

**КАБІНЕТ МІНІСТРІВ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

КУХАРЕЦЬ САВЕЛІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 631.371: 620.92

**МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ
ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ
АВТОНОМНОСТІ АГРОЕКОСИСТЕМ**

05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2015

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національному університеті біоресурсів і природокористування України

Науковий консультант доктор технічних наук, професор
Голуб Геннадій Анатолійович,
Національний університет біоресурсів
і природокористування України, завідувач
кафедри механізації тваринництва

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор, член-
кореспондент НААН України
Надикто Володимир Трохимович
Таврійський державний агротехнологічний
університет, проректор з наукової роботи,
завідувач кафедри машиновикористання
в землеробстві

доктор технічних наук, професор
Тищенко Сергій Сергійович,
Дніпропетровський державний аграрно-
економічний університет, професор кафедри
вищої математики

доктор технічних наук, професор
Кудря Степан Олександрович,
Інститут відновлювальної енергетики
Національної академії наук України,
заступник директора з наукових питань

Захист відбудеться «30» червня 2015 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.004.06 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ-41, вул. Генерала Родімцева, 19, навчальний корпус № 1, аудиторія 97.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету біоресурсів та природокористування України за адресою: 03041, м. Київ-41, вул. Героїв Оборони 13, навчальний корпус № 4, кімната 41а

Автореферат розісланий «28» травня 2015 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

О. А. Марус

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Сучасні економічні реалії спонукають сільськогосподарське виробництво шукати шляхи до зменшення використання викопних видів палива. Цього можна досягти підвищуючи енергетичну ефективність функціонування технологічних процесів у сільськогосподарському виробництві та використовуючи сировину власного виробництва для отримання енергії.

Актуальність теми. Сільськогосподарські підприємства можуть виробляти газоподібне паливо – біогаз; рідке паливо – дизельне біопаливо, біоетанол; тверде паливо – солому, бадилля, а також паливні гранули та брикети на їх основі. Використання палива, отриманого безпосередньо у ході сільськогосподарської діяльності, дає змогу частково замінити покупні енергоресурси. Тому, для підвищення енергетичної ефективності сільськогосподарського виробництва необхідна оптимізація технологічних процесів та обґрунтування і вибір раціональних параметрів машин та обладнання, що використовуються у ході виробництва та споживання біопалива. Вибір раціональних параметрів обладнання для підвищення рівня енергетичної автономності агроєкосистем має проводитись із міркувань зниження енерговитрат із дотриманням необхідних параметрів якості біопалива та енергії, що виробляється в результаті операції чи процесу.

З огляду на потребу забезпечення населення продуктами харчування та зважаючи на необхідність залучення частини потужностей аграрного виробництва для отримання біопалива, обладнання для отримання енергії із сировини сільськогосподарського походження необхідно представити як елемент агроєкосистеми – комплекс отримання енергії, причому функціонування елементів такого комплексу має відбуватися за енергозберігаючими технологіями. Для цього необхідно розв'язати наукову проблему удосконалення технічних засобів для підвищення енергетичної автономності агроєкосистем при одночасному підтриманні рівня виробництва продуктів харчування та збереження родючості ґрунтів.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Матеріали дисертації увійшли до науково-дослідних робіт за темами: «Розробка комплексних технологічних та природоохоронних заходів при реалізації чистого виробництва біопалив для АПК» (номер державної реєстрації – 0108U001864, термін виконання – 2008–2011 рр.), «Розробка інтегральних ресурсозберігаючих технологій виробництва високоліквідної натуральної рослинної сировини, її переробки і зберігання на основі адаптивних агробіоінженерних систем» (номер державної реєстрації – 0109U003220, термін виконання – 2009–2013 рр.), «Розробити технологію інтегральної переробки біологічних відходів у біогазових установках нового покоління» (номер державної реєстрації – 0111U003687, термін виконання – 2011–2013 рр.), «Обґрунтувати інтегровані технологічні процеси та технічні засоби для органічного виробництва сільськогосподарської продукції в агроєкосистемах» (номер державної реєстрації – 0112U001678, термін виконання – 2012–2014 рр.), «Розробити комплексні ресурсощадні технології виробництва і використання біопалив на агропромислових підприємствах та у сільській

місцевості» (номер держреєстрації – 0112U003005, термін виконання – 2012–2014 рр.), «Розробити механіко-технологічні основи ресурсозберігаючого органічного виробництва сільськогосподарської продукції та біопалив в агроекосистемах з підвищеним рівнем енергетичної автономності» (номер державної реєстрації – 0114U000660, термін виконання – 2014–2016 рр.), «Створити механіко-технологічні основи ресурсозберігаючого виробництва і використання біопалив в енергетично автономних агроекосистемах (номер державної реєстрації – 0115U003375, термін виконання – 2015–2017 рр.), «Обґрунтування енергетичної автономності післязбиральної обробки зернових з використанням відновлювальних джерел енергії» (номер державної реєстрації – 0113U000752, термін виконання – 2012–2014 рр.).

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження – підвищити рівень енергетичної ефективності агроекосистем внаслідок збільшення виробництва біопалива та енергії із сировини сільськогосподарського походження шляхом удосконалення механіко-технологічного обґрунтування технічних засобів для агропромислового виробництва газоподібного, рідкого та твердого біопалива.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі задачі:

- сформулювати механіко-технологічні підходи до моделювання агроекосистем та їх складових;
- розробити імітаційні моделі функціонування агроекосистеми із урахуванням виробництва біопалива;
- розробити технологічні процеси виробництва газоподібного, рідкого палива та отримання енергії у ході використання твердого палива в умовах сільськогосподарського виробництва;
- обґрунтувати основні параметри обертових метантенків для отримання газоподібного палива, енергоефективних котлів для спалювання рослинної біомаси та циркуляційних реакторів змішувачів-розділювачів для отримання рідкого біопалива;
- провести економічну оцінку технологій та засобів виробництва газоподібного та рідкого палива, а також використання твердого палива в умовах сільськогосподарського виробництва.

Об'єкт дослідження: енергетично автономні агроекосистеми, технологічні процеси та параметри машин і обладнання для виробництва газоподібного й рідкого палива та використання твердого палива в умовах сільськогосподарського виробництва.

Предмет дослідження: взаємозв'язок параметрів елементів обладнання для виробництва біопалива та отримання енергії з фізико-технологічними властивостями відповідної сировини, функціональні та кореляційні зв'язки показників технологій виробництва біопалива та отримання енергії з параметрами обладнання та рівнем енергетичної автономності агроекосистем.

Методи дослідження: теоретичні дослідження виконано з використанням методів механіки суцільного, рідкого та газоподібного середовища, зокрема механіки матеріалів, методів аналітичної та диференційної геометрії, методів теоретичної та аналітичної механіки, механіки рідини (гідравліки), механіки

газів (термодинаміки), аеродинаміки. Експериментальні дослідження проведено із застосуванням методів теорії імовірності, математичної статистики, планування факторного експерименту. Аналіз результатів експериментальних та теоретичних досліджень виконано із застосуванням прикладних комп'ютерних програм та систем. Лабораторні експериментальні дослідження проводилися відповідно до стандартних та розроблених методик.

Наукова новизна одержаних результатів:

- вперше на основі механіко-технологічного обґрунтування створено концепцію структури агроєкосистеми з оптимізацією взаємозв'язків між її елементами у визначеному діапазоні умов та удосконаленням обладнання, шляхом мінімізації його енергоємності при збереженні якісних показників технологічних процесів для виробництва біоенергоресурсів;

- удосконалено імітаційну модель функціонування агроєкосистеми для виробництва сільськогосподарської продукції з виробництвом органічних добрив на основі соломи, гною і посліду для забезпечення балансу гумусу шляхом включення блоку виробництва біопалива, синтезованого на основі морфологічного, функціонального та інформаційного аналізів агроєкосистеми;

- вперше розроблено математичну модель обертового метантенка зі змінною довжиною лопаток на основі мінімізації енерговитрат на перемішування субстрату, що враховує геометричні і кінематичні параметри метантенка та технологічні параметри процесу виробництва біометану при зміні рівня заповнення метантенка біомасою та глибини занурення метантенка у зовнішньому корпусі;

- удосконалено математичну модель надходження повітря до зони газифікації та згорання котла із верхнім горінням для забезпечення максимальної теплової потужності, що враховує аеродинамічний опір розподільника повітря та витрати повітря через нього, а також його геометричні параметри;

- удосконалено математичну модель енергозберігаючого перемішування емульсії у циркуляційних змішувачах у ході виробництва дизельного біопалива із забезпеченням необхідних розмірів областей перемішування і перебігу реакції та врахуванням геометричних розмірів корпусу циркуляційного змішувача, подачі насоса, параметрів форсунок, а також густини та динамічної в'язкості емульсії.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблені математичні моделі, дають змогу обґрунтувати конструкційно-технологічні параметри та створити типорозмірні ряди обертових метантенків для отримання біогазу, котлів із верхнім горінням для спалювання соломи та циркуляційних змішувачів-розділювачів для отримання дизельного біопалива заданої продуктивності.

На основі створеної математичної моделі обертового метантенка зі змінною довжиною лопаток, обґрунтовано нову конструкцію обертового метантенка для виробництва біометану із зниженою питомою витратою енергії на перемішування субстрату, оптимізовано конструкторсько-технологічну схему модульної біогазової установки.

Поставлено на виробництво котли із верхнім горінням для спалювання рослинної біомаси, які завдяки використанню удосконаленої конструкції розсіювача повітря, внаслідок збільшення площі газоутворення із забезпеченням рівномірної подачі повітря до зони утворення генераторного газу, а також забезпечення ефективного спалювання утворених горючих газів, дають змогу підвищити віддачу тепла порівняно із прямим спалюванням соломи.

Виготовлено та пройшли випробування циркуляційні змішувачі-розділювачі, що забезпечують зменшення витрат енергії у ході отримання дизельного біопалива, із забезпеченням необхідних показників якості, завдяки ефективному перемішуванню емульсії в області перемішування і повного перебігу реакції метанолізу в області проходження реакції.

Особистий внесок здобувача. У дисертаційній роботі особисто здобувачем обґрунтовано напрям і розроблено задачі дослідження. Проведено аналітичні та експериментальні дослідження, їх апробацію, узагальнено їх результати, сформульовано висновки та пропозиції. Зі спільних експериментальних досліджень і публікацій здобувачем використано, за згодою співавторів, лише власну частину результатів. При побудові та аналізі імітаційних моделей функціонування агроєкосистеми частково використано попередні дослідження Г. А. Голуба, отримані за спільним виконанням науково-дослідної роботи.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційного дослідження доповідались і отримали позитивну оцінку на: IV, V, VII, VIII та IX науково-практичних конференціях «Сучасні проблеми збалансованого природокористування» (м. Кам'янець-Подільський, 2009, 2010, 2012, 2013, 2014); IV Міжнародній науково-практичній конференції «Екобіотехнології та біопалива в АПК» (м. Київ, 2010); III Міжнародній науково-технічній конференції «Земля України – потенціал енергетичної та екологічної безпеки держави» (м. Вінниця, 2012); VII Міжнародній науково-практичній конференції «Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні» (м. Львів, 2013); IV Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології в АПК» (м. Луцьк, 2013); «The 8th International Research and Development Conference of Central and Eastern European Institutes Proceedings» (Poznan, Puszczykowo, Poland, 2013); «The VI International Conference on Natural and Antropic risks IGNAR 2014» (Bacau, Romania, 2014); XV Міжнародній науковій інтернет-конференції «Науково-технічні засади розробки, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій» (Дослідницьке, 2014); XV Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (м. Житомир, 2014).

Публікації. Основний зміст і результати дисертації відображено у 41-й науковій праці, з яких: 1 монографія, 2 навчальні посібники, один з яких з грифом МОН України, 4 науково-методичні рекомендації, 4 статті у закордонних наукових виданнях, 18 статей у фахових виданнях, 8 тез доповідей на конференціях, 2 патенти України на винаходи.

Структура та обсяг дисертації Дисертаційна робота викладена на 265 сторінках, складається із вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел із 234 позицій, з них 22 латиницею, містить 37 таблиць, 102 рисунка, 34 додатки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі «Оцінка стану конверсії органічної сировини в енергетичні ресурси в агроекосистемах» проаналізовано можливості підвищення енергетичної автономності агроекосистем. Розроблено наукову концепцію механіко-технологічного обґрунтування енергетичної автономності агроекосистем та сформовано задачі дослідження. Проведено оцінку рівня енергетичної автономності сільськогосподарського виробництва та обґрунтовано критерії оптимізації структурних елементів агроекосистеми.

Питання підвищення енергетичної ефективності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва, які використовуються у ході отримання біопалива, а також машин, які безпосередньо задіяні у такому виробництві досліджували такі відомі вчені: В. М. Головка, Г. А. Голуб, В. О. Дубровін, В. І. Кравчук, С. М. Кудря, В. Г. Мироненко, М. В. Молодик, В. Т. Надикто, Г. С. Ратушняк, І. І. Ревенко, Д. С. Стребков, С. С. Тищенко, Б. А. Шелудченко, Р. Jević, Т. Pawłowski. Загальні питання функціонування та оптимізації агроекосистем вивчали такі відомі вчені: О. М. Адаменко, Г. Г. Гелетуша, І. П. Григорюк, І. Г. Рудько, О. Ф. Смаглий, В. С. Таргоня. Проте комплексне розв'язання завдань виробництва біопалива на основі сировини сільськогосподарського походження, що полягає у подоланні протиріччя, суть якого в тому, що збільшення виробництва енергії, призводить до зменшення виробництва продуктів харчування та до погіршення екологічного стану агроекосистеми, що, насамперед, виражається у дегуміфікації ґрунтового середовища, не було формалізовано достатньою мірою. Крім того, для ефективного розв'язання завдань функціонування агроекосистеми недостатньо існуючих закономірностей для визначення конструкційно-технологічних параметрів відповідних машин та обладнання, що дали б змогу підвищити ефективність виробництва шляхом удосконалення й отримання нових екологічно безпечних технологічних процесів, засобів механізації та обладнання для виробництва біопалива та отримання енергії.

У сільськогосподарському виробництві існує ряд факторів, що забезпечують доречність використання біогазових установок: перший – виробництво поновлюваної енергії, другий – виробництво екологічно чистих органічних добрив, третій – поліпшення санітарно-епідеміологічного стану довкілля, четвертий – широкий різновид сировини, яка може застосовуватися для роботи біогазових установок. Щодо технічного забезпечення виробництва біогазу, основною проблемою є усунення розшарування біомаси субстрату, яке значно знижує ефективність виділення біометану через невідповідність між розподілом метанотворюючих мікроорганізмів та речовин, якими вони живляться в об'ємі субстрату. Тому необхідне перемішування, причому із

встановленою раціональною інтенсивністю. Одним із шляхів підвищення енергетичної ефективності виробництва біогазу в обертових реакторах є зниження енерговитрат на перемішування субстрату.

