T_j m_n^j \right) \rightarrow \max, \quad (1.8)$$

де CE – вихід із сівозміни біомаси (соломи) придатної для енергетичних потреб, кг; k_{mn}^i – коефіцієнт виходу побічної продукції i -ї культури.

Потенціал біогазу:

$$BE = k_{\text{e2}} k_{\text{oy}} \sum_{j=1}^m N_j T_j (m_e^j + m_g^j + m_n^j) \rightarrow \max, \quad (1.9)$$

де BE – вихід біогазу, м³; k_{e2} – коефіцієнт виходу газу в біогазових установках, м³/кг.

Потенціал для генераторного газу:

$$GE = \sum_{i=1}^n k_{\text{e22}}^i s_i u_i \left(k_{mn}^i - (k_{mn}^{ie} + k_{\kappa}^i) - \sum_{j=1}^m N_j T_j m_n^j \right) \rightarrow \max, \quad (1.10)$$

де GE – вихід генераторного газу, м³; k_{e22}^i – коефіцієнт виходу генераторного газу i -ї культури.

Потреби агроєкосистеми в дизельному біопаливі та біоетанолі можна

задати виходячи із питомих витрат відповідних видів палива на 1 га ріллі та порівняти їх із відповідним потенціалом виробництва:

$$DE = N_d \sum_{i=1}^n s_i = \sum_{m=1}^n s_{mo} u_{mo} k_{\text{екд}}^m k_{\text{ед}}^m, \quad (1.11)$$

де DE – потреба в дизельному біопаливі, кг; N_d – норма витрат дизельного біопалива, кг/га; s_{mo} – площа виділена під m -у олійну культуру, га; u_{mo} – урожайність m -ту олійної культури, ц/га; $k_{\text{екд}}^m$ – коефіцієнт використання олійної культури для виробництва біодизельного пального; $k_{\text{ед}}^m$ – коефіцієнт виходу біодизельного пального.

$$EE = N_e \sum_{i=1}^n s_i = \sum_{k=1}^n s_{ke} u_{ke} k_{\text{ске}}^k k_{\text{се}}^k, \quad (1.12)$$

де EE – потреба в біоетанолі, кг; N_e – норма витрат біоетанолу, кг/га; s_{ke} – площа виділена під k -у культуру придатну для виробництва біоетанолу, га; u_{ke} – урожайність k -ту культури придатної для виробництва біоетанолу; ц/га; $k_{\text{ске}}^k$ – коефіцієнт використання культури для виробництва біоетанолу; $k_{\text{се}}^k$ – коефіцієнт виходу біоетанолу.

Незалежними змінними (x) в рівняннях (1.7) – (1.12) будуть:

- запрограмовані: n – кількість культур в сівозміні; s_i – площа виділена під вирощування i -ї культури, га; m – кількість груп тварин, що отримують корми із сівозміни; N_j – поголів'я тварин та птиці j -го виду; s_c – площа виділена під сидерати, га; s_{mo} – площа виділена під m -у олійну культуру, га; s_{ke} – площа виділена під k -у культуру придатну для виробництва біоетанолу, га; $k_{\text{гн}}$ – коефіцієнт використання гною в біогазових установках (коефіцієнт збродження гною); $k_{\text{к}}^i$ – коефіцієнт надходження побічної продукції на

компостування; k_{zk} – коефіцієнт надходження гною на компостування; N_o – норма витрат дизельного біопалива, кг/га; $k_{вкд}^m$ – коефіцієнт використання олійної культури для виробництва біодизельного пального; N_e – норма витрат біоетанолу, кг/га; $k_{вкк}^k$ – коефіцієнт використання культури для виробництва біоетанолу.

- ті, що мають випадковий характер: u_i – урожайність i -ї культури, ц/га; u_c – урожайність сидератів, ц/га; u_{mo} – урожайність m -ту олійної культури, ц/га. u_{ke} – урожайність k -ту культури придатної для виробництва біоетанолу, ц/га.

Змінюючи запрограмовані параметри та правильно оцінивши випадкові можна досягти максимального виходу біоенергетичних компонентів із збереженням позитивного балансу гумусу без зниження виходу основної продукції сільськогосподарського виробництва.

Враховуючи, що подальша декомпозиція елементарних блоків агроєкосистеми призводить до їх поділу на машини, що використовуються для функціонування таких блоків і ті що забезпечують перетікання потоків енергії та інформації між елементарними блоками агроєкосистеми необхідно враховувати параметри робочих органів машин і обладнання, які в рівняннях (1.7) – (1.12) впливають на значення коефіцієнтів.

Тому параметрами, що визначають показники роботи обладнання для виробництва біопалива будуть: $k_{зг}$ – коефіцієнт гуміфікації зброженого гною; $k_{гв}$ – коефіцієнт використання гною в біогазових установках; $k_{вг}$ – коефіцієнт виходу газу в біогазових установках, м³/кг; $k_{гвг}^i$ – коефіцієнт виходу генераторного газу i -ї культури; $k_{вд}^m$ – коефіцієнт виходу дизельного біопалива; $k_{вк}^k$ – коефіцієнт виходу біоетанолу.

Параметрами, що визначають агротехнічні показники роботи сільськогосподарських машин при вирощуванні та збиранні сільськогосподарських культур і утриманні тварин та птиці будуть: $k_{кр}^{iz}$; k_{nn}^{iz} – коефіцієнти гуміфікації кореневих решток та побічної продукції i -ї культури;

$k_{кр}^{i\theta}; k_{mn}^{i\theta}$ – коефіцієнти, що враховують обсяг кореневої системи та побічної продукції, що залишається на полі після збирання i -ї культури; k_{sc} – коефіцієнт гуміфікації сидератів; k_m^i – коефіцієнт мінералізації гумусу i -ю культурою; k_m^i – коефіцієнт виходу побічної продукції i -ї культури.

Враховуючи, що підтримання балансу гумусу в ґрунтах є визначальним фактором при використанні сировини сільськогосподарського походження на енергетичні потреби можна встановити значення ординат елементарних блоків природно-техногенної системи виробництва біопалива. Це дає можливість максимально ефективного балансування харчових, сировинних та енергетичних потреб із можливостями агроєкосистем при одночасному акумулюванні сонячної енергії у вигляді гумусу та утриманні й розширенні біологічного різноманіття біоценозів. Це дозволить виробництво біопалива у агроєкосистемах поєднувати із отриманням високоякісної та екологічно безпечної продукції.

1.2 Розробка структурних схем агроєкосистеми різної спеціалізації з виробництвом біопалив

На основі структурної схеми функціонування агроєкосистеми (рис. 1.1) з урахуванням залежностей (1.7-1.12), та моделювання гумусного стану ґрунтового середовища агроєкосистем розроблено моделі функціонування агроєкосистеми з шестипільною сівозміною із виробництвом продукції та енергії, використанням біопалив та відновленням поживних речовин у ґрунті (рис. 1.2, 1.3, 1.4).

У моделі урожайність сільськогосподарських культур було прийнято згідно статистичних та довідкових даних [90, 113]. Кормова цінність продукції сівозмін визначена відповідно до існуючих методик у кормових одиницях [112, 116, 125], відповідно до виходу кормових одиниць було визначено поголів'я ВРХ, свиней та птиці. Вихід незернової частини урожаю прийнято згідно

рекомендацій [5, 11, 114]. Нормативи виходу гною та посліду згідно вказаних у [116, 161]. Рецептuru компосту розроблена згідно досліджень [16, 36, 139]. Внесення мінеральних добрив обґрунтовано згідно балансу поживних речовин [38, 111, 114, 139].

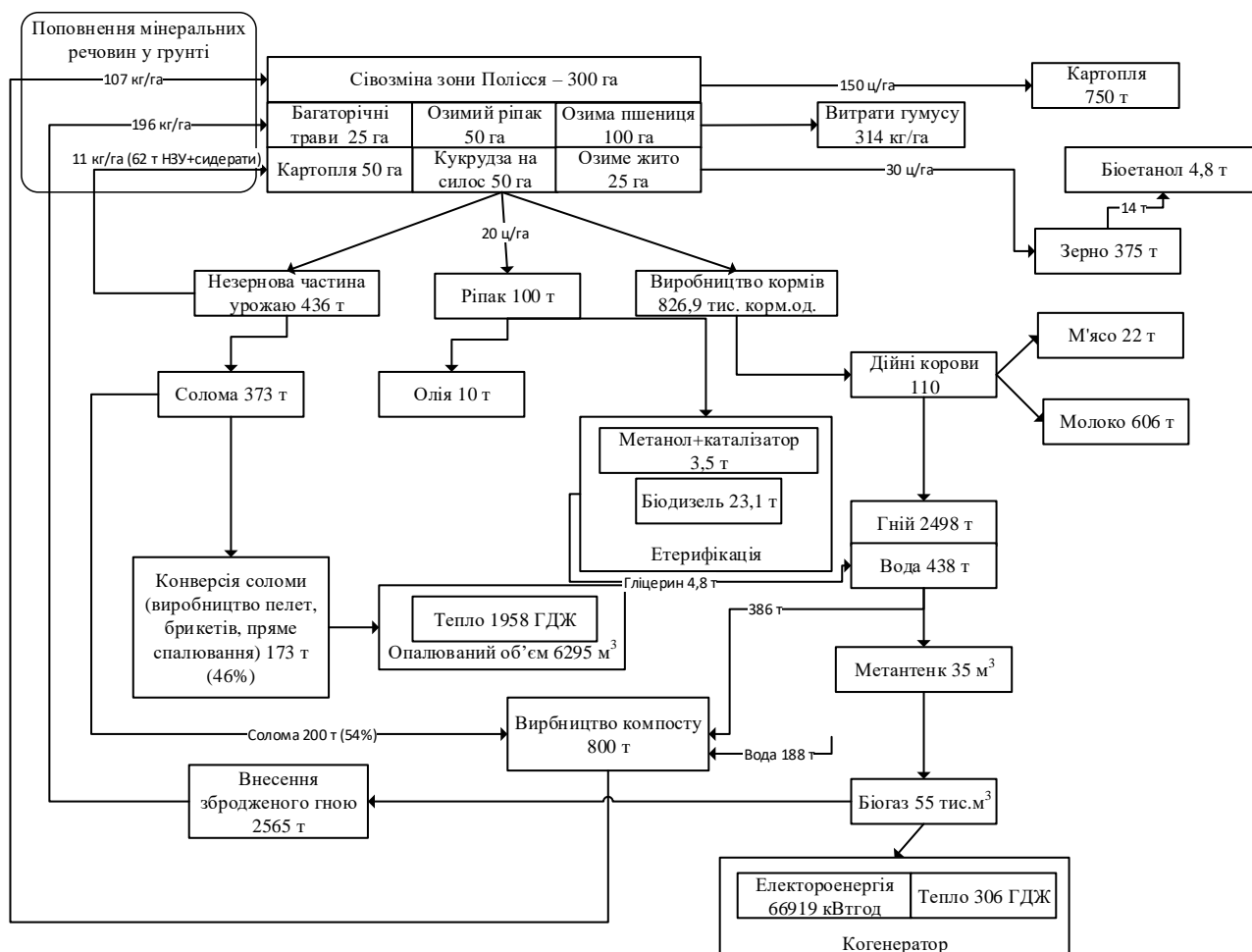


Рис. 1.2 – Приклад схеми виробництва продукції та енергії у підприємствах зерно-молочної спеціалізації

Крім того, при виробництві біоетанолу та дизельного біопалива в обсягах передбачених пропонованою моделлю (рис. 1.2, 1.3, 1.4), можливе повне забезпечення потреб в межах агроєкосистеми в рідкому біопаливі при умові, що питомі витрати не будуть перевищувати 16 кг/га біоетанолу та 77 кг/га дизельного біопалива.

Структура використання продукції рослинництва прийнята згідно

рекомендацій [129, 131, 132]. Показники тваринництва були прийняті згідно інформаційних джерел [4, 116, 129, 161].

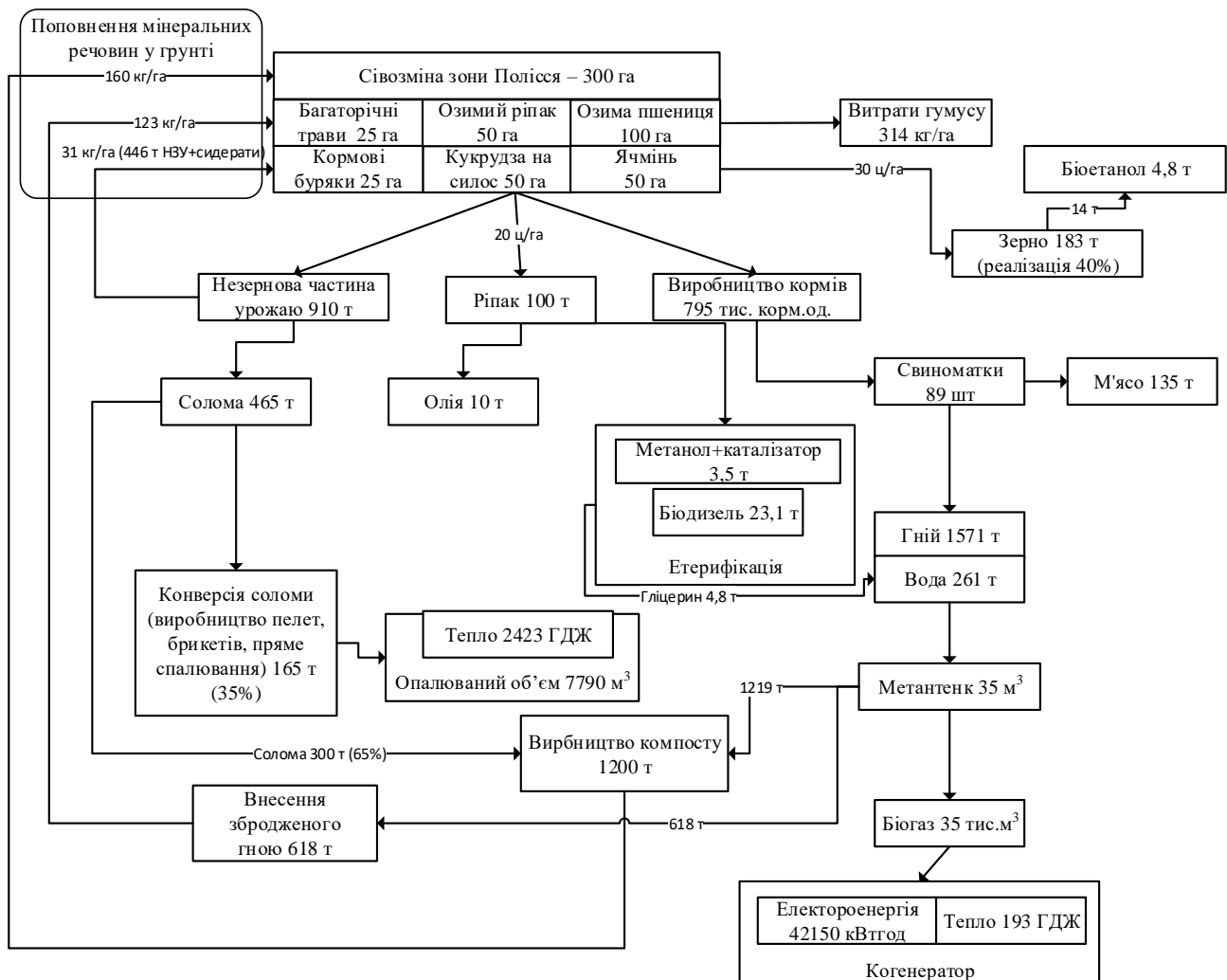


Рис. 1.3 – Схема виробництва продукції та енергії у підприємствах зерно-свинарської спеціалізації

На основі представлених схем розроблено комп'ютерну імітаційну модель функціонування агроєкосистеми із виробництвом біопалива, яка дала змогу встановити основні показники сільськогосподарського виробництва.

На основі представлених схем розроблено комп'ютерну імітаційну модель функціонування агроєкосистеми із виробництвом біопалива, яка дозволяє встановити основні показники сільськогосподарського виробництва при бездефіцитному балансі гумусу.

Аналіз структурних схем аграрного виробництва дозволяє встановити, що використання біоенергоконверсії в агроекосистемах з використанням біопалива дає змогу забезпечити часткову автономність виробництва із збереженням родючості ґрунтів.

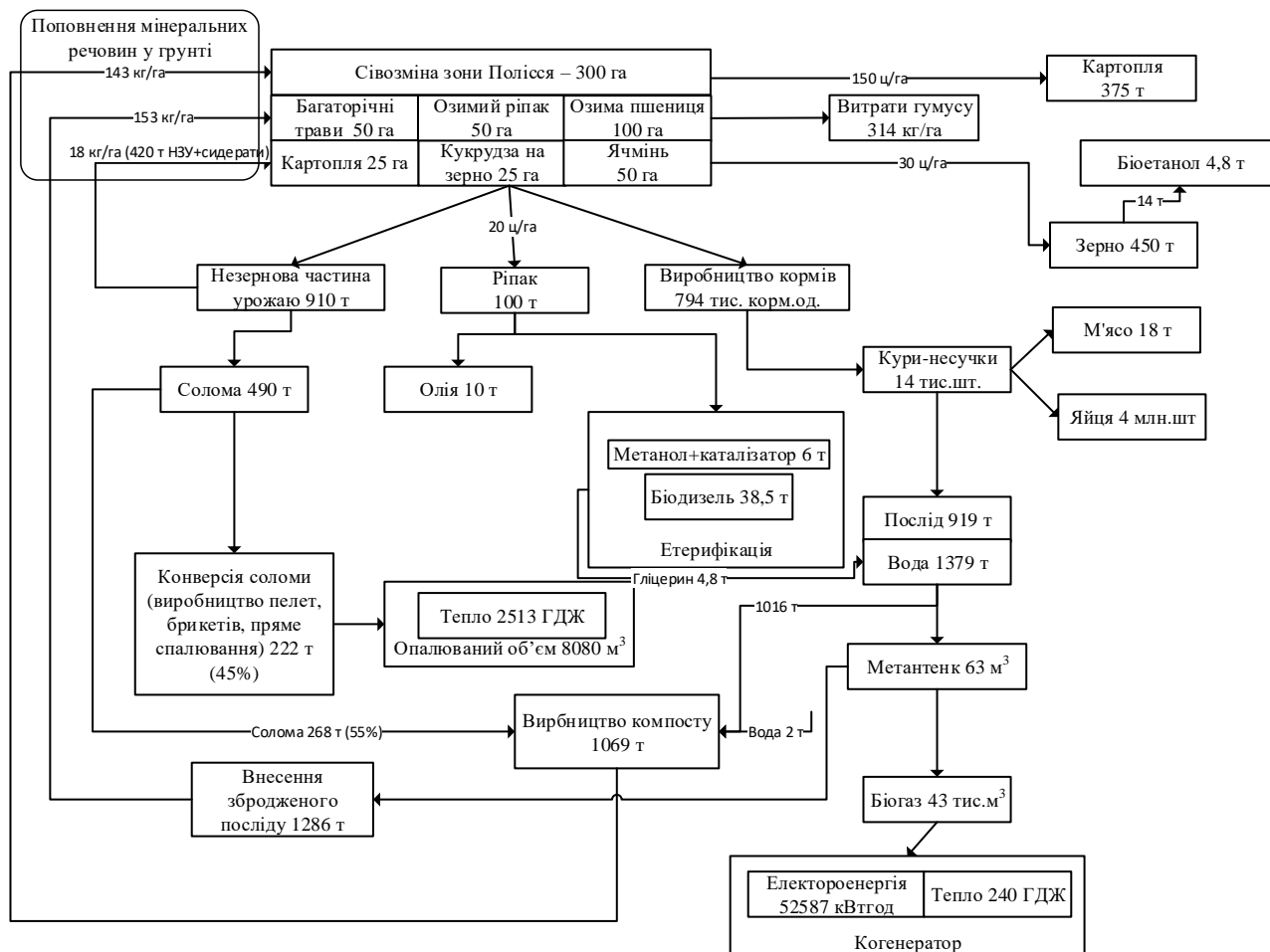


Рис. 1.4 – Схема виробництва продукції та енергії у підприємствах зерно-птахівничої спеціалізації

При використанні 100% соломи для енергетичних потреб енергетичний баланс матиме вигляд, при якому, дефіцит балансу гумусу складе 140 кг/га для зерно-молочних підприємств, 398 кг/га для зерно-свинарських та 367 кг/га для зерно-птахівничих. Найменше значення показника для зерно-молочних підприємств пояснюється більшим обсягом виробництва органічних добрив в порівнянні із іншими типами сільськогосподарських підприємств.

1.3 Проведення імітаційного моделювання та обґрунтування рівня енергетичної автономності агроєкосистем

На основі проведеного обґрунтування механіко-технологічних основ формалізації агроєкосистем та їх елементів розроблено комп'ютерну імітаційну модель функціонування агроєкосистеми із виробництвом біопалива, яка дала змогу встановити основні показники ефективності виробництва у сільськогосподарському підприємстві.

Імітаційна модель функціонування сільськогосподарського виробництва (рис. 1.5) включає в себе сівозміну на 300 га ріллі із вирощуванням основних сільськогосподарських культур, таких як озима пшениця 50 га, кукурудзу на силос 25 га і зерно 2 га, озимий ріпак 25 га, ячмінь 50 га, цукрові буряки 50 га та багаторічні трави 50 га.

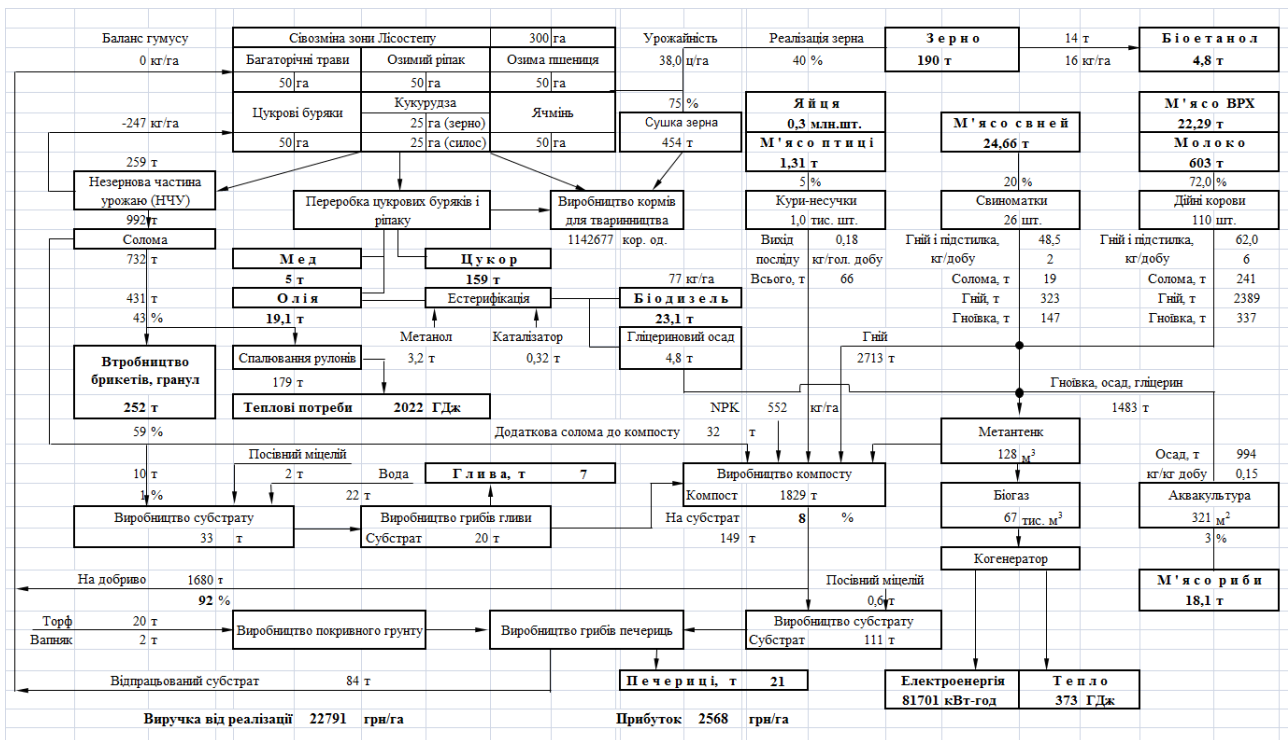


Рис. 1.5 – Схема біологічної та енергетичної конверсії органічної сировини

Модель передбачає виробництво м'яса ВРХ, свиней, курей та риби, молока, яєць, олії, цукру та меду, вирощування грибів (гливи та печериць) і

виробництво компосту.

Крім того, запропонована модель передбачає виробництво дизельного біопалива і біоетанолу в кількості необхідній для забезпечення роботи мобільної техніки, біогазу (отримання електроенергії та тепла), спалювання рулонів та січки соломи (отримання тепла та електроенергії).

Було проведено аналіз функціонування трьох варіантів агроєкосистеми:

- із виробництвом біопалива;
- без виробництва біопалива;
- без тваринництва, птахівництва та рибництва.

Можливості сільськогосподарського виробництва із сівозміною в 300 га отриманні на основі розробленої імітаційної моделі функціонування агроєкосистеми із виробництвом біопалива наведенні в табл. 1.1, без виробництва біопалива в табл. 1.2, а без тваринництва в табл. 1.3.

Провівши аналіз параметрів функціонування агроєкосистеми, отриманих в результаті моделювання, побудовано графічні залежності балансу гумусу (рис. 1.6) в залежності від урожайності базової культури – озимої пшениці.

Аналіз графіка, дозволяє зробити висновок, що найкращі показники щодо балансу гумусу досягаються в агроєкосистемі без виробництва біопалива.

У агроєкосистемі із виробництвом біопалива при урожайності зернових більше 30 га, також досягається позитивний баланс гумусу, а в агроєкосистемі без тваринництва досягнути позитивного балансу гумусу фактично неможливо.

Відносно економічної ефективності виробництва, слід зауважити що найбільший прибуток на гектар досягається в агроєкосистемі із виробництвом біопалива (рис. 1.7).

Із аналізу графіка на рис. 1.8 походить, що сільськогосподарське виробництво здатне себе забезпечити необхідною тепловою енергією при урожайності зернових 20 ц/га і вище, а при більшій урожайності надлишок теплової енергії можливо конвертувати в електричну, підвищивши і рівень забезпечення електричною енергією.

Із графіка на рис. 1.7. походить, що найбільший економічний ефект

можливо отримати в збалансованій агроєкосистемі, яка поєднує рослинництво, тваринництво і виробництво біопалива, забезпечивши при цьому бездефіцитний баланс гумусу.