Щодо технологій прямого спалювання соломи, на тепер відсутні засоби для спалювання подрібненої соломи у невеликих обсягах. Крім того, не розв'язані проблеми рівномірності згоряння соломи у топці котла, що призводить до утворення надмірної кількості попелу та смол.

Практика сільськогосподарського виробництва потребує створення мережі заводів із виробництва дизельного біопалива, що забезпечуються сировиною безпосередньо в умовах сільськогосподарського підприємства. Це дасть змогу використовувати макуху на кормові потреби та сприятиме розвитку кормової бази тваринництва. Причому агропромислова технологія виробництва дизельного біопалива може бути спрощеною відносно технології, що використовується для промислового виробництва дизельного біопалива.

Загальна структурна схема агроєкосистеми із виробництва біопалива (рис. 1) має містити основні галузі сільськогосподарського виробництва: тваринництво та рослинництво, допоміжні – перероблення сільськогосподарської продукції. Крім того, у складі агроєкосистеми має бути виробництво біопалива як окрема підсистема.

Зважаючи на те, що підтримання балансу гумусу у ґрунтах є визначальним фактором при використанні сировини сільськогосподарського походження на енергетичні потреби, необхідно встановити граничні значення обсягів сировини для виробництва біопалива на основі підтримання рівня продуктивності агроєкосистеми. Базуючись на дослідженнях М. К. Шичули та Л. Р. Петренко встановлено, що моделювання гумусного стану можна провести на основі потоків та запасів вуглецю гумусу у ґрунті та органічного вуглецю негумусної природи (органічних решток та органічних добрив). Із урахуванням цього, побудована удосконалена система рівнянь зміни вмісту вуглецю гумусу у ґрунті:

$$\begin{cases} V \frac{dY}{dt} = \Pi V - k_y YV - k_{yx} YV = \Pi V - k_T YV; \\ V \frac{dX}{dt} = k_{yx} YV - k_x XV, \end{cases} \quad (1)$$

де Y – вміст вуглецю негумусової природи у ґрунті, $\text{кг}/\text{м}^3$;

X – вміст вуглецю гумусу у ґрунті, $\text{кг}/\text{м}^3$;

t – термін мінералізації гумусу, роки

V – об'єм родючого шару ґрунту, $\text{м}^3/\text{га}$;

Π – щорічне надходження вуглецю негумусової природи у ґрунт, $\text{кг}/\text{м}^3$ рік;

$k_y YV$ – щорічна мінералізація вуглецю негумусової природи у ґрунті, $\text{кг}/\text{га}$ рік;

$k_{yx} YV$ – щорічна гуміфікація вуглецю негумусової природи у ґрунті, $\text{кг}/\text{га}$ рік;

$k_x XV$ – щорічна мінералізація вуглецю гумусу у ґрунті, $\text{кг}/\text{га}$ рік;

k_y – коефіцієнт щорічної мінералізації вуглецю негумусової природи у ґрунті, віднос. од./рік;

k_{yx} – коефіцієнт щорічної гуміфікації вуглецю негумусової природи у ґрунті, віднос. од./рік;

k_x – коефіцієнт щорічної мінералізації вуглецю гумусу у ґрунті, віднос. од./рік;

$k_T = k_y + k_{yx}$ – коефіцієнт щорічної трансформації вуглецю негумусової природи у ґрунті, віднос. од./рік.

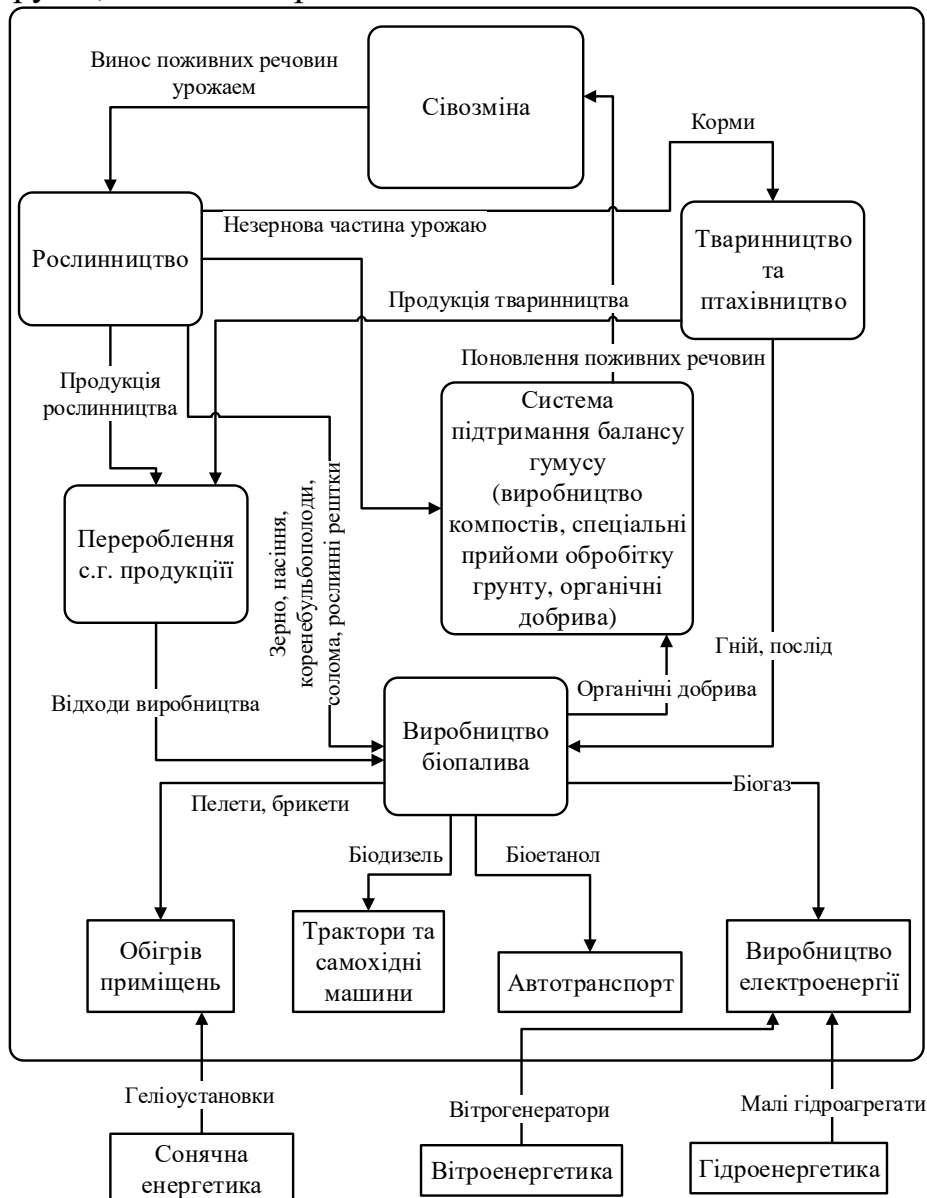


Рис. 1. Структурна схема агроекосистеми із виробництвом біопалива

При початкових умовах: $t=0 \Rightarrow X = X_0$; $t=0 \Rightarrow \frac{dX}{dt} = \left(\frac{dX}{dt} \right)_0$, де X_0 – вміст вуглецю у ґрунті у момент часу $t=0$, кг/м^3 ; $\left(\frac{dX}{dt} \right)_0$ – швидкість зміни вмісту гумусу у ґрунті у момент часу $t=0$, кг/м^3 рік, отримано загальний розв’язок

системи диференціальних рівнянь (1), який має такий вигляд:

$$X = \frac{1}{k_T - k_x} \left(-X_0 k_x + \frac{k_{yx}}{k_x k_T} \Pi - \left(\frac{dX}{dt} \right)_0 \right) \exp(-k_T t) + \frac{1}{k_T - k_x} \left(\left(\frac{dX}{dt} \right)_0 + X_0 k_x - \frac{k_{yx}}{k_x k_T} \Pi \right) \exp(-k_x t) + \frac{k_{yx}}{k_x k_T} \Pi. \quad (2)$$

На основі рівняння (2) встановлено необхідний рівень щорічного внесення у ґрунт вуглецю негумусової природи у кількості $\Pi = \frac{k_x k_T}{k_{yx}} X_0$, щоб не допустити дегуміфікації і утримати вміст гумусу на початковому рівні.

На основі структурної схеми агроєкосистеми з урахуванням встановлених залежностей та моделювання гумусного стану ґрунтового середовища, розроблено моделі функціонування агроєкосистеми з шестипільною сівозміною та виробництвом продукції та енергії, використанням біопалива та відновленням поживних речовин у ґрунті. Розроблена комп'ютерна імітаційна модель функціонування агроєкосистеми із виробництва біопалива дала змогу встановити основні показники сільськогосподарського виробництва при бездефіцитному балансі гумусу.

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

На основі імітаційних моделей отримано вирази, що дають змогу встановити залежність балансу гумусу BE (кг/га) від використання біомаси для енергетичних потреб CE (%) для зерно-молочної спеціалізації сільськогосподарського виробництва: $BG = -2,33CE + 92,46$, зерно-свинарської – $BG = -4,85CE + 118,6$ та зерно-птахівничої – $BG = -4,85CE + 87,8$.

Суттєвий вплив на динаміку балансу гумусу та доступну для енергетичних потреб сировину має урожайність базової зернової культури. Для прикладу встановлено, що використання соломи як енергоресурсу можливо за урожайності пшениці, як базової культури вище 25–28 ц/га залежно від спеціалізації виробництва в агроєкосистемі.

Аналізуючи вищенаведене можна зауважити, що необхідно вишукувати додаткові резерви забезпечення енергоавтономності агроєкосистем. 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.

Наукову гіпотезу дисертаційної роботи можна сформулювати так: підвищення енергетичної ефективності агроєкосистем із збереженням необхідного рівня виробництва високоякісних та екологічно безпечних продуктів харчування та із відтворенням родючості ґрунтів може бути досягнуто як виробництвом біопалива, так і завдяки зниженню енергоємності та підвищенню якості роботи технічних засобів, що забезпечують конверсію

сировини сільськогосподарського походження в енергетичні ресурси – газоподібне, рідке та тверде біопаливо.

У другому розділі «Обґрунтування основних параметрів обладнання для виробництва біоенергоресурсів» обґрунтовано енергетичні витрати на привід та основні конструкційні параметри обертового реактора; основні параметри циркуляційних реакторів змішувачів-розділювачів; проаналізовано процеси утворення та горіння генераторного газу у котлах із верхнім горінням; встановлено основні параметри котлів із верхнім горінням для спалювання соломи; розроблено процес отримання дизельного біопалива.

За результатами наукових досліджень, проведених у НУБіП України розроблено ряд запатентованих технічних рішень, які дають змогу значною мірою усунути розшарування біомаси завдяки забезпеченню перемішування шарів біомаси із використанням занурених у рідину обертових біогазових реакторів. Одна із схем обертового реактора наведена на рис. 2.

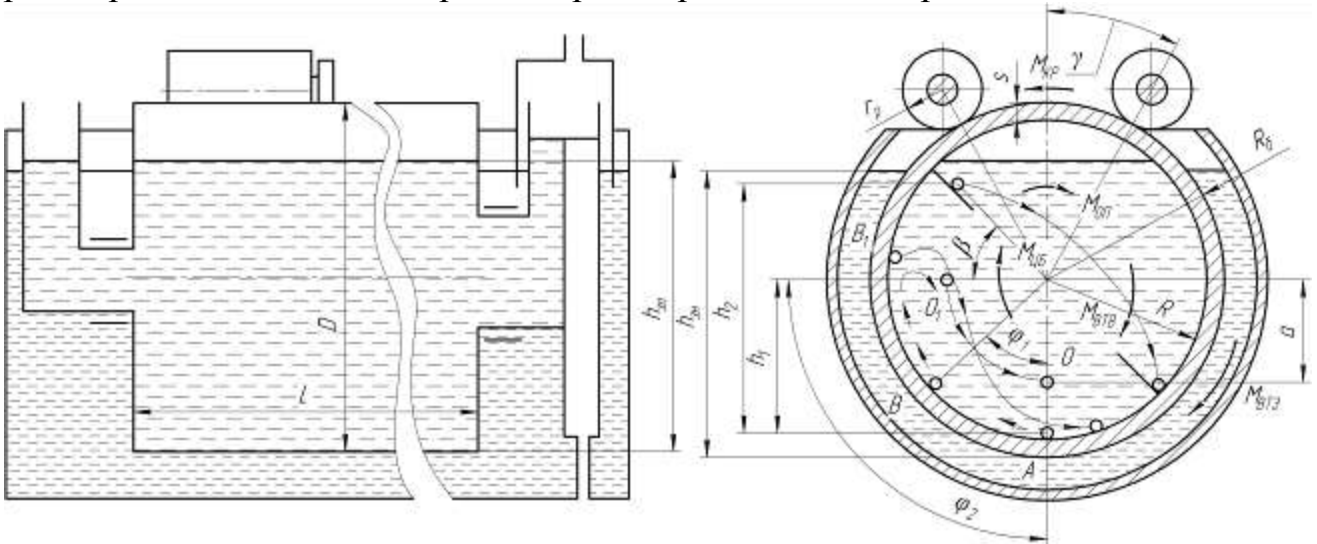


Рис. 2. Структурна схема обертового реактора:

D – внутрішній діаметр реактора, м; L – робоча довжина реактора, м; M_{KP} – крутний момент для забезпечення обертання реактора, Н·м; M_{OL} – момент опору підшипникових вузлів, Н·м; M_{BTZ} – момент в'язкого тертя зовнішньої поверхні реактора об рідину, в яку занурено реактор, Н·м; M_{BTV} – момент в'язкого тертя внутрішньої поверхні реактора об рідку біомасу, яка перебуває у реакторі, Н·м; M_{CB} – момент, необхідний для забезпечення циркуляції біомаси у реакторі, Н·м; h_1 – висота піднімання біомаси під дією сил тертя, м; h_2 – висота піднімання біомаси лопатями, 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 приводних роликів, рад; ϕ_1 – теоретичний кут піднімання частинки біомаси, град; ϕ_2 – дійсний кут піднімання частинки біомаси, град; β – кут тертя між біомасою та матеріалом біореактора, рад.

У загальному випадку на динаміку обертання реактора впливають обертові моменти: для забезпечення обертання реактора; опору підшипникових вузлів; в'язкого тертя зовнішньої поверхні реактора об рідину, в яку занурений реактор; в'язкого тертя внутрішньої поверхні реактора об рідку біомасу, яка перебуває у реакторі; для забезпечення циркуляції біомаси у реакторі; момент інерції метантенка відносно осі його обертання. Знаючи ці моменти можна встановити значення необхідної потужності для обертання метантенка.

Для недопущення розшарування біомаси та забезпечення її перемішування завдяки підняттю мінеральної складової біомаси, яка накопичується у нижній частині метантенка та занурення органічної складової біомаси, яка накопичується у верхній частині метантенка, необхідно мати значення переміщення та відносної швидкості частинок біомаси на перемішуючих лопатках обертового метантенка (рис. 3).

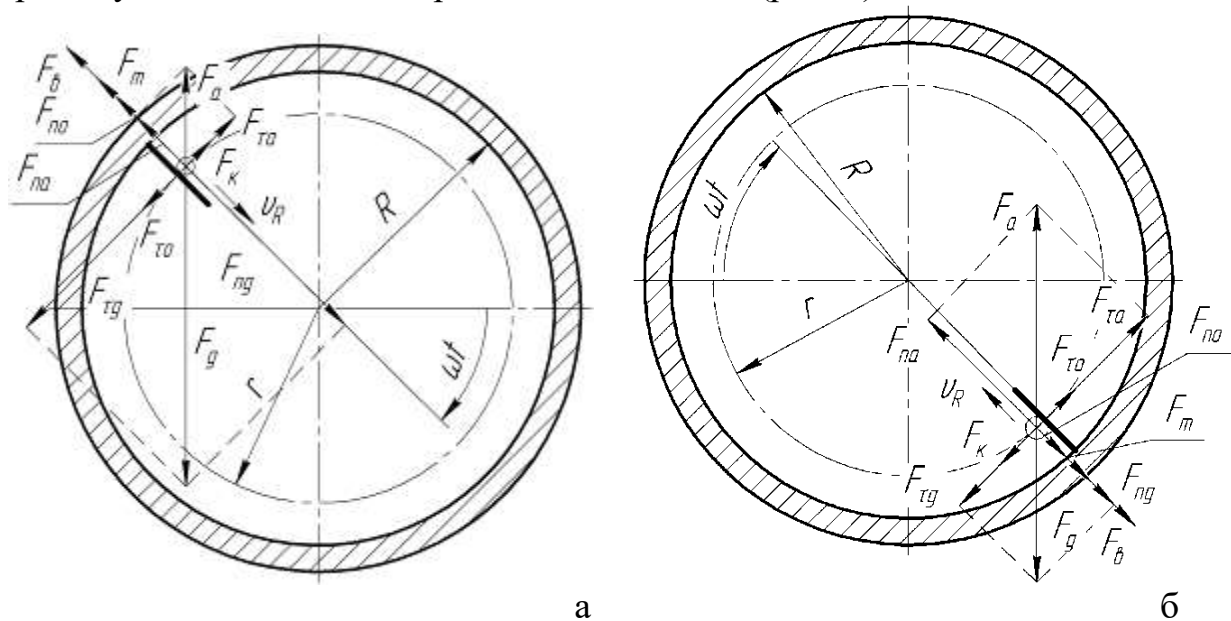


Рис. 3. Схема дії сил на мінеральні (а) та органічні (б) частинки субстрату:

F_g – сила тяжіння, Н; F_a – сила Архімеда, Н; F_m – сила тертя, Н; F_k – коріолісова сила інерції, Н; F_e – 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.

Диференційні рівняння руху частинок субстрату по лопатках обертового метантенка мають такий вигляд:

– для мінеральних частинок субстрату

$$\frac{d^2 r}{dt^2} + (2f\omega - k_1) \frac{dr}{dt} - (\omega^2 + fk_1\omega)r = g[f(1 - k_2)\cos(\omega t) + (k_2 - 1)\sin(\omega t)], \quad (3)$$

– для органічних частинок субстрату

$$\frac{d^2r}{dt^2} + (2f\omega - k_1)\frac{dr}{dt} - (\omega^2 + fk_1\omega)r = g[f(k_2 - 1)\cos(\omega t) + (1 - k_2)\sin(\omega t)], \quad (4)$$

де r – поточний радіус положення частинки субстрату, м;

f – коефіцієнт тертя частини субстрату по матеріалу лопатки метантенка, віднос. од.;

ω – кутова швидкість обертання метантенка, с^{-1} ;

g – прискорення земного тяжіння, $\text{м}/\text{с}^2$;

t – час руху метантенка, с;

k_1 – коефіцієнт пропорційності при ламінарному обтіканні органічних частинок субстратом, с^{-1} ; $k_1 = 18\eta/(\rho_c d_E^2)$;

k_2 – коефіцієнт відношення густини, $k_2 = \rho_c/\rho_u$;

ρ_c – густина субстрату, $\text{кг}/\text{м}^3$;

ρ_u – густина частинки, $\text{кг}/\text{м}^3$;

η – динамічна в'язкість субстрату, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

d_E – еквівалентний діаметр, м.

Із урахуванням початкових умов при роботі обертового метантенка отримано переміщення, відносну швидкість та постійні диференціальних рівнянь (3) та (4), що становлять:

– для мінеральних частинок субстрату

$$r = C_1 \exp(\lambda_1 t) + C_2 \exp(\lambda_2 t) + \frac{g(f^2 + 1)(k_2 - 1)}{4(\omega^2 f^2 + 1) + k_1^2(f^2 + 1)} \left(\frac{k_1}{\omega} \cos(\omega t) + 2 \sin(\omega t) \right), \quad (5)$$

$$v_R = \frac{dr}{dt} = \lambda_1 C_1 \exp(\lambda_1 t) + \lambda_2 C_2 \exp(\lambda_2 t) +$$

$$+ \frac{g(f^2 + 1)(k_2 - 1)}{4(\omega^2 f^2 + 1) + k_1^2(f^2 + 1)} (2\omega \cos(\omega t) - k_1 \sin(\omega t)), \quad (6)$$

$$C_1 = \frac{\Delta_{C_1}}{\Delta} = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[\left(R - \frac{k_1 k_3}{\omega} \right) + \frac{2\omega k_3}{\lambda_2} \right], \quad (7)$$

$$C_2 = \frac{\Delta_{C_2}}{\Delta} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \left(\frac{k_1 k_3}{\omega} - \frac{2\omega k_3}{\lambda_1} - R \right); \quad (8)$$

– для органічних частинок субстрату

$$r = C_1 \exp(\lambda_1 t) + C_2 \exp(\lambda_2 t) + \frac{g(f^2 + 1)(k_2 - 1)}{4(\omega^2 f^2 + 1) + k_1^2(f^2 + 1)} \left(2 \sin(\omega t) - \frac{k_1}{\omega} \cos(\omega t) \right), \quad (9)$$

$$v_R = \frac{dr}{dt} = \lambda_1 C_1 \exp(\lambda_1 t) + \lambda_2 C_2 \exp(\lambda_2 t) +$$

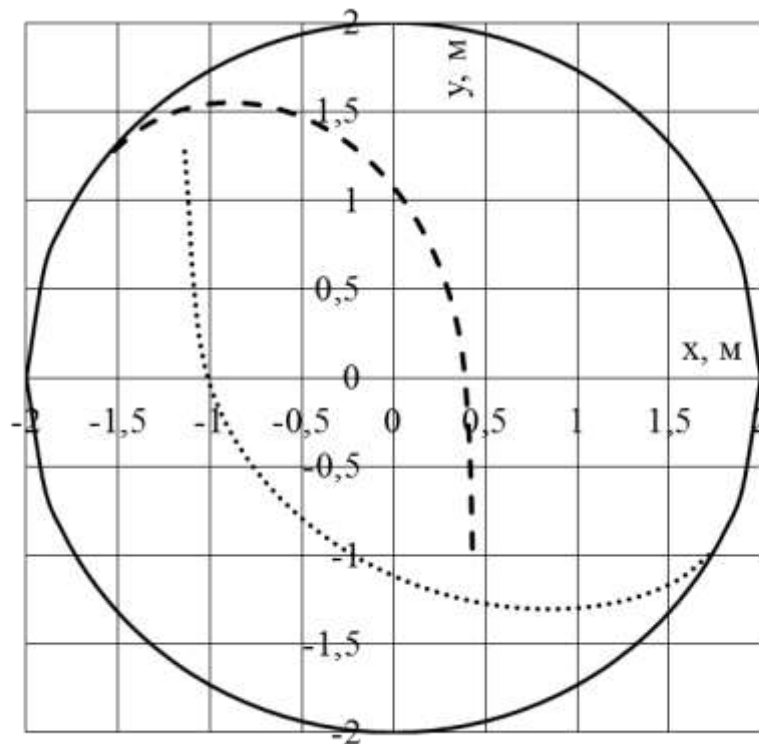
$$+ \frac{g(f^2 + 1)(k_2 - 1)}{4(\omega^2 f^2 + 1) + k_1^2(f^2 + 1)} (2\omega \cos(\omega t) + k_1 \sin(\omega t)), \quad (10)$$

$$C_1 = \frac{\Delta_{C_1}}{\Delta} = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[\left(R + \frac{k_1 k_3}{\omega} \right) + \frac{2\omega k_3}{\lambda_2} \right], \quad (11)$$

$$C_2 = \frac{\Delta_{C_2}}{\Delta} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \left(-\frac{2\omega k_3}{\lambda_1} - R - \frac{k_1 k_3}{\omega} \right), \quad (12)$$

$$\text{де } k_3 = \frac{g(f^2 + 1)(k_2 - 1)}{4(\omega^2 f^2 + 1) + k_1^2(f^2 + 1)}; \quad \lambda_{1,2} = \frac{k_1}{2} - f\omega \mp \sqrt{\omega^2(f^2 + 1) + \frac{k_1^2}{4}}.$$

На основі отриманих розв'язків рівнянь встановлено, що за середньої густини субстрату $\rho_c = 1025-1050 \text{ кг/м}^3$, мінеральної частини субстрату $\rho_m = 1150-1250 \text{ кг/м}^3$ та органічної частини субстрату $\rho_o = 800-900 \text{ кг/м}^3$ раціональні значення кутової швидкості метантенка становлять $\omega = 0,035-0,08 \text{ с}^{-1}$. Довжина лопатки метантенка $l = (0,775-0,825)R$. За цих значень кутової швидкості та довжини лопатки мінеральні частинки будуть підійматися у верхню частину метантенка, після чого частинки будуть відокремлюватися від лопатки та рухатися вниз, а органічні частинки субстрату будуть занурюватись у нижню частину біореактора, після чого будуть відокремлюватися від лопатки та рухатися вгору (рис. 4), внаслідок цього буде забезпечуватися рівномірне перемішування та взаємопроникнення складових субстрату.



— — Траєкторія мінеральної частинки Траєкторія органічної частинки

Рис. 4. Приклад траєкторії руху частинок субстрату (кутова швидкість обертання метантенка $\omega = 0,08 \text{ м/с}$, внутрішній радіус $R = 2 \text{ м}$)

Оскільки верхня частина біореактора завжди буде заповнена біогазом, то внутрішні перетоки рідини у реакторі призведуть до циклічних поштовхів, які будуть порушувати статичну рівновагу обертового реактора і призводити до циклічної зміни навантаження. На динаміку потужності для забезпечення циркуляції біомаси будуть впливати як параметри біомаси (щільність, в'язкість,

вміст та розміри твердої фракції), так і форма внутрішньої конструкції метантенка (кількість лопаток, ступінь перекриття барабана).

Значення потужності для подолання моменту сил в'язкого тертя для зовнішньої циліндричної поверхні реактора залежить від градієнта швидкості за глибиною.

Момент опору підшипникових вузлів залежить від рівня занурення метантенка у рідину. Без занурення момент опору підшипникових вузлів максимальний, по мірі занурення він буде зменшуватись, оскільки сила Архімеда буде компенсувати вагу реактора. При подальшому зануренні момент опору підшипникових вузлів знову буде збільшуватися через перекомпенсацію ваги реактора силою Архімеда.

Загальне значення потужності для забезпечення обертання реактора, враховуючи вищенаведені складові може бути подано у такому вигляді:

$$\begin{aligned}
 N_{KP} = & \omega f d_n g \times \\
 & \times \left[R_B^2 L \rho \left(\pi - \arccos \left((h_{zn} - R_B) / R_B \right) - \frac{1}{2} \sin \left(2 \arccos \left((h_{zn} - R_B) / R_B \right) \right) \right) - \right. \\
 & \left. - \pi \left(R^2 L \rho_B k_3 + k_k \rho_m \left((R_B^2 - R^2) L + 2 R_B^2 s \right) + R^2 L \rho_r (1 - k_3) \right) \right] + \\
 & + \frac{4 L \eta \omega^2 R_B^2 R_3^2}{R_3^2 - R_B^2} \arccos \left(\frac{R_B - h_{zn}}{R_B} \right) + \\
 & + \pi R^3 L \rho_B g k_3 k_{cm} \left(\frac{(1 - k) \omega}{2 \varphi_2} + \frac{k (1 + \sin \beta)}{0,5 \pi + \beta + \frac{R (1 + \sin \beta) \eta_B}{k_x (\rho_B' - \rho_B) g r_{cp}^2}} \right) + \\
 & + \frac{\pi R_B^2}{2} \left(R^2 L \rho_B k_3 + k_k \rho_m \left((R_B^2 - R^2) L + 2 R_B^2 s \right) + R^2 L \rho_r (1 - k_3) \right) \omega \frac{d\omega}{dt},
 \end{aligned} \tag{13}$$

де N_{KP} – потужність для забезпечення обертання реактора, Вт;

ω – кутова швидкість обертання реактора, c^{-1} ;

$d\omega/dt$ – кутове прискорення обертання реактора, c^{-2} ;

L – довжина біореактора, м;

R – внутрішній радіус біореактора, м;

R_B – зовнішній радіус біореактора, м;

R_3 – внутрішній радіус зовнішнього, заповненого рідиною корпусу, м;

d_{II} – діаметр цапфи підшипника, м;

s – товщина стінки реактора, м;

h_{zn} – глибина занурення реактора, м;

β – кут тертя між біомасою та матеріалом біореактора, рад;

φ_2 – дійсний кут піднімання елементарної частинки біомаси внаслідок взаємодії з іншими частинками біомаси, рад;

η_B – динамічна в'язкість біомаси у реакторі, Па·с;

η – динамічна в'язкість рідини, в яку занурено реактор, Па·с;

r_{cp} – середній розмір твердої частинки біомаси, м;

ρ'_B – щільність твердої фракції біомаси, кг/м³;

ρ_B – щільність біомаси, кг/м³;

ρ_m – об'ємна маса матеріалу, із якого виготовлено реактор, кг/м³;

ρ_{Γ} – щільність біогазу, кг/м³;

ρ – щільність рідини, в яку занурено біореактор, кг/м³;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

f – коефіцієнт тертя кочення;

k_3 – коефіцієнт заповнення біореактора біомасою;

k_{cm} – коефіцієнт вмісту у біомасі сухої маси;

k – коефіцієнт, що характеризує ступінь впливу лопаток на перемішування біомаси в обертовому реакторі;

k_k – конструкційний коефіцієнт, що враховує збільшення ваги біореактора завдяки додатковим конструкційним елементам (лопаток та ін.).