Таблиця 1.1 – Можливості агроєкосистеми із виробництвом біопалива (сівозміна 300 га)

Урожайність зернових(пшениця), ц/га	Електроенергія				Теплова енергія			Рідке біопаливо		Баланс гумусу, кг/га	Виручка від реалізації продукції, грн/га	Прибуток, грн/га
	виробництво, тис. кВт год.	із врахуванням надлишку теплової енергії тис. кВт год.	потреба, тис. кВт год.	рівень забезпечення, %	виробництво, ГДж	потреба, ГДж	рівень забезпечення, %	дизельне біопаливо, т	біоетанол, т			
20	44	83	1600	5,19	1475	1360	108,5	21,7	4,8	-305	6236	1548
25	54	248	1988	12,47	2063	1400	147,4	23,1	4,8	-152	7645	1972
30	65	413	2386	17,31	2650	1440	184,0	23,1	4,8	0	9033	2360
35	75	578	2783	20,77	3238	1480	218,8	23,1	4,8	152	10421	2747
Урожайність зернових (пшениця), ц/га	Вид продукції (виробництво)											
	компост, т	зерно пшениці, т	м'ясо свиней, т	м'ясо ВРХ, т	молоко, т	м'ясо птиці, т	яйця, млн. шт.	м'ясо риби, т	гриби, т	оля, т	мед, т	цукор, т
20	1197	86	13,0	11,7	318	0,7	0,1	9,6	20	0	5	84
25	1481	111	16,2	14,7	397	0,9	0,2	11,9	23	4,3	5	105
30	1764	136	19,5	17,6	476	1,0	0,3	14,3	27	10	5	125
35	2048	161	22,7	20,5	556	1,2	0,4	16,7	30	15,7	5	146

Таблиця 1.2 – Можливості агроєкосистеми без виробництва біопалива (сівозміна 300 га)

Урожайність зернових (пшениця), ц/га	Електроенергія				Теплова енергія			Рідке біопаливо		Баланс гумусу, кг/га	Виручка від реалізації продукції, грн/га	Прибуток, грн/га
	виробництво, тис. кВт год.	із врахуванням надлишку теплової енергії тис. кВт год.	потреба, тис. кВт год.	рівень забезпечення, %	виробництво, ГДж	потреба, ГДж	рівень забезпечення, %	дизельне біопаливо, т	біоетанол, т			
20	0	0	1500	0,00	0	1300	0	0	0	-127	4907	1063
25	0	0	1898	0,00	0	1340	0	0	0	71	6071	1310
30	0	0	2296	0,00	0	1380	0	0	0	269	7235	1557
35	0	0	2693	0,00	0	1420	0	0	0	467	8400	1804
Урожайність зернових (пшениця), ц/га	Вид продукції (виробництво)											
	компост, т	зерно пшениці, т	м'ясо свиней, т	м'ясо ВРХ, т	молоко, т	м'ясо птиці, т	яйця, млн. шт.	м'ясо риби, т	гриби, т	олія, т	мед, т	цукор, т
20	1193	100	13,0	11,7	318	0,7	0,1	9,6	19	22,9	5	84
25	1476	125	16,2	14,7	397	0,9	0,2	11,9	22	28,6	5	105
30	1760	150	19,5	17,6	476	1,0	0,3	14,3	26	34,3	5	125
35	2044	175	22,7	20,5	556	1,2	0,4	16,7	29	40	5	146

Так при урожайності озимої пшениці 30 ц/га прибуток для збалансованої агроєкосистеми із виробництво біопалива становитиме 2360 грн/га, що вище на

51,6% ніж для агроєкосистеми без виробництва біопалива.

Таблиця 1.3 – Можливості агроєкосистеми без тваринництва (сівозміна 300 га)

Урожайність зернових (пшениця), ц/га	Електроенергія				Теплова енергія			Рідке біопаливо		Баланс гумусу, кг/га	Виручка від реалізації продукції, грн/га	Прибуток, грн/га
	виробництво, тис. кВт год.	із врахуванням надлишку теплової енергії тис. кВт год.	потреба, тис. кВт год.	рівень забезпечення, %	виробництво, ГДж	потреба, ГДж	рівень забезпечення, %	дизельне біопаливо, т	біоетанол, т			
20	1	493	1	100	3010	1236	243,5	21,7	4,8	-447	4751	1530
25	1	760	1	100	3982	1245	319,8	23,1	4,8	-330	5763	1904
30	1	1028	1	100	4953	1254	395,0	23,1	4,8	-214	6775	2279
35	1	1295	1	100	5924	1263	469,0	23,1	4,8	-97	7787	2653
Урожайність зернових (пшениця), ц/га	Вид продукції (виробництво)											
	компост, т	зерно пшениці, т	м'ясо свиней, т	м'ясо ВРХ, т	молоко, т	м'ясо птиці, т	яйця, млн. шт.	м'ясо риби, т	гриби, т	олія, т	мед, т	цукор, т
20	63	86	0	0	0	0	0	0	7	0	5	84
25	63	111	0	0	0	0	0	0	7	4,3	5	105
30	63	136	0	0	0	0	0	0	7	10	5	125
35	63	161	0	0	0	0	0	0	7	15,7	5	146

Рівень забезпечення електроенергією та тепловою енергією можна

виразити графічно (рис. 1.8) та залежностями:

$$PE = 27,905 \ln(u_3) - 77,951, \quad (1.13)$$

та

$$TE = 196,59 \ln(u_3) - 485,68, \quad (1.14)$$

де PE – рівень забезпечення електричною енергією, %; TE – рівень забезпечення тепловою енергією, %; u_3 – урожайність базової культури (озимої пшениці), ц/га.

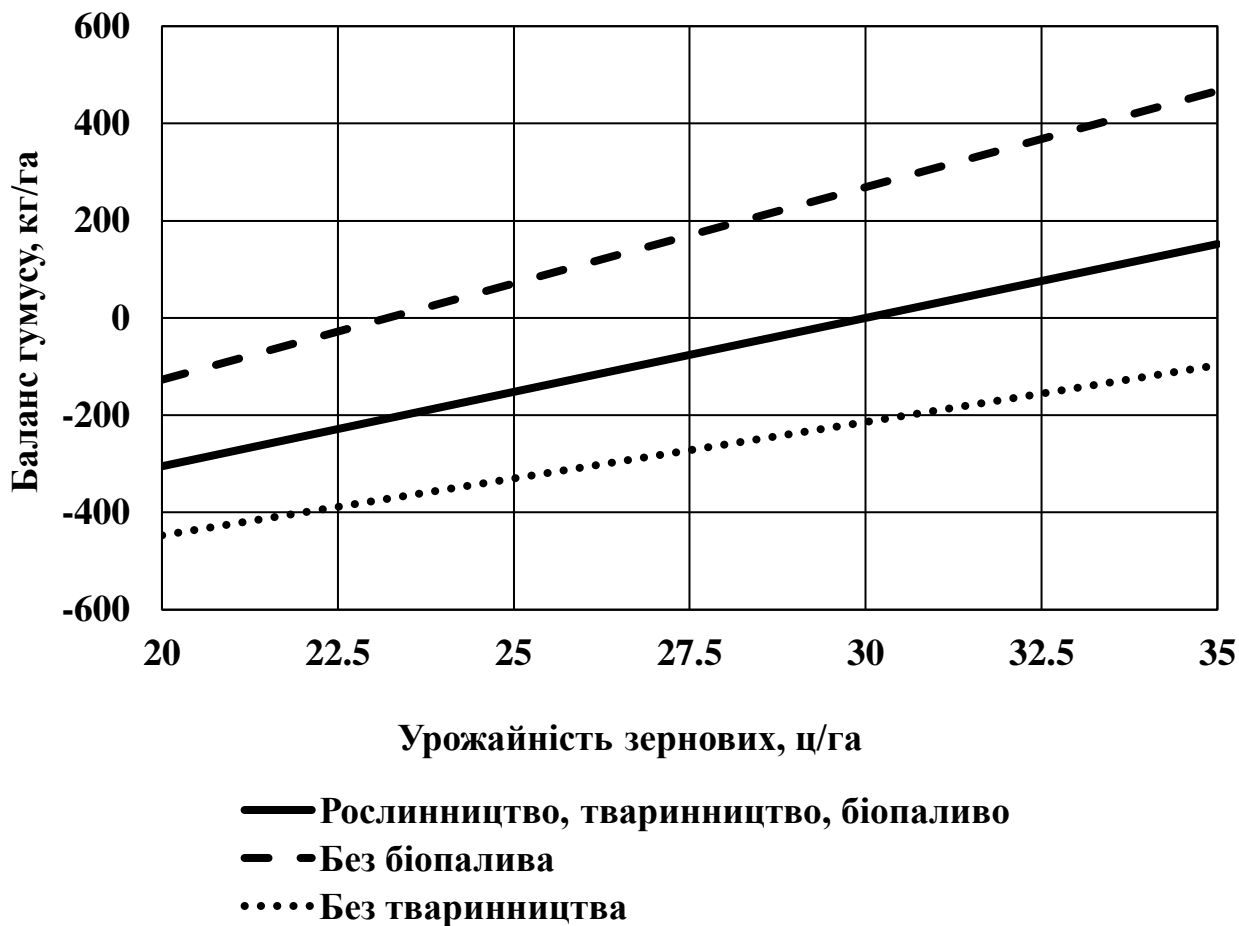


Рис. 1.6 – Залежність балансу гумусу від урожайності базової культури

Структуру фінансових надходжень при функціонуванні агроєкосистеми розробленої на основі імітаційної моделі можна представити у вигляді діаграми (рис. 1.9).

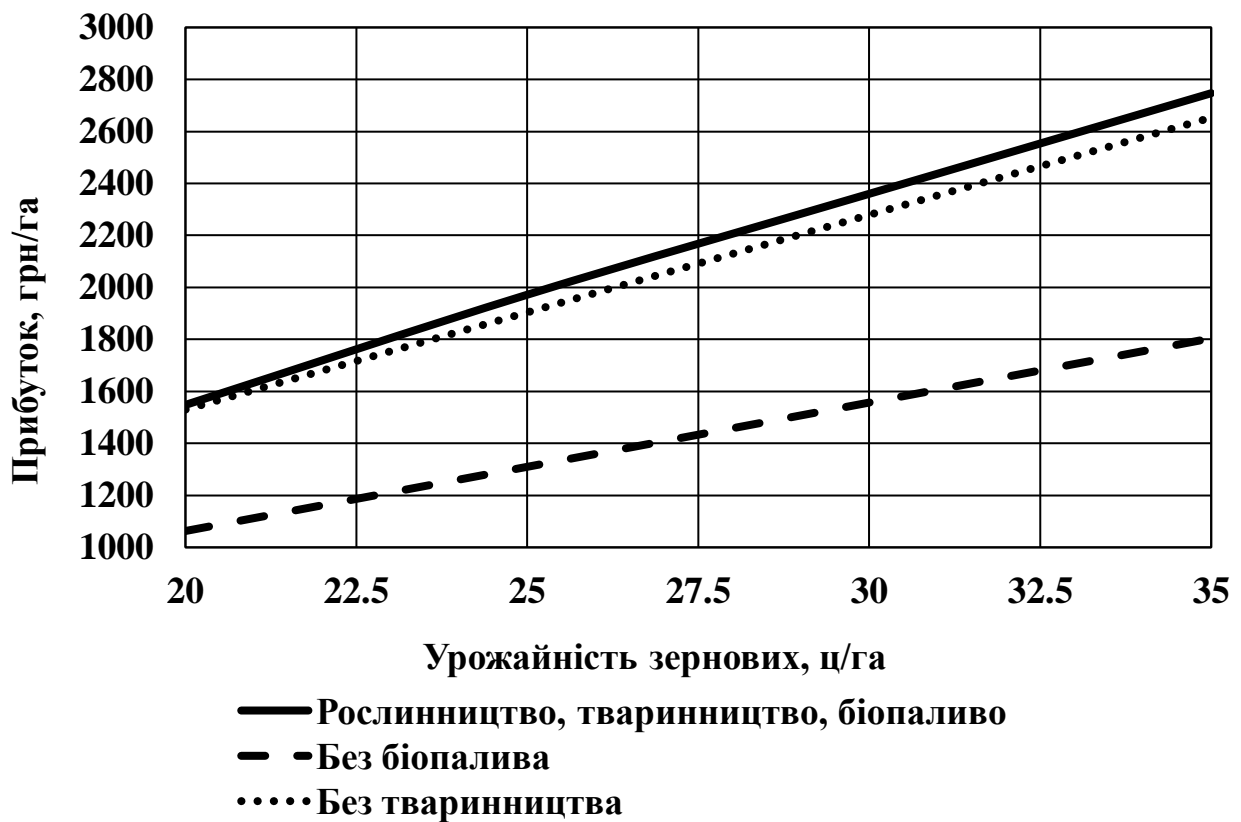


Рис. 1.7 – Залежність прибутку від урожайності базової культури

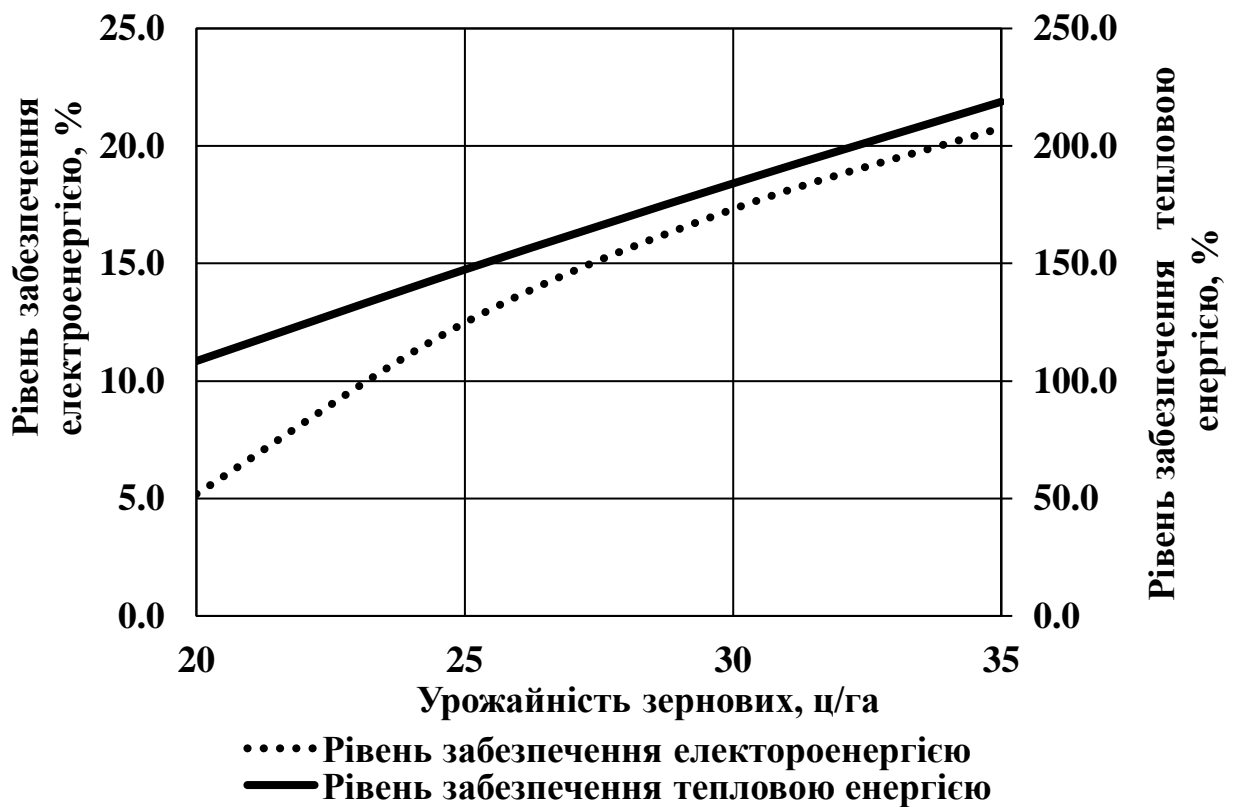


Рис. 1.8 – Рівень забезпечення тепловою та електричною енергією (без конвертації надлишку теплової енергії в електроенергію)

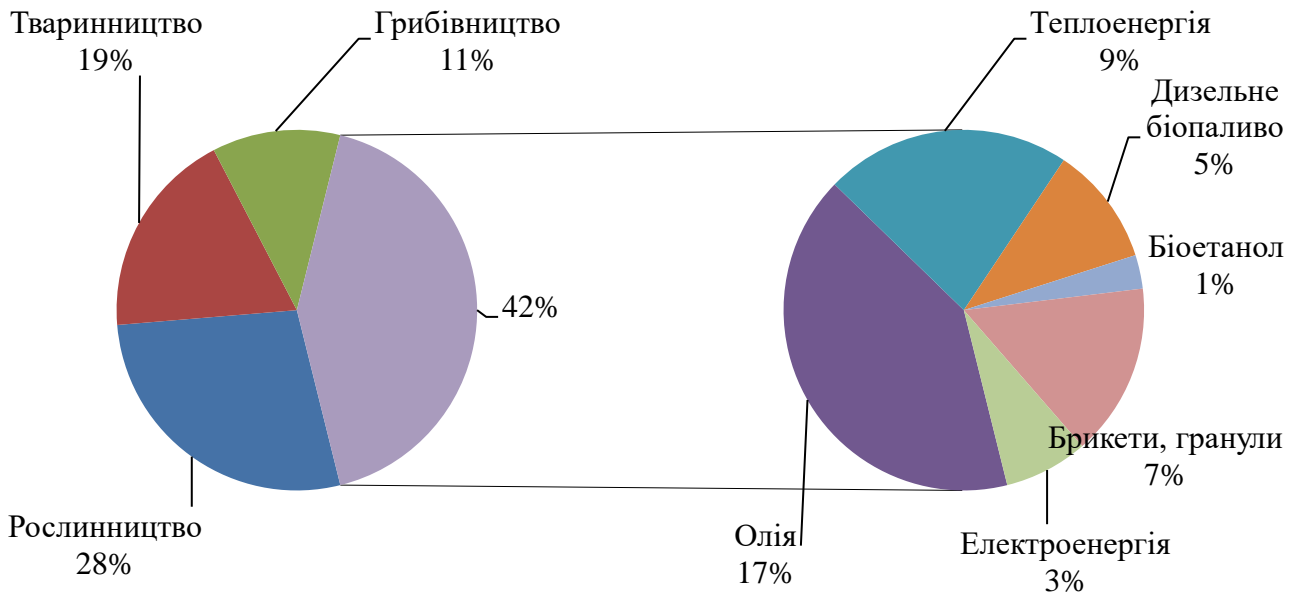


Рис. 1.9 – Структура фінансових надходжень агроєкосистеми

З графіка на рис. 1.9 походить, що за рахунок виробництва і використання біопалива можна на третину збільшити фінансові надходження сільськогосподарських підприємств.

Висновки по розділу 1

1. На основі розробленої комп'ютерної імітаційної моделі функціонування агроєкосистеми із виробництвом біопалива можливо встановити основні показники сільськогосподарського виробництва при бездефіцитному балансі гумусу. Встановлено, що найбільший рівень енергозабезпечення агроєкосистема має при зерно-птахівничому напрямі виробництва, а найбільший прибуток при зерно-свинарському. При максимально можливому використанні сільськогосподарської продукції як енергоресурсу, дефіцит гумусу складе 140 кг/га для зерно-молочних, 398 кг/га для зерно-свинарських та 367 кг/га для зерно-птахівничих підприємств. Менше значення дефіциту гумусу для зерно-молочних підприємств пояснюється більшим обсягом виробництва органічних добрив у порівнянні із іншими напрямками сільськогосподарських підприємств.

2. Використання біомаси соломи в якості енергоресурсу є можливим для сільськогосподарських підприємств при досягненні урожайності озимої пшениці рівня від 25 до 27 ц/га. При базовій урожайності озимої пшениці 30 ц/га та дотриманні балансу гумусу рівень самозабезпечення електричною енергією складає 2,74 %, 2,2 %, 14,5 % та тепловою енергією 14,6 %, 13,3 %, 32,8 % для зерно-молочних, зерно-свинарських та зерно-птахівничих типів сільськогосподарських підприємств, відповідно. З огляду на низький рівень можливої енергетичної автономності агроecosистем необхідно вишукувати додаткові резерви забезпечення енергією. Це можуть бути як зовнішні резерви: використання геліоколекторів та вітроелектростанцій, так і внутрішні: вибір раціональних технологій вирощування та виробництва сільськогосподарської продукції, мінімізація питомої енергоємності машин та обладнання з урахуванням якісних показників їх роботи.

3. Встановлено, що найбільший економічний ефект можливо отримати в збалансованій агроecosистемі, що поєднує рослинництво, тваринництво і виробництво біопалива, забезпечивши при цьому бездефіцитний баланс гумусу. При урожайності озимої пшениці 30 ц/га прибуток для збалансованої агроecosистеми із виробництвом біопалива становитиме 2360 грн/га, що вище на 51,6 % ніж для агроecosистеми без виробництва біопалива. До 35 % всіх фінансових надходжень в сільськогосподарському виробництві можливо забезпечити за рахунок виробництва і використання біопалива.

2 МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА І ВИКОРИСТАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА

2.1 Загальна характеристика процесу виробництва дизельного біопалива в агроєкоєстєстємах

Виробництво дизельного біопалива в аграрних підприємствах дозволить зменшити їх енергетичну залежність та підвищити економічну ефективність діяльності [14, 15, 55115, 147].

Дизельне біопаливо або метилові ефіри жирних кислот отримують у процесі естерифікації [19, 40, 115] із тригліцеридів олій при хімічній реакції алкоголізу [29, 78, 94].

Відомо, що реакція алкоголізу найбільш повно (до 98%) проходить при застосуванні метанолу, а із збільшенням молекулярної маси спирту вона значно сповільнюється та протікає неповністю (у етанолу та пентанолу складає всього 35,3 і 11,5 % за масою, відповідно) [163], тому реакцію отримання метилових ефірів жирних кислот можна назвати метанолізом.

Найбільш широкого застосування набув метаноліз олій із лужним каталізатором [10, 24, 149, 159], при якому процес отримання біопалива проходить при температурі від 20 до 700°C. При цьому використовують лужні каталізатори *NaOH* та *KOH* у кількості від 0,3 до 1,5% за масою тригліцеридів олії.

Після естерифікації відбувається операція розділення гліцеринової та ефірної фаз. Найпростіший та найменш енергозатратний спосіб розділення – це осадження більш важкої фракції.

Враховуючи, що метанол слабо розчиняється у рослинній олії [3], після додавання розчину метилового спирту у олію, рідини розташовуються шарами відповідно значенню їх густин. Тому, необхідно виконувати перемішування, що призводить до утворення двофазної системи – емульсії, у якій суцільне

середовище – рослинна олія та дисперсійна фаза – розчин метанолу із лужним каталізатором. Очевидно, щоб утримувати емульсію у дисперсійному стані її необхідно безперервно перемішувати (турбулізувати) [153]. Хід процесу турбулізації залежить від гідродинамічних умов [168].

Чим більша міжфазна поверхня, тим швидше проходить естерифікація, так як вона утворює поверхню контакту реагентів. Проте, інтенсивне перемішування призводить до завчасного руйнування міжфазної поверхні, що в свою чергу не дозволяє відбутися реакції метанолізу в повній мірі. Тому, необхідно спочатку забезпечити рівномірне пошарове перемішування емульсії в області «перемішування», або «утворення дисперсійного стану емульсії». В подальшому необхідно провести проходження реакції естерифікації в умовах меншого рівня турбулізації суспензії в області «проходження реакції» [63, 75].

Процес перемішування характеризується двома основними чинниками: ефективністю перемішування і витратою енергії [153, 168]. Під ефективністю перемішування розуміють якість результату, яка досягається за часом, тобто рівномірність розподілу концентрацій середовищ, що перемішуються.

З огляду на ресурсоощадність та енергоефективність раціональні параметри технологічного процесу естерифікації повинні відповідати встановленим параметрам: температура до 40°C; співвідношення спирту до олії 6:1; кількість каталізатору 1%; інтенсивність перемішування 1,8 Вт/л; тривалість процесу 40 хв. [84, 87].

Ефективне протікання реакції естерифікації залежить, як від гідродинамічних умов [6], так і потребує знаходження раціональних способів перемішування [40, 115]. При виробництві дизельного біопалива часто застосовують перемішування емульсії в реакторах невеликої місткості із застосуванням механічних мішалок [18, 54, 83], нерухомих гідравлічних змішувачів-форсунок [7, 110] та рухомих гідрореактивних мішалок [133]. Проте виробництво дизельного біопалива за допомогою таких методів характеризується рядом недоліків, серед яких утворення областей застою емульсії, значні питомі енерговитрати [22], складність технологічного процесу

біопалива – 4,99 мм²/с, середня температура спалаху дизельного біопалива – 135,2 °С, частота обертання гідромеханічної мішалки – 39 об/хв., споживана потужність –77,9 Вт, питома енергомісткість обладнання для виробництва дизельного біопалива –1,42 кВт год./м³.

2.4 Розробка теоретичної моделі процесу виробництва дизельного біопалива з використанням циркуляційного перемішування та стаціонарних форсунок

Для процесу естерифікації рослинних олій з метою отримання дизельного біопалива пропонується циркуляційне перемішування, що здійснюється багатократним перекачуванням рідини по замкненому контуру. До схеми циркуляційного перемішування належать: посудина – циркуляційний перемішувач-розділювач (рис. 2.17), циркуляційний насос, трубопроводи, запірно-регулююча апаратура.

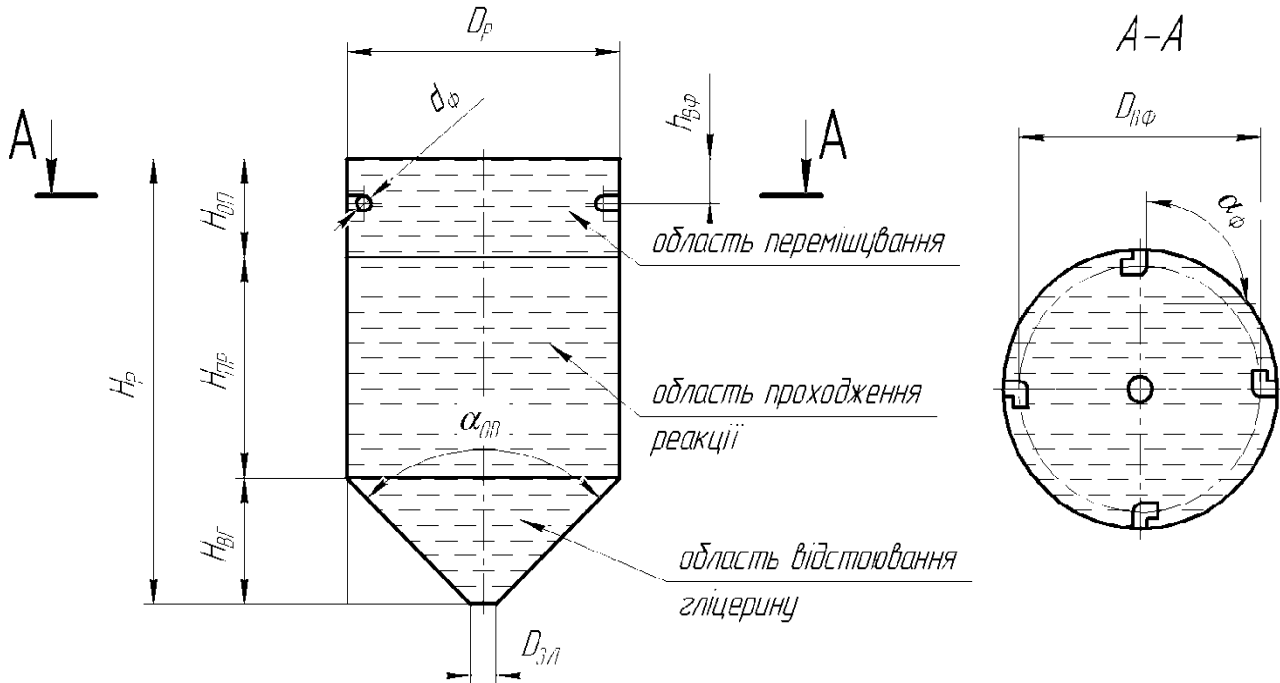
Завдяки тому, що форсунок встановлені в корпусі циркуляційного розділювача на одному рівні по висоті, і орієнтовані таким чином, щоб при перекачуванні емульсії утворювати турбулентний круговий потік емульсії у його верхній частині, забезпечується рівномірне пошарове перемішування емульсії в зоні розміщення форсунок. При відкачуванні емульсії з нижньої частини циркуляційного розділювача перемішаний шар емульсії опускається нижче, забезпечуючи проходження реакції естерифікації в умовах меншого рівня турбулізації суспензії. За рахунок цього досягається підвищення якості дизельного біопалива.