Розв'язок рівняння (13) дає змогу встановити параметри, за яких витрати енергії на обертання метантенка будуть мінімальні.

На основі виконаних аналітичних досліджень можна зауважити, що коефіцієнт заповнення метантенка збільшується по мірі збільшення внутрішнього радіуса реактора від 0,5 до 2,15 м у діапазоні від 0,89 до 0,946. Значення раціонального радіуса метантенка ($R = 2,15$ м), що забезпечує мінімальні енерговитрати ($N = 6912$ Вт) на обертання метантенка, у широкому діапазоні коефіцієнта завантаження ($k_3 = 0,8-0,946$) є граничним максимальним значенням цього параметра завдяки узгодженню динаміки зміни потужностей на перемішування біомаси $N_{цб}$ та подолання опору підшипників $N_{оп}$. Подальше збільшення радіуса реактора недоцільне із конструкційних і економічних міркувань та не гарантує отримання оптимального значення коефіцієнта завантаження.

Розрахунки свідчать, що оптимальне значення коефіцієнта заповнення забезпечує мінімальну питому потужність $N_{п}$, що витрачається на обертання біореактора (рис. 5).

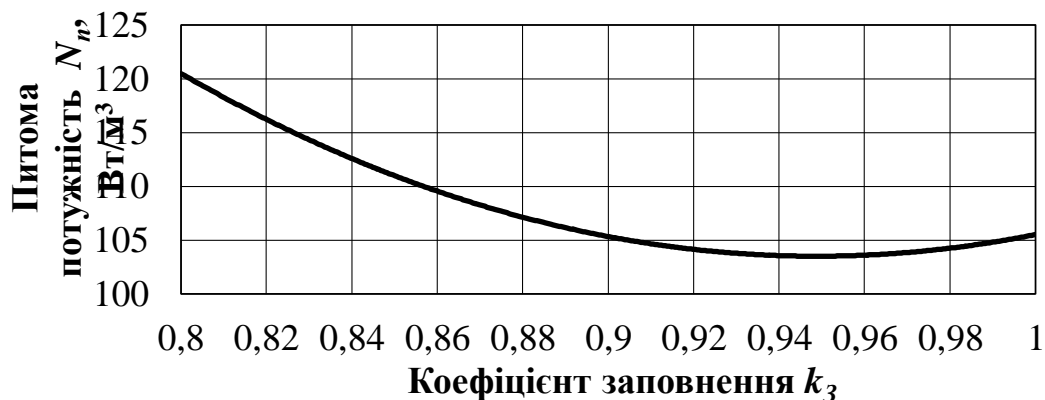


Рис. 5. Залежність питомої потужності на обертання метантенка від коефіцієнта заповнення біомасою

На основі імітаційного моделювання отримано залежність між робочою довжиною метантенка та коефіцієнтом заповнення $k_3 = 0,9147 + 0,0361 \lg L$ та встановлено, що коефіцієнт заповнення збільшується від 0,91 при довжині 1 м до величини 0,946 при довжині 8 м і при подальшому збільшенні довжини метантенка не збільшується (рис. 6) (у межах раціонального діапазону радіусів метантенка $R = 0,5-2,15$ м), що пояснюється зменшенням впливу конструкційних характеристик метантенка при збільшенні об'єму біомаси.

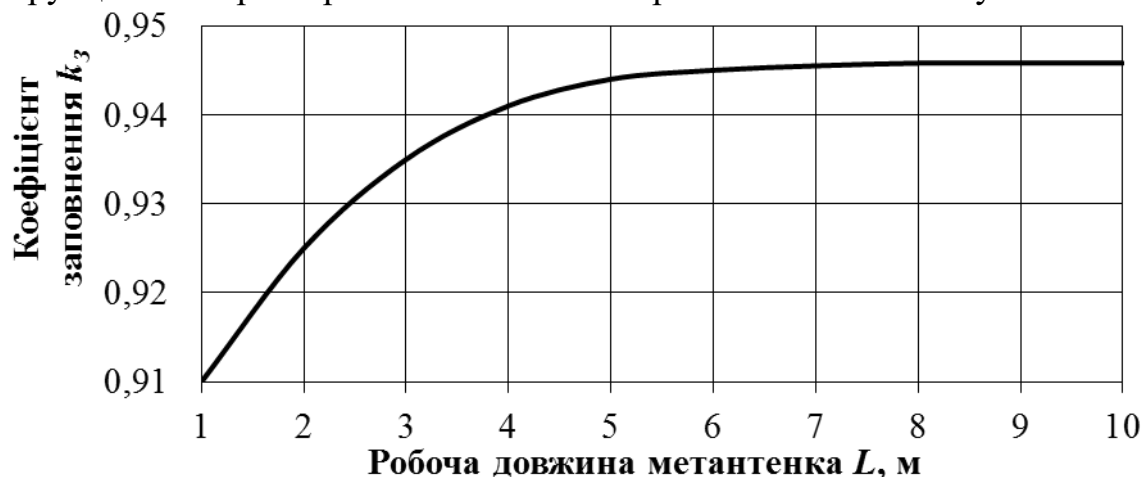


Рис. 6. Залежність коефіцієнта заповнення k_3 від робочої довжини метантенка L

Встановлено також залежність між радіусом та висотою заповнення для різних значень коефіцієнта заповнення при забезпеченні умови плавання метантенка. Визначено, що при граничних значеннях $R = 2,15$ м і $k_3 = 0,946$ умова плавання реактора буде забезпечуватися при $L > 7,5$ м, причому повне занурення реактора буде при $L = 7,5$ м, а при $L > 7,5$ м буде спостерігатися часткове занурення біореактора (рис. 7).

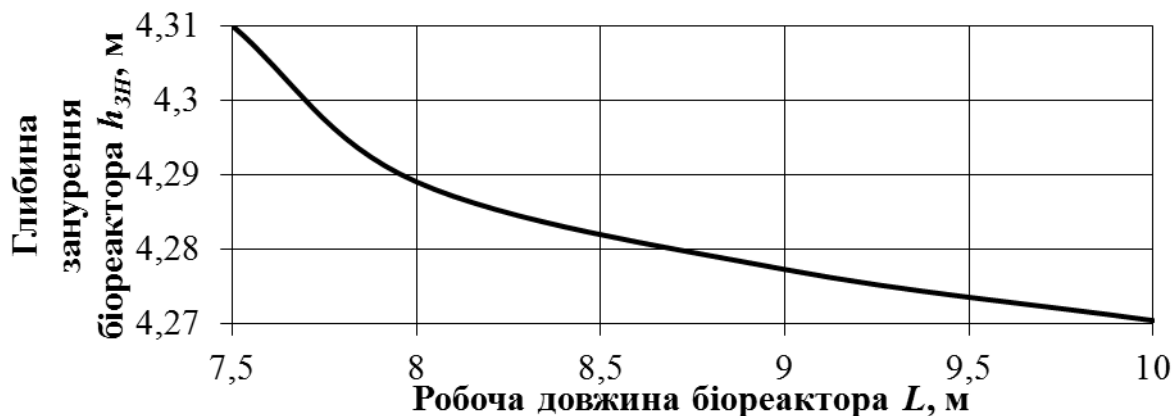


Рис. 7. Залежність глибини занурення метантенка від його робочої довжини (внутрішній радіус $R = 2,15$ м і коефіцієнт заповнення $k_3 = 0,946$)

При спалюванні рослинної біомаси виникають труднощі, пов'язані із неоднорідністю біомаси як палива, відносно високою вологістю, низькими питомою енергоємністю та температурою плавлення попелу.

Тому у зоні горіння рослинної біомаси необхідно створити сприятливі

умови для повного згорання соломи без плавлення попелу та із підтримання рівномірного процесу виділення тепла. Таких умов можна досягти застосувавши котли, що мають дві робочі області: першу - утворення генераторного газу та другу – його горіння (рис. 8). У таких котлах можливо регулювати процес тепловиділення завдяки зміні об'ємів повітря, що надходить до робочої області котла.

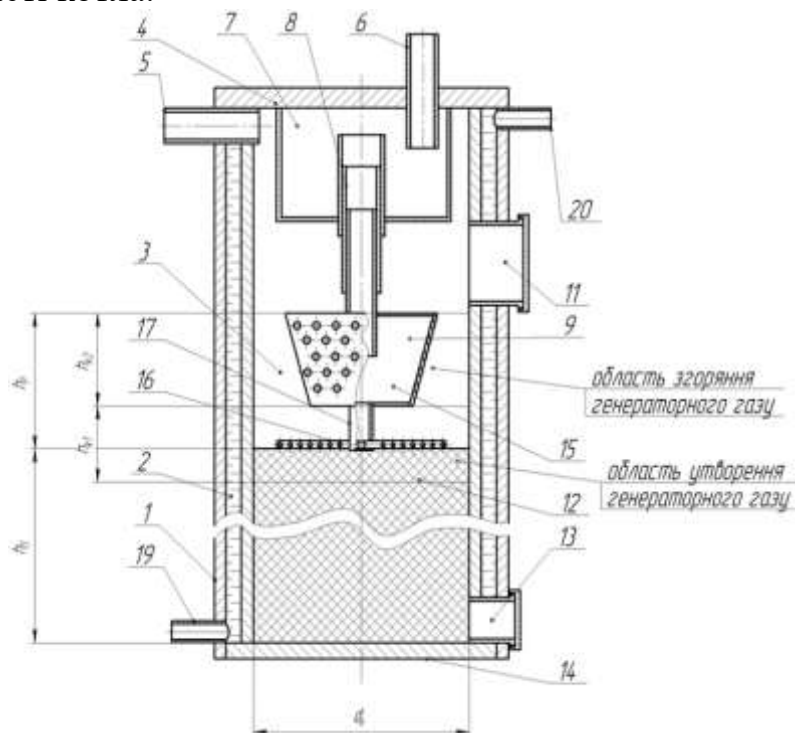


Рис. 8. Схема котла із верхнім горінням для спалювання соломи:

1 – корпус; 2 – порожнина; 3 – камера згорання; 4 – кришка; 5 – патрубок для видалення продуктів згорання; 6 – патрубок для подачі повітря; 7 – проміжна ємкість; 8 – напрямна; 9 - розподільник повітря; 10 – отвори; 11 – дверцята для палива; 12 – паливо; 13 – дверцята для попелу; 14 – днище; 15 – верхня секція розподільника повітря; 16 - нижня секція розподільника повітря; 17 – з'єднувач; 18 – трубчасті елементи; 19 – патрубок для подачі холодної води; 20 – патрубок для відведення гарячої води; d_K – діаметр котла; h_P – висота палива; h_p – висота розпилювача повітря; h_{K1} – висота області утворення генераторного газу; h_{K2} – висота області згорання генераторного газу.

У пропонованому котлі у першій області отримується (через взаємодію вуглецю із сухим повітрям, що подається нижньою секцією розпилювача повітря) повітряний газ, що складається з оксиду вуглецю і азоту. Крім того, при подачі у котел повітря, що містить водяну пару утворюється змішаний газ (суміш H_2 , CO , CO_2 , CH_4 , та N_2).

За аналітичними дослідженнями встановлено необхідні секундні витрати повітря розподільником котла (рис. 9) та відношення витрат повітря на утворення генераторного газу із біомаси (подачу повітря нижньою секцією розсіювача котла) $V_{пуг}$ від 22,4 до 31,6 % та витрати повітря на спалювання газу $V_{сд}$ (подачу повітря верхньою секцією розсіювача) від 77,6 до 68,4 % загальних

витрат повітря $V_{заг}$.

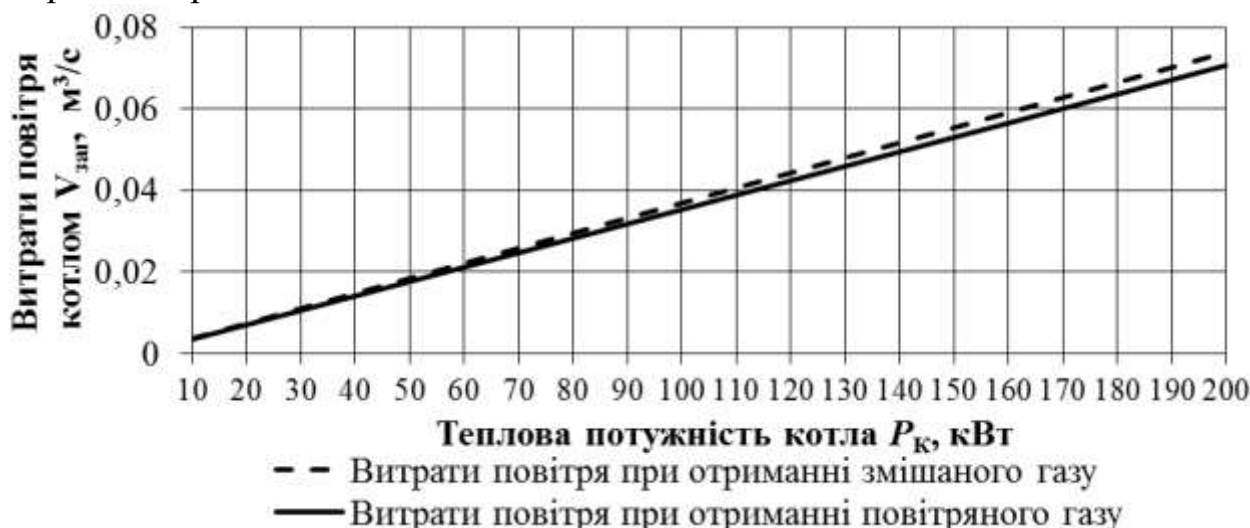


Рис. 9. Залежність загальних витрат повітря від теплової потужності котла

Для забезпечення рівномірної подачі повітря в область утворення генераторного газу, нижня секція розсіювача повітря виконана із 4 трубчастих секцій постійного перерізу (рис. 10), а верхня секція для забезпечення подачі необхідної кількості повітря в область горіння утвореного газу – у вигляді конусного повітропроводу.

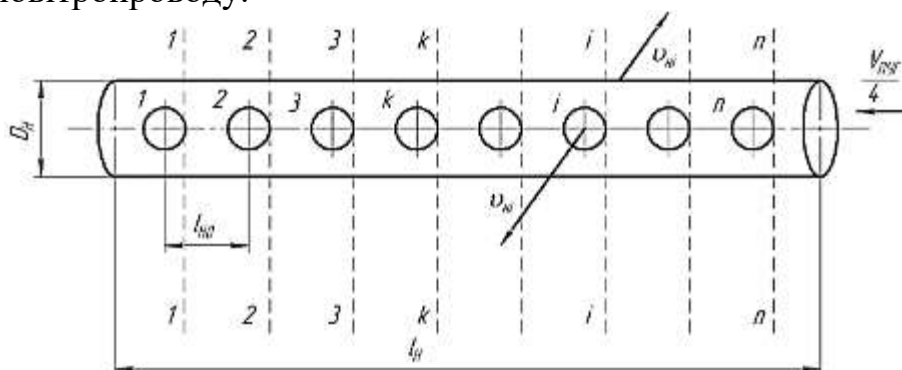


Рис. 10. Схема трубчастої секції розподільника (подача повітря в область утворення генераторного газу):

D_H – внутрішній діаметр трубчастої секції, м; l_H – довжина трубчастої секції, м; l_{HO} – відстань між отворами, м; v_{Hi} – швидкість руху повітря на виході із i -го отвору, м/с; V_{Hi} – витрати повітря нижньою секцією розпилувача, м³/с.

З урахуванням того, що трубчаста секція має забезпечити рівномірне насичення повітрям області утворення генераторного газу, отримано формулу для розрахунку робочого діаметра i -го отвору для круглого трубчастого сегмента (враховуючи, що $D_{He} = 4R_T = D_H$):

$$d_{Hi} = \left[\frac{1}{d_{Hi-1}^4} - \frac{4\mu^2}{D_H^4} \left(i^2 - (i-1)^2 - \lambda \frac{l_H}{n_H D_H} (i-1)^2 - \eta \right) \right]^{-\frac{1}{4}}, \quad (14)$$

де d_{Hi} – діаметр i -го отвору трубчастої секції, м;

d_{Hi-1} – діаметр $i-1$ -го отвору трубчастої секції, м;

n_H – кількість пар суміщених отворів;

D_H – внутрішній діаметр трубчастої секції, м;

l_H – довжина трубчастої секції, м;

λ – коефіцієнт Дарсі;

μ – коефіцієнт витрат отвору трубчастої секції;

η – коефіцієнт (пом'якшення удару) втрат повітря при проходженні отвору.

Причому діаметр 1-го отвору буде найбільшим d_{Hnmax} , і його можна встановити, враховуючи: найбільшу швидкість повітря на виході із отворів трубчастої секції, витрати повітря нижньою секцією розпилювача та кількість отворів у розподільнику.

Опір проходженню повітря секцією трубчастого розподільника становитиме:

$$\Delta p_{НП} = n_c \xi_{нвх} \xi_{мс} \frac{\rho_{нов} V_{нуг}^2}{2\pi^2 D_H^4} = \frac{\rho_{нов} V_{нуг}^2}{2\pi^2} \left(\frac{1}{\mu^2 n_H^2 d_{Hn}^4} + \frac{1}{D_H^4} \right), \quad (15)$$

де $\Delta p_{НП}$ – опір нижнього розподільника, Па;

n_c – кількість секцій нижнього розподільника;

$V_{нуг}$ – витрати повітря нижньою секцією розпилювача, м³/с;

μ – коефіцієнт витрат отвору трубчастої секції;

d_{Hn} – діаметр n-го отвору трубчастої секції, м;

D_H – внутрішній діаметр трубчастої секції, м²;

n_H – кількість пар суміщених отворів;

$\rho_{нов}$ – густина повітря, кг/м³;

$\xi_{мс}$ – коефіцієнт опору трубчастої секції нижнього розподільника;

$\xi_{нвх}$ – коефіцієнт опору нижнього розподільника на його вході.

Найбільший діаметр отвору трубчастої секції, що забезпечує необхідну подачу повітря в область утворення газу, можна подати графічною залежністю (рис. 11).

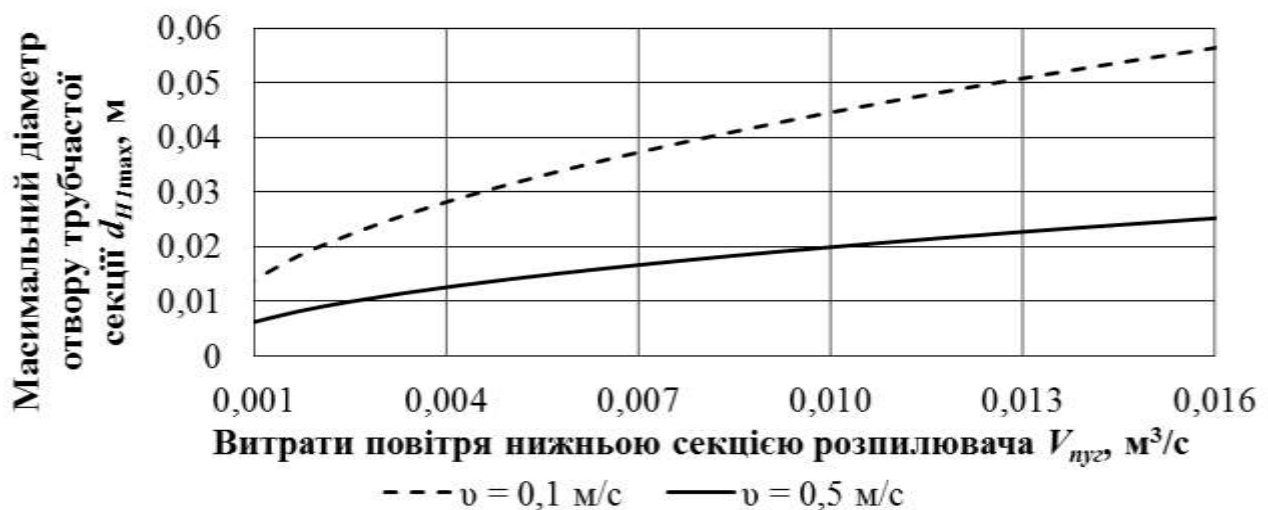


Рис. 11. Залежність найбільшого діаметра отвору трубчастої секції розподільника від подачі повітря в область утворення генераторного газу та швидкості повітря на виході із отвору трубчастої секції (кількість пар отворів $n = 8$)

За умовою забезпечення рівномірної подачі повітря в область утворення генераторного газу та мінімального опору трубчастій секції розподільника, встановлено її основні конструкційні та технологічні параметри.

За витратами повітря V_{cd} в області горіння, середньою швидкістю повітря v_{bc} на виході із отворів та кількістю отворів n_e , встановлено необхідний діаметр $d_{Bвих}$ отворів розподільника (рис. 12).

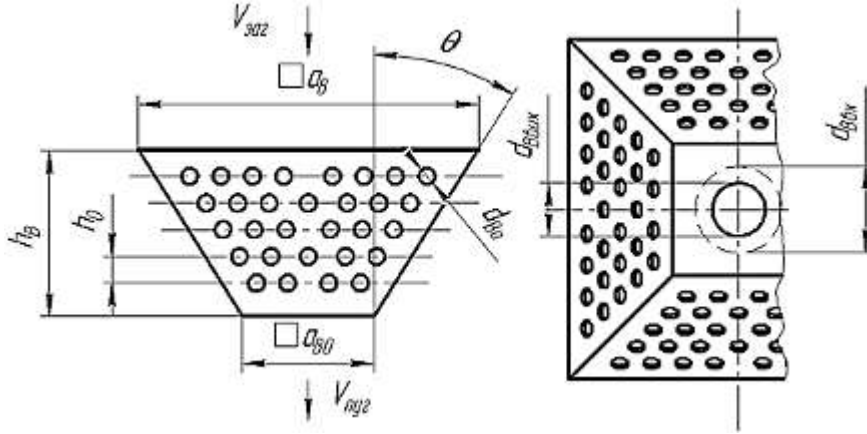


Рис. 12. Варіант схеми верхньої секції розподільника у вигляді усіченої чотиригранної піраміди (подача повітря в область горіння):

a_B – розмір сторони основи розподільника на вході (максимальний), м; a_{B0} – розмір сторони основи розподільника на виході (мінімальний), м; h_B – висота розподільника, м; h_0 – крок рядів отворів, м; θ – бічний кут розкриття, град; d_{B0} – діаметр отворів для подачі повітря в область спалювання, м; $d_{Bвих}$ – діаметр отвору для виходу повітря із розподільника, м; $d_{Bвх}$ – діаметр отвору для входу повітря у розподільник, м; $V_{заг}$ – загальні витрати повітря у розпилувачі котла, м³/с; $V_{ниг}$ – витрати повітря нижньою секцією розпилувача, м³/с.

Опір проходженню повітря верхньою секцією розподільника становитиме:

$$\Delta p_{ВП} = \frac{2\rho_{пов}}{\pi^2} \left(\frac{V_{cd}^2}{\mu^2 n_B^2 d_{B0}^4} + \frac{\xi_{вх} V_{заг}^2}{d_{Bвх}^4} + \frac{\xi_{вих} V_{ниг}^2}{d_{Bвих}^4} \right), \quad (16)$$

де $\Delta p_{ВП}$ – опір верхнього розподільника, Па;

$\xi_{вх}$ – коефіцієнт опору верхнього розподільника на вході;

$\xi_{вих}$ – коефіцієнт опору верхнього розподільника на виході;

d_{B0} – діаметр отворів для подачі повітря в область спалювання, м;

n_B – кількість отворів;

μ – коефіцієнт витрат отворів для виходу повітря;

$V_{заг}$ – загальні витрати повітря у розпилувачі котла, м³/с;

$V_{ниг}$ – витрати повітря нижньою секцією розпилувача, м³/с;

$d_{Bвих}$ – діаметр отвору для виходу повітря із розподільника, м;

$d_{Bвх}$ – діаметр отвору для входу повітря у розподільник, м.

За питомим виходом газу v_c із біомаси та необхідною тепловою потужністю котлів P_K встановлено загальний вихід газу $V_{гг}$ та визначено витрати палива, діаметр топки D_K та висоту H_K котла, а також кількість його завантажень на добу. Опір проходженню повітря через розподільники та подача

дали змогу встановити необхідну потужність двигуна вентилятора для подачі повітря у топку котла.

Для процесу етерифікації рослинних олій запропоновано циркуляційне перемішування, що здійснюється багатократним перекачуванням рідини за замкненим контуром. Завдяки тому, що форсунки встановлено у корпусі циркуляційного розділювача (рис. 13) на одному рівні за висотою і орієнтовано так, щоб при перекачуванні емульсії утворювати турбулентний потік емульсії у його верхній частині, забезпечується рівномірне пошарове перемішування емульсії у зоні розміщення форсунок. При відкачуванні емульсії з нижньої частини циркуляційного розділювача перемішаний шар емульсії опускається нижче, забезпечуючи перебіг реакції етерифікації в умовах меншого рівня турбулізації суспензії і завдяки цьому досягається підвищення якості дизельного біопалива.

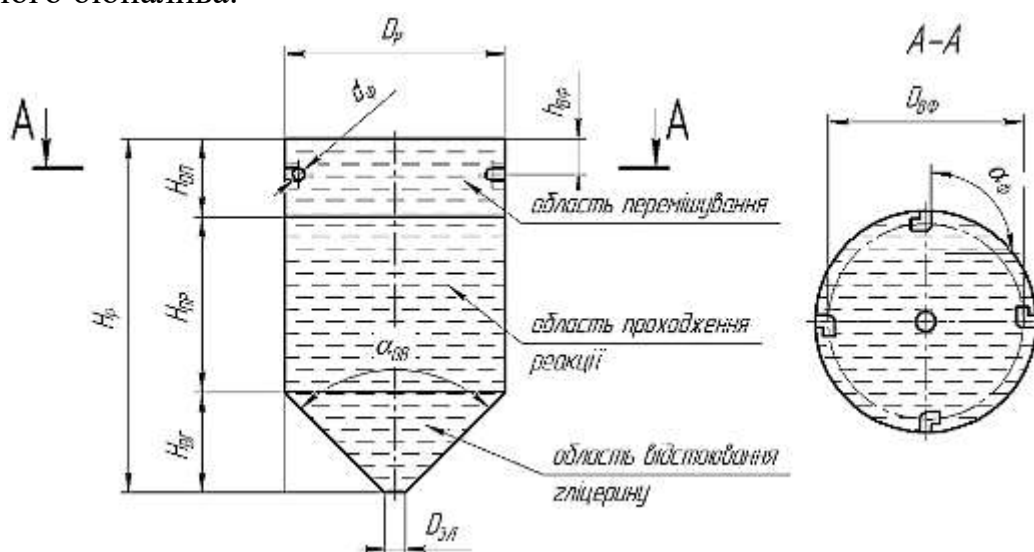


Рис. 13. Структурна схема циркуляційного змішувача-розділювача:

H_p – висота розділювача, м; $H_{оп}$ – висота області перемішування, м; $H_{пр}$ – висота області перебігу реакції, м; $H_{вг}$ – висота області відстоювання гліцерину, м; D_p – робочий діаметр розділювача, м; $D_{зл}$ – діаметр встановлення форсунок, м; d_{ϕ} – діаметр сопла форсунки, м; $h_{в\phi}$ – висота встановлення форсунок, м; $D_{зл}$ – діаметр отвору для зливання гліцерину, м; $\alpha_{ов}$ – конусність області відстоювання, рад; α_{ϕ} – кут встановлення форсунки, рад.

Для циркуляційного змішувача-розділювача витрата емульсії у перерізі струменя на відстані l_x від форсунки може бути визначена за таким виразом:

$$Q_x = \frac{\pi \mu \xi_{cm} k_{\phi} d_{\phi}}{4} (l_x - d_{\phi}) \sqrt{\frac{2P_{\phi}}{\rho_0}}, \quad (17)$$

де Q_x – витрата емульсії у перерізі струменя на відстані l_x від форсунки, м³/с;

k_{ϕ} – коефіцієнт опору рідині, що витікає із форсунки;

l_x – відстань від сопла форсунки до досліджуваного перерізу струменя, м;

d_{ϕ} – діаметр сопла форсунки, м;

μ – коефіцієнт витрат сопла;
 ζ_{cm} – коефіцієнт втрат струменя у посудині;
 P_ϕ – тиск емульсії у соплі форсунки, Па;
 ρ_o – густина емульсії, кг/м³.

Для забезпечення інтенсивного перемішування струмів емульсії має рухатись у турбулентному режимі із квадратичним опором. За середньою швидкістю та площею поперечного перерізу струменя на відстані l_x від сопла форсунки струменя число Рейнольдса для струменя буде таким:

$$\text{Re} = \frac{\varphi_\phi \sqrt{2P_\phi \rho_o d_\phi (l_x - d_\phi)}}{\eta_o \left(\frac{l_x}{d_\phi} - 1 \right) \sqrt{\xi_{cm} k_\phi}}, \quad (18)$$

де φ_ϕ – коефіцієнт швидкості форсунки;
 k_ϕ – коефіцієнт опору рідині, що витікає із форсунки;
 P_ϕ – тиск емульсії у соплі форсунки, Па;
 ζ_{cm} – коефіцієнт втрат струменя у посудині;
 ρ_o – густина емульсії, кг/м³;
 d_ϕ – діаметр сопла форсунки, м;
 η_o – динамічна в'язкість емульсії, м²/с;
 l_x – відстань від сопла форсунки до досліджуваного перерізу струменя, м.