При використанні форсунок, струмінь емульсії, що витікає із сопла, розширюється в напрямку виходу струменя (рис. 2.18).

Це викликано наступними чинниками [153, 168]:

1. Потік рідини, що витікає із сопла, штовхає перед собою емульсію, яка знаходиться в посудині попереду сопла.
2. Прошарки рідини, що знаходяться навколо струменя, за рахунок

тангенційних напружень між прошарками емульсії, які рухаються з різними швидкостями, а також турбулентним проникненням елементарних частинок струменя в навколишню рідину, також набувають руху.



H_p – висота розділювача, м; $H_{оп}$ – висота області перемішування, м;
 $H_{пр}$ – висота області проходження реакції, м; $H_{вг}$ – висота області відстоювання гліцерину, м; D_p – робочий діаметр розділювача, м;
 $D_{вф}$ – діаметр встановлення форсунок, м; $d_{ф}$ – діаметр сопла форсунки, м;
 $h_{вф}$ – висота встановлення форсунок, м; $D_{зл}$ – діаметр отвору для зливання гліцерину, м; $\alpha_{об}$ – конусність області відстоювання, рад; $\alpha_{ф}$ – кут встановлення форсунки, рад.

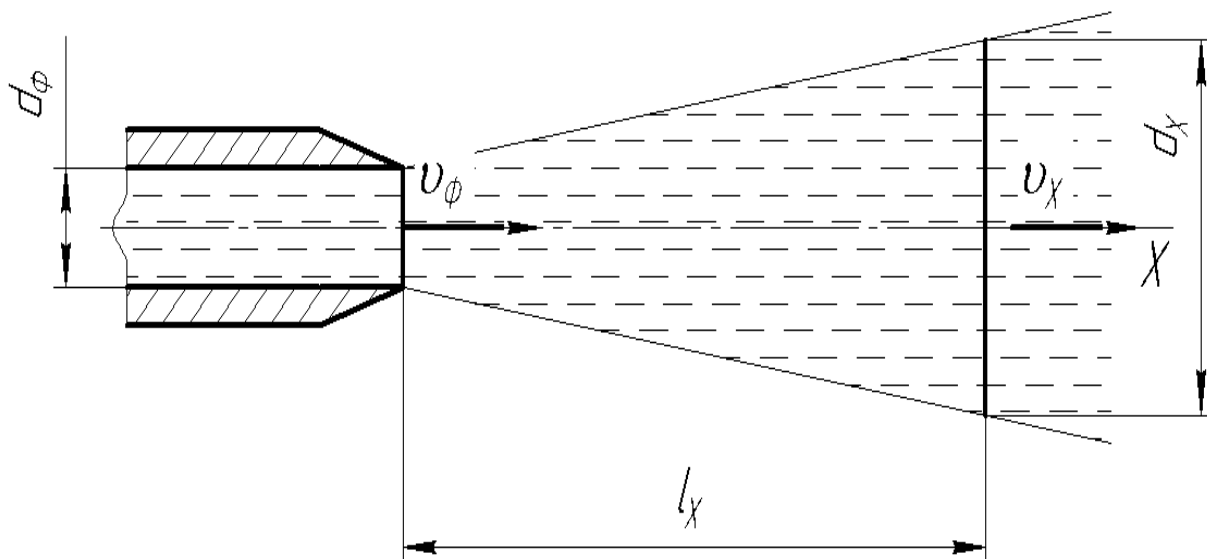
Рис. 2.17 – Схема циркуляційного реактора-змішувача для виробництва дизельного біопалива

Враховуючи рівняння:

$$\sum m_{\phi} v_{\phi} = \sum m_x v_x , \quad (2.11)$$

де v_{ϕ} – середня швидкість витікання емульсії із форсунки; v_x – середня

швидкість струменя на відстані l_X від форсунки, м; m_ϕ – маса елементарних частинок струменя при витіканні із форсунки, кг; m_X – маса елементарних частинок струменя на відстані l_X від форсунки, м, можна зробити висновок, що струмінь, який виходить із форсунки, постійно розширюється та збільшується витрата рідини Q_X в ньому.



d_ϕ – діаметр сопла форсунки, м; d_X – діаметр струменя на відстані l_X від форсунки, м; v_ϕ – швидкість витікання емульсії із форсунки, м/с; v_X – середня швидкість струменя емульсії на відстані l_X від форсунки, м/с.

Рис. 2.18 – Розрахункова схема профілю струменя, що витікає із форсунки в емульсію

Із врахуванням досліджень [153] та приймаючи, що витікання емульсії із сопла описується згідно [47], отримаємо:

$$Q_X = \frac{\pi \mu \xi_{cm} k_\phi d_\phi}{4} (l_X - d_\phi) \sqrt{\frac{2P_\phi}{\rho_o}} \quad (2.12)$$

де Q_X – витрата емульсії в перерізі струменя на відстані l_X від форсунки, м³/с; k_ϕ – коефіцієнт опору рідині, що витікає із форсунки; l_X – відстань від

паливоподачі, в якому при закриванні паливного крана 13 та відкриванні крана 14, підігріте дизельне біопаливо потрапляє в магістраль паливоподачі. При зворотному переході двигуна на живлення дизельним паливом, магістраль повністю заповнюється дизельним паливом, що в свою чергу вирішує проблему обігріву паливної магістралі дизельного біопалива в холодну пору року при довготривалих зупинках.



Рис. 2.42 – Засоби вимірювання температури в паливному баку дизельного біопалива

Таблиця 2.12 – Конструкційні параметри баку дизельного біопалива

№ п/п	Назва параметру	Позначення та одиниця виміру	Значення параметра
1	Площа зовнішньої поверхні бака	$F_{ПН}, м^2$	0,388
2	Товщина стінки бака	$\delta_{БС}, м$	0,004
3	Площа теплообміну між гріючим середовищем та паливом в баку	$F_T, м^2$	0,08

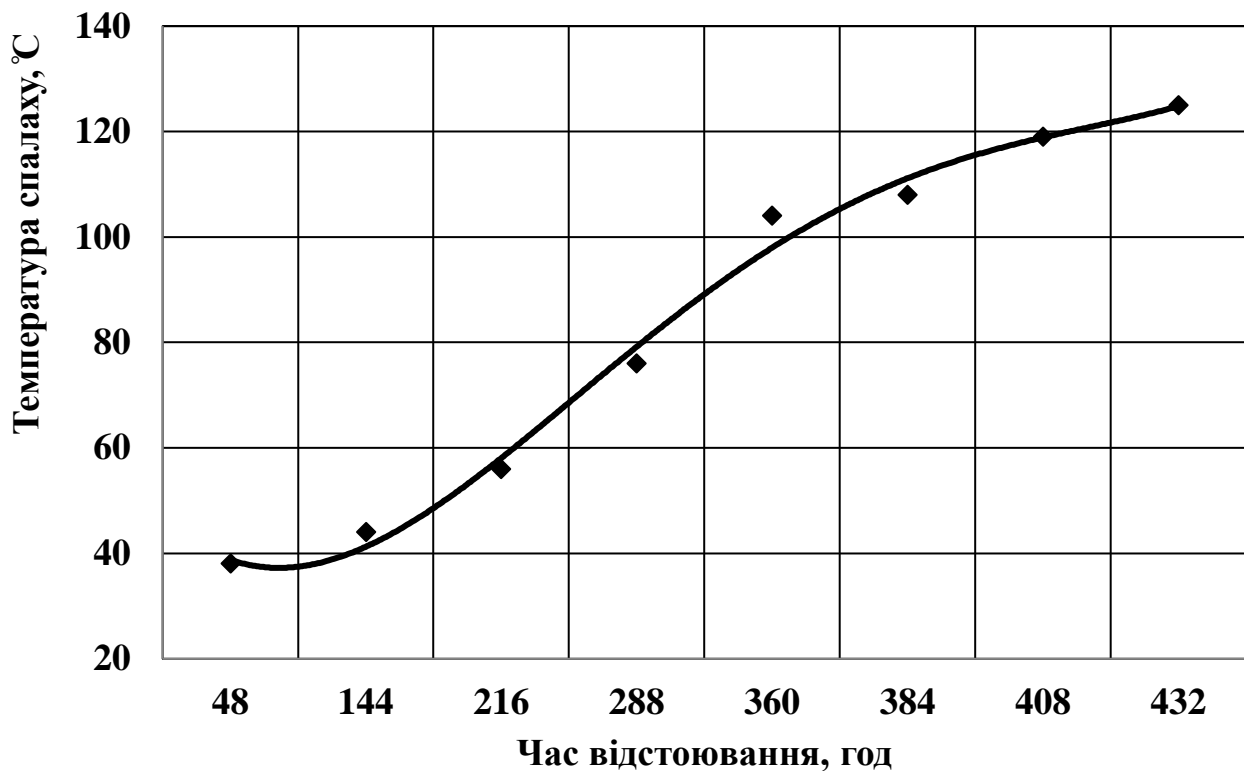


Рис. 2.51. Залежність температури спалаху дизельного біопалива виробленого із олії отриманої із відходів переробки зерна олійних культур від часу відстоювання

Таким чином, у результаті експериментальних досліджень було виявлено, що кількісний вихід дизельного біопалива виробленого із олії отриманої із відходів переробки зерна олійних культур становить 85,6%. Кінематична в'язкість такого дизельного біопалива становить 4,25 мм²/с, температура спалаху 125°C, а нижча теплота згорання 36,96 МДж/кг, а виробництво дизельного біопалива із олії, отриманої із відходів переробки зерна олійних культур може замістити потреби у дизельному паливі на 6-7 % від загальної кількості споживання дизельного палива в аграрному виробництві.

Висновки по розділу 2

1. Встановлено, що основними характеристиками процесу отримання якісного дизельного біопалива є ефективність перемішування і витрати енергії.

У той же час, існуюче обладнання для виробництва дизельного біопалива не в повній мірі забезпечує енергоефективність і якість технологічного процесу в умовах сільськогосподарського виробництва. Тому є актуальним створення енергозберігаючого обладнання для виробництва дизельного біопалива палива в умовах аграрних підприємств із зменшення енерговитрат та досягненням максимальної повноти реакції метанолізу, а також підвищення рівня енергетичної ефективності виробництва дизельного біопалива шляхом удосконалення технічних засобів для його виробництва.

2. На основі експериментальних досліджень встановлено, що для процесу естерифікації ріпакової олії, узагальнений показник відхилення показників якості дизельного біопалива приймає мінімальне значення при температурі процесу естерифікації 5°C та часі перемішування 50 хв. і становить від 2,4 до 3,7%.

3. На основі компромісу, який поєднує необхідність забезпечення нормативних показників якості та мінімальну споживану потужність і питому енергомісткість при використанні гідромеханічного перемішування для виробництва дизельного біопалива було прийнято наступні раціональні значення параметрів гідромеханічної мішалки, а саме: частота обертання насоса – 700 об/хв.; діаметр форсунок – 2,5 мм; кут нахилу лопаток – 30°; час перемішування – 50 хв.; температура процесу – не нижче 5 °С. При цьому кількісний вихід дизельного біопалива становив – 98,8%, середня кінематична в'язкість дизельного біопалива – 4,99 мм²/с, середня температура спалаху дизельного біопалива – 135,2 °С, частота обертання гідромеханічної мішалки – 39 об/хв., споживана потужність – 77,9 Вт, питома енергомісткість обладнання для виробництва дизельного біопалива – 1,42 кВт год./м³.

4. Проведенні теоретичні дослідження процесу кругового циркуляційного перемішування потоку емульсії дозволяють стверджувати, що при температурі 40° у складі ріпакової олії та метилового спирту у співвідношенні 6:1 (кількість каталізатору *КОН* 1%), необхідна ефективність перемішування досягається при створенні в струмені емульсії турбулентного

режиму. Турбулентний режим у струмені емульсії забезпечується в діапазоні параметрів гідродинамічного змішувача: тиск у форсунці від 0,01 МПа до 0,05 МПа, діаметр сопла форсунок від 20 до 35 мм, кількість форсунок – 4 шт., діаметр посудини розділювача від 0,49 до 3,77 м, час перемішування до 111 с.

5. Застосування дискових форсунок у змішувачах дозволяє виробляти дизельне біопаливо за спрощеною технологією та отримати повне видалення із змішувача чистих метилових-ефірів жирних кислот в умовах сільського господарства. На основі отриманих рівнянь можна встановити взаємозалежності між значеннями параметрів змішувача із дисковою форсункою та виходячи із конструкційних міркувань встановити основні розміри з геометричній змішувача. Отримані значення параметрів можуть бути використанні при проектуванні різного типорозміру змішувачів для отримання дизельного біопалива.

6. Аналіз виходу дизельного біопалива показує, що для отримання максимального кількісного виходу дизельного біопалива весь об'єм початкової суміші необхідно перемішати 2-3 рази, але з точки зору досягнення нормативної кінематичної в'язкості необхідно використовувати 4 кратне перемішування.

7. Мінімальна споживана потужність на перемішування суміші при виробництві дизельного біопалива з використанням плаваючої форсунки-змішувача досягається при значенні величини зазору між дисками форсунки 6,6 мм, частоті обертання насоса 96 об./хв. та нульовій глибині занурення і становить 230 Вт.

8. Встановлено, що індекс детермінації, який характеризує рівень наближення теоретичних та експериментальних даних при роботі МТА на дизельному паливі становить $\eta^2 = 0,95$, а на дизельному біопаливі – $\eta^2 = 0,92$, що свідчить про можливість застосування отриманих теоретичних залежностей для виконання теоретичного моделювання витрат палива МТА при виконанні ним технологічних операцій сільськогосподарського виробництва.

9. Аналіз показав, що температурний діапазон, при якому витрати

дизельного біопалива будуть мінімальні, а саме від 115 до 120 °С, при тяговому опорі агрегату 33 % від максимального, може бути досягнутий при відкритті перепускного каналу на величину 32 %, при збільшенні завантаження до 66 % – на рівні 28 %, а при повному завантаженні – на рівні 25 % від максимально можливого відкриття каналу.

10. На основі отриманих даних про годинні витрати теплоносія та палива, параметрів теплообмінного процесу виконано моделювання впливу режиму роботи двигуна на холостому ході на час та витрату палива при здійсненні нагріву палива в баку від 13 до 30°С. Проведені дослідження дозволяють стверджувати, що оберти колінчастого валу двигуна мало впливають на час нагріву палива в паливному баку проте істотно впливають на збільшення витрати палива, тому доцільно здійснювати нагрів палива в паливному баку на мінімальних обертах холостого ходу двигуна.

11. Встановлено, що кількісний вихід дизельного біопалива виробленого із олії отриманої із відходів переробки зерна олійних культур становить 85,6%. Кінематична в'язкість такого дизельного біопалива становить 4,25 мм²/с, температура спалаху 125°С, а нижча теплота згорання 36,96 МДж/кг, а виробництво дизельного біопалива із олії, отриманої із відходів переробки зерна олійних культур може замінити потреби у дизельному паливі на 6-7 % від загальної кількості споживання дизельного палива в аграрному виробництві.

3 МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА І ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ

3.1 Розробка теоретичної моделі руху мінеральних та органічних частинок по лопатці обертових біогазових реакторів

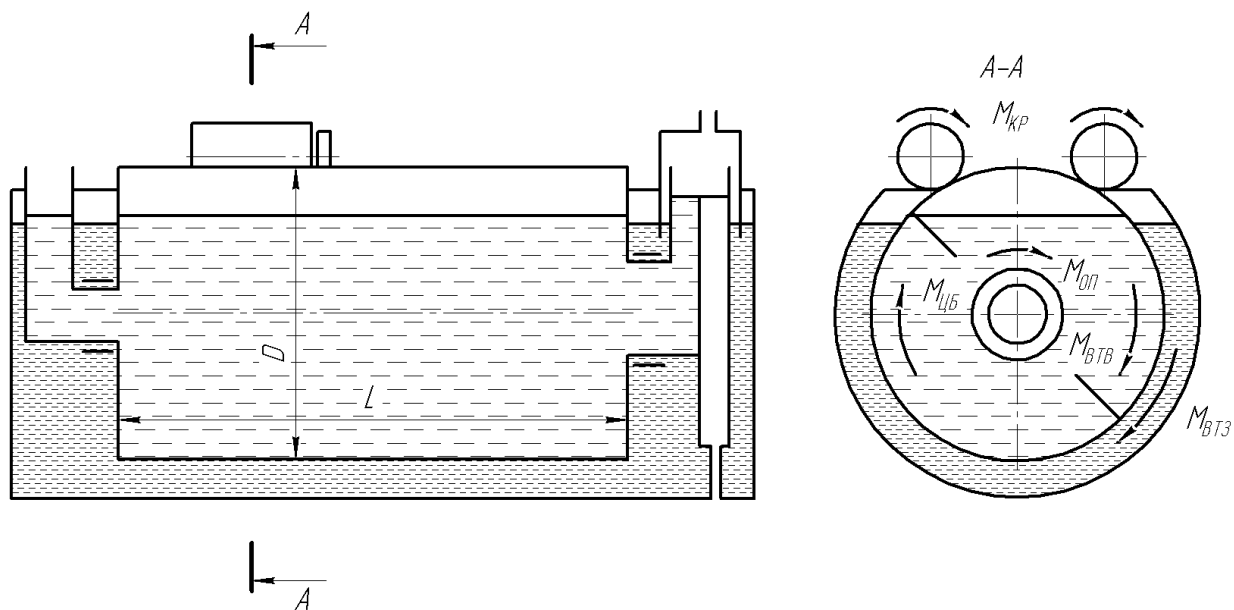
Підвищення енергетичної ефективності біогазових установок є одним із головних напрямків покращення технологічного процесу виробництва біогазу, а тому обґрунтування методів визначення питомої потужності та енергетичних параметрів експлуатації біогазових установок потребує постійного удосконалення.

Експлуатація біогазових установок показує, що сприяння контакту анаеробних бактерій із біомасою субстрату забезпечується за рахунок перемішування субстрату. Однак, при цьому інтенсивного перемішування слід уникати оскільки це може призвести до припинення анаеробного зброджування за рахунок порушення симбіозу ацетогенних та метаногенних бактерій. На практиці компроміс досягається за рахунок повільного обертання мішалок або їх роботи упродовж короткого часу [148]. У той же час, досвід експлуатації реакторів біогазових установок показав, що практично неможливо усунути розшарування біомаси в реакторі на мінеральний осад та органічну плаваючу біомасу, що вказує на недоліки в роботі систем перемішування біомаси [64, 70].

В результаті наукових досліджень нами біло розроблено ряд запатентованих технічних рішень, які дозволяють у значній мірі усунути розшарування біомаси за рахунок забезпечення перемішування шарів біомаси із використанням занурених обертових біогазових реакторів. Визначено рівень занурення обертового метантенка в рідину (відстань від його центра обертання до рівня рідини в яку він занурений), а також коефіцієнт його заповнення (відстань від центра обертового метантенка до рівня біомаси в ньому) від геометричних параметрів обертового метантенка та густини рідини, в яку занурений обертовий метантенк при забезпеченні його знаходження у

завислого стані [68]. Однак питання визначення енергоємності обертання реактора у в залежності від його технологічних параметрів потребує проведення додаткових досліджень.

На рис. 3.1 приведена принципова схема обертового реактора для зброджування біомаси.



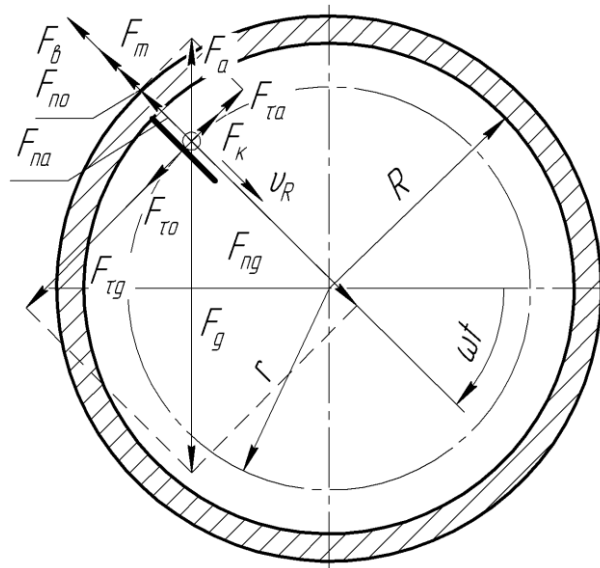
D – внутрішній діаметр реактора, м; L – робоча довжина реактора, м;
 $M_{кр}$ – крутний момент для забезпечення обертання реактора, Н·м; $M_{оп}$ – момент опору підшипникових вузлів, Н·м; $M_{втз}$ – момент в'язкого тертя зовнішньої поверхні реактора об рідину, в яку занурений реактор, Н·м; $M_{втв}$ – момент в'язкого тертя внутрішньої поверхні реактора об рідку біомасу, яка знаходиться в реакторі, Н·м; $M_{цб}$ – момент, необхідний для забезпечення циркуляції біомаси в реакторі, Н м.

Рис. 3.1 – Схема обертового реактора

Для недопущення розшарування біомаси та забезпечення її перемішування шляхом підняття мінеральної складової біомаси, яка накопичується в нижній частині метантенка та занурення органічної складової біомаси, яка накопичується в верхній частині метантенка, необхідно мати значення переміщення та відносної швидкості мінеральних та органічних

частинок складових біомаси на перемішуючих лопатках обертового метантенка.

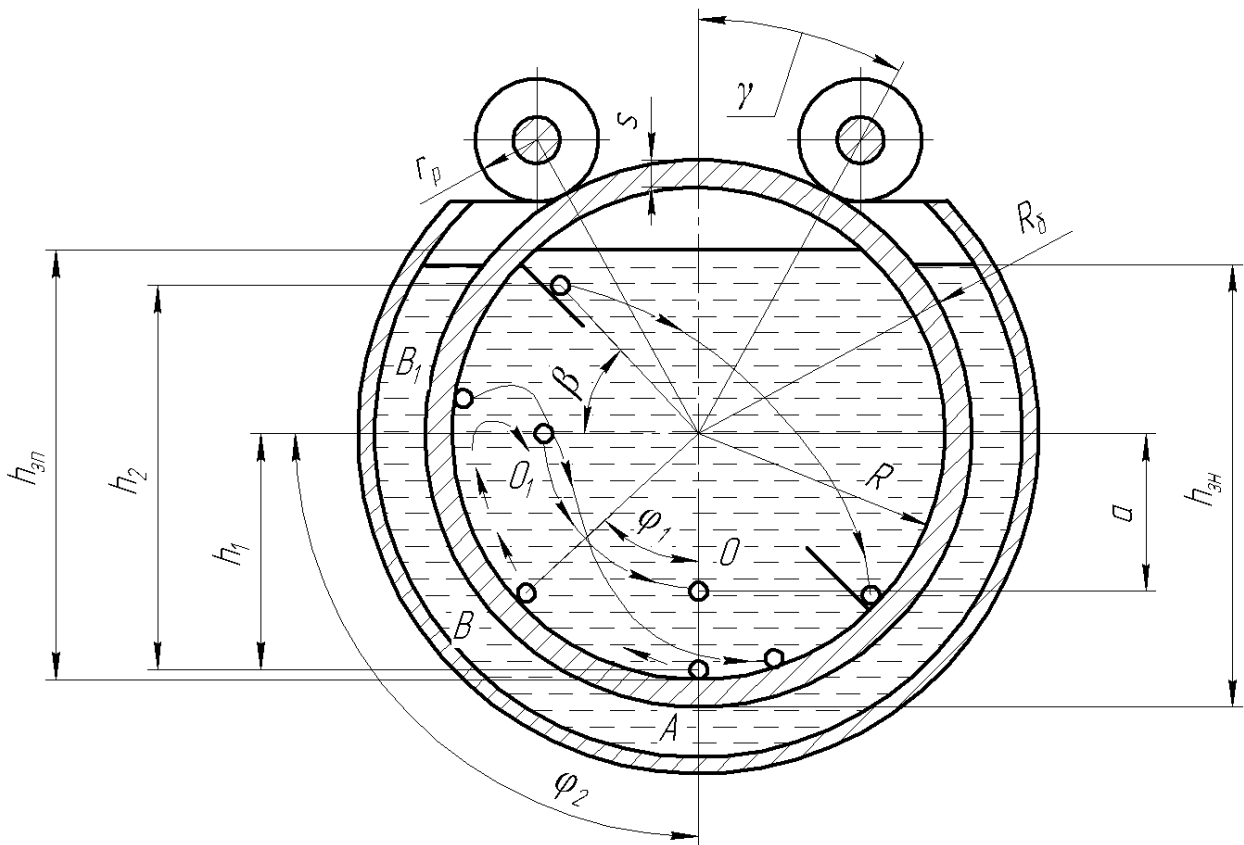
Виходячи із рис. 3.2, для визначення відносної швидкості та встановлення траєкторії руху мінеральних частинок біомаси, складено диференціальні рівняння руху мінеральних частинок субстрату у вигляді матеріальної точки по лопатках обертового метантенку.



F_g – сила тяжіння, Н; F_a – сила Архімеда, Н; F_m – сила тертя, Н; F_k – коріолісова сила інерції, Н; $F_ε$ – відцентрова сила інерції, Н; F_{no} – сила опору субстрату, яка протидіє руху частинки у радіальному напрямку, Н; F_{to} – сила, що притискує частинку до лопатки завдяки опору субстрату, Н; r – поточний радіус положення частинки субстрату, м; v_R – відносна швидкість органічної частинки під час руху по лопатці, м/с; R – внутрішній радіус метантенка, м; ωt – кут повороту метантенка, рад.

Рис. 3.2 – Схема дії сил на мінеральну частинку субстрату, що взаємодіє із лопаткою всередині обертового метантенка

Тоді рівняння руху мінеральної частинки по лопатці всередині метантенка має вигляд:



h_1 – висота піднімання біомаси під дією сил тертя, м; h_2 – висота підіймання біомаси лопатками, м; h_{zn} – висота заповнення реактора біомасою, м; h_{3n} – глибина занурення реактора, м; s – товщина стінки реактора, м; R – внутрішній радіус біореактора, м; R_B – зовнішній радіус біореактора, м; r_r – радіус ролика, м; a – відстань від осі реактора до частинки біомаси після однієї циркуляції, м; γ – кут установлення привідних роликів, град; ϕ_1 – теоретичний кут піднімання частинки біомаси, град; ϕ_2 – дійсний кут піднімання частинки біомаси, град; β – кут тертя між біомасою та матеріалом біореактора, град.

Рис. 3.14 – Схема до визначення затрат енергії на циркуляцію біомаси

де $N_{цб}$ – потужність, що витрачається на перемішування біомаси, Вт; G_B – вага біомаси, що знаходиться в реакторі, Н; h_1 – висота підіймання біомаси під дією сил тертя, м; h_2 – висота підіймання біомаси лопатками, м; k – коефіцієнт, що характеризує ступінь впливу лопаток на перемішування біомаси

в обертовому реакторі; z_1 та z_2 - кількість циркуляцій біомаси за один оберт біореактора відповідно силами тертя та лопатками; ω - кутова швидкість обертання реактора, с^{-1} .

Згідно із схемою на рис. 3.14. можна записати, що висота піднімання біомаси лопатками складе, м:

$$h_2 = R + R \sin \beta = R(1 + \sin \beta), \quad (3.64)$$

де R – внутрішній радіус біореактора реактора, м; β – кут тертя між біомасою та матеріалом біореактора реактора, град.

Рух частинки біомаси під дією сил тертя набагато складніший. Якщо розглядати ізольовану частинку, що знаходиться на стінці біореактора в точці A , то при обертанні реактора вона б піднялась в точку B , що визначається кутом тертя φ_1 . Але під дією лопатей та взаємодії з іншими частинками біомаси, дійсний кут підіймання φ_2 буде більшим, після чого частинки почнуть зісковзувати вниз, тому можемо прийняти, що $h_1 \approx R$.