За числом Рейнольдса (рис. 14) встановлено граничний переріз на відстані l_{ef} від сопла форсунки, де забезпечується необхідна інтенсивність перемішування.

Згідно з l_{ef} визначена кількість форсунок n_ϕ . Також встановлено залежність ефективної довжини струменя l_{ef} від тиску у соплі форсунки та діаметра форсунки, яка описується поліноміальним рівнянням другого порядку:

$$l_{ef} = 1,5388 - 4,6085 \cdot 10^{-5} P_\phi - 132,9672 d_\phi + 8,4628 \cdot 10^{-12} P_\phi^2 + 0,0033 P_\phi d_\phi + 2717,2856 d_\phi^2. \quad (19)$$

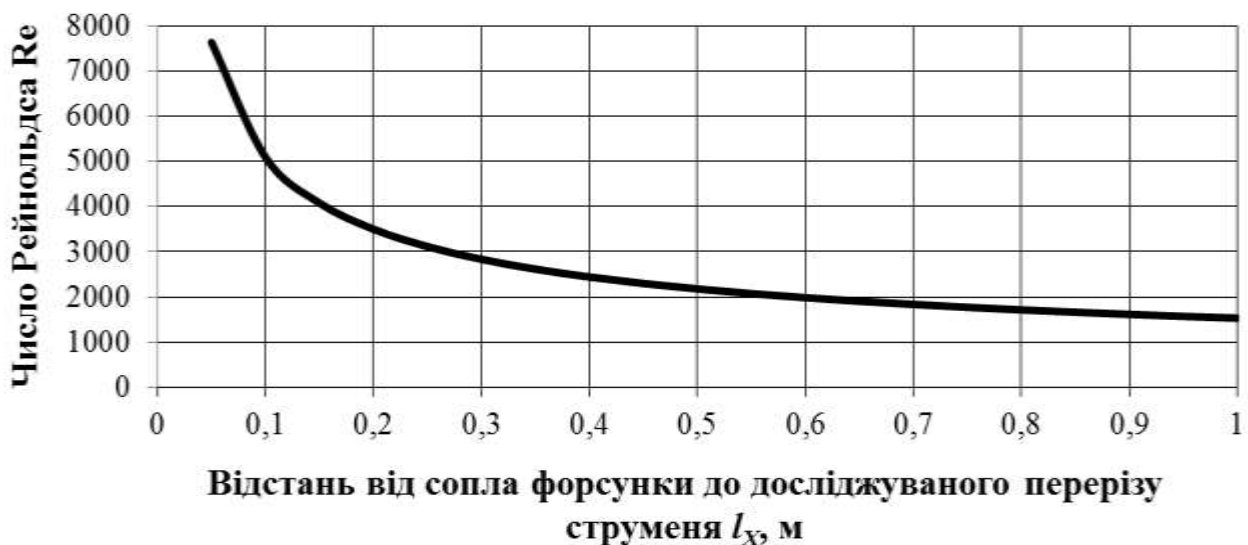


Рис. 14. Значення числа Рейнольдса за довжиною струменя l_{ef} для емульсії на основі ріпакової олії за температури $t = 40$ С, тиску у форсунці $P_\phi = 0,02$ МПа, діаметрі сопла форсунки $d_\phi = 10$ мм

Проведені дослідження дають змогу стверджувати, що при круговому циркуляційному перемішуванні потоку емульсії за температури до 40 °С у складі ріпакової олії та метилового спирту у співвідношенні 6:1 ефективно перемішування досягається при створенні у струмені емульсії турбулентного режиму, параметри якого визначаються виразом (20).

У третьому розділі «Програма та методика експериментальних досліджень» викладено програму експериментальних досліджень, описано експериментальні установки, використано вимірювальне обладнання, наведено методику проведення досліджень.

Програма експериментальних досліджень передбачала встановлення:

- за допомогою імітаційного моделювання впливу коефіцієнтів заповнення біомасою k_3 та занурення у рідину $k_{3н}$ обертових метантенків на загальну $N_{кр}$ та питому n_n потужність для забезпечення обертання реактора;

- за допомогою дослідної установки обертового метантенка впливу коефіцієнтів заповнення k_3 та занурення $k_{3н}$ на потужність $N_{дв}$, що споживає приводний двигун метантенка;

- за допомогою імітаційного моделювання впливу діаметрів отворів нижньої d_{Hi} та верхньої d_B секцій розподільника на витрати повітря $V_{заг}$ та теплову потужність P_k котлів із верхнім горінням;

- за допомогою дослідної установки котла із верхнім горінням впливу витрати повітря $V_{заг}$ на склад продуктів згоряння на виході із котла та на фактичну теплову потужність $P_{кд}$;

- за допомогою дослідної установки циркуляційного змішувача впливу числа обертів насоса n , діаметра сопла d_ϕ та кута встановлення форсунок β_ϕ циркуляційних реакторів-розділювачів на потужність N_D , що витрачається на перемішування та циркуляцію емульсії;

- за допомогою імітаційного моделювання впливу об'єму V_p та діаметра сопла d_ϕ форсунок циркуляційних реакторів-розділювачів на питому потужність n_T , що витрачається на циркуляцію емульсії.

Відповідно до програми дослідження, експериментальне визначення впливу технологічних та конструкційних параметрів метантенка, а також параметрів субстрату на споживану потужність при перемішуванні субстрату проведено із використанням модельного біореактора (внутрішній радіус $R = 0,2$ м, робоча довжина $L = 0,6$ м), що виготовлено у Науково-дослідному інституті техніки і технологій НУБіП України. Як сировину використовували субстрат на основі гною великої рогатої худоби та свиней. Дослідження проводилися на спеціально сконструйованій дослідній установці (рис. 15), що складалась із обертового метантенка БОР-0,4, зовнішнього корпусу, частотного перетворювача Hitachi-3-G3JX-A4075-EF, ноутбука та цифрового вимірювача ДМК-30.

Для проведення досліджень, щодо впливу параметрів котлів із верхнім горінням на енергетичну ефективність спалювання соломи зернових, використано розроблений котел КГВ-20 (рис. 16), оснащений електронною системою керування на базі мікропроцесорного пристрою АТОС. Для подачі

повітря у топку котла використано систему подачі повітря на базі вентилятора WPA-06, оснащено асинхронним двигуном потужністю 83 Вт. Для оцінки теплової потужності котла, його оснащено системою подачі повітря у нагрівальну порожнину на базі вентилятора OBR-200M-2K, що оснащений електродвигуном потужністю 600 Вт. Витрата повітря котлом та його температура визначалися за допомогою анемометр-термометра СЕМ-DT-620. Склад продуктів згоряння визначався за допомогою газоаналізатора ОКСІ-5М.



Рис. 15. Комплект обладнання для проведення дослідження енергетичної ефективності перемішування субстрату (зовнішній корпус не показано):

1 – обертовий метантенк; 2 – частотний перетворювач; 3 – реєстратор; 4 – цифровий вимірювальний пристрій.

Для проведення досліджень енергетичної ефективності циркуляційних змішувачів розроблено експериментальну установку, наведену на рис. 17.



Склад її був такий: циркуляційний реактор для етерифікації рослинної олії ЦРПР-2; гідростанція; керуюча, вимірювальна та фіксуєча апаратура (частотний перетворювач Hitachi-3-G3JX-A4075-EF); цифровий вимірювач ДМК-30, що аналізує параметри споживання електроенергії; тахометр УТ-372; ноутбук.

Рис. 16. Дослідна установка для встановлення енергетичної ефективності спалювання соломи зернових у котлах із верхнім горінням:

1 – котел КГВ-20; 2 – система подачі повітря до топку котла; 3 – система подачі повітря до нагрівальної порожнини котла; 4 – електронна система керування.



Рис. 17. Комплект обладнання для дослідної перевірки енергетичної ефективності виробництва дизельного біопалива у циркуляційних змішувачах:

1 – циркулярний змішувач; 2 – гідростанція; 3 – блок апаратури.

У четвертому розділі «Технічні та технологічні пропозиції отримання енергії із сировини сільськогосподарського походження та результати перевірки елементів агроєкосистеми у виробництві»

проаналізовано дані експериментальних досліджень, сформовано технічні пропозиції та проектні рішення щодо виробництва біогазу в обортових реакторах, виробництва теплової енергії із соломи зернових культур та виробництва рідкого біопалива у циркуляційних реакторах і результати їх перевірки у виробництві.

За технологічну основу виробництва біогазу прийнято процес метаногенезу біосировини з добовим об'ємом до 300 м³, температурним режимом 38–55 °С, яка має кислотність 6,5–7 од., вологість 90–95 %, фракційний склад з максимальним розміром твердих складових до 30 мм, допустиме відхилення температури в анаеробному реакторі у межах ±2 °С, дозі добового завантаження 10 %, яке здійснюється кожні 2 год та експозиції анаеробного зброджування від 10 до 20 діб залежно від обраного температурного режиму зброджування.

При діапазоні робочих (внутрішніх) радіусів R метантенка від 0,5 до 3,5 м, отримано залежності потужності для забезпечення обертання реактора N_{KR} від коефіцієнта заповнення k_3 у межах від 0,8 до 1 при повному зануренні метантенка.

Встановлено емпіричні рівняння залежності питомої потужності на обертання метантенка від його внутрішнього радіуса та коефіцієнта завантаження:

$$n_{II} = 10169 - 20245k_3 - 956R + 10884k_3^2 + 270 Rk_3 + 169R^2 \quad (20)$$

та визначено, що коефіцієнт заповнення збільшується по мірі збільшення внутрішнього радіуса реактора від 0,5 до 2,15 м у діапазоні від 0,89 до 0,946 (рис. 18). Встановлено раціональний радіус метантенка ($R = 2,15$ м), що забезпечує мінімальні енерговитрати ($N = 6912$ Вт) на обертання метантенка, у широкому діапазоні коефіцієнта завантаження ($k_3 = 0,8 \dots 0,946$) та є граничним максимальним значенням цього параметра завдяки узгодженню динаміки зміни потужностей на перемішування біомаси $N_{ЦБ}$ та подолання опору підшипників $N_{ОП}$.

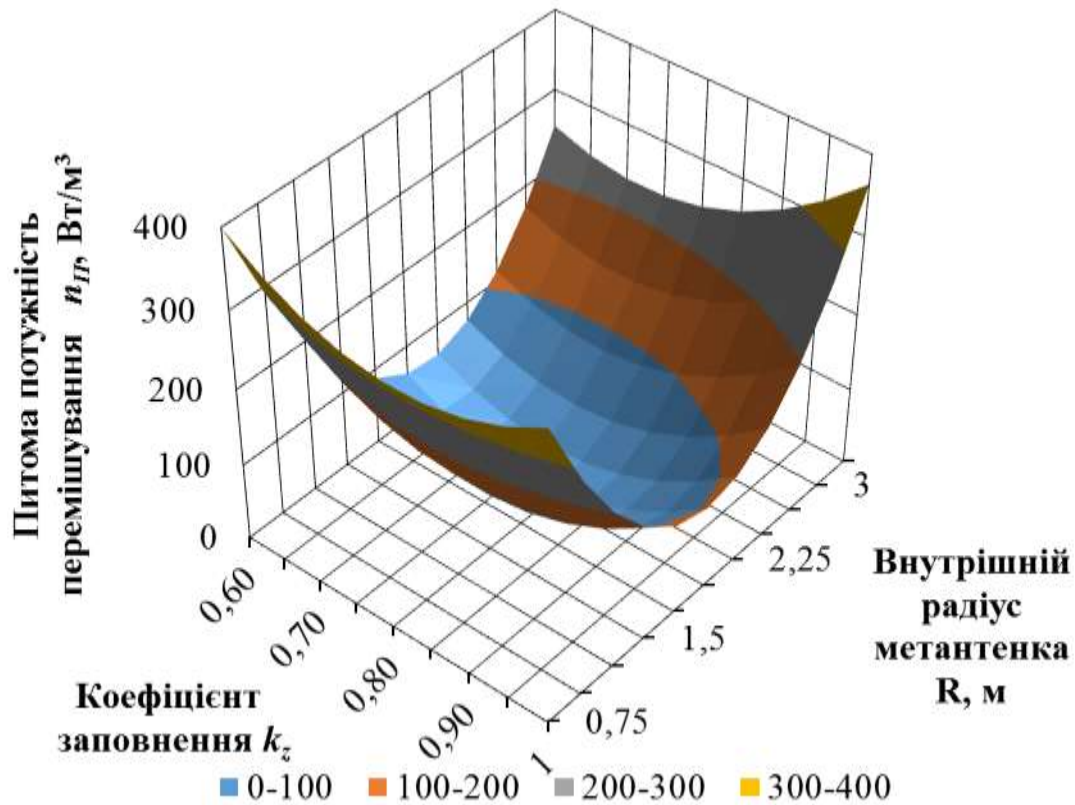


Рис. 18. Залежність питомої потужності n_{II} перемішування біомаси у реакторі від коефіцієнта заповнення k_z та внутрішнього радіуса R (коефіцієнт занурення $k_{zn} = 1$, кутова швидкість $\omega = 0,035$ рад/с)

Проведені дослідження впливу коефіцієнта заповнення k_z на потужність $N_{об}$, що споживається приводним двигуном (рис. 18) дали змогу за регресивним аналізом результатів отримати коефіцієнти відповідної емпіричної залежності (з рівнем довірчої імовірності за коефіцієнтом детермінації) – $R^2 = 0,9664$):

$$N_{об} = 2179,2k_z^3 - 5538,5k_z^2 + 4649,5k_z - 1278,1, \quad (21)$$

де $N_{об}$ – середня потужність двигуна на обертання метантенка, Вт;

k_z – коефіцієнт заповнення метантенка субстратом (біомасою).

Також досліджено вплив коефіцієнтів заповнення k_z та занурення k_{zn} на питому потужність n_{II} перемішування біомаси у реакторі, що дали змогу за регресивним аналізом результатів отримати коефіцієнти відповідної емпіричної залежності:

$$n_{II} = 806,5312 - 1588,2848k_z + 313,9577k_{zn} + 971,9074k_z^2 - 579,0525k_z k_{zn} + 114,5044k_{zn}^2, \quad (22)$$

де n_{II} – питома потужність перемішування біомаси у метантенку, Вт/м³;

k_z – коефіцієнт заповнення метантенка субстратом (біомасою);

k_{zn} – коефіцієнт занурення метантенка.

Із дослідження рівняння (22) на екстремуми впливає, що при значеннях коефіцієнта заповнення $k_z = k_{зонт} = 0,93$ забезпечуються мінімальні питомі енерговитрати на перемішування субстрату.