Кількість циркуляцій біомаси в результаті одного оберту реактора (приймавши умовно час опускання частинок біомаси рівним часу їх піднімання):

$$z_1 = \frac{180}{\varphi_2}, \quad (3.65)$$

де φ_2 – дійсний кут піднімання елементарної частинки біомаси в результаті взаємодії з іншими частинками біомаси, град.

Час підіймання біомаси лопатями, с:

$$t_1 = \frac{\pi(90 + \beta)}{180\omega}, \quad (3.66)$$

де ω - кутова швидкість обертання реактора, с^{-1} ; β – кут тертя між біомасою та матеріалом біореактора, град.

Час падіння частинок біомаси із висоти h_2 можна встановити виходячи із формули Стокса [95], с:

$$t_2 = \frac{h_2 \eta_B}{k_x (\rho'_B - \rho_B) g r_{cp}^2}, \quad (3.67)$$

де h_2 - висота підймання біомаси лопатками, м; η_B – динамічна в'язкість біомаси в реакторі, Па·с; ρ'_B - щільність частинки мінерального компонента біомаси, $\text{кг}/\text{м}^3$; ρ_B - щільність біомаси, $\text{кг}/\text{м}^3$; r_{cp} - еквівалентний діаметр частинки біомаси, м; k_x – коефіцієнт, що враховує форму частинки біомаси.

Число циклів біомаси, що підіймається лопатями:

$$z_2 = \frac{360}{\omega(t_1 + t_2)}, \quad (3.68)$$

де t_1 - час підймання біомаси лопатями, с; t_2 - час падіння частинок біомаси, с; ω - кутова швидкість обертання реактора, с^{-1} .

Після відповідних перетворень на основі рівнянь (3.63-3.68) та з урахуванням градусної міри кутів при переході до радіан, отримаємо загальне рівняння, яке дозволяє визначити потужність, що витрачається на перемішування біомаси, Вт:

$$N_{цб} = \pi R^3 L \rho_B g k_3 k_{см} \left(\frac{(1-k)\omega}{2\varphi_2} + \frac{k(1+\sin\beta)}{\frac{0,5\pi + \beta}{\omega} + \frac{R(1+\sin\beta)\eta_B}{k_x(\rho'_B - \rho_B)gr_{cp}^2}} \right), \quad (3.69)$$

де $N_{цБ}$ - потужність, що витрачається на перемішування біомаси, Вт; $k_{см}$ - коефіцієнт вмісту в біомасі сухої маси; k - коефіцієнт, що характеризує ступінь впливу лопаток на перемішування біомаси в обертовому реакторі; φ_2 - дійсний кут піднімання елементарної частинки біомаси в результаті взаємодії з іншими частинками біомаси, рад; β - кут тертя між біомасою та матеріалом біореактора, рад; η_B - динамічна в'язкість біомаси в реакторі, Па·с; r_{cp} - еквівалентний діаметр частинки біомаси, м; g - прискорення вільного падіння, м/с²; k_x - коефіцієнт, що враховує форму частинки біомаси.

Загальновідомо, що сила в'язкого тертя для випадку переміщення тіла в рідині становить [118]:

$$F = \eta \frac{dv}{dh} S, \quad (3.70)$$

де F - сила в'язкого тертя, Н; η - динамічна в'язкість рідини, Па·с; $\frac{dv}{dh}$ - градієнт швидкості по глибині рідини, с⁻¹; S - площа контакту з рідиною, м².

Для випадку обертання реактора зовнішнім радіусом R_B та довжиною L з кутовою швидкістю ω в рідині, а також врахувавши, що:

$$S = \frac{\pi L R_B (360 - \alpha)}{180}, \quad (3.71)$$

де S - площа контакту з рідиною, м²; α - кут занурення біореактора, град.

І враховуючи, що:

$$\frac{dv}{dh} = \frac{d(\omega R_B)}{dR_B} = R_B \frac{d\omega}{dR_B}, \quad (3.72)$$

де $\frac{dv}{dh}$ – градієнт швидкості за глибиною рідини, с^{-1} ,

одержимо:

$$F_{BT} = \frac{M_{BT}}{R_B} = \frac{\pi L \eta R_B^2 (360 - \alpha)}{180} \cdot \frac{d\omega}{dR_B}, \quad (3.73)$$

де F_{BT} – сила в'язкого тертя, Н,

або

$$M_{BT} = \frac{\pi L \eta R_B^3 (360 - \alpha)}{180} \frac{d\omega}{dR_B}, \quad (3.74)$$

де M_{BT} – момент на подолання сили в'язкого тертя, Н·м.

Розділивши змінні в даному рівнянні та провівши його інтегрування в межах зміни радіусу (від радіуса реактора R_B до внутрішнього радіуса R_3 заповненого рідиною корпуса) та умов переходу від стану спокою до обертання з кутовою швидкістю ω , одержимо значення потужності для подолання моменту сил в'язкого тертя для зовнішньої циліндричної поверхні реактора:

$$N_{BT3} = \frac{(360 - \alpha) \pi L \eta \omega^2 R_B^2 R_3^2}{90 (R_3^2 - R_B^2)}, \quad (3.75)$$

де N_{BT3} – потужність, що витрачається на подолання сил в'язкого тертя,

Вт; R_3 – внутрішній радіус зовнішнього заповненого рідиною корпуса, м.

Або при переході до радіан:

$$N_{BT3} = \frac{2L\eta\omega^2 R_B^2 R_3^2 (2\pi - \alpha)}{R_3^2 - R_B^2}. \quad (3.76)$$

Коефіцієнт заповнення біореактора біомасою можна представити у вигляді:

$$k_3 = \frac{V_B}{V} = 1 - \frac{\frac{\pi\alpha_1}{180} - \sin\alpha_1}{2\pi}, \quad (3.77)$$

де V – об'єм біореактора, м³; V_B – об'єм біомаси в реакторі, м³; α_1 – кут заповнення біореактора, град.

Або:

$$k_3 = \frac{\pi\left(2 - \frac{\alpha_1}{180}\right) - \sin\alpha_1}{2\pi}. \quad (3.78)$$

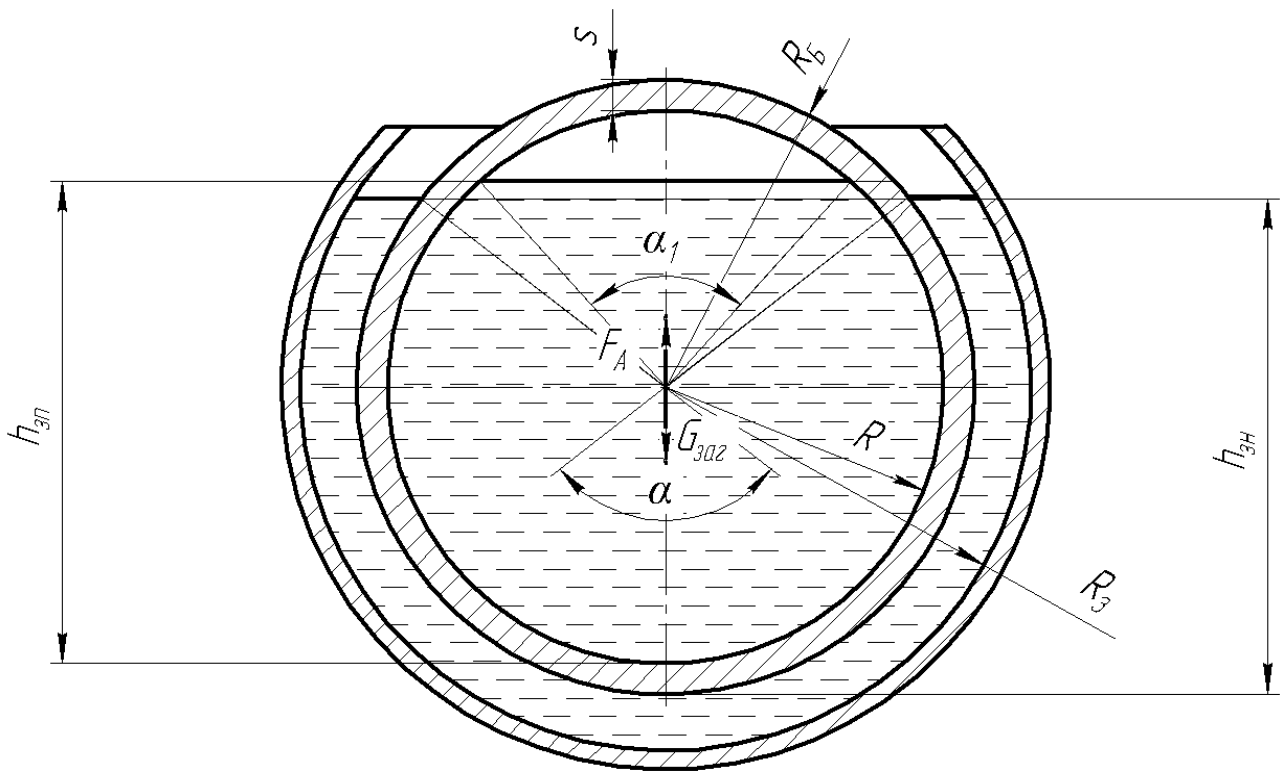
Згідно із схемою на рис 3.15, кут заповнення в градусах або радіанах можна виразити, як:

$$\alpha_1 = 2 \arccos\left(\frac{h_{zn} - R}{R}\right). \quad (3.79)$$

Тоді формула (3.78) із врахуванням радіан набуде вигляду:

$$\begin{aligned} k_3 &= \frac{\pi\left(2 - \frac{2 \arccos\left(\frac{(h_{zn} - R)}{R}\right)}{\pi}\right) - \sin\left(2 \arccos\left(\frac{(h_{zn} - R)}{R}\right)\right)}{2\pi} = \\ &= 1 - \frac{\arccos\left(\frac{(h_{zn} - R)}{R}\right)}{\pi} - \frac{\sin\left(2 \arccos\left(\frac{(h_{zn} - R)}{R}\right)\right)}{2\pi}, \end{aligned} \quad (3.80)$$

де h_{zn} – висота заповнення реактора біомасою, м.



$h_{3П}$ – висота заповнення реактора біомасою, м; $h_{3Н}$ – глибина занурення реактора, м; s – товщина стінки реактора, м; R – внутрішній радіус біореактора, м; R_B – зовнішній радіус біореактора, м; R_3 – внутрішній радіус зовнішнього, заповненого рідиною корпуса, м; α – кут занурення біореактора, град; α_1 – кут заповнення біореактора, град; F_A – сила (Архімеда) виштовхування біореактора, Н; $G_{3аг}$ – вага реактора, Н

Рис. 3.15 – Схема до визначення рівня занурення обертового метантенка

Момент опору підшипникових вузлів буде залежати від занурення реактора в рідину. Без занурення момент опору підшипникових вузлів максимальний. По мірі занурення він буде зменшуватися, оскільки сила Архімеда буде компенсувати вагу реактора. При подальшому зануренні момент опору підшипникових вузлів знову буде збільшуватися через перекомпенсацію ваги реактора силою Архімеда.

Відповідно до закону Архімеда [118] сила виштовхування біореактора із рідини становитиме:

$$F_A = V_3 \rho g = R_B^2 L \rho g \left(\pi - \frac{1}{2} \left(\frac{\pi \alpha}{180} - \sin \alpha \right) \right), \quad (3.81)$$

де F_A - сила (Архімеда) виштовхування біореактора, Н; V_3 - об'єм занурення біореактора, м³; α - кут занурення біореактора, град; R_B - зовнішній радіус біореактора, м; ρ - щільність рідини, в яку занурено біореактор, кг/м³.

Або:

$$F_A = R_B^2 L \rho g \left(\pi \left(1 - \frac{\alpha}{360} \right) + \frac{1}{2} \sin \alpha \right). \quad (3.82)$$

Вага біореактора:

$$G_{заг} = G_B + G_K + G_\Gamma, \quad (3.83)$$

де $G_{заг}$ - вага реактора, Н; G_B - вага біомаси, що знаходиться в реакторі, Н; G_K - вага конструкції біореактора, Н; G_Γ - вага біогазу, що знаходиться в реакторі, Н.

Вагу біомаси можна виразити формулою:

$$G_B = \pi R^2 L \rho_B g k_3, \quad (3.84)$$

де G_B - вага біомаси, що знаходиться в реакторі, Н.

Вагу конструкції біореактора можна обчислити за формулою:

$$G_K = k_k \rho_m \pi g \left((R_B^2 - R^2) L + 2R_B^2 S \right); \quad (3.85)$$

$N_{\text{дв}}$, що споживається приводним двигуном дозволили, за допомогою регресивного аналізу результатів, отримати коефіцієнти відповідної емпіричної залежності (з рівнем довірчої імовірності (коефіцієнтом детермінації) – $R^2 = 0,9664$):

$$N_{\text{дв}} = 2179,2k_3^3 - 5538,5k_3^2 + 4649,5k_3 - 1278,1, \quad (3.93)$$

де $N_{\text{дв}}$ – середня потужність двигуна на обертання метантенка, встановлена в результаті практичних досліджень, Вт; k_3 – коефіцієнт заповнення метантенка субстратом (біомасою).



Рис. 3.20 – Біогазовий реактор БОР-0,4 (зовнішній корпус знято)

Визначенні коефіцієнти регресії рівняння (3.93) дозволяють отримати графічну залежність (рис. 3.21).

Аналіз графіка (рис. 3.21) на екстремуми дозволяє зробити висновок, що мінімальні енерговитрати $N_{\text{дв}} = 8,4$ Вт забезпечуються із коефіцієнтом

заповнення метантенку біомасою $k_3 = 0,93$.

Також було проведено дослідження впливу коефіцієнта заповнення на глибину занурення, в зовнішньому корпусі, обертового метантенку. З практичних міркування глибину занурення метантенка зручно виразити через коефіцієнт занурення k_{zn} :

$$k_{zn} = \frac{h_{zn}}{D_B}, \quad (3.94)$$

де k_{zn} - коефіцієнт занурення реактора; h_{zn} - глибина занурення реактора, м; D_B – зовнішній радіус біореактора, м.

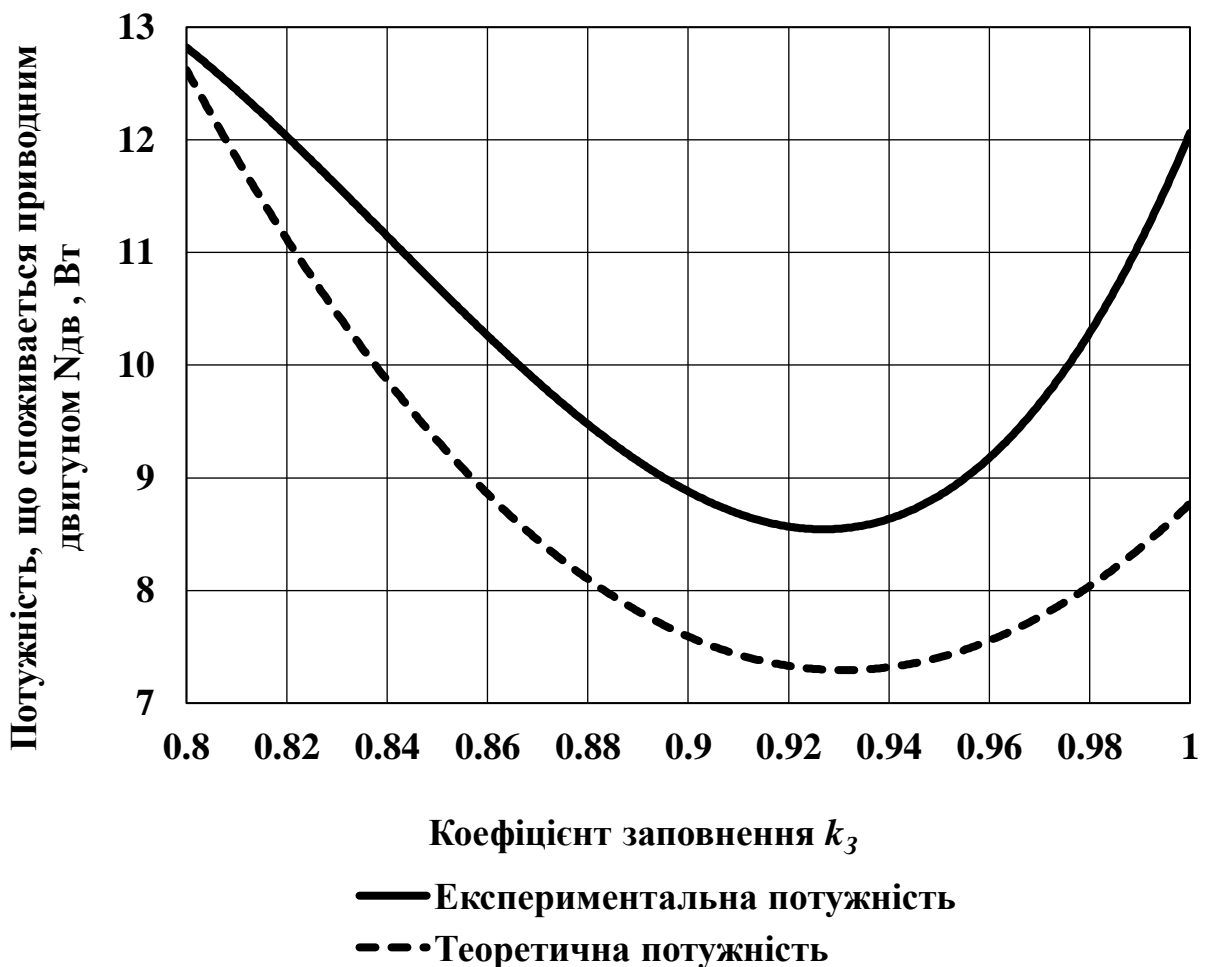


Рис. 3.21 – Дослідна та теоретична залежності потужності електродвигуна $N_{дв}$, для забезпечення обертання біореактора від коефіцієнту заповнення k_3 (внутрішній радіус $R = 0,2$ м, робоча довжина $L = 0,6$ м, кутова швидкість $\omega = 0,11$ рад/с) при коефіцієнті занурення $k_{zn} = 1$

Проведені дослідження впливу коефіцієнта заповнення на коефіцієнт занурення дозволили отримати графічну залежність (рис. 3.22).

Аналіз графіка (рис. 3.22) дозволяє зробити висновок про те, що при значеннях коефіцієнта заповнення $k_3 < k_{3opt} = 0,93$ умова плавання забезпечується, проте нерационально використовується місткість метантенка, що призводить до підвищення питомих енерговитрат. А при $k_3 > k_{3opt} = 0,93$ умова плавання не забезпечується, що призводить до різкого збільшення витрат енергії в підшипниках реактора.

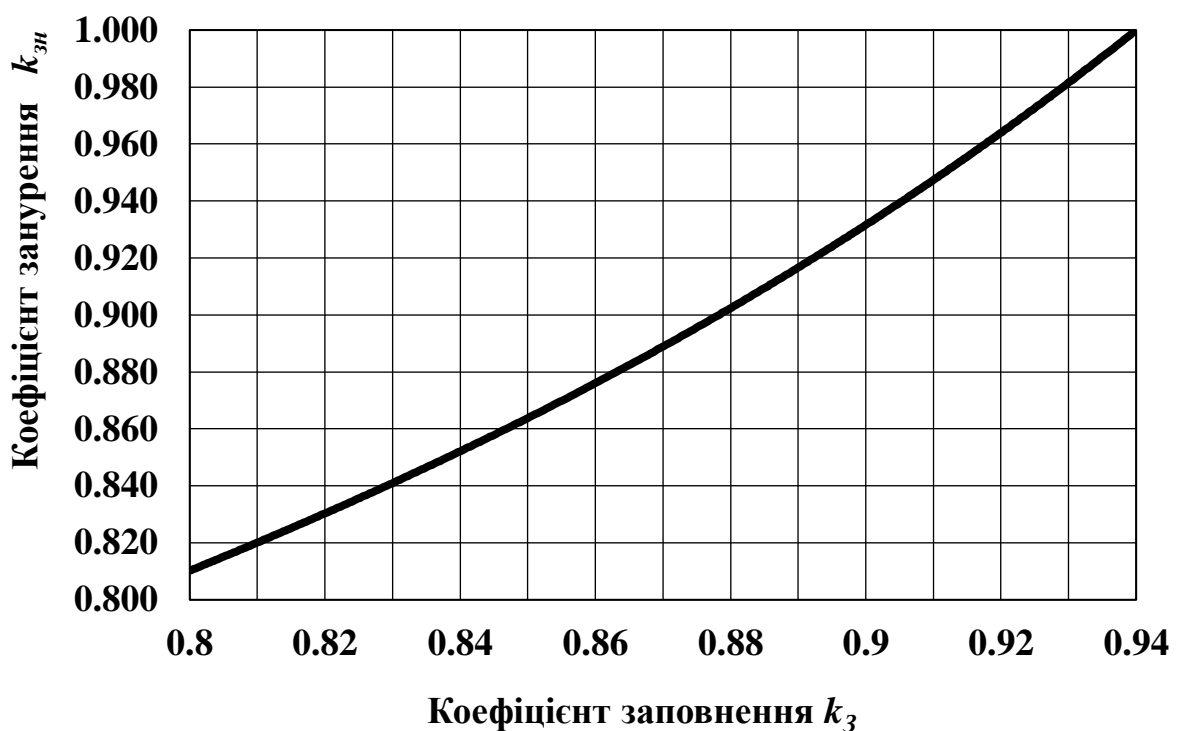


Рис. 3.22 – Дослідна залежність коефіцієнта занурення $k_{зн}$ від коефіцієнта заповнення k_3 , при яких забезпечується плавання дослідного реактора (внутрішній радіус $R = 0,2$ м, робоча довжина $L = 0,6$ м, кутова швидкість $\omega = 0,11$ рад/с)

Також, проведено дослідження впливу коефіцієнтів заповнення k_3 та занурення $k_{зн}$ на питому потужність N_{II} перемішування біомаси в реакторі, які дозволили, за допомогою регресивного аналізу результатів, отримати коефіцієнти відповідної емпіричної залежності:

$$N_{II} = 806,5312 - 1588,2848k_3 + 313,9577k_{3H} + 971,9074k_3^2 - 579,0525k_3k_{3H} + 114,5044k_{3H}^2, \quad (3.95)$$

де n_{II} – питома потужність перемішування біомаси в метантенку, Вт/м³; k_3 – коефіцієнт заповнення метантенка субстратом (біомасою); k_{3H} – коефіцієнт занурення метантенка.

Рівняння (3.95) у графічному вигляді приведено на рис. 3.23. Аналіз графіка дозволяє зробити висновок про те, що при значеннях коефіцієнта заповнення $k_3 = k_{3opt} = 0,93$ забезпечуються мінімальні питомі енерговитрати на перемішування субстрату (обертання метантенку). При цьому, спостерігається повне занурення метантенку у рідину, тобто коефіцієнт занурення $k_{3H} = 1$.

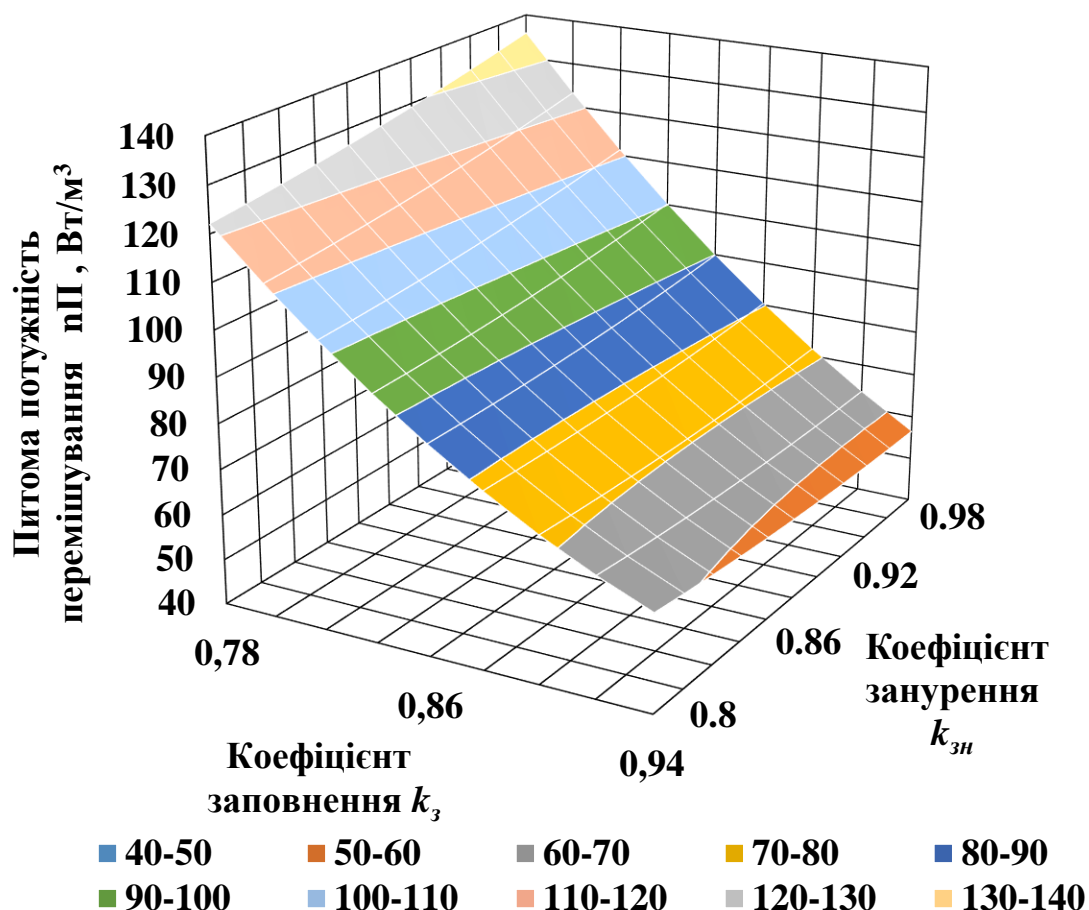


Рис. 3.23 – Залежність питомої потужності n_{II} перемішування біомаси в реакторі від коефіцієнтів заповнення k_3 та занурення k_{3H} (внутрішній радіус $R = 0,2$ м, робоча довжина $L = 0,6$ м, кутова швидкість $\omega = 0,11$ рад/с)

Аналіз отриманих залежностей (рис. 3.21) на екстремуми дозволяє зробити висновок, що мінімальні енерговитрати $N_{об} = 8,4$ Вт забезпечуються із коефіцієнтом заповнення метантенку біомасою $k_3 = 0,93$, який відповідає проведеним модельним експериментам та теоретичним дослідженням.

Розбіжність між графіками потужності, які отримані теоретичним та експериментальним шляхом, пояснюється впливом неоднорідності біомаси, що виливається в додаткові пульсації споживаної потужності при обертанні метантенка та збільшує середнє значення потужності на обертання метантенка.

Виконавши відповідні розрахунки згідно із рівняннями (3.88), (3.90), (3.93), (3.95) та із врахуванням умов міцності [28] і економічності [161] встановлено раціональні параметри ряду метантенків із мінімальними питомими енерговитратами (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Раціональні конструкційні параметри обертових біореакторів

Внутрішній радіус, R , м	Товщина стінок (рекомендована) s , м	Об'ємна маса матеріалу конструкції (максимальна) ρ_m , кг/м ³	Робоча довжина L , м	Коефіцієнт заповнення біомасою k_3	Об'єм завантаженої біомаси (максимальний) V_B , м ³	Потужність на обертання $N_{кр}$, Вт	Питома потужність N_L , Вт/м ³
0,5	0,003	3000	4	0,941	2,96	299,01	101,14
1	0,005	3000	4	0,941	11,82	1197,02	101,23
1,5	0,005	4000	4	0,941	26,61	2661,06	100,02
2	0,005	4500	6	0,945	71,25	7114,66	99,85
2,15	0,005	4830	7,5	0,946	103,03	10408,95	101,02

Використання параметрів наведених в табл. 3.1. дозволяє проектувати обертові біореактори із мінімальними питомими енерговитратами на перемішування біомаси.

Висновки по розділу 3

1. Отриманні розв'язки диференційних рівнянь руху для мінеральних та органічних частинок субстрату дозволяють визначити їх відносну швидкість та відстань, що проходить частинки по лопатках обертових біогазових реакторів.

2. Встановлено, що за середньої густини субстрату від 1025 до 1050 кг/м³, мінеральної частини субстрату від 1150 до 1250 кг/м³ та органічної частини субстрату від 800 до 900 кг/м³ раціональні значення кутової швидкості обертового метантенка становлять від 0,035 до 0,08 с⁻¹. За цих значень кутової швидкості буде забезпечуватися рівномірне перемішування та взаємопроникнення складових субстрату.

3. Отримані теоретичні залежності дозволяють визначити глибину занурення обертового біогазового реактора в рідину та коефіцієнт заповнення реактора біомасою, які забезпечують мінімальні енергетичні витрати на обертання біореактора.

4. Встановлено, що коефіцієнт заповнення обертового реактора збільшується по мірі збільшення внутрішнього радіуса реактора від 0,5 до 2,15 м на величину від 0,89 до 0,946. Причому, мінімальні енерговитрати на обертання метантенка, у вказаному діапазоні значень коефіцієнта заповнення реактора, будуть при радіусі метантенка 2,15 м.

5. Встановлено, що коефіцієнт заповнення обертового реактора збільшується від 0,91 при довжині 1 м, до величини 0,946 при довжині 8 м. При подальшому збільшенні довжини метантенка коефіцієнт заповнення не збільшується (в межах раціонального діапазону радіусів метантенку від 0,5 до 2,15 м), що пояснюється зменшенням впливу геометричних розмірів метантенка при збільшенні його об'єму, який заповнено біомасою.

6. Аналіз отриманих експериментальних залежностей дозволяє зробити висновок, що мінімальні енерговитрати на обертання, а саме 8,4 Вт забезпечуються із коефіцієнтом заповнення метантенка біомасою 0,93. Розбіжність між значеннями потужності, які отримані теоретичним та

експериментальним шляхом, пояснюється впливом неоднорідності біомаси, що виливається в додаткові пульсації споживаної потужності при обертанні метантенка та збільшення середнього значення потужності на його обертання.

4 МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА І ВИКОРИСТАННЯ ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ

4.1 Розробка математичної моделі згоряння твердого біопалива у котлах з верхнім горінням

На сьогодні в Україні виробляються та реалізується досить широкий спектр теплогенераторів, що працюють на твердому паливі і можуть бути агреговані із різноманітним теплотехнічним обладнанням для забезпечення потреб відповідних технологічних процесів [38, 90, 128]. Проте, при використанні в якості палива рослинної біомаси виникають труднощі, пов'язані із неоднорідністю біомаси, як палива, відносно високою вологістю, малим питомим енерговмістом, низькою температурою плавлення золи [9, 20, 44, 85].

Для підвищення ефективності згоряння рослинної біомаси у зоні горіння необхідно створити сприятливі умови для повного згоряння палива. Забезпечення необхідних умов можна досягнути, розділивши зону згоряння палива на дві робочі зони: першу - утворення генераторного газу та другу - горіння генераторного газу [136].

Проаналізуємо процес отримання генераторного газу в першій зоні котла. У дослідженні [49] вказано, що газоутворенням є процес перетворення горючої частини палива в газ при взаємодії вуглецю палива з киснем в зоні високих температур. Залежно від використаного способу підведення повітря в зону утворення генераторного газу можна отримати наступні генераторні гази: повітряний, водяний, змішаний і парокисневий [103].

В першій зоні, через взаємодію вуглецю з сухим повітрям, що подається нижньою секцією розпилувача повітря [50], отримується повітряний газ, що складається з оксиду вуглецю і азоту (теплота згоряння за нормальних умов становить 4436 кДж/м³). У випадку подачі в котел повітря, що містить водяну пару утворюється змішаний газ, що містить наступні гази: H_2 , CO , CO_2 , CH_4 , N_2 .

котла, а також кількість його завантажень на добу (табл. 4.4).

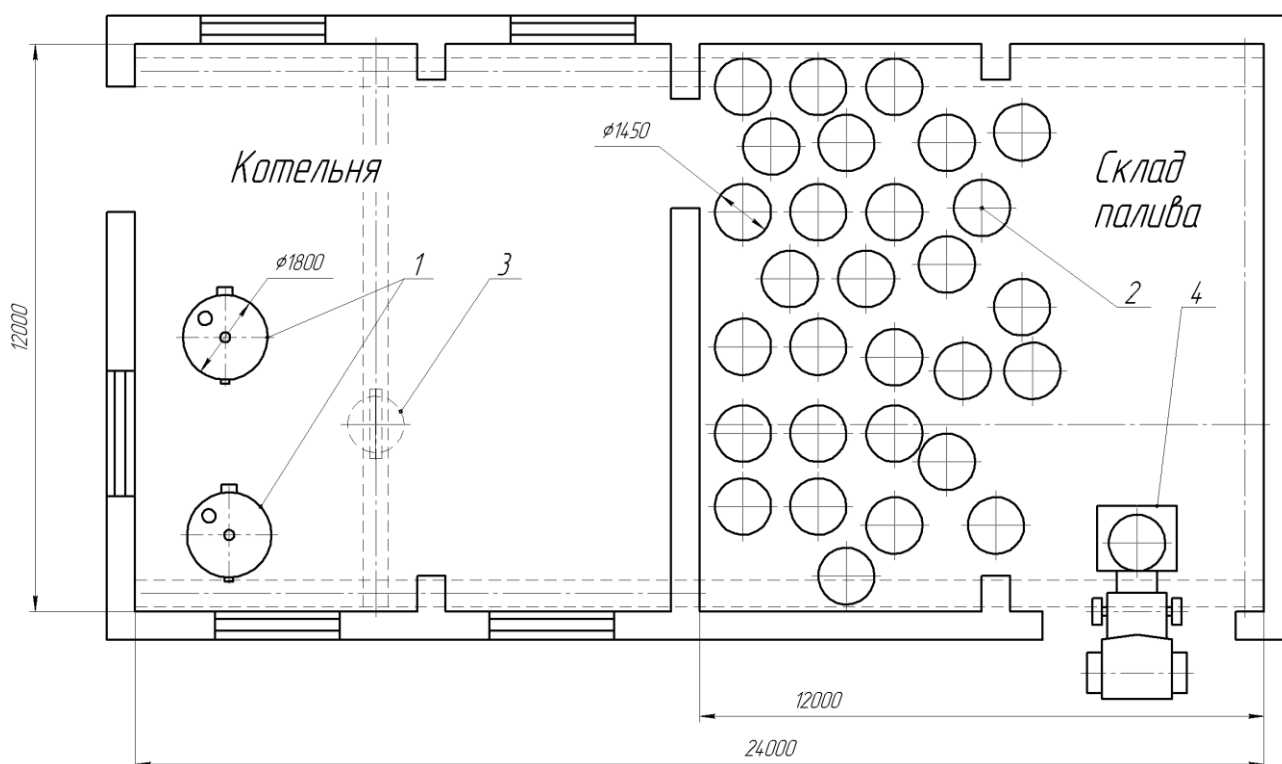
Таблиця 4.4 – Основні розрахункові параметри котлів для спалювання біомаси (солома зернових)

Теоретична теплова потужність P_k , кВт	Витрати біомаси за добу G_b , кг	Загальні витрати повітря V_{zag} , м ³ /с	Кількість завантажень n_{zav}	Діаметр топки D_{TK} , м	Висота топки H_{TK} , м	Висота загальна H_k , м
10	66,7	0,00369	2	0,48	1,32	1,68
20	133,3	0,00738	2	0,72	1,17	1,58
30	200,0	0,01108	2	0,96	0,99	1,59
40	266,7	0,01477	3	0,96	0,88	1,66
50	333,3	0,01846	3	0,96	1,10	2,06
60	400,0	0,02215	3	0,96	1,32	2,18
70	466,6	0,02584	3	0,96	1,53	2,55
80	533,3	0,02954	3	1,2	1,57	1,7
90	600,0	0,03323	3	1,2	1,77	2,81
100	666,6	0,03692	3	1,2	1,96	3,12
110	733,3	0,04061	3	1,2	2,16	3,44
120	800,0	0,04430	3	1,2	2,36	3,75
130	866,6	0,04800	3	1,44	1,77	3,01
140	933,3	0,05169	3	1,44	1,91	3,27
150	999,9	0,05538	4	1,44	1,53	2,99
160	1066,6	0,05907	4	1,44	1,64	3,19
170	1133,3	0,06276	4	1,44	1,74	3,39
180	1199,9	0,06645	4	1,44	1,84	3,59
190	1266,6	0,07015	4	1,44	1,94	3,78
200	1333,3	0,07384	4	1,44	2,05	3,98

Таким чином, витрати біомаси G_b в котлах з верхнім горінням змінюються в межах від 66,7 ($P_k = 10$ кВт) до 1333,3 кг/добу ($P_k = 200$ кВт), при кількості завантажень від 2 до 4-х на добу. У цьому випадку висота котлів

змінюється в межах від 1,58 ($P_k = 20$ кВт) до 3,98 м ($P_k = 200$ кВт), а діаметр топки від 0,48 м ($P_k = 10$ кВт) до 1,44 м (P_k від 130 до 200 кВт).

В котлах потужністю P_k до 70 кВт використовується січка соломи, що завантажується через бокові дверцята. Котли більшої потужності ($P_k = 80 \dots 200$ кВт) завантажуються рулонами соломи через верхню частину котла, яка виконана знімною. Тому, для таких котлів необхідно передбачити використання вантажопідйомного обладнання для механізації завантаження рулонів (рис. 4.14).



1 – котел ($P_k = 200$ кВт), 2 – рулон соломи ($d_m=1,45$ м; $h_m=1,2$ м); 3 – кран-балка оснащена захватом для рулонів; 4 – транспортний засіб для переміщення рулонів соломи до складу палива

Рис. 4.14 – Схема котельні, що оснащена котлами КГВ-200 із верхнім горінням для спалювання соломи в рулонах

Висновки по розділу 4

1. На основі проведених досліджень та з урахуванням властивостей

сировини встановлено, що витрати повітря в котлі на 1кВт його потужності складають від $3,53 \cdot 10^{-4}$ до $3,69 \cdot 10^{-4}$ м³/с, а загальні годинні витрати повітря від 10,3 (при потужності котла 10 кВт) до 206,3 м³/год. (при потужності котла 200 кВт). При цьому відсоткове відношення витрат повітря на утворення генераторного газу із біомаси (подачу повітря нижньою секцією розсіювача котла) становить від 22,4 до 31,6%, а витрат повітря на спалювання газу (подачу повітря верхньою секцією розсіювача) від 77,6 до 68,4% від загальних витрат повітря.

2. Проведенні дослідження, щодо рівномірності розподілу повітря розподільником в область утворення газу дозволяють стверджувати, що витрати повітря на утворення генераторного газу, лежать в межах від 3 до 59,5 м³ на годину, причому менше значення забезпечує теплову потужність котла 10 кВт, а більше 200 кВт, опір розподільника повітря в область утворення генераторного газу є незначним і лежить в діапазоні від 0,9 (при потужності котла 10 кВт) до 37,4 Па (при потужності котла 130 кВт).

3. Максимальний розмір отворів розподільника має діапазон від 13 (при потужності котла 10 кВт) до 26 мм (при потужності котла від 130 до 200 кВт). Причому діаметр отворів для досягнення рівномірності подачі повітря в область утворення генераторного газу, збільшуються від початку розподільника до центру із кроком від 0,3 (при потужності котла 10, 40 та 50 кВт) до 0,7 (при потужності котла 130 кВт) мм, кількість пар отворів змінюється від 8 (при потужності котла 10 кВт) до 40 шт. (при потужності котла 200 кВт). Довжина трубчастої секції розподільника варіює в межах від 0,2 (при потужності котла 10 кВт) до 0,6 м (при потужності котла від 130 до 200 кВт), а діаметр від 0,03 (при потужності котла від 10 до 70 кВт) до 0,05 м (при потужності котла від 140 кВт до 200 кВт).

4. Проведенні дослідження, щодо повноти подачі повітря розподільником в область спалювання генераторного газу, дозволяють стверджувати, що витрати повітря на спалювання генераторного газу лежать в межах від 10,3 до 206,3 м³/год. Менше значення забезпечує теплову потужність

котла 10 кВт, а більше – 200 кВт, причому опір розподільника повітря в область спалювання генераторного газу є незначним і лежить в діапазоні від 0,06 (при потужності котла 10 кВт) до 2,87 Па (при потужності котла 130 кВт). Кількість отворів для подачі повітря в область спалювання лежить в межах від 40 (при потужності котла 10 кВт) до 800 шт. (при потужності котла 130 кВт).

5. Отриманні параметри котла з верхнім горінням забезпечують повне згорання генераторного газу, що дозволяє максимізувати вихід теплової енергії при експлуатації котлів, призначених для спалювання біомаси. В результаті проведених теоретичних досліджень, отримано залежності які дозволяють, задаючись необхідною тепловою потужністю, виконати розрахунок основних параметрів процесу газифікації біомаси рослинного походження та конструктивних елементів теплотехнічного обладнання з двома зонами горіння палива.

6. Мінімальних значень питомий вміст CO , а саме 216 мг/м^3 набуває при загальній подачі повітря в топку котла $0,0071 \text{ м}^3/\text{с}$, що на 4 % нижче ніж встановлено теоретично. При цьому котел КГВ-20 із верхнім горінням розвиває максимальну теплову потужність 16,6 кВт з ККД 82,8 %.

7. Встановлено, що витрати біомаси в котлах з верхнім горінням змінюються в межах від 66,7 (при потужності котла 10 кВт) до 1333,3 кг/добу (при потужності котла 200 кВт), при кількості завантажень від 2 до 4-х на добу. У цьому випадку висота котлів змінюється в межах від 1,58 (при потужності котла 20 кВт) до 3,98 м (при потужності котла 200 кВт), а діаметр топки від 0,48 м (при потужності котла 10 кВт) до 1,44 м (при потужності котла від 130 до 200 кВт).

8. Дослідження розробленого котла для спалювання рослинної біомаси підтвердили, що розділення камери згорання на дві робочі зони за рахунок удосконаленої конструкції розподільника повітря дозволяє збільшити площу горіння палива із збереженням стабільної подачі повітря в зону утворення генераторного газу. За рахунок цього, а також подачі додаткового повітря в камеру згорання котла, досягається підвищення віддачі тепла в порівнянні із

5 АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА І ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВА В АГРОЕКОСИСТЕМАХ

5.1 Економічна ефективність виробництва біогазу в обертових реакторах

Для виробництва біогазу, в умовах сільськогосподарських підприємств, необхідно використовувати біомасу тваринництва та птахівництва, а саме гній та послід.

Орієнтовно кількість енергії, що можна отримати із біогазу на основі біомаси тваринництва можна оцінити за наступними залежностями: для зерно-молочної спеціалізації:

$$Q_{зтг} = 4,517S - 0,120; \quad (5.1)$$

для зерно-свинарської:

$$Q_{зсг} = 3,508S - 0,165; \quad (5.2)$$

для зерно-птахівничої:

$$Q_{зпг} = 7,389S - 0,128; \quad (5.3)$$

де $Q_{зтг}$, $Q_{зсг}$, $Q_{зпг}$ – енергія при використанні біомаси тваринництва, свинарства та птахівництва, відповідно, ГДж; S – площа ріллі, га.

Витрати на виробництво біогазу можна представити, як:

$$B_B = B_{Bc} + B_{Bnp} - B_{B\partial p} \quad (5.4)$$

де B_B – річні експлуатаційні витрати при виробництві біогазу, грн.; B_{Bc} – вартість сировини, грн.; B_{Bnp} – вартість переробки сировини для отримання біогазу, грн.; $B_{B\partial p}$ – вартість добрив отриманих в результаті виробництва біогазу, грн.

Питомі витрати, на виробництво 1 м³ біогазу в сільськогосподарському виробництві, можна оцінити як:

$$\begin{cases} v_{BGr} = \frac{C_{\bar{b}mp} + C_{np} - k_{\partial} C_{\partial p}}{k_{\partial} k_{\bar{b}y}}; \\ v_{BGrm} = \frac{C_{\bar{b}mt} + C_{mt} - k_{\partial} C_{\partial m}}{k_{\partial} k_{\bar{b}y}}; \end{cases} \quad (5.5)$$

де $C_{\bar{b}mp}$, $C_{\bar{b}mt}$ – вартість біомаси, що використовується в субстратах, відповідно в рослинництві та тваринництві, грн/кг; C_{np} , C_{mt} – вартість переробки біомаси, відповідно в рослинництві та тваринництві, грн/кг; $C_{\partial p}$, $C_{\partial m}$ – вартість добрив отриманих в результаті переробки в біореакторі, грн/кг; k_{∂} – коефіцієнт виходу газу в біогазових установках, м³/кг; $k_{\bar{b}y}$ – коефіцієнт використання сировини в біогазових установках; k_{∂} – коефіцієнт виробництва добрив в біогазових установках.

Річний економічний ефект від використання обертового метантенка, запропонованої конструкції, можна встановити згідно із [33, 86, 108, 123, 145, 146] за залежністю:

$$E_B = (B_{B\bar{b}} + k_n C_{B\bar{b}}) - (B_{Bn} + k_n C_{Bin}); \quad (5.6)$$

де $B_{B\bar{b}}$, B_{Bn} – річні експлуатаційні витрати за базовим та запропонованим варіантами, відповідно, грн.; k_n – нормативний поправочний коефіцієнт; $C_{B\bar{b}}$, C_{Bin} – інвестиційні витрати за базовим та запропонованим варіантами, відповідно,

грн.

При оцінці вартості сировини для виробництва біогазу доцільним є використання трансферних цін [97]: внутрішньогосподарських, що враховують операційно-технологічні витрати на отримання сировини, внутрішньогосподарський норматив загальновиробничих витрат, нормативний відсоток прибутку; міжгосподарських, які включають операційно-технологічні витрати на отримання сировини, внутрішньогосподарський норматив загальновиробничих витрат, внутрішньогосподарський норматив адміністративних витрат і витрат на збут, нормативний відсоток прибутку.

Вартість переробки сировини для отримання біогазу, становитиме:

$$V_{Бпер} = V_{Бтор} + V_{Ба} + V_{Бен} + V_{Бзн} + V_{Бзв} + V_{Бзг}; \quad (5.7)$$

де V_B – річні експлуатаційні витрати при виробництві біогазу, грн.; $V_{Бтор}$ – витрати на технічне обслуговування і ремонт обладнання для виробництва біогазу, грн.; $V_{Ба}$ – витрати на амортизацію обладнання, грн.; $V_{Бен}$ – витрати на електроенергію, грн.; $V_{Бзн}$ – фонд заробітної плати персоналу, задіяному у виробництві біогазу, грн.; $V_{Бзв}$ – загальновиробничі витрат, грн.; $V_{Бзг}$ – загальногосподарські витрати, грн.

Витрати електроенергії можна встановити, орієнтуючись на технологічні етапи отримання біогазу:

$$V_{Бен} = \frac{c_e (Q_{пп} + Q_{аен} + Q_{анеп} + Q_{вб})}{3,6 \cdot 10^6} = c_e (E_{прм} + E_{прк} + E_{під} + E_{тп}); \quad (5.8)$$

де c_e – вартість електроенергії, грн/кВт год.; $Q_{пп}$ – витрати енергії на перекачування та розділення сировини під час проведення низькотемпературного етапу підготовки, Дж; $Q_{аен}$ – витрати енергії на перекачування та підігрівання сировини при проведенні аеробного етапу підготовки, Дж; $Q_{анеп}$ – витрати енергії на підігрів сировини, перекачування

сировини та інокулянту під час проведення аеробного етапу підготовки, Дж; $Q_{вб}$ – витрати енергії на перекачування, перемішування та підігрівання субстрату в процесі виробництва біогазу в обертовому реаторі, Дж; $E_{прм}$ – витрати електроенергії на перемішування субстрату, кВт год.; $E_{прк}$ – витрати електроенергії на перекачування субстрату, кВт год.; $E_{нід}$ – витрати електроенергії на підігрівання субстрату, кВт год.; E_{mn} – витрати електроенергії на інші технологічні потреби, кВт год.

Витрати на технічне обслуговування, ремонт, загальновиробничі та загальногосподарські витрати, можна виразити через відповідні коефіцієнти, а витрати на заробітну плату, за загальноприйнятими методиками [123, 161].

Враховуючи, що на підігрівання субстрату можна отримати енергію прямого спалювання біомаси рослинництва, а для перемішування та перекачування субстрату використати частку електроенергії виробленої в результаті використання біогазу річні витрати на виробництво біогазу V_B , складуть:

$$V_B = \frac{BE}{k_{вг} k_{бг}} (\Pi_{бм} - k_{д} \Pi_{д}) + (1 + k_{зв} + k_{зг}) (V_{Бтор} + V_{Ба} + V_{Ббр} + V_{Бзн}); \quad (5.9)$$

де BE – вихід біогазу, м³; $\Pi_{бм}$ – вартість біомаси, що використовується в субстратах, грн/кг; $\Pi_{д}$ – вартість добрив отриманих в результаті переробки в біореакторі, грн/кг; $V_{Бтор}$ – витрати на технічне обслуговування і ремонт обладнання для виробництва біогазу, грн.; $V_{Ба}$ – витрати на амортизацію обладнання, грн.; $V_{Ббр}$ – витрати на отримання енергії із біомаси рослинництва, грн.; $V_{Бзн}$ – заробітна плата персоналу, задіяному у виробництві біогазу, грн.; $k_{вг}$ – коефіцієнт виходу газу в біогазових установках, м³/кг; $k_{бг}$ – коефіцієнт використання сировини в біогазових установках; $k_{зв}$ – коефіцієнт загальновиробничих витрат; $k_{зг}$ – коефіцієнт загальногосподарських витрат; $k_{д}$ – коефіцієнт виробництва добрив в біогазових установках.

Кількість виробленої електроенергії можна оцінити за формулою:

$$V_{ел} = BE\eta_{cy} - k_{mn}V_B n_B n_{рiчн} \tau_{\partial} (N_{\Pi} + k_{npk} N_{npk}); \quad (5.10)$$

де $V_{ел}$ – кількість виробленої в біогазовій установці електроенергії, кВт/рік; BE – вихід біогазу, м³; η_{cy} – коефіцієнт корисної дії когенераційної установки; V_B - об'єм завантаження біомаси в біореактор, за один цикл роботи, м³; n_B – кількість біореакторів, шт.; $n_{рiчн}$ – середньорічна тривалість роботи біогазового обладнання, діб; τ_{∂} – середньодобова тривалість роботи біогазового обладнання, год.; N_{Π} – питома потужність перемішування субстрату, Вт/м³; N_{npk} – питома потужність перекачування субстрату, Вт/м³; k_{mn} – коефіцієнт додаткових технологічних потреб енергії для виробництва біогазу; k_{npk} – коефіцієнт кратності перекачування субстрату.

Орієнтовно кількісний вихід електроенергії, що можна отримати із біогазу на основі біомаси тваринництва (рис. 5.1) можна оцінити за залежностями:

для зерно-молочної спеціалізації:

$$V_{зтел} = 0,558S - 5,660; \quad (5.11)$$

для зерно-свинарської:

$$V_{зсел} = 0,488S + 0,798; \quad (5.12)$$

для зерно-птахівничої:

$$V_{зпел} = 1,064S - 6,246; \quad (5.13)$$

де $V_{зтел}$, $V_{зсел}$, $V_{зпел}$ – електроенергія отримана при використанні біомаси тваринництва, свинарства та птахівництва, відповідно, МВт год.; S – площа

ріллі, га.

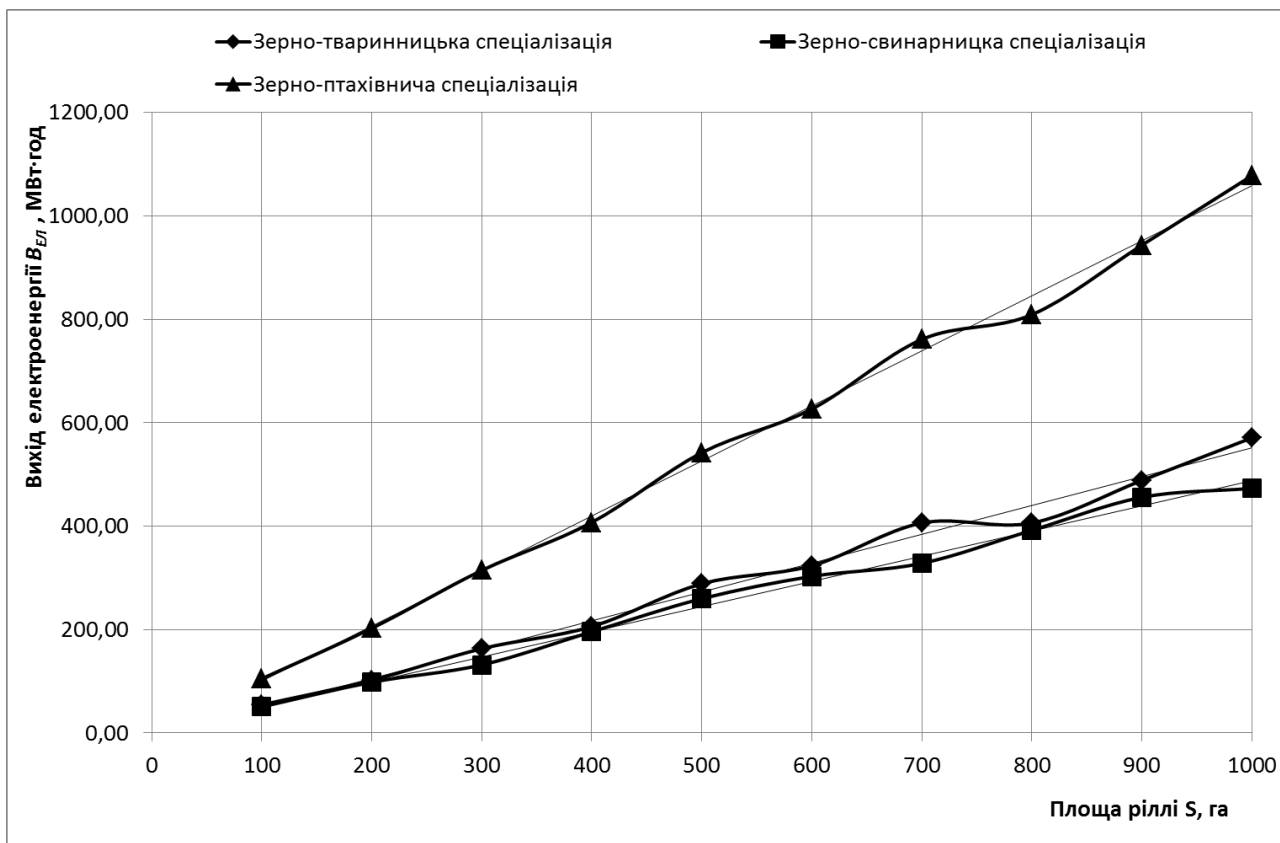


Рис. 5.1 – Залежність виходу електроенергії на основі біомаси тваринництва від площі ріллі модельних підприємств (урожайність зернових – 30 ц/га, шестипільна сівозміна)

Вартість обладнання можна встановити за формулою:

$$V_{\text{Бобл}} = V_{\text{мат}} + V_{\text{кв}} + V_{\text{зпобл}} + V_{\text{ов}}; \quad (5.14)$$

де $V_{\text{Бобл}}$ – вартість обладнання, що використовується для виробництва біогазу, грн.; $V_{\text{мат}}$ – вартість основних матеріалів (металів) із яких виготовлено обладнання, грн.; $V_{\text{кв}}$ – вартість комплектуючих виробів, грн.; $V_{\text{зпобл}}$ – фонд заробітної плати персоналу, що задіяний у виробництві обладнання, грн.; $V_{\text{ов}}$ – організаційні витрати, грн.