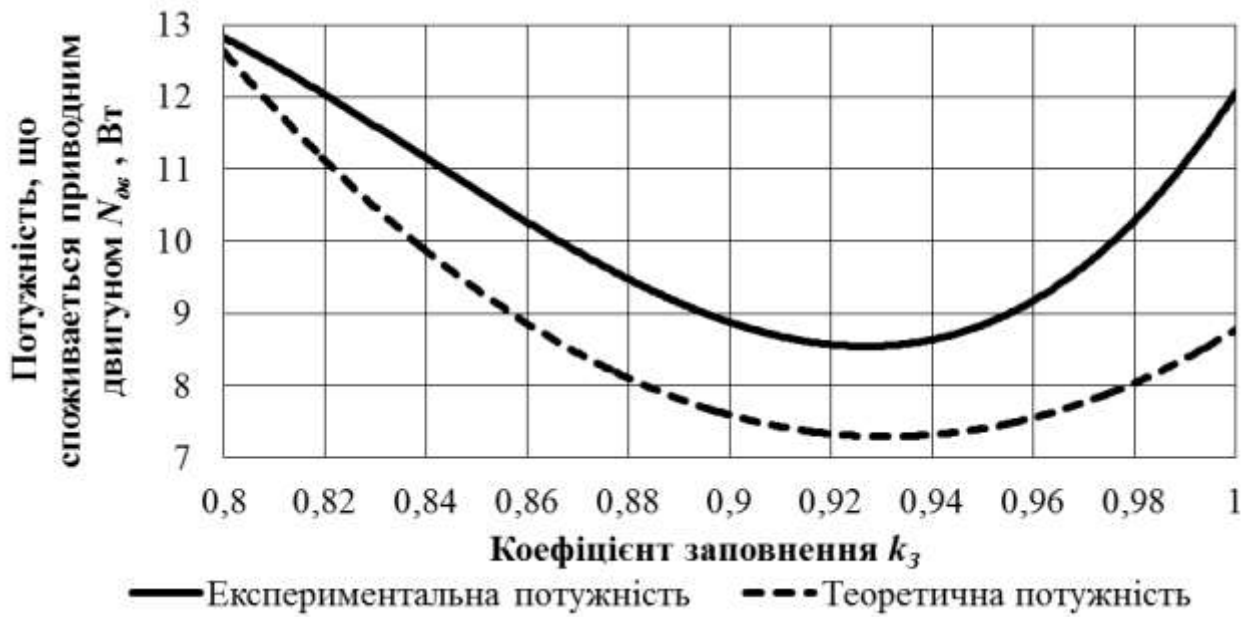


Рис. 19. Дослідна залежність потужності електродвигуна $N_{об}$, для забезпечення обертання біореактора від коефіцієнта заповнення k_3 (внутрішній радіус $R = 0,2$ м, робоча довжина $L = 0,6$ м, кутова швидкість $\omega = 0,035$ рад/с)

Дослідження впливу параметрів котлів із верхнім горінням на енергетичну ефективність спалювання соломи зернових проведено із використанням відповідного обладнання на базі котла КГВ-20 дали змогу встановити вплив подачі повітря пропонованим розподільником до робочої області котла на вміст CO (рис. 20) у димових газах та на дійсну теплову потужність котла.

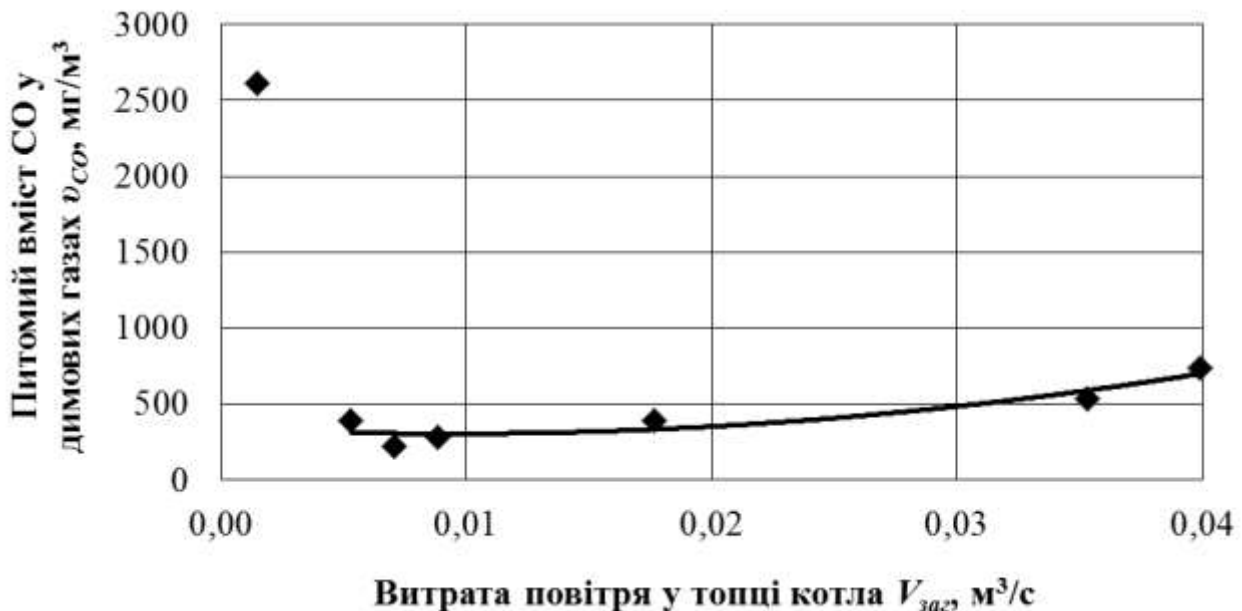


Рис. 20. Дослідна залежність питомого вмісту CO v_{CO} у димових газах від загальної подачі повітря V_{zag} до робочої області котла

Із аналізу отриманих даних випливає, що питомий вміст CO у димових газах набуває мінімальних значень при усталеному режимі роботи котла, а у

пусковому режимі питомі викиди мають значення на порядок вищі, хоча загальні викиди CO в атмосферу перебувають у межах норми, оскільки витрата димових газів у пусковому режимі незначна. В усталеному режимі питомий вміст CO у димових газах досліджуваного котла може бути описаний (з рівнем довірчої імовірності – $R^2 = 0,87$) залежністю:

$$v_{CO} = 426139V_{zag}^2 - 8032,8V_{zag} + 339,64; \quad (23)$$

Мінімального значення питомий вміст CO $v_{CO} = 216 \text{ мг/м}^3$ набуває при загальній подачі повітря до топки котла $V_{zag} = 0,0071 \text{ м}^3/\text{с}$, що на 4 % нижче ніж встановлено теоретично. Встановлена раціональна подача повітря V_{zag} дає змогу котлу розвивати максимальну теплову потужність $P_{кд} = 16,6 \text{ кВт}$ із ККД $\eta_k = 82,8 \%$.

Знаючи витрати палива та враховуючи геометричні розміри розподільника повітря та рулону соломи на основі проведених досліджень можна встановити діаметр топки D_K та висоту H_K котла із верхнім горінням, а також кількість його завантажень на добу.

Відповідно для потужностей котла від 10 до 70 кВт як паливо доречно використовувати січку соломи, що дає змогу зменшити габарити котла: діаметр топки D_{TK} від 0,48 м (для $P_k = 10 \text{ кВт}$) до 0,96 (для $P_k = 70 \text{ кВт}$), висоту котла H_K від 2,23 до 3,41 м. Для котлів із більшою потужністю доречно використовувати рулони діаметром від 1,6 до 2,55 м (для P_k від 130 до 200 кВт).

У котлах потужністю P_k до 70 кВт використовується січка соломи, що завантажується через бокові дверцята. А котли більшої потужності (P_k у межах 80-200 кВт) завантажуються рулонами соломи через верхню частину котла, яка виконана знімною. Тому для таких котлів необхідно передбачити використання вантажопідйомного обладнання для механізації завантаження рулонів.

В умовах аграрних підприємств виробництво дизельного біопалива доречно розділити на три основні етапи: отримання олії, отримання біопалива, зберігання біопалива. Причому з метою скорочення технологічних операцій необхідно поєднати зберігання дизельного біопалива із видаленням метилового спирту.

Параметри гідродинамічного розділювача встановлено за результатами теоретичних досліджень та розраховано (висота розділювача H_p , висота області проходження реакції $H_{лр}$, висота області відстоювання гліцерину $H_{вг}$) зважаючи на встановлені типорозміри корпусів вертикальних апаратів з конічним днищем.

За регресійним нелінійним аналізом результатів досліджень енергетичної ефективності циркуляційного змішувача встановлено значення коефіцієнтів відповідного поліноміального регресійного рівняння:

$$N_d = 123,3926 - 0,4103n + 0,407d_\phi + 0,0006n - 0,0039d_\phi^2, \quad (24)$$

де N_d – потужність, що витрачається на циркуляцію та перемішування біомаси, Вт;

n – число обертів гідронасоса, об/хв;

d_ϕ – діаметр сопла форсунки, мм.

Адекватність пропонованого рівняння оцінено за критерієм Фішера $\Phi = 2,4645 < \Phi_T = 2,5336$.

Графічний розв'язок рівняння (24) дав змогу окреслити відповідну поверхню (рис. 21) та встановити у діапазоні обертів гідронасоса n від 800 до 1400 об/хв споживану потужність, яка незначно знижується при зміні діаметра сопла форсунки d_f у межах від 9 до 30 мм, а у діапазоні від 200 до 800 об/хв при зміні діаметра сопла форсунки d_f у межах від 9 до 30 мм залишається практично сталою.

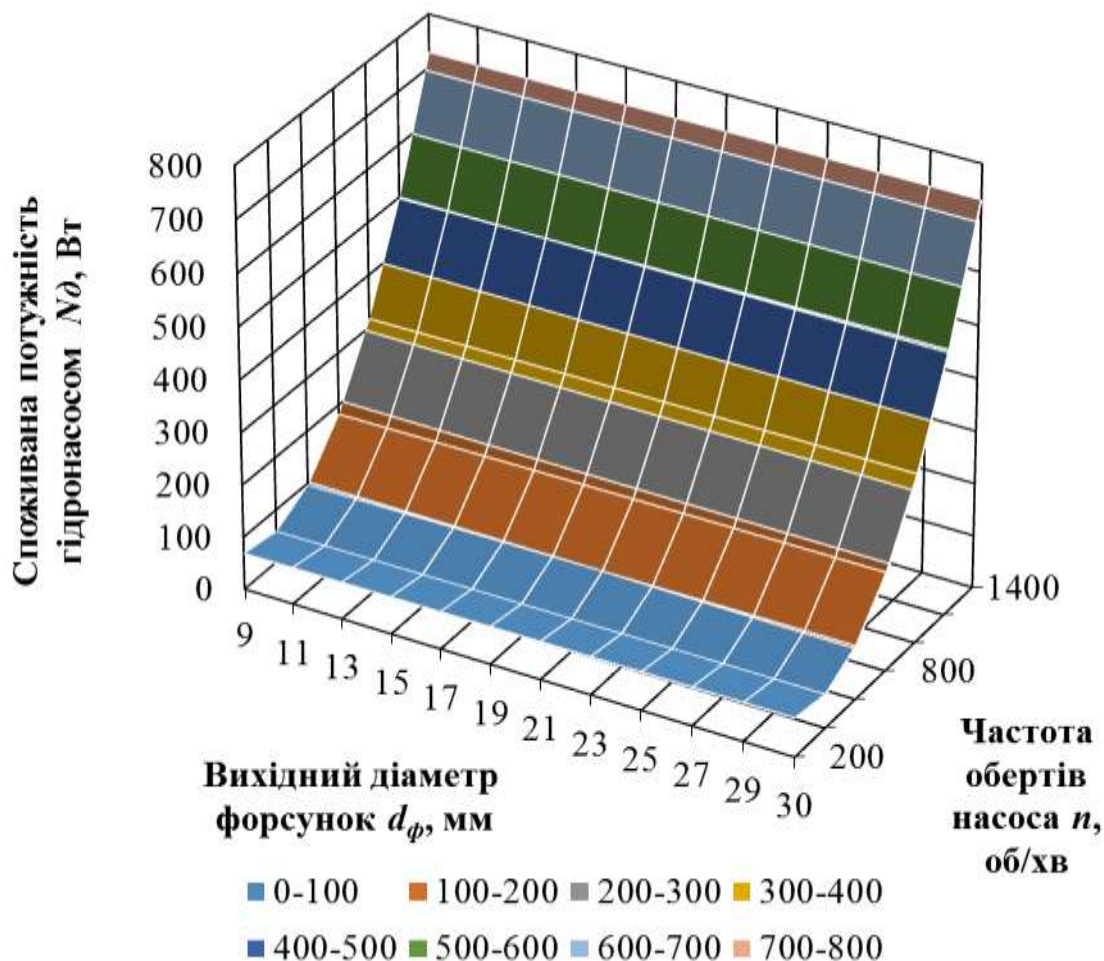


Рис. 21. Залежність потужності N_d , що витрачається на перемішування та циркуляцію емульсії від частоти обертів гідронасоса n та діаметра сопла форсунки d_f

Аналіз поверхні на екстремуми дав змогу встановити, що мінімальні енерговитрати при перемішуванні та циркуляції емульсії досягаються за частоти обертів гідронасоса $n = 400$ об/хв.

Значення споживаної потужності, отримані внаслідок експериментальних досліджень, відповідають значенням потужності, розрахованим теоретично (рис. 22), відповідно до математичної моделі енергозберігаючого циркуляційного перемішування емульсії у циркуляційних змішувачах.