Вартість комплектуючих виробів можна встановити, як:

$$B_{кв} = B_{елоб} + B_{нм} + B_{пр} + B_{крп}; \quad (5.15)$$

де $B_{елоб}$ – вартість електрообладнання та когенераційного устаткування, грн.; $B_{нм}$ – вартість основних неметалевих елементів обладнання, грн.; $B_{пр}$ – вартість приладів та датчиків, грн.; $B_{крп}$ – вартість кріпильних матеріалів, грн.

Витрати на заробітну плату при виготовленні обладнання можна знайти за загальноприйнятими методиками [33, 86, 108], враховуючи при цьому умови праці.

В результаті проведених розрахунків встановлено, що питома вартість обладнання (відносно виробленої електроенергії) для виробництва біогазу, знижується із зростанням площі ріллі (рис. 5.2):
для зерно-молочної спеціалізації:

$$v_{зтобл} = -332,5 \ln S + 4379; \quad (5.16)$$

для зерно-свинарської:

$$v_{зсобл} = -137,3 \ln S + 2394; \quad (5.17)$$

для зерно-птахівничої:

$$v_{птобл} = -112,5 \ln S + 1983; \quad (5.18)$$

де $v_{зтобл}$, $v_{зсобл}$, $v_{птобл}$ – питома вартість обладнання для виробництва біогазу, при використанні біомаси тваринництва, свинарства та птахівництва, відповідно, грн./МВт год.; S – площа ріллі, га.

Знаючи річні витрати на виробництво біогазу B_B (грн) та кількість виробленої в біогазовій установці електроенергії $B_{ЕЛ}$ (кВт/рік) можна встановити собівартість виробництва біогазу (рис. 5.3):
для зерно-молочної спеціалізації:

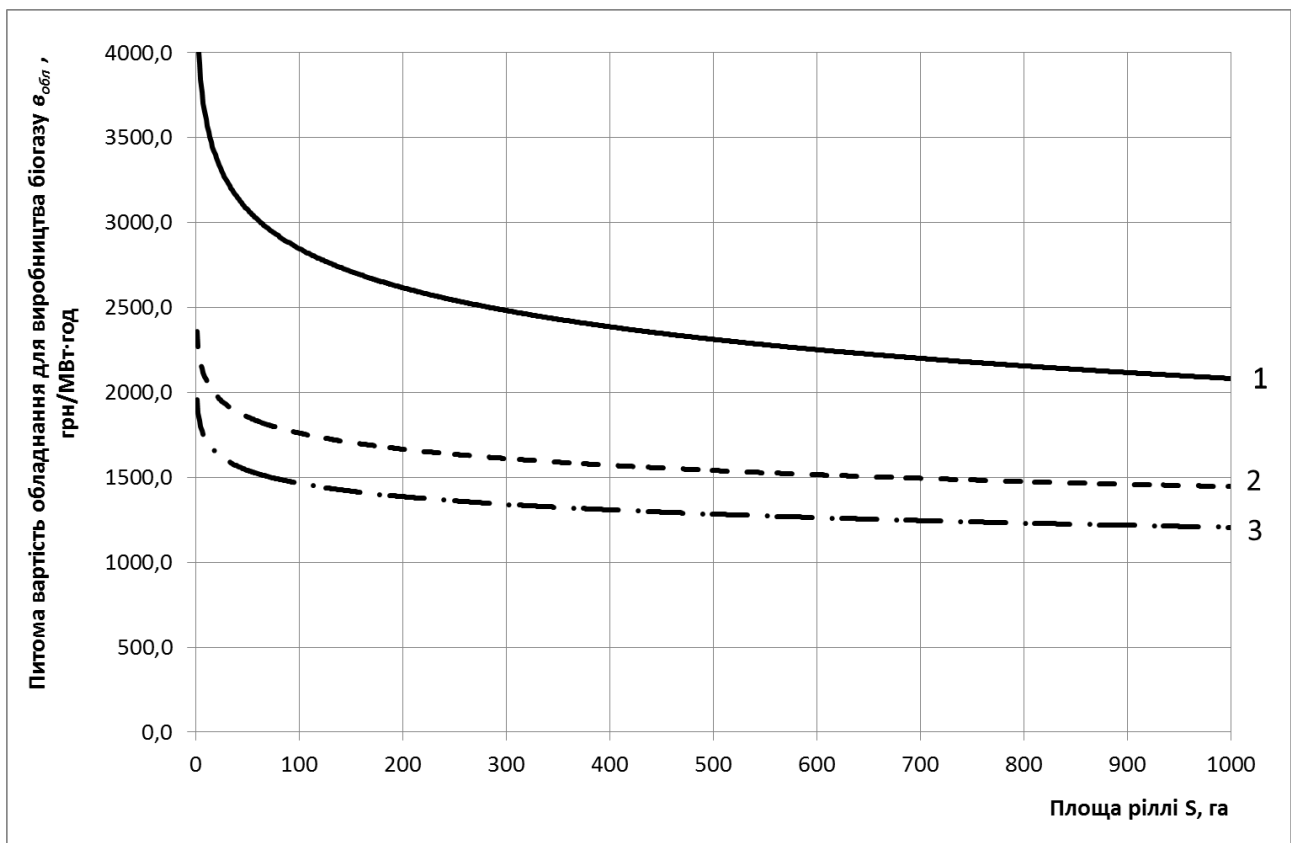
$$C_{зтел} = -0,183 \ln S + 1,6919; \quad (5.19)$$

для зерно-свинарської:

$$c_{зсел} = -0,205 \ln S + 1,7982; \quad (5.20)$$

для зерно-птахівничої:

$$c_{зпел} = -0,185 S + 1,5860; \quad (5.21)$$

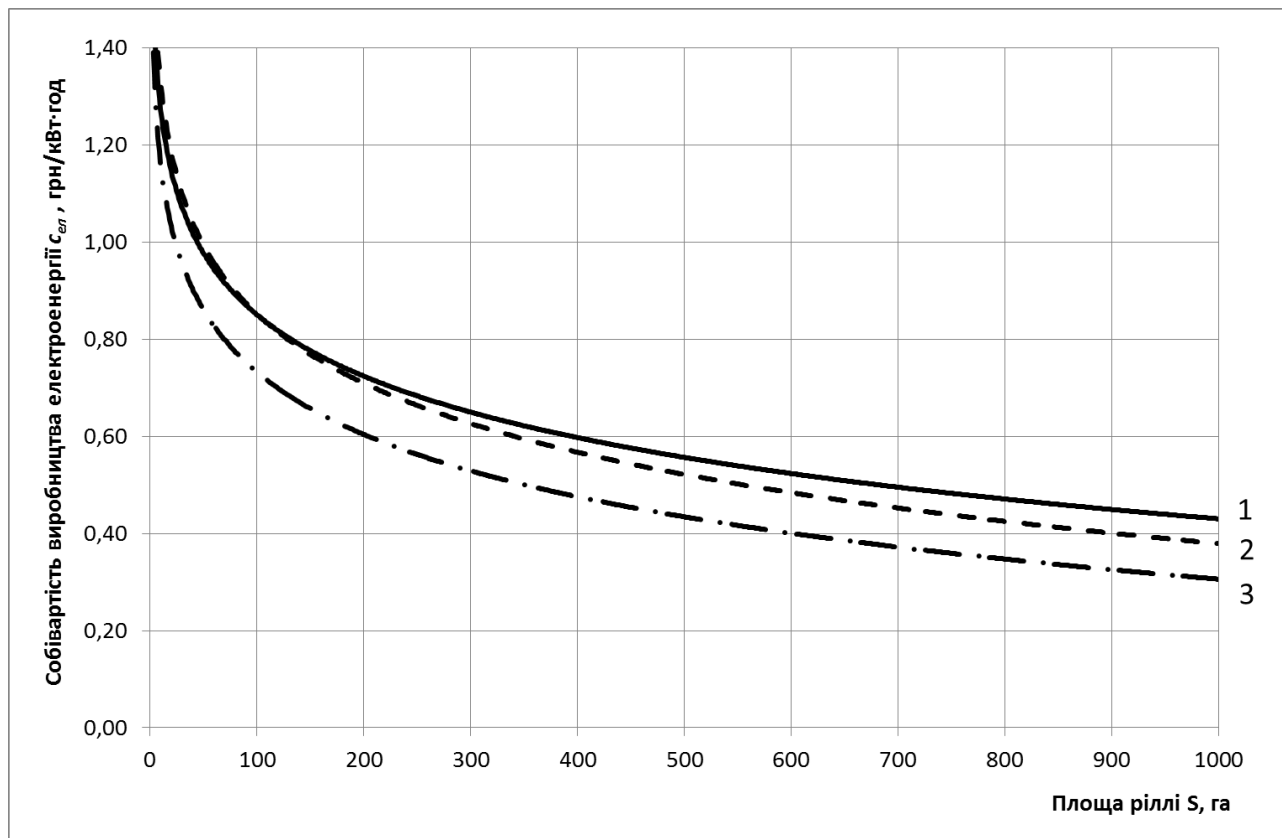


1 – зерно-молочна спеціалізація; 2 – зерно-свинарська спеціалізація;
3 – зерно-птахівнича спеціалізація

Рис. 5.2 – Залежність зміни питомої вартості обладнання для виробництва біогазу в залежності від площі ріллі модельних підприємств (середня вартість основних матеріалів, із якого виготовлено обладнання –

$\epsilon_{\text{mat}} 18 \text{ грн/кг}$)

де $C_{\text{зтел}}$, $C_{\text{зсел}}$, $C_{\text{зпел}}$ – собівартість виробництва електроенергії в біогазових установках із використанням біомаси тваринництва, свинарства та птахівництва, відповідно, грн./кВт год.; S – площа ріллі, га.



1 – зерно-молочна спеціалізація; 2 – зерно-свинарська спеціалізація;
3 – зерно-птахівнича спеціалізація

Рис. 5.3 – Залежність зміни собівартості електроенергії в залежності від площі ріллі модельних підприємств

Виробнича собівартість біометану становитиме:

$$C_{\text{БМ}} = \frac{\rho_{\text{ПБ}}}{k_{\text{БМ}} \tau_{\text{ЗБ}}} C_{\text{БМ}} (1 - k_{\text{Д}}) + (1 + k_{\text{ЗВ}} + k_{\text{ЗГ}}) (TOP_{\text{БМ}} + EJ_{\text{БМ}} + ЗП_{\text{БМ}}), \quad (5.22)$$

де $C_{\text{БМ}}$ – виробнича собівартість біометану, грн/м³; $\rho_{\text{ПБ}}$ – густина переробленої у біогазовому реакторі біомаси, т/м³; $k_{\text{БМ}}$ – вихід біометану за

добу із розрахунку на одиницю об'єму біогазового реактора, м³/м³ добу; $\tau_{ЗБ}$ – час утримання біомаси в реакторі під час зброджування, днів; $C_{БМ}$ – вартість біомаси, яка надходить на переробку в біогазову установку, грн/т; k_D – коефіцієнт збільшення вартості органічних добрив після анаеробного зброджування біомаси, відн. од; $k_{ЗВ}$ – коефіцієнт, що враховує загальнопромислові витрати, відн. од; $k_{ЗГ}$ – коефіцієнт, що враховує загальногосподарські витрати, відн. од; $ТОР_{БМ}$ – відрахування на технічне обслуговування і ремонт біогазової установки з виробництва біометану, грн/м³; $ЕЛ_{БМ}$ – вартість витраченої електричної енергії при виробництві біометану, грн/м³; $ЗП_{БМ}$ – фонд заробітної плати з нарахуваннями при виробництві біометану, грн/м³.

Собівартість виробництва електроенергії на основі біометану можна визначити за виразом:

$$C_{ЕЛ} = \frac{3,6\rho_{ПБ}}{k_{БМ}q_{БМ}\eta_{Г}\tau_{ЗБ}} C_{БМ} (1 - k_D) + (1 + k_{ЗВ} + k_{ЗГ}) (ТОР_{ЕЛ} + ЕЛ_{ЕЛ} + ЗП_{ЕЛ}), \quad (5.23)$$

де $C_{ЕЛ}$ – виробнича собівартість електроенергії, грн/кВт год.; $q_{БМ}$ – теплотворна здатність біометану, МДж/м³; $\eta_{Г}$ – коефіцієнт корисної дії дизель-генератора при отриманні електроенергії, відн. од; 3,6 – коефіцієнт перерахунку, МДж/кВт год.; $ТОР_{ЕЛ}$ – відрахування на технічне обслуговування і ремонт біогазової установки з виробництва електроенергії, грн/кВт год.; $ЕЛ_{ЕЛ}$ – вартість витраченої електричної енергії при виробництві електроенергії на основі біометану, грн/кВт год.; $ЗП_{ЕЛ}$ – фонд заробітної плати з нарахуваннями при виробництві електроенергії на основі біометану, грн/кВт год.

В результаті проведених розрахунків встановлено, що собівартість вихід біометану за добу із розрахунку на одиницю об'єму біогазового реактора для підприємств із зерно-молочною спеціалізацією становить від 0,72 м³/м³ добу до 0,81 м³/м³ добу, а собівартість виробленої на його основі електроенергії із використанням біогазових реакторів обертового типу становить від

0,44 грн/кВт год. до 0,85 грн/кВт год. Для підприємств із зерно-свинарською спеціалізацією відповідно від 0,98 м³/м³ добу до 1,12 м³/м³ добу та від 0,38 грн/кВт год. до 0,85 грн/кВт год. Для підприємств із зерно-птахівничою спеціалізацією – від 1,18 м³/м³ добу до 1,34 м³/м³ добу та від 0,30 грн/кВт год. до 0,72 грн/кВт год. Причому, менші значення виходу біометану та вищі значення собівартості електроенергії будуть мати місце при площі ріллі 100 га.

5.2 Економічна ефективність використання котлів із верхнім горінням для спалювання соломи

Вартість твердого палива B_{mn} (грн/т) складе:

$$B_{mn} = C_{впз} + C_{np} + B_e; \quad (5.24)$$

де $C_{впз}$ – загальна собівартість виробництва рулонів, грн/т; C_{np} – собівартість транспортування рулонів, грн/т; B_e – витрати на вирощування та збирання зернових культур віднесені до соломи, грн/т.

Загальну собівартість виробництва рулонів можна порахувати за формулою:

$$C_{впз} = B_e + B_{зб}; \quad (5.25)$$

де B_e – виробничі витрати, грн/т; $B_{зб}$ – витрати на збут, грн./т.

Виробничі витрати B_e становитимуть:

$$B_e = B_a + B_{тор} + B_{нмм} + \Phi_{зн} + B_{зв} + B_{зг}; \quad (5.26)$$

де B_a – амортизаційні відрахування, грн/т; $B_{тор}$ – відрахування на ремонт і технічне обслуговування обладнання, грн/т; $B_{нмм}$ – витрати на паливо та мастило, грн/т; $\Phi_{зн}$ – фонд заробітної плати обслуговуючого персоналу, грн/т;

B_m – вартість витратних матеріалів, грн/т; $B_{зв}$ – загальновиробничі витрати, грн/т; $B_{зг}$ – загальногосподарські витрати, грн/т

Транспортні витрати C_{np} визначаються за формулою:

$$C_{np} = P_1 + P_2 + P_3; \quad (5.27)$$

де P_1 – вартість перевезення рулонів до проміжного місця зберігання (край поля), грн/т; P_2 – вартість перевезення рулонів до основного місця зберігання (місце спалювання), грн/т; P_3 – вартість складання рулонів в основному місці зберігання, грн/т

При знаходженні транспортних витрат, необхідно враховувати амортизаційні витрати, витрати на техобслуговування і ремонт, витрати на паливо та мастила, фонд заробітної плати та загальногосподарські та загальновиробничі витрати [59, 60].

Проведене техніко-економічне обґрунтування пакування соломи в рулони на прикладі обладнання українського виробництва та розрахунок витрат на перевезення і складання (скиртування), дозволили встановити собівартість соломи, як палива (таблиця 5.1).

Економічну ефективність застосування пропонованих котлів, можна оцінити на основі порівняльної оцінки на основі базового варіанту, згідно з методиками описаними в [79, 92, 139, 152, 160, 165]. Причому, вартість обладнання та інші витрати визначалась аналогічно до загальновідомих методик.

Під час проведення техніко-економічної порівняльної оцінки за базовий варіант обрано два котла виробництва ОАО ЮТЕМ - RAU2-600М (теплова потужність $P_k = 860$ кВт) та RAU2-331М ($P_k = 300$ кВт), що спалюють солом у рулонах, а також газовий котел марки МН-120 ($P_k = 756$ кВт).

За порівняльний варіант обрано розроблені під час проведення досліджень пропоновані котли із верхнім горінням КВГ-20 ($P_k = 20$ кВт), що працює на соломі-січці та КВГ-200 ($P_k = 200$ кВт), що працює на рулонах

соломи (таблиця 5.2).

Таблиця 5.1 – Розрахунок вартості твердого палива

Показник	Розмір-ність	Вид палива	
		рулони соломи	січка соломи
Вирощування зернових культур			
Урожайність зерна	ц/га	30	
Співвідношення соломи і зерна	од.	1,2	
Урожайність соломи	ц/га	36	
Витрати на вирощування зернових до збирання	грн./т	726,75	
Кормова цінність зерна	кор.од./кг	1,1	
Кормова цінність соломи	кор.од./кг	0,17	
Витрати на вирощування зернових віднесені на солону	грн./т	113,69	
Збирання зернових культур			
Витрати на скошування зернових у валки	грн./т	18,61	
Витрати на скошування у валки, що відносяться до витрат на солону	грн./т	10,15	
Витрати на підбір та обмолот валків	грн./т	167,99	
Витрати на обмолот, що відносяться до витрат на солону	грн./т	91,63	
Витрати на пряме комбайнування зернових	грн./т	189,18	
Витрати на розкидання соломи по полю	грн./т	103,19	
Витрати на скошування віднесені на солону	грн./т	101,78	
Заготівля соломи			
Витрати на підбір та ущільнення соломи у рулони	грн./т	35,73	
Витрати на підбір соломи із валків	грн./т		19,50
Вартість витратних матеріалів	грн./т	5,60	
Витрати на перевезення соломи до проміжного місця зберігання (від 1 до 1,5 км)	грн./т	31,51	19,59
Дальність перевезення соломи до основного місця зберігання	км	5,0	
Витрати на перевезення соломи до основного місця зберігання	грн./т	76,75	39,68
Витрати на складання (скиртування) соломи	грн./т	23,20	29,48
Витрати на заготівлю соломи	грн./т	172,79	108,25
Витрати на подрібнення соломи фуражиром	грн./т		65,95

Собівартість соломи на складі	грн./т	388,26	389,68
-------------------------------	--------	--------	--------

Таблиця 5.2 – Техніко-економічне обґрунтування ефективності виробництва тепла із тюків соломи

Параметри	Од. виміру	Базовий варіант			Пропонований варіант	
		RAU2-600M	MH-120	RAU2-331M	КВГ-20	КВГ-200 (2 котла)
Теплопродуктивність по прайсу	кВт	860	756	300	20	400
	МДж/год.	3096	2722	1080	72	1440
Коефіцієнт корисної дії	відн. од	0,82	0,9	0,73	0,91	0,91
Вологість соломи	%	12	12	12	12	12
Теплота згорання соломи	МДж/кг	14,26	-	14,26		
Теплота згорання генераторного газу	ГДж/тис. м ³					12,52
Теплота згорання природного газу	ГДж/тис. м ³	-	35,16			
Витрата соломи	кг/ год.	265	-	104	2,8	111,1
Витрата генераторного газу	м ³ /год.				11,1	110,5
Витрата природного газу	м ³ /год.	-	86			
Загальний час роботи котла	год./рік	4320	4320	4320	4320	4320
Витрата соломи за рік	т/рік	1143,5	-	449,3	12,0	480,0
Витрата генераторного газу за рік	тис. м ³				48,0	477,4
Витрата природного газу за рік	тис. м ³	-	371,5			
Річна теплопродуктивність	ГДж	13375	11757	4666	311	6221
Капіталовкладення	грн	694119	538667	385622	10031	198548
	грн/ ГДж	5,45	4,81	8,68	3,39	3,35
Величина відрахувань на ремонт та ТО	%	12	12	12	12	12
Відрахування на ремонт та ТО	грн/рік	83294	64640	46275	1204	23826
	грн/ГДж	6,23	5,50	9,92	3,87	3,83
Витрати палива на завантаження тюків	л/год.	0,50	-	0,50		
Відрахування на відновлення обладнання	%	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
Амортизаційні відрахування	грн/рік	72882	56560	40490	1053	20848
Витрати палива на	л/год.	0,50	-	0,50		

завантаження тюків						
--------------------	--	--	--	--	--	--

Продовження таблиці 5.2

Параметри	Од. виміру	Базовий варіант			Пропонований варіант	
		RAU2-600M	MH-120	RAU2-331M	КВГ-20	КВГ-200 (2 котла)
Відрахування на відновлення обладнання	%	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
Амортизаційні відрахування	грн/рік	72882	56560	40490	1053	20848
Вартість палива	грн/л	16,00	-	16,00		
Витрати палива за сезон	л	2160	-	2160		
Витрати мастила на завантаження тюків	%	4	-	4		
Вартість мастила	грн/л	18,00	-	18,00		
Витрати електроенергії на завантаження тюків	кВт/год.					10800
Вартість електроенергії	грн/кВт/год.					1,163
Витрати на паливо та мастило (електроенергію) для завантаження котла паливом	грн/рік	36115,20	-	36115,20		12560,4
	грн/ГДж	2,70	0,00	7,74	0,00	2,02
Встановлена електрична потужність котла	кВт	3	2,8	1	0,1	1
Коефіцієнт використання потужності	відн. од	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Витрати електроенергії за рік	кВт год.	10368	9677	3456	346	3456
Вартість електроенергії	грн/кВт·год.	1,163	1,163	1,163	1,163	1,163
Витрати на електроенергію	грн./рік	12058	11254	4019	402	4019
	грн/ГДж	0,90	0,96	0,86	1,29	0,65
Обслуговуючий персонал	люд.	3	1	2	1	2
Затрати праці	люд. год.	4320	1440	2880	720	2880
Годинна зарплата	грн/год.	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
Відсоток зарплати на управління	%	10	10	10	10	10
Величина відрахувань у соціальні фонди	%	19,60	19,60	19,60	19,60	19,60
Фонд зарплати	грн/рік	82668	27556	55112	13778	55112

обслуговуючого персоналу	грн/ГДж	6,18	2,34	11,81	44,30	8,86
--------------------------	---------	------	------	-------	-------	------

Продовження таблиці 5.2

Параметри	Од. виміру	Базовий варіант			Пропонований варіант	
		RAU2-600M	MH-120	RAU2-331M	КВГ-20	КВГ-200 (2 котла)
Всього витрат	грн/ГДж	21,46	13,61	39,01	52,84	18,71
Загальновиробничі витрати	%	5	5	5	5	5
	грн/ ГДж	1,07	0,68	1,95	2,64	0,94
Загальногосподарські витрати	%	10	10	10	10	10
	грн/ГДж	2,15	1,36	3,90	5,28	1,87
Виробничі витрати на спалювання	грн/ГДж	24,68	15,65	44,86	60,77	21,51
Виробничі витрати на спалювання без вартості теплоносія	грн/рік	330070	184011	209313	18902	133819
Вартість теплоносія	грн/рік	443969	1352440	174437	4671	186360
Питомі витрати	грн/ГДж	57,9	130,7	82,3	75,8	51,5

Проведене техніко-економічне обґрунтування ефективності використання котлів із верхнім горінням дозволило встановити, що питомі витрати на отримання тепла складають для котлів, які працюють на рулонах соломи RAU2-600M (теплова потужність 860 кВт) – 57,9 грн/ГДж та RAU2-331M (теплова потужність 300 кВт) – 82,3 грн/ГДж; для котла, що працює на природному газі КВГ-200 (теплова потужність 200 кВт) – 130,0 грн/ГДж (базовий варіант). Для котла із верхнім горінням, який працює на січці соломи КВГ-20 (теплова потужність 20 кВт) – 75,8 грн/ГДж; а для 2-х котлів із верхнім горінням КВГ-200, що працюють на рулонах (теплова потужність 200 кВт) – 51,5 грн/ГДж.

Ефективність пропонованих котлів із верхнім горінням на 61 % вища ніж у котлів, що працюють на природному газу (за рахунок використання

дешевшого палива) та на 11 % вище ніж у традиційних котлів, які працюють на соломі (за рахунок підвищення ефективності спалювання палива).

5.3 Економічна ефективність виробництва дизельного біопалива

Потребу в дизельному біопаливі можна встановити виходячи із питомих витрат відповідних видів палива на 1 га ріллі.

$$DE = N_{\partial} \sum_{i=1}^n s_i = \sum_{m=1}^n s_{mo} u_{mo} k_{екд}^m k_{вд}^m; \quad (5.28)$$

де DE – потреба в дизельному біопаливу, кг; N_{∂} – норма витрат дизельного біопалива, кг/га; s_{mo} – площа виділена під m -у олійну культуру, га; u_{mo} – урожайність m -ту олійної культури, ц/га; $k_{екд}^m$ – коефіцієнт використання олійної культури для виробництва біодизельного пального; $k_{вд}^m$ – коефіцієнт виходу біодизельного пального.

Норму витрат біодизельного пального на 1 га ріллі можна визначити, згідно із [60, 89, 124].

Знаючи потребу в дизельному біопаливі можна підібрати необхідний об'єм реактора, його продуктивність та визначити кількість годин роботи за рік (таблиця 5.3).

З таблиці 5.3 походить, що величина об'єму реактора-естерифікатора визначається в першу чергу обсягами річної партії виробництва дизельного біопалива. Крім того, чим більші витрати на виробництво дизельного біопалива упродовж одного циклу, тим більшим має бути об'єм реактора-естерифікатора.

Згідно із методиками, викладеними в [52, 99] може бути виконане на основі загальноприйнятих економічних показників, а саме мінімізації витрат на виробництво дизельного біопалива в умовах фермерських господарств.

Визначення витрат на виробництво річної партії дизельного біопалива, з урахуванням загальновідомих принципів формування собівартості та з

урахуванням деяких спрощень, можна записати так:

$$B_D = (1 + k_{36} + k_{32}) \left((k_A + k_{TOP}) B_{обл} + B_{Дзн} + B_{Ден} \right) + B_C \quad (5.29)$$

де B_D – загальні витрати на виробництво річної партії дизельного біопалива, грн.; $B_{Дзн}$ – фонд заробітної плати персоналу, задіяному у виробництві дизельного біопалива, грн. $B_{обл}$ – балансова вартість обладнання для виробництва дизельного біопалива, яке включає балансову вартість реактора-естерифікатора та відстійника-накопичувача дизельного біопалива, грн.; B_C – вартість сировини і матеріалів для виробництва річної партії дизельного біопалива, грн. $B_{Ден}$ – витрати на електроенергію, грн.; k_{36}, k_{32} – коефіцієнти загальнопромислових та загальногосподарських витрат; k_A, k_{TOP} – коефіцієнти відрахувань на амортизацію та технічне обслуговування і ремонт обладнання.

Таблиця 5.3 – Вибір реактора-змішувача та встановлення річного фонду його роботи

Площа ріллі S , га	Норма витрат дизельного пального N_0 , кг/га	Загальна потреба дизельного пального, т	Загальна потреба дизельного біопального, м ³	Необхідний об'єм реактора V_p , м ³	Продуктивність $П_{дбл}$, м ³ /ГОД.	Число годин роботи в рік, τ_p
100	77	7,7	8,95	0,4	0,03	298
200	77	15,4	17,91	0,4	0,03	597
300	77	23,1	26,86	1	0,08	336
400	77	30,8	35,81	1	0,08	448
500	77	38,5	44,77	1	0,08	560
600	77	46,2	53,72	2	0,16	336
700	77	53,9	62,67	2	0,16	392
800	77	61,6	71,63	2	0,16	448

900	77	69,3	80,58	2	0,16	504
1000	77	77	89,53	2	0,16	560

Витрати електроенергії можна встановити, орієнтуючись на потребу в циркуляції емульсії та перекачування сировини, каталізатора та палива.

$$B_{\text{Бен}} = c_e (E_{\text{це}} + E_{\text{прко}} + E_{\text{пркм}} + E_{\text{пркд}}); \quad (5.30)$$

де c_e – вартість електроенергії, грн/кВт·год; $E_{\text{це}}$ – витрати електроенергії на циркуляцію субстрату, кВт год.; $E_{\text{пркм}}$ – витрати електроенергії на перекачування метанолу та каталізатора, кВт год.; $E_{\text{прко}}$ – витрати електроенергії на перекачування сировини (олії), кВт год.; $E_{\text{пркд}}$ – витрати електроенергії на перекачування дизельного біопалива, кВт год.

Витрати на технічне обслуговування, ремонт, загальновиробничі та загальногосподарські витрати, можна виразити через відповідні коефіцієнти, а витрати на заробітну плату, за загальноприйнятими методиками [4, 33, 61, 123, 161].

Вартість сировини складається із вартості олії, метанолу, каталізатора, реактивів [53, 58, 61, 121].

Вартість обладнання можна встановити за формулою:

$$B_{\text{Добл}} = B_{\text{црз}} + B_{\text{вн}} + B_{\text{д}}; \quad (5.31)$$

де $B_{\text{Добл}}$ – вартість обладнання для виробництва дизельного біопалива, грн; $B_{\text{црз}}$ – вартість циркуляційного реактора-змішувача, грн; $B_{\text{вн}}$ – вартість відстійника-накопичувача, грн; $B_{\text{д}}$ – вартість додаткового обладнання, грн.

Вартість циркуляційного реактора-змішувача та відстійника-накопичувача можна встановити за загальновідомими методиками, відповідно до формул 5.16 та 5.17.

Проведене техніко-економічне обґрунтування ефективності виробництва

дизельного біопалива із використанням циркуляційних реакторів-змішувачів дозволило встановити основні показники техніко-економічної ефективності виробництва дизельного біопалива із використанням циркуляційних реакторів-змішувачів.

Техніко-економічні показники виробництва дизельного біопалива визначалися при його виході із олії 95%. Густина дизельного біопалива приймалася на рівні 840 кг/м³. Ставка амортизаційних відрахувань приймалася на рівні 15 %, а відрахувань на технічне обслуговування і ремонт на рівні 8 %. Загальногосподарські та загальновиробничі витрати прийнято на рівні 5%.

Собівартість виробництва дизельного біопалива складе від $C_D = 12172$ грн/тону (для модельного підприємства із площею ріллі $S=1000$ га і реактора-змішувача ЦРПР-2 об'ємом $V_P=2$ м³) та до $C_D = 12886,7$ грн/тону ($S=100$ га, ЦРПР-0,4 $V_P=0,4$ м³). При розрахунках собівартості прийнято вартість олії $B_{ол} = 9700$ грн/т, а вартість метилату калію $B_{мк} = 11000$ грн/т.

Залежність собівартості дизельного біопалива C_D (грн/т) від площі ріллі S (га) та об'єму реактора V_P (м³) можна предстати таким рінням:

$$C_D = 12908,5495 - 3,3934S + 606,7126V_P + 0,0012S^2 + 0,4092SV_P - 132,319V_P^2; \quad (5.32)$$

та відобразити графічно (рис. 5.4).

Приймаючи, ринкову вартість дизельного пального 16000 грн/т, річний прибуток становитиме від 165 грн/га до 206 грн/га, відповідно для підприємств із площею ріллі 100 га та 1000 га, рівень рентабельності виробництва дизельного біопалива складе від 16,9 % до 22,0 %.

Висновок до розділу 5

1. Вихід біометану за добу із розрахунку на одиницю об'єму біогазового реактора для підприємств із зерно-молочною спеціалізацією складає від

0,72 м³/м³ добу до 0,81 м³/м³ добу, а собівартість виробленої на його основі електроенергії із використанням біогазових реакторів обертового типу становить від 0,44 грн/кВт год. до 0,85 грн/кВт год.; для підприємств із зерно-свинарською спеціалізацією відповідно від 0,98 м³/м³ добу до 1,12 м³/м³ добу та від 0,38 грн/кВт год. до 0,85 грн/кВт год.; для підприємств із зерно-птахівничою спеціалізацією – від 1,18 м³/м³ добу до 1,34 м³/м³ добу та від 0,30 грн/кВт год. до 0,72 грн/кВт год. Причому, менші значення виходу біометану та вищі значення собівартості електроенергії будуть мати місце при площі ріллі 100 га, а менші – при площі ріллі 1000 га.

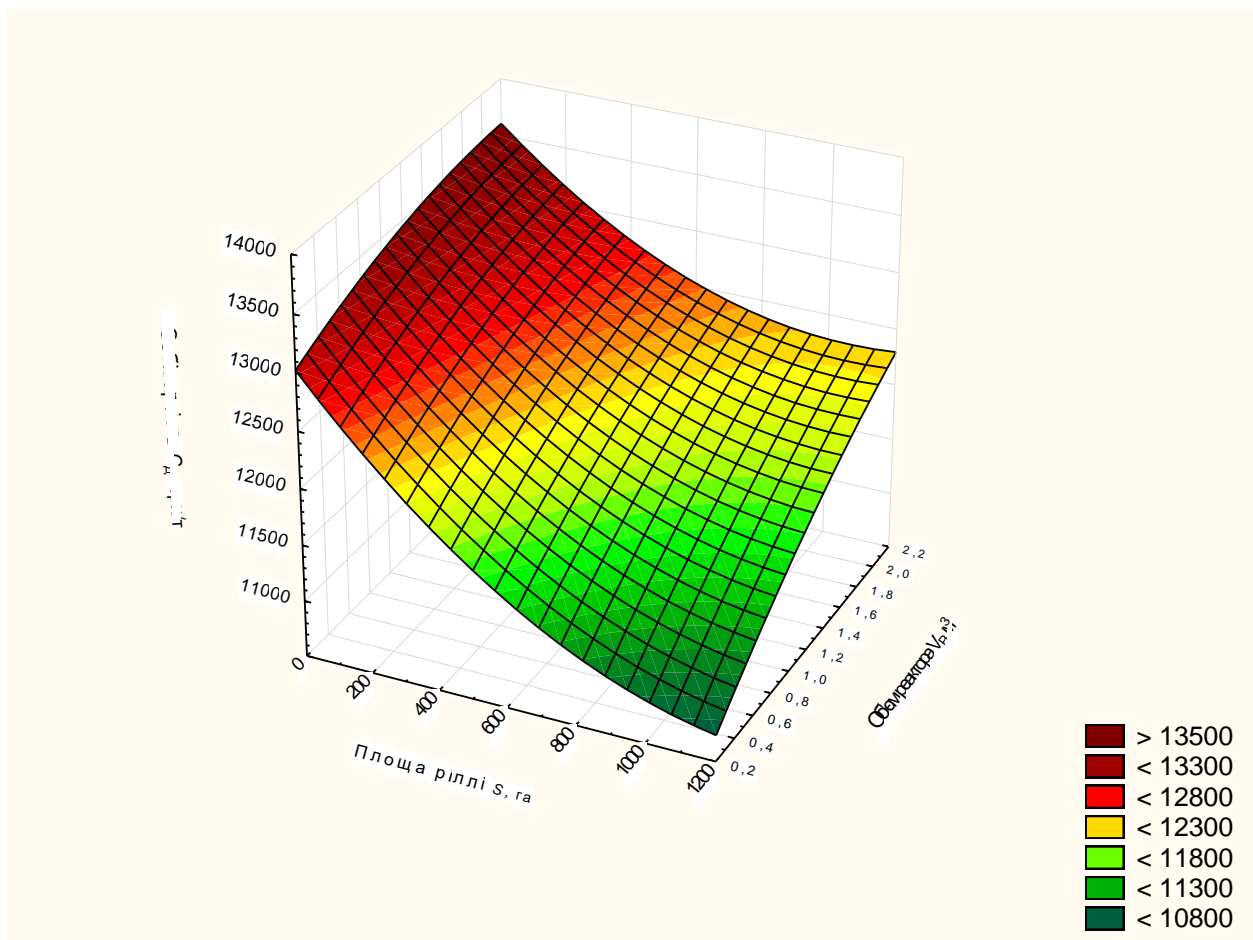


Рис. 5.4 – Залежність собівартості дизельного біопалива C_d від площі ріллі S та об'єму реактора V_p

2. Проведене техніко-економічне обґрунтування ефективності використання котлів із верхнім горінням дозволило встановити, що питомі

витрати на отримання тепла складають для котлів, які працюють на рулонах соломи RAU2-600М (теплова потужність 860 кВт) – 57,9 грн/ГДж та RAU2-331М (теплова потужність 300 кВт) – 82,3 грн/ГДж; для котла, що працює на природному газі KBГ-200 (теплова потужність 200 кВт) – 130 грн/ГДж (базовий варіант). Для котла із верхнім горінням, який працює на січці соломи KBГ-20 (теплова потужність 20 кВт) – 75,8 грн/ГДж; а для 2-х котлів із верхнім горінням KBГ-200, що працюють на рулонах (теплова потужність 200 кВт) – 51,5 грн/ГДж. Ефективність пропонованих котлів із верхнім горінням на 61 % вища ніж у котлів, що працюють на природному газу (за рахунок використання дешевшого палива) та на 11 % вище ніж у традиційних котлів, які працюють на соломі (за рахунок підвищення ефективності спалювання палива).

3. Собівартість виробництва дизельного біопалива складає від 12172 грн/т (для модельного підприємства із площею ріллі 1000 га і реактора змішувача-розділювача ЦРПР-2 об'ємом 2 м³) до 12886,7 грн/т (площа ріллі 100 га, ЦРПР-0,4 об'ємом 0,4 м³). Приймаючи, ринкову вартість дизельного палива 16000 грн/т, річний прибуток становитиме від 165 грн/га до 206 грн/га, відповідно для підприємств із площею ріллі 100 га та 1000 га, рівень рентабельності виробництва дизельного біопалива складе від 16,9 % до 22 %.

4. Встановлено, що найбільший економічний ефект можливо отримати в збалансованій агроєкосистемі, що поєднує рослинництво, тваринництво і виробництво біопалива, забезпечивши при цьому бездефіцитний баланс гумусу. При урожайності озимої пшениці 30 ц/га прибуток для збалансованої агроєкосистеми із виробництвом біопалива становитиме 2360 грн/га, що вище на 51,6 % ніж для агроєкосистеми без виробництва біопалива. До 35 % всіх фінансових надходжень в сільськогосподарському виробництві можливо забезпечити за рахунок виробництва і використання біопалива.

ВИСНОВКИ

1. Моделювання функціонування агроєкосистеми із виробництвом біопалива дозволяє встановити основні показники сільськогосподарського виробництва при бездефіцитному балансі гумусу. Найбільший рівень енергозабезпечення сучасні агроєкосистеми мають при зерно-птахівничому напрямі сільськогосподарського виробництва, а найбільший прибуток при зерно-свинарському. При максимально можливому використанні сільськогосподарської продукції як енергоресурсу дефіцит гумусу складає 140 кг/га для зерно-молочних, 398 кг/га для зерно-свинарських та 367 кг/га для зерно-птахівничих підприємств. Менше значення для зерно-молочних підприємств пояснюється більшим обсягом виробництва органічних добрив, в порівнянні із іншими типами сільськогосподарських підприємств.

2. Використання біомаси соломи в якості енергоресурсу є можливим для сільськогосподарських підприємств при досягненні урожайності озимої пшениці рівня від 25 до 27 ц/га. При базовій урожайності озимої пшениці 30 ц/га та дотриманні балансу гумусу рівень самозабезпечення енергією є незначним, а тому потребує залучення додаткових резервів забезпечення енергією. Це можуть бути як зовнішні резерви: використання геліоколекторів та вітроелектростанцій, так і внутрішні: вибір раціональних технологій виробництва сільськогосподарської продукції, мінімізація питомої енергоемності машин та обладнання з урахуванням якісних показників їх роботи.

3. Встановлено, що найбільший економічний ефект можливо отримати в збалансованій агроєкосистемі, що поєднує рослинництво, тваринництво і виробництво біопалива, забезпечивши при цьому бездефіцитний баланс гумусу. При урожайності озимої пшениці 30 ц/га прибуток для збалансованої агроєкосистеми із виробництвом біопалива становитиме 2360 грн/га, що вище на 51,6 % ніж для агроєкосистеми без виробництва біопалива. До 35 % всіх фінансових надходжень в сільськогосподарському виробництві можливо забезпечити за рахунок виробництва і використання біопалива.

4. Встановлено, що основними характеристиками процесу отримання якісного дизельного біопалива є ефективність перемішування і витрати енергії. У той же час, існуюче обладнання для виробництва дизельного біопалива не в повній мірі забезпечує енергоефективність і якість технологічного процесу в умовах сільськогосподарського виробництва. Тому є актуальним створення енергозберігаючого обладнання для виробництва дизельного біопалива палива в умовах аграрних підприємств із зменшення енерговитрат та досягненням максимальної повноти реакції метанолізу, а також підвищення рівня енергетичної ефективності виробництва дизельного біопалива шляхом удосконалення технічних засобів для його виробництва.

5. Встановлено раціональні значення параметрів гідромеханічної мішалки при використанні гідромеханічного перемішування, гідродинамічного змішувача при використанні процесу кругового циркуляційного перемішування потоку емульсії, а також плаваючих дискових форсунок для виробництва дизельного біопалива на основі забезпечення нормативних показників якості та мінімальної споживаної потужності.

6. Отримані теоретичні залежності для виконання теоретичного моделювання витрат дизельного палива та дизельного біопалива МТА при виконанні технологічних операцій сільськогосподарського виробництва. Встановлено температурний діапазон, при якому витрати дизельного біопалива при роботі МТА будуть мінімальні.

7. Встановлено, що виробництво дизельного біопалива із олії, отриманої із відходів переробки зерна олійних культур, може замінити потреби у дизельному паливі на 6-7 % від загальної кількості споживання дизельного палива в аграрному виробництві.

8. Отримані кінематичні параметри руху мінеральних та органічних частинок субстрату по лопатках обертових біогазових реакторів. Встановлено раціональне значення кутової швидкості обертового метантенка, яке забезпечує рівномірне перемішування та взаємопроникнення складових субстрату та теоретичні залежності для визначення глибини занурення обертового

біогазового реактора в рідину та коефіцієнта заповнення реактора біомасою, які забезпечують мінімальні енергетичні витрати на обертання біореактора.

9. На основі проведених досліджень та з урахуванням властивостей сировини для котлів із верхнім горінням встановлено рівномірність розподілу повітря в зоні утворення та спалювання газу, гідравлічний опір та геометричні розміри розподільників, які максимізують вихід теплової енергії при експлуатації котлів, що дозволяє, задаючись необхідною тепловою потужністю, виконати розрахунок основних параметрів процесу газифікації біомаси рослинного походження та конструктивних елементів теплотехнічного обладнання з двома зонами горіння палива.

10. Встановлено взаємозв'язок між питомим вмістом чадного газу в димових газах та загальною подачею повітря в топку котла та значення загальної подачі повітря при якому котел КГВ-20 із верхнім горінням розвиває максимальну теплову потужність 16,6 кВт з ККД 82,8 %, а також взаємозв'язок між витратою біомаси, потужністю та габаритами котла.

11. Собівартість виробленої електроенергії на основі біометану із використанням біогазових реакторів обертового типу становить від 0,44 грн/кВт год. до 1,34 м³/м³ добу і залежить від виробничого напрямку модельних господарств. Причому, менші значення виходу біометану та вищі значення собівартості електроенергії мають місце при менших розмірах господарств за площею.

12. Проведене техніко-економічне обґрунтування ефективності використання котлів із верхнім горінням дозволило встановити, що ефективність отримання тепла для котлів із верхнім горінням на 61 % вища ніж для котлів, що працюють на природному газі (за рахунок використання дешевшого палива) та на 11 % вища ніж у традиційних котлів, які працюють на соломі (за рахунок підвищення ефективності спалювання палива).

13. Техніко-економічне обґрунтування ефективності виробництва дизельного біопалива показало, що рівень рентабельності виробництва дизельного біопалива складе від 16,9 % до 22 % у порівнянні з використанням

дизельного палива.

14. Найбільший економічний ефект можливо отримати в збалансованій агроєкосистемі, що поєднує рослинництво, тваринництво і виробництво біопалива, забезпечивши при цьому бездефіцитний баланс гумусу, при цьому прибуток буде на 51,6 % ніж для агроєкосистеми без виробництва біопалива, а доля фінансових надходжень за рахунок виробництва і використання біопалива може досягати 35 %.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Alamsyah R. Design and Technical Testing for Crude Biodiesel Reactor Using Dry Methods: Comparison of Energy Analysis [Text] / R. Alamsyah, H. Loebis // *Energy Procedia*. – Vol. 47. – 2014. – P. 235-241.
2. Atadashi I. M. Purification of crude biodiesel using dry washing and membrane technologies / I. M. Atadashi // *Alexandria Engineering Journal*. – Vol. 54, Issue 4. – 2015. – P. 1265–1272.
3. Biodiesel Production Technology / [J. Van Gerpen, B. Shanks, R. Pruszko et. al.] ; National Renewable Energy Laboratory subcontractor report NREL/SR-510-36244. – 2004. – 110 p.
4. Czudec A. Odnawialne zrodla energii jako element zrownowazonego rozwoju rolnictwa i obszarow wiejskich / Adam Czudec, Bogumila Grzebyk, Grzegorz Slusarz // Uniwersytet rzeszowsky. Stowarzyszenie na rzecz Wsparcia Przemian w Polskim Rolnictwie “Klub Integracji z Wiejska Europa”. – Rzeszow : Zaklad Polityki Gospodarczej I Agrobiznesu, 2006 – S. 54.
5. Dubrovin V. Energy analysis of solid biofuels production from agro biomass / Dubrovin V., Drahniev S., Kukharet S. // Second International Conference on Natural and Antropic risks IGNAR. – Bacau (Romania), 2014. – P. 183.
6. Ehsan M. Production of Biodiesel Using Alkaline Based Catalysts From Waste Cooking Oil: A Case Study [Text] / M. Ehsan, H. Tofajjal // *Procedia Engineering*. – Vol. 105. – 2015. – P. 638–645.
7. Enhancement of biodiesel production reaction employing the static mixing [Text] / P. Sungwornpatansakul, J. Hiroi, Y. Nigahara, T. Jayasinghe, K. Yoshikawa // *Fuel Processing Technology*. – Vol. 116. – 2013. – P. 1–8.
8. Enzymatic reactors for biodiesel synthesis: Present status and future prospects [Text] / J. Poppea, R. Fernandez-Lafuente, R. Rodriguesa, M. Ayuba // *Biotechnology Advances*. – Vol. 33, Issue 5. – 2015. – P. 511–525.
9. Evald A. Experiences from 61 Straw-Fired District Heating Plants in Denmark / A. Evald, M. G. Larsen // *Ibid.* Vol. 1. P. 211–216.
10. Gerpen J. Biodiesel processing and production / Jon Van Gerpen // *Fuel*

Processing Technology. – 2005 – Vol. 86. – P. 1097–1107.

11. Golub G. Scientific bases of production and use of biofuel in agroecosystems / G. Golub, S. Kukharets, O. Marus // The 8th International Research and Development Conference of Central and Eastern European Institutes Proceedings, 25-28th June 2013 / Industrial Institute of Agricultural Engineering. – Poznan : Puszczkowo, 2013. – P. 59–65.

12. Golub G. Scientific bases of production and use of biofuel in agroecosystems / G. Golub, V. Dubrovin, S. Kukharets, O. Marus, M. Pavlenko, V. Chuba [Електронний ресурс] // Міжнародний електронний журнал Біоресурси планети і якість життя. – 2013. – Вип. 4 – режим доступу: <http://gcheraejournal.nubip.edu.ua/index.php/ebql/article/view/146/112>.

13. Integrated assessment of sustainable cereal straw potential and different straw-based energy applications in Germany // Applied Energy. – 2014. – Vol. 114. – P. 749–762.

14. Integrated use of bioenergy conversion technologies in agroecosystems [Text] / G. A. Golub, S. M. Kukharets, Y. D. Yarosh, V. V. Kukharets // ISB-INMA TEH. Agricultural and Mechanical Engineering. Bucharest.– 2016. – P. 145–154.

15. Ivanova B. A mathematical model formulation for the design of an integrated biodiesel-petroleum diesel blends system [Text] / B. Ivanova, S. Stoyanov // Energy. – 2016. – Vol. 99. – P. 221–236

16. Jevic P. Technical standard for rapeseed oils as a fuel / P. Jevic, V. Dubrovin, E. Krasowski // Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. – 2012. – Vol. 14, No 3. – P. 4–9.

17. Mason J. Sustainable agriculture/ John Mason. – 2th ed. – Landlinks Press, 2003. – 212 p.

18. Modeling the effect of mixing in biodiesel production [Text] / A. Brásioa, A. Romanenko, L. Santosa, N. Fernandes // Bioresource Technology. – Vol. 102, Issue 11. – 2011. – P. 6508–6514.

19. Modification of Biodiesel Reactor by using of Triple Obstacle within the Bubble Column Reactor [Text] / D. Wulandani, F. Ilham, Y. Fitriyan, A. Siswantara,

H. Nabetani, S. Hagiwara // Energy Procedia. – Vol. 65. – 2015. – P. 83–89.

20. Mosbech H. Possibilities and Limitations for Biomass as a Means of CO₂ Reduction in the Danish Heat and Power Production / H. Mosbech, K. Jakobsen // Ibid. Vol. 3. P. 1748–1753.

21. Rensfelt E. Practical Achievements in Biomass Gasification / E. Rensfelt // Bioenergy 84 / ed. H. Egnéus, A. Ellegård. – London : Elsevier Applied Science, 1985. – Vol. 1. – P. 174.

22. Rotating packed bed reactor for enzymatic synthesis of biodiesel [Text] / J. Xua, C. Liua, M. Wanga, L. Shao, L. Denga, K. Niea, F. Wanga // Bioresource Technology. – Vol. 224. – 2017. – P. 292–297.

23. Scientific bases of production and use of biofuel in agroecosystems [Електронний ресурс] / [G. Golub, V. Dubrovin, S. Kukharets et al.] // Біоресурси планети і якість життя : міжнар. електрон. журн. – 2013. – Вип. 4. – Режим доступу: <http://gchera-ejournal.nubip.edu.ua/index.php/ebql/article/view/146/112>.

24. The Biodiesel Handbook / ed. G. Knothe, J.V. Gerpen, J. Krahl. – Champaign, Illinois : AOCS Press, 2005. – 304 p.

25. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 276 с.

26. Альтернативна енергетика : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів / [Мельничук М. Д., Дубровін В. О., Мироненко В. Г. та ін.]. – К. : Аграр Медіа Груп, 2012. – 244 с.

27. Альтернативна енергетика: навч. посіб/ [М.Д. Мельничук, В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко та ін.]. – К: «Холтех», 2011. – 568 с.

28. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. / В.И.Анурьев // Т.2. – 9-е изд., перераб и доп. / под ред. Н.А.Жестоковой. - М.:Машиностроение, 2006. – 290с.,

29. Артамонов П. А. Переэтерификация жиров : обзор / П. А. Артамонов. – М., 1962. – 71 с.

30. Баланс гумусу і поживних речовин у ґрунтах України /

А. С. Заришняк, С. А. Балюк, М. В. Лісовий, А. В. Комариста // Вісн. аграр. науки. –2012. – № 1. – С. 28–32.

31. Бауман В.А. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций / В.А.Бауман, Б.В.Клушанцев, В.Д.Мартынов. – М.:Машиностроение, 1981. – 324 с.

32. Бородіна О. Перспективи для сільського господарства України / О. Бородіна, М. Шевчишин // Пропозиція. – 2008. – № 10. – С. 90–94.

33. Брагинец Н. В. Курсовое и дипломное проектирование по механизации животноводства / Н. В. Брагинец, Д. А. Палишкин. – М. : Агропромиздат, 1991. – 191с.

34. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н.Бронштейн, К.А.Семендяев – 13-е изд., испр. – М.: Наука, 1986. – 544 с.

35. Голуб Г. А. Агропромислове виробництво їстівних грибів. Механіко-технологічні основи / Г. А. Голуб. – К.: Аграрна наука, 2007. – 332 с.

36. Василенко П. М. О методике механико-математических изысканий при разработке проблем сельскохозяйственной техники / П. М. Василенко. – М.: БТИ ГОСНИТИ, 1962. – 231 с.

37. Васильцов Э. А. Аппараты для перемешивания жидких сред : справ. пособие / Э. А. Васильцов, В. Г. Ушаков. – Л. : Машиностроение, 1979. – 272 с.

38. Використання місцевих видів палива для виробництва енергії в Україні / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Желєзна, Б. Ю. Матвєєв, М. М. Жовнір // Пром. теплотехніка. – 2006. – Т. 28, № 2. – С. 85–93.

39. Виробництво і використання біогазу в Україні / [Юрген Кооп, Жанет Хохі, Дженіфер Фултон, Хенрік Персонн]. – К. : Рада з питань біогазу Biogasrat.- 2012. – 74 с.

40. Виробництво та використання дизельного біопалива на основі рослинних олій / [Голуб Г. А., Павленко М. Ю., Чуба В. В., Кухарець С. М.; за ред. д-ра техн. наук, проф. Г. А. Голуба] // К.: НУБіП України, 2015. – 119 с.

41. Волков О. Д. Проектирование вентиляции промышленного здания /

О. Д. Волков. – Х. : Вища шк., 1989. – 240 с.

42. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике / М. Я. Выгодский // 4-е издание, стереотипное. – М.: Госиздат, 1959. – 783 с.

43. Гелетуха Г. Г Перспективи виробництва теплової енергії з біомаси в Україні / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железна, Є. М. Олійник // Промислова теплотехніка. – 2013. – Т. 35, № 5. – С. 48–57.

44. Гелетуха Г. Г. Обзор технологий сжигания соломы с целью выработки тепла и электроэнергии / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железная // Экологические технологии и ресурсосбережение. – 1998. – № 6. – С. 3–11.

45. Гелетуха Г. Г. Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железна // Аналітична записка БАУ. – 2014. – №7. – 33 с.

46. Гелетуха Г. Г. Перспективи виробництва та використання біогазу в Україні / Г. Г. Гелетуха, П. П. Кучерук, Ю. Б. Матвеев // Аналітична записка БАУ. – 2013. – № 4. – 22 с.

47. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы : учебник для машиностроительных вузов / [Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасов и др.]. – М. : Машиностроение, 1982. – 423 с.

48. Гидромеханические машины и аппараты в химической промышленности / [В. Ф. Харин, Г. П. Кабанов, В. Н. Щербаков и др.]. – Красноярск : Сибирский технолог. ин-т, 1978. – 125 с.

49. Гинзбург Д. Б. Газификация топлива и газогенераторные установки / Д. Б. Гинзбург. – М. ; Л. : Гизлегпром, 1938. – Ч. 1. – 604 с.