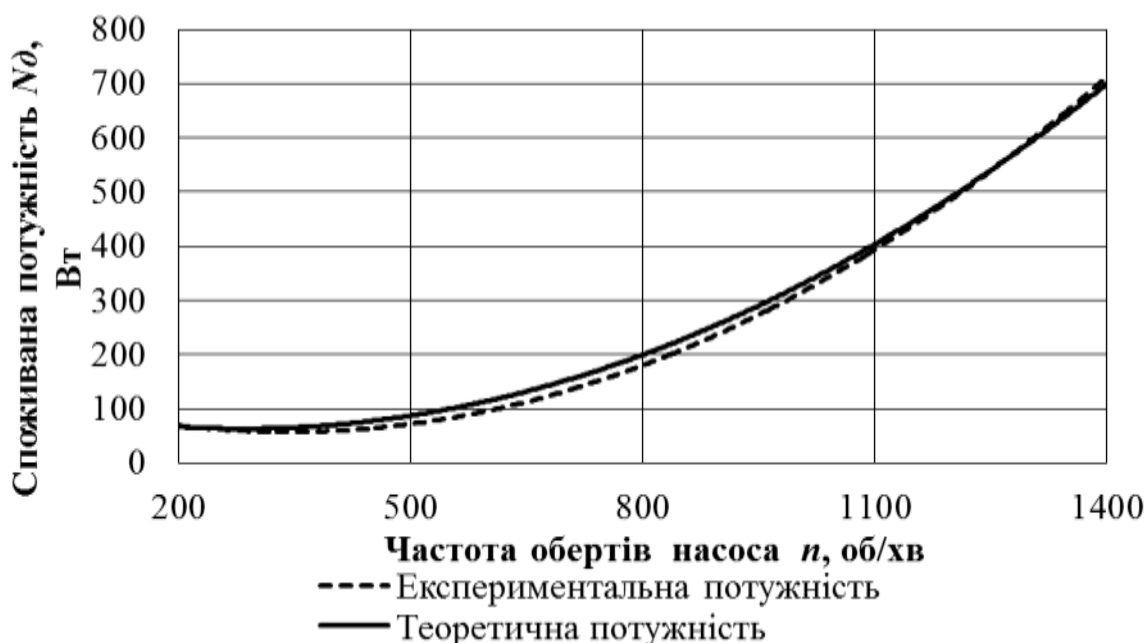


Рис. 22. Дослідна та теоретична залежності потужності N_d , від частоти обертання гідронасоса n (діаметр форсунки $d_\phi = 17$ мм)

Дослідження дали змогу встановити емпіричну залежність між питомою потужністю n_T (Вт/м³), номінальним об'ємом реактора V_P , (м³) і діаметром сопла форсунок d_ϕ (мм):

$$n_T = 906,39 - 246,079V_P + 4,767d_\phi + 0,2271V_P^2 + 7,6232 V_P d_\phi - 0,893 d_\phi^2. \quad (25)$$

Дослідження залежності (25) на екстремуми дало змогу встановити, що найнижчі значення питомої потужності лежать у діапазоні діаметра сопла форсунок d_ϕ від 10 до 35 мм і досягнуть мінімального значення $w_T = 9,8$ Вт/м³ при робочому об'ємі циркуляційного змішувача-розділювача дизельного біопалива $V_P = 50$ м³.

Отримане внаслідок пропонованого технологічного процесу із застосуванням циркуляційних реакторів змішувачів-розділювачів дизельне біопаливо має характеристики, що відповідають ДСТУ 3868-99 та ДСТУ 6081:2009.

У п'ятому розділі «Розроблення удосконаленої моделі агроєкосистеми з виробництвом біопалива та аналіз економічної ефективності її компонентів» удосконалено модель агроєкосистеми з виробництвом біопалива та обґрунтовано ефективність пропонованих у роботі технічних та технологічних рішень.

На підігрівання субстрату можна отримати енергію прямого спалювання біомаси рослинництва, а для перемішування та перекачування субстрату використати частку електроенергії, виробленої внаслідок використання біогазу, тому виробнича собівартість електроенергії становитиме:

$$c_{EL} = \frac{k_{np} \rho_{ПБ}}{k_{БМ} q_{БМ} \eta_{\Gamma} \tau_{ЗБ}} C_{БМ} (1 - k_D) + (1 + k_{ЗВ} + k_{ЗГ}) (TOP_{EL} + EL_{EL} + ЗП_{EL}), \quad (26)$$

де c_{EL} – виробнича собівартість електроенергії, грн/кВт год;
 $q_{БМ}$ – теплотворна здатність біометану, МДж/м³;

$\eta_{Г}$ – коефіцієнт корисної дії дизель-генератора при отриманні електроенергії, віднос. од.;

k_{np} – коефіцієнт перерахунку, МДж/кВт год;

$\rho_{ПБ}$ – густина переробленої у біогазовому реакторі біомаси, т/м³;

$k_{БМ}$ – 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, діб;

$\mathcal{C}_{БМ}$ – вартість біомаси, яка надходить на переробку в біогазову установку, грн/т;

$k_{Д}$ – коефіцієнт збільшення вартості органічних добрив після анаеробного зброджування біомаси, віднос. од.;

$k_{ЗВ}$ – коефіцієнт, що враховує загальновиробничі витрати, віднос. од.;

$k_{ЗГ}$ – коефіцієнт, що враховує загальногосподарські витрати, віднос. од.;

$ТОР_{ЕЛ}$ – 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.

За рівнянням (26) собівартість виробництва електроенергії на основі біогазу лежить у межах від 0,34 до 0,44 грн/кВт год.

Згідно з техніко-економічною оцінкою ефективності використання котлів із верхнім горінням встановлено, що питомі витрати на отримання тепла для котлів, що працюють на рулонах соломи RAU-2-600М (теплова потужність $P_{к} = 860$ кВт) становлять – 33,2 грн/ГДж та RAU-2-331М ($P_{к} = 300$ кВт) – 37,4 грн/ГДж; для котла, що працює на природному газі КВГ-200 ($P_{к} = 200$ кВт) – 115,0 грн/ГДж (базовий варіант). Для котла із верхнім горінням, що працює на січці соломи КВГ-20 ($P_{к} = 20$ кВт) питомі витрати на отримання тепла, становитимуть 30,1 грн/ГДж, а для котла із верхнім горінням, що працює на рулонах КВГ-200 ($P_{к} = 200$ кВт) – 30 грн/ГДж.

Отже, ефективність пропонованих котлів із верхнім горінням на 74 % вища ніж у котлів, що працюють на природному газі (завдяки використанню дешевшого палива) та на величину від 10,4 до 19,9 % вище ніж у традиційних котлів, що працюють на соломі (завдяки підвищенню ефективності спалювання палива).

Собівартість виробництва дизельного біопалива становила від $C_{Д} = 12172$ грн/т (для модельного підприємства із площею ріллі $S = 1000$ га і реактора-змішувача ЦРПР-2 об'ємом $V_{Р} = 2$ м³) та до $C_{Д} = 12886,7$ грн/т ($S = 100$ га, ЦРПР-0,4 $V_{Р} = 0,4$ м³). При розрахунках собівартості прийнято вартість олії $B_{ол} = 9700$ грн/т, а вартість метилату калію – $B_{МК} = 11000$ грн/т. Приймаючи ринкову вартість дизельного пального $B_{рo} = 16000$ грн/т, річний прибуток становитиме від $\Pi_{Д} = 165$ грн/га до $\Pi_{Д} = 206$ грн/га для підприємств із площею ріллі $S = 100$ та 1000 га відповідно. При цьому рівень рентабельності $P_{Д}$ становитиме від 16,9 до 22,0 %.

Аналіз параметрів функціонування агроєкосистеми (рис. 23) із

виробництва біопалива, передбачав функціонування трьох варіантів агроєкосистеми:

- із виробництва продукції рослинництва й тваринництва та біопалива (варіант 1);
- із виробництва продукції рослинництва й тваринництва але без виробництва біопалива (варіант 2);
- із виробництва продукції рослинництва але без виробництва продукції тваринництва та біопалива (варіант 3).

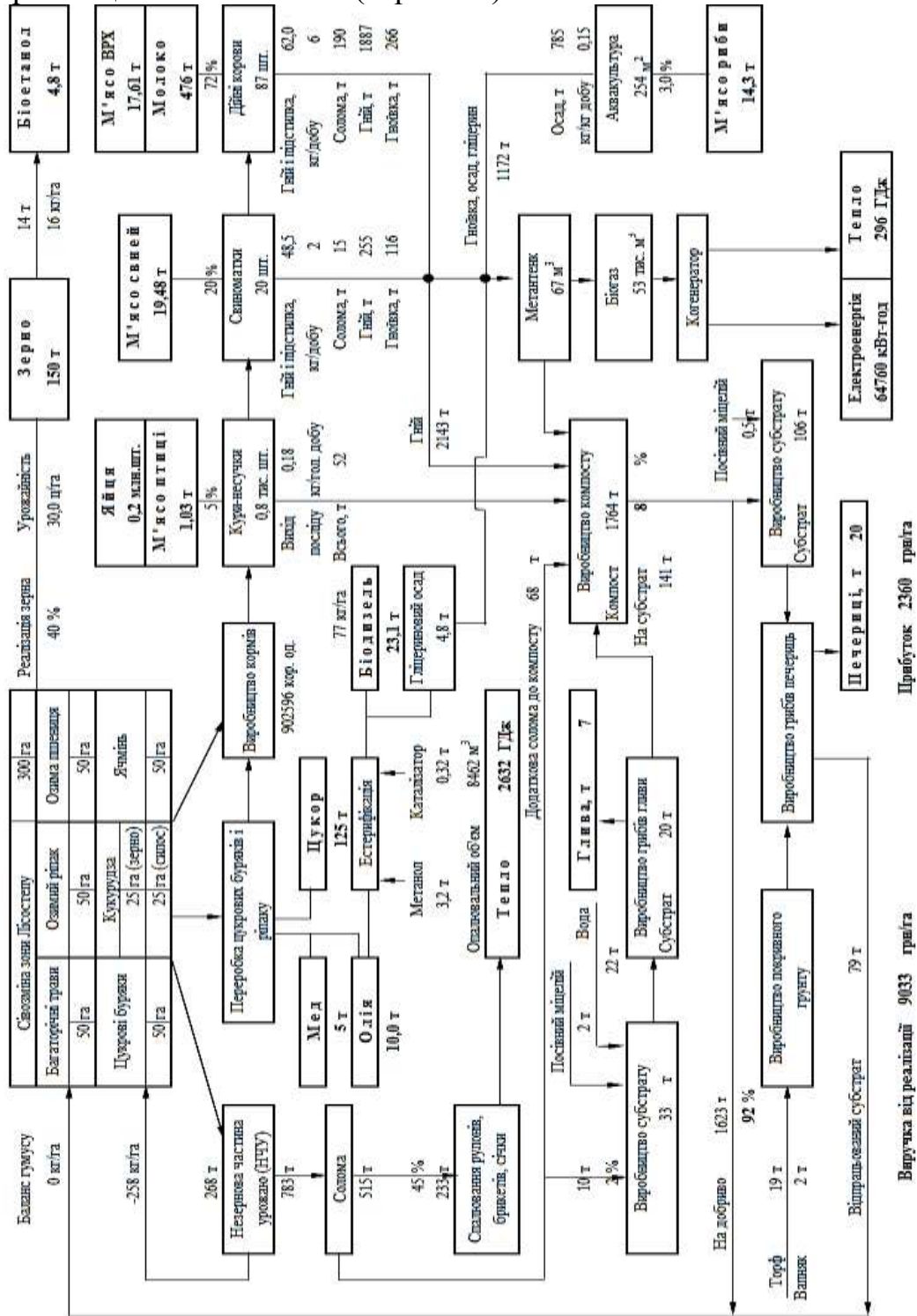


Рис. 23. Схема біологічної та енергетичної конверсії органічної сировини агроєкосистеми із виробництва біопалива

За аналізом функціонування удосконаленої агроєкосистеми встановлено, що найбільший економічний ефект можливо отримати у збалансованій агроєкосистемі, що поєднує рослинництво, тваринництво і виробництво біопалива, забезпечивши у цьому разі бездефіцитний баланс гумусу. Так, за урожайності озимої пшениці 30 ц/га прибуток для збалансованої агроєкосистеми із виробництва біопалива становить 2360 грн/га, що вище на 51,6 % ніж для агроєкосистеми без виробництва біопалива (рис. 24).

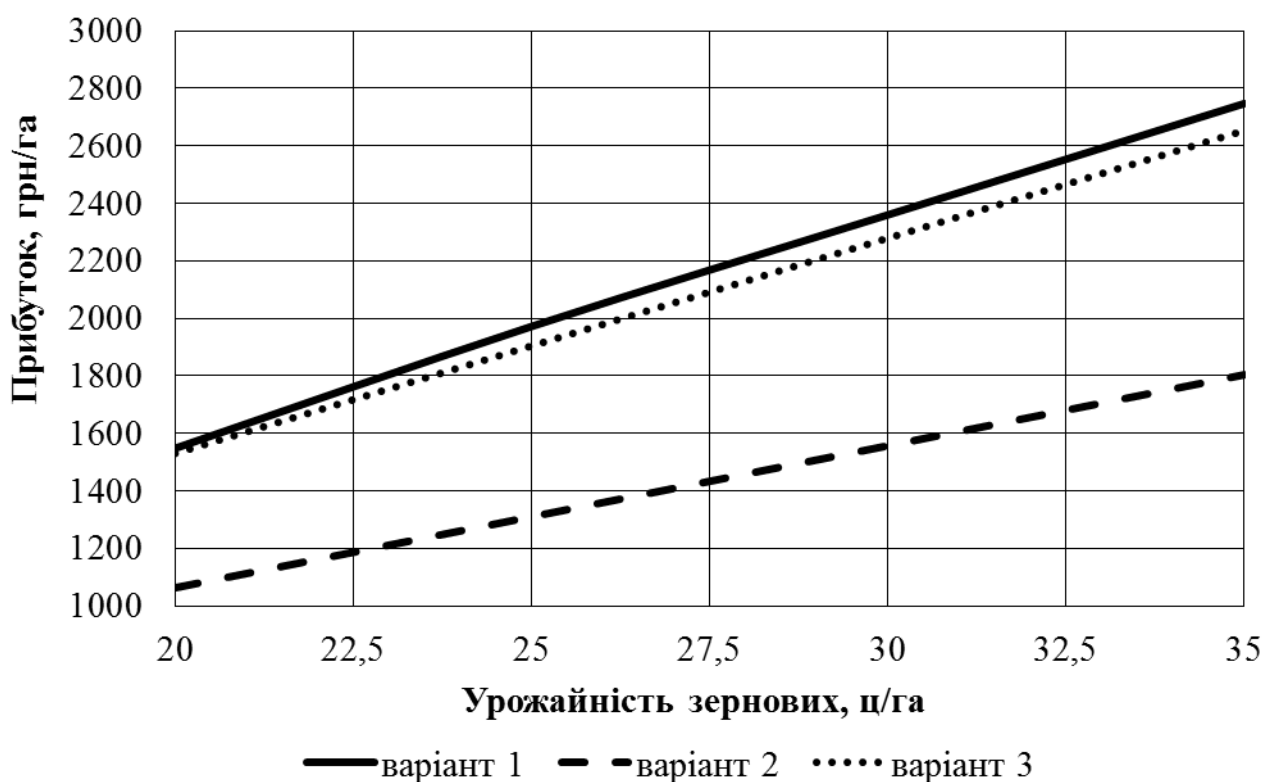


Рис. 24. Залежність прибутку від урожайності базової культури та варіанта функціонування агроєкосистеми

Рівень забезпечення електро- та тепловою енергією можна виразити залежностями: $PE = 27,905 \ln(u_3) - 77,951$ та $TE = 196,59 \ln(u_3) - 485,68$, де PE – рівень забезпечення електричною енергією, %; TE – рівень забезпечення тепловою енергією, %; u_3 – урожайність базової культури (озимої пшениці), ц/га. Звідки походить, що сільськогосподарське виробництво, згідно з удосконаленою моделлю агроєкосистеми із біологічною та енергетичною конверсією органічної сировини здатне забезпечити себе необхідною тепловою енергією за урожайності