50. Гинзбург Д. Б. Теория и расчет транспортных газогенераторов / Д.Б. Гинзбург. – М., 1943. – 178 с.

51. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі. Підручник [Текст] / [Дідур В.А, Савченко О.Д., Журавель Д.П., Мовчан С.І.] – К.: «Аграрна освіта», 2008. – 577 с., іл.

52. Голуб Г. А. Ефективність виробництва дизельного біопалива із ріпакової олії / Г. А. Голуб // Вісник аграрної науки. – 2011. – № 6. – С. 33–36.

53. Голуб Г. А. Ефективність виробництва дизельного біопалива із ріпакової олії / Г. А. Голуб // Вісник аграрної науки. – 2011. – № 6. – С. 33–36.

54. Голуб Г. А. Аналіз технологій виробництва рослинної олії та дизельного біопалива на її основі [Текст] / Г. А. Голуб, М. Ю. Павленко, С. В. Лук'янець // Техніко технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства. – Вип. 16 (30), кн. 2. – 2012. – С. 391-399.

55. Голуб Г. А. Ефективність функціонування багатoproфільного сільськогосподарського підприємства [Текст] / Г. А. Голуб, С. М. Кухарець // Наук. вісн. НУБіП України. Сер. Техніка та енергетика АПК. – 2015. – Вип. 212, ч. 2. – С. 35–44

56. Голуб Г. А. Критерії оптимізації параметрів машин та обладнання / Г. А. Голуб // Вісн. Львівського нац. аграр. ун-ту. Сер. Агроінженерні дослідження. – 2008. – № 12. – С. 17–24.

57. Голуб Г. А. Науково-технічні та економічні проблеми виробництва і використання біопалив у агроєкосистемах / Г. А. Голуб // Вісн. Сумського нац. аграр. ун-ту. Сер. Механізація та автоматизація виробничих процесів. – 2010. – Вип. 1 (21). – С. 72–80.

58. Голуб Г. А. Оцінка сировинної бази виробництва дизельного біопалива при двохступінчатому віджиманні рослинної олії / Г. А. Голуб, М. Ю. Павленко // Наук. вісн. Нац. університету біоресурсів і природокористування України. Сер. Техніка та енергетика АПК. – 2014. – Вип. 194, ч. 1. – С. 175–181.

59. Голуб Г. А. Проблеми використання соломи в якості палива / Г. А. Голуб // Вісник аграрної науки. – 2010. – № 8. – С. 49–52.

60. Голуб Г. А. Проблеми техніко-технологічного забезпечення енергетичної автономності агроєкосистем / Г. А. Голуб // Збірник наук. пр. Вінницького нац. аграр. ун-ту. Сер. Технічні науки. – 2011. – Вип. 7. – С. 59–66.

61. Голуб Г. А. Собівартість виробництва олії та дизельного біопалива в умовах сільськогосподарських підприємств / Г. А. Голуб, С. В. Лук'янець // Зб.

наук. пр. Подільського держ. аграр.-техн. ун-ту. – 2012. – Спец. вип. : Сучасні проблеми збалансованого природокористування. – С. 207–212.

62. Голуб Г. А. Техничко-технологическое обеспечение энергетической автономности агроэкосистем / Г. А. Голуб // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 19-20 окт. 2010 г. : в 2 т. – Минск, 2010. – Т. 1 – С. 24–29.

63. Голуб Г. А. Техничко-технологічне забезпечення енергетичної автономності агроекосистеми / Г. А. Голуб // Наук. вісн. Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України. Сер. Техніка та енергетика АПК. – 2010. – Вип. 144, ч. 4. – С. 303–312.

64. Голуб Г. Сучасні тенденції розвитку біогазових установок / Г.Голуб, В.Войтенко, Б.Рубан, В.Єрмоленко // Техніка і технології АПК. – 2012. – № 2 (29). – С. 18-21.

65. Голуб Г.А. Визначення витрати палива машинно-тракторним агрегатом при польових випробуваннях / Г. А. Голуб, В. В. Чуба, О. М. Марус // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2015. – Вип. 224. Ч. 2. – С. 303–309.

66. Голуб Г.А. Дослідження нагрівання дизельного біопалива в паливному баці / Чуба В.В., Г.А. Голуб // Збірник наукових праць ПДАТУ – Сучасні проблеми збалансовано природокористування. Подільський державний аграрно-технічний університет, 2014. – С. 157-160.

67. Голуб Г.А. Напрямки удосконалення виробництва і використання дизельного біопалива / Г.А. Голуб, В.В. Чуба, М.Ю. Павленко // Збірник наукових праць ВНАУ. – Вінниця, 2012. – Вип. 10, т.1 (58). – С. 20–23.

68. Голуб Г.А. Обґрунтування рівня занурення та коефіцієнта заповнення біомасою обертового метантенка / Г.А.Голуб, О.В.Дубровіна // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК – К., 2012. – Вип. 170, ч. 2. – 387 с. – С. 55-61.

69. Голуб Г.А. Оцінка сировинної бази виробництва дизельного біопалива при двохступінчастому віджиманні рослинної олії / Г.А.Голуб, М.Ю.Павленко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К.: ВЦ НУБіП України, 2014. Вип. 194, ч.1. – С. 175–181.

70. Голуб Г.А. Технічне забезпечення виробництва біогазу / Г.А.Голуб, О.В.Дубровіна, Б.О.Рубан, В.О.Войтенко // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Вінниця, 2012. – Вип. 10. – 186 с. – С. 17-19.

71. Голуб Г.А. Технологічна схема виробництва комбікормів та дизельного біопалива / Г.А. Голуб, М.Ю. Павленко, О.М. Ачкевич // Вісник ЖНАЕУ. Житомир: 2015, випуск №2 (50), т 1.– С. 364–368.

72. Голуб Г. А. Експлуатаційні параметри МТА при роботі на дизельному біопаливі / Г. А. Голуб, В. В. Чуба // Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві // Збірник наукових праць Інституту механізації тваринництва Національної академії аграрних наук України. – 2012.– Вип.2 (10). – С. 23–31.

73. Голуб Г. А. Напрямки удосконалення виробництва і використання дизельного біопалива / Г. А. Голуб, В. В. Чуба, М. Ю. Павленко // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. – 2012. – Вип. 10. – Т. 1 (58). – С. 20–23.

74. Голуб Г.А. Вплив параметрів естерифікації ріпакової олії на якість дизельного біопалива / Г.А. Голуб, М.Ю. Павленко // Зб. наук. праць ПДАТУ – Сучасні проблеми збалансовано природокористування. Подільський державний аграрно-технічний університет, 2013. – С.193–198.

75. Голуб. Г. А. Ефективність виробництва дизельного біопалива із ріпакової олії / Г. А. Голуб // Вісник аграрної науки. – 2011. – № 6. – С. 33–36.

76. Горячкин В. П. Собрание сочинений: В семи томах / В. П. Горячкин; Всесоюзная Академия сельскохозяйственных наук; Под ред. Н.Д.Лучинского. – Москва: ОГИЗ, 1937. – Т.3 – 164 с.

77. Горячкин В. П. Собрание сочинений: В семи томах / В. П. Горячкин; Всесоюзная Академия сельскохозяйственных наук; Под ред. Н.Д.Лучинского. – Москва: ОГИЗ, 1940. – Т.4 – 315 с.
78. Гринберг Г. Модифицированные жиры / Г. Гринберг, Г. Щепанская. – М., 1973. – 152 с.
79. ГСТУ 46.012-2000. Техніка сільськогосподарська. Методи економічного оцінки техніки для тваринництва.
80. Двайт Г.Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы / Б. Г. Двайт: [пер. с англ. Н. В. Леви под ред. К. А. Семендяева], 2-е изд. М.: Наука, 1966. – 228 с.
81. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей : учебник / Д.М. Вырубов, Н.А. Иващенко, В. И Ивин, Круглов М. Г [и др.] ; под. ред.: А. С. Орлина. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1983. – 372 с.
82. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А.Доспехов – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
83. Драгнев С. В. Обґрунтування конструктивних параметрів періодичного реактора естерифікації рослинних олій [Текст] / С. В. Драгнев, С. М. Кухарець // Наук. вісн. НУБіП України. Сер. Техніка та енергетика АПК. – 2010. – Вип. 144, ч. 4. – С. 334–343.
84. Дубровин В. А. Технологии и технические средства производства биодизельного топлива из растительных масел / В. А. Дубровин, С. В. Драгнев // Аграрна техніка та обладнання. – 2008. – № 1. – С. 67–73.
85. Дубровин В. Сельхозпроизводство как источник энергии / В. Дубровин, М. Мельничук, В. Мироненко // Зерно. – 2006. – № 2. – С. 76–81.
86. Дубровін В. О. Розвиток аграрного виробництва: економіка, екологія, технологія / В. О. Дубровін, С. М. Іванюта, В. Ф. Іванюта / Розвиток продуктивних сил України від В. І. Вернадського до сьогодення : зб. наук. пр. РВПС України НАН України. – К. : РВПС України НАН України, 2008. – Ч. 2. –

С. 172–176.

87. Дубровін В. О. Розробка технологічної схеми лінії виробництва біодизельного палива з рослинних олій «холодного» віджиму / В. О. Дубровін, С. В. Драгнєв, М. С. Даценко // Наук. вісн. Нац. аграр. ун-ту. – 2007. – Вип. 107, ч. 1. – С. 270–278.

88. Екологічні проблеми землеробства / за ред. І. Д. Примака. – К. : Центр учбової л-ри, 2010. – 456 с.

89. Енергетична оцінка агроєкосистем : навч. посіб. / О. Ф. Смаглій, А. С. Малиновський, А. Т. Кардашов [та ін.] ; за ред. О. Ф. Смаглія. – Житомир : ДАУ, 2002. – 160 с.

90. Енергоавтономність виробництва на основі біологічних видів палива [М. В. Молодик, Г. А. Голуб, В. О. Лук'янець та ін.] // Вісник аграрної науки. – 2008. – № 11. – С. 39–44.

91. Енергобіотехнологія : курс лекцій для студ. с.-г. вузів / [В.Г. Мироненко, В.О. Дубровін, В.М. Поліщук та ін.]. – К. : Холтех, 2010. – 248 с.

92. Енергозбереження. Методи визначення економічної ефективності заходів з енергозбереження : ДСТУ 2155-93. – [чинний від 1995-01-01]. – К. : Держстандарт України, 1995. – 21 с. – (Національні стандарти України).

93. Жовнір М. Солома обігріє села / М. Жовнір, Є. Олійник, С. Чаплигін // Агросектор. – 2007. – № 5. – С. 28–31.

94. Загальна хімія : підручник для студ. вищ. навч. закл. / [Карнаухов О. І., Копілевич В. А., Мельничук Д. О. та ін.]. – К. : Фенікс, 2005. – 840 с.

95. Зельдович Я.Б., Яглом И.М. Высшая математика для начинающих физиков и техников / Я. Б. Зельдович, И. М. Яглом – М.: Наука, 1982. – 512 с.

96. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И. Е. Идельчик ; под. ред. М. О. Штейнберга. – М. : Машиностроение, 1992. – 672 с.

97. Іванюта П. В. Управління ресурсами і витратами : навч. посіб. / П. В. Іванюта, О. П. Лугівська ; за ред. Іванюти С. М. – К., 2008. – 435 с.

98. Інтегральні ресурсозберігаючі технології виробництва високоліквідної натуральної рослинної сировини, її переробки і зберігання на основі адаптивних агробіоінженерних систем : наук.-метод. рекомендації для агропромислових підприємств України / [Дубровін В. О., Мельничук М. Д., Григорович О. І. та ін.]. – К. : НУБіП, 2014. – 60 с.

99. Кардашов А. Т. Енергетичний баланс агроєкосистеми: проблеми теорії і практики / А. Т. Кардашов, І. В. Шудренко // Вісник ДААУ. – 1998. – № 2. – С. 39–43.

100. Киртбая Ю. К. Основы теории использования машин в сельском хозяйстве / Ю. К. Киртбая. – М.: Машгиз, 1959. – 232 с.

101. Ключ С. В. Визначення частки соломи та рослинних відходів для енергетичного використання / С. В. Ключ // Відновлювана енергетика. – 2013. – № 4. – С. 82–85.

102. Коллеров Л. К. Газификация твердых топлив. Теория подобия и ее применение при исследовании газогенераторной установки / Л. К. Коллеров ; под ред. В. В. Никифорова. – М. ; Л. : Машгиз, 1952. – 72 с.

103. Коллеров Л. К. Газомоторные установки / Л. К. Коллеров. – Л. : Машгиз, 1951. – 239 с.

104. Комплексні технологічні та природоохоронні заходи при реалізації чистого виробництва біопалив для АПК : наук.-метод. рекомендації для агропромислових підприємств України / [Дубровін В. О., Мельничук М. Д., Гринько П. В. та ін.]. – К. : НУБіП України, 2011. – 52 с.

105. Концептуальные аспекты комплексного технического обеспечения экологически безопасного производства органических продуктов / В. А. Дубровин, М. Д. Мельничук, Г. А. Голуб, В. С. Таргоня // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-техн. конф., 19-20 окт. 2011 г. : в 3 т. – Минск : НПЦ НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва, 2011. – Т. 1. – С. 50–57.

106. Кудря С. О. Використання енергії відновлюваних джерел в агропромисловому комплексі України / С. О. Кудря, В. М. Головкин,

Л. В. Яценко // Наук. вісн. НУБіП. Сер. Техніка та енергетика АПК. – 2010. – Вип. 153. – С. 19–23.

107. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії : підручник / С. О. Кудря. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 492 с.

108. Кузубов Н. В. Методология моделирования агропромышленных формирований / Н. В. Кузубов. – К. : Ин-т экономики НАН Украины, 1996. – 145 с.

109. Кухарец С. М. Обеспечение рационального использования сырья для получения биотоплив в агропромышленном комплексе / С. М. Кухарец, Г. А. Голуб, С. В. Драгнев // Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. – 2013. – Vol. 15, № 4. – P. 69–76.

110. Кухарець С. М. Аналіз процесу отримання біодизельного пального та обґрунтування основних параметрів реактора-розділювача / С. М. Кухарець, Г. А. Голуб, В. М. Хрус [Текст] // Зб. наук. пр. Подільського держ. аграр.-техн. ун-ту. Спец. вип. Сучасні проблеми збалансованого природокористування: наук.-практ. конф. – 2014. – С. 164–171.

111. Кухарець С. М. Виробництво твердого біопалива в умовах сільськогосподарського виробництва // С. М. Кухарець, В. В. Кухарець, О. О. Осадчий // Збірник наук. пр. Подільського держ. агроєколог. ун-ту. – 2011. – Спец. вип. до VI наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми збалансованого природокористування». – С. 159–163.

112. Кухарець С. М. Енергоавтономність агроєкосистем на основі біологічних видів палива / С. М. Кухарець // Збірник наукових праць Подільського агротехнолог. ун-ту. – 2012. – Спец. вип. до VII наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми збалансованого природокористування». – С. 149–154.

113. Кухарець С. М. Забезпечення енергетичної автономності агроєкосистем на основі виробництва біопалива / С. М. Кухарець, Г. А. Голуб // Вісн. Житомир. нац. агроєколог. ун-ту. – 2012. – № 1, т. 1. – С. 345–352.

114. Кухарець С. М. Обґрунтування механіко-технологічних основ конструювання агроєкосистем / С. М. Кухарець, Б. А. Шелученко // Збірник

наук. пр. Подільського агротехнолог. ун-ту. – 2013. – Спец. вип. до VIII наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми збалансованого прирокористування». – С. 164–171.

115. Кухарець С. М. Підвищення енергетичної автономності агроєкосистем. Механіко-технологічні основи: монографія [Текст] / С.М. Кухарець – Житомир: ЖНАЕУ, 2016. – 192 с. Кухарець С. М.

116. Кухарець С. М. Регулювання використання органічних ресурсів для виробництва біопалива / С. М. Кухарець, Г. А. Голуб // Сільськогосподарські машини. – 2013. – Вип. 24. – С. 187–194.

117. Кухарець В. В. Оцінка енергетичного потенціалу соломи / В. В. Кухарець // Наук. вісн. НАУ. – 2008. – Вип. 125. – С. 273–276.

118. Кухлинг Х. Справочник по физике / Х. Кухлинг : [пер. с нем. 2-е изд.]. – М.: Мир, 1985. – 520 с.

119. Лаврентьев М. А. Проблемы гидродинамики и их математические модели / М. А. Лаврентьев, Б. В. Шабат. – М. : Наука, 1973 – 417 с.

120. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа [Текст] / Лойцянский Л.Г. – М.: Наука, 1978. – 736 с.

121. Лук'янець С. В. Ефективність виробництва дизельного біопалива в умовах сільськогосподарських підприємств / С. В. Лук'янець, Г. А. Голуб, М. Ю. Павленко // Розвиток аграрної науки у сучасних умовах : зб. тез наук. робіт міжнар. наук.-практ. конф., 12-13 жовт. 2012 р. – Львів : Львівська аграрна фундація, 2012. – С. 34–38.

122. Маркова Е. В. Планирование эксперимента в условиях неоднородностей / Е. В. Маркова, А. Н. Лисенков. – М. : Наука, 1973. – 120 с.

123. Мацибора В. І. Економіка підприємства : навч. посіб. / В. І. Мацибора, В. К. Збарський, Т. В. Мацибора. – К. : Каравела, 2008. – 312 с.

124. Медведовський О. К. Біоенергетична оцінка інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур / О. К. Медведовський. – К. : Урожай, 1993. – 65 с.

125. Науково-технічні та економічні особливості виробництва і

використання біопалив у агроєкосистемах / С. М. Кухарець, Г. А. Голуб, І. В. Нездвєцька, О. В. Коновалов // Вісн. Житомир. нац. агроєколог. ун-ту. – 2012. – № 2, т. 1. – С. 187–195.

126. Некрасов Б.Б. Гидравлика, насосы и гидроприводы [Текст] /Б.Б.Некрасов - Минск, 1985 – 420 с.

127. Николаенко А. В. Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей: Учебное пособие / А. В. Николаенко – М.: Колос, 1984. – 335 с.

128. Новітні технології біоконверсії : монографія [Я. Б. Блюм, Г. Г. Гелетуха, І. П. Григорюк та ін.]. – К. : Аграр Медіа Груп, 2010. – 326 с.

129. Обоснование рациональности использования продуктов газификации соломы в технологическом процессе сушки зерновых / С. Кухарец, В. Шубенко, А. Голубенко, Н. Цивенкова // Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. – 2013. – Vol. 15, № 4. – P. 99–107.

130. Окоча А. І. Паливно-мастильні та інші експлуатаційні матеріали : підруч. для студ. вищ. навч. закл. / А. І. Окоча, Я. Ю. Білоконь. – К. : Укр. Центр духовної культури, 2004. – 448 с.

131. Определение основных параметров камеры газификации газогенератора на сырье расительного происхождения / Н. Цивенкова, А. Голубенко, С. Кухарець, В. Шубенко // Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. – 2013. – Vol. 15, № 4. – P. 112–120.

132. Особливості виробництва біопалива та отримання енергії в умовах агропромислового виробництва [Голуб Г., Кухарець С., Шубенко В., Бовсунівська Н.] // Техніка і технології АПК (Науково-виробничий журнал). – 2015. – № 2 (65). – С. 31-34.

133. Павленко М. Ю. Енергомісткість гідромеханічного перемішування при виробництві дизельного біопалива [Текст] / М. Ю. Павленко, Г. А. Голуб // Вісник Сумського національного аграрного університету. Механізація та автоматизація виробничих процесів. – Суми, 2014, Вип. 11 (26). – С. 39–42.

134. Павленко М.Ю. Аналіз технологій виробництва дизельного біопалива / М.Ю. Павленко // Науковий вісник Національного університету

біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2013. Вип 185, ч.1. – С. 161–166.

135. Павленко М.Ю. Питома енергоємність виробництва дизельного біопалива з використанням гідромеханічного перемішування / М.Ю. Павленко, О.Ю. Осипчук // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК / Редкол.: С.М. Ніколаєнко (відп. ред.) та ін. – К., 2015. Вип 224. – С. 224–228.

136. Пат. 105346 Україна, МПК F24H 1/10, F23B 60/00. Котел водогрійний для спалювання рослинної біомаси / О.Я. Переходько, Г.А. Голуб; В.А. Дубровін; О. Н. Дімітрєв, С. М. Кухарець; О.Я. Переходько ; заявник і патентовласник НУБіП України; № а201310034; заяв. 12.08.2013; опубл. 25.04.2014, Бюл. № 8. – 6 с.

137. Патент на винахід України (UA) № 105270,С02F 1/52 (2006.01). Відстійник / Голуб Г. А., Павленко М. Ю., Чуба В. В.; заявник та патентовласник Голуб Г.А. – № а 201209577; заявл. 06.08.2012; опубл. 25.04.2014, Бюл. № 8.

138. Перспективи виробництва електричної енергії з біомаси в Україні / Г. Г. Гелету́ха, Т. А. Железна, Є. М. Олійник, А. І. Гелету́ха // Промислова теплотехніка. – 2013. – Т. 35, № 6. – С. 67–75.

139. Перспективи розвитку альтернативної енергетики на Поліссі України / [В. О. Дубровін, Л. Д. Романчук, С. М. Кухарець та ін. ; відп. ред. Скидан О. В.]. – К. : Центр учбової л-ри, 2014. – 335 с.

140. Перспективы производства биогаза в Украине / Г. Г. Гелету́ха, П. П. Кучерук, Ю. Б. Матвеев, Т. В. Ходаковская // Возобновляемая энергетика. – 2011. – № 3. – С. 73–77.

141. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С.Писаренко, А.П.Яковлев, В.В.Матвеев // 2-е изд., перераб и доп. / под ред. Г.С.Писаренко. - К.:Наукова думка, 1988. – 736с.

142. Погорельый Л. В. Испытания сельскохозяйственной техники: научно-методические основы оценки и прогнозирования надежности

сельскохозяйственных машин / Л. В. Погорельый, В. Я. Анилович. – К. : Феникс, 2004. – 208 с.

143. Про альтернативні джерела енергії : закон України від 20.02.2003 р. № 555-IV // Відомості Верховної Ради України. – 2003. – № 24. – Ст. 155.

144. Развитие биоэнергетики в Украине / В. А. Дубровин, Г. А. Голуб, С. В. Драгнев, П. Евич // The 8th International Research and Development Conference of Central and Eastern European Institutes Proceedings, 25-28th June 2013 / Industrial Institute of Agricultural Engineering. – Poznan : Puszczkowo, 2013. – P. 41–47.

145. Ревенко І. І. Машини та обладнання для тваринництва : підруч. для студ. ВНЗ / І. І. Ревенко, М. В. Брагінець, В. І. Ребенко. - К. : Кондор, 2012. - 730 с.

146. Ревенко І. І. Машиновикористання у тваринництві / І. І. Ревенко, В. М. Манько, В. І. Кравчук ; за ред. І. І. Ревенка. – К. : Урожай, 1999. – 208 с.

147. Регулювання використання органічних ресурсів для виробництва біопалива / С. М. Кухарець, Г. А. Голуб [Текст] // Сільськогосподарські машини: зб. нук. ст. – Луцьк, 2013. – Вип. 24. – С. 187–194.

148. Руководство по биогазу. От получения до использования / Специальное агентство возобновляемых ресурсов (FNR). 5-е издание. – Гюльцов: Германия, 2012. – 213 с.

149. Семенов В. Г. Біодизельне паливо: стан і перспективи розвитку / В. Г. Семенов // Автошляховик України. – 2007. – № 2. – С. 13–15.

150. Сільське господарство України : стат. збірник за 2008 рік / за ред. Ю. М. Остапчука ; Держ. ком. статистики України. – К., 2009. – 370 с.

151. Сільське господарство України : стат. збірник за 2013 рік / за ред. Н. С. Власенко ; Держ. ком. статистики України. – К., 2014. – 400 с.

152. СОУ 74.3-37-269:2005. Техніка сільськогосподарська. Теплогенератори. Методи випробувань.

153. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками / Ф. Стренк ; пер. с пол. под ред. И. А. Щупляка. – Л. : Химия, 1975. – 384 с.

154. Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железна, П. П. Кучерук, Є. М. Олійник // Аналітична записка БАУ. – 2014. – № 9. – 32 с.

155. Талиев В. Н. Аэродинамика вентиляции : учеб. пособие / В.Н. Талиев. – М. : Стройиздат, 1976. – 295 с.

156. Таргоня В. Методологічні основи конструювання адаптивних агробіоінженерних систем / В. Таргоня // Збірник наук. пр. ДНУ УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – 2014. – Вип. 18 (32), кн. 2. – С. 14–32.

157. Теплотехника: Учеб. для вузов / А. П. Баскаков, Б. В. Берг, О. К. Витт и др.; Под ред. А. П. Баскакова. – 2-е изд., перераб. — М.: Энергоатомиздат, 1991. – 224 с.

158. Теплотехніка: Підручник. (за ред. Б.Х. Драганова). – Вид. 2-ге, перероб. І доп. – К.: Фірма "Нікос", 2005. – 400 с.

159. Термодинамічна ефективність та ресурси рідкого біопалива України / Забарний Г. М., Кудря С. О., Кондратюк Г. Г., Четверик Г. О. – К. : Інститут відновлюваної енергетики, 2006. – 226 с.

160. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки машин на этапе проектирования : ГОСТ 24056-88:88. – [Действующий от 1989-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 26 с.

161. Технологія переробки біологічних відходів у біогазових установках з обертовими реакторами / [Г. А. Голуб, О. В. Сидорчук, С. М. Кухарець та ін.]; за ред. Г. А. Голуба. – К. : НУБіП України, 2014. – 106 с.

162. Тракторы и автомобили / [В. А. Скотников, А. А. Мащенко, И. А. Гончаров и др.]; под ред. В. А. Скотникова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 440 с.

163. Хімія жирів : підручник / [Тютюнников Б. Н., Бухштаб З. І., Гладкий Ф. Ф. та ін.] ; за ред. Ф. Ф. Гладкого. – Х. : ХПІ, 2002. – 452 с.

164. Черевко Г. В. Економіка природокористування / Г. В. Черевко, М. І. Яцків. – Львів : Світ, 1995. – 208 с.

165. Черемісін М. М. Економічні розрахунки в інженерній діяльності : [навч. посіб.] / М. М. Черемісін, В. І. Романченко. – Х. : Факт, 2006. – 168 с.

166. Черненко С. М. Економічні та енергетичні показники роботи дизельного двигуна при використанні біопалива з ріпаку / С. М. Черненко, А. Г. Атамась // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. М. Остроградського. – 2007. – Вип. 2. Ч. 2. – С.85–89.

167. Черномордник Б. М. Теория и расчет транспортных газогенераторов / Б. М. Черномордник. – М. ; Свердловск : Машгиз НКТМ, 1943. – 344 с.

168. Штербачек З. Перемешивание в химической промышленности / З. Штербачек, П. Тауск ; пер. с чеш. под. ред. И. С. Павлушенко. – Л. : Госхимиздат, 1963. – 416 с.

169. Юдушкин Н. Г. Газогенераторные тракторы. Теория, конструкция и расчет / Н. Г. Юдушкин, М. Д. Артамонов. – М. : ГОСНТИМЛ, 1955. – 244 с.

Наукове видання

Голуб Геннадій Анатолійович
Кухарець Савелій Миколайович
Чуба В'ячеслав Володимирович
Марус Олег Анатолійович

**ВИРОБНИЦТВО І ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВ В
АГРОЕКОСИСТЕМАХ.
МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ**

Монографія

Формат 60x90/16 Ум. друк арк. 13.6
Наклад 100 прим. Зам. № 9219.

Видавець і виготовлювач Національний університет біоресурсів
і природокористування України,
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 4097 від 17.06.2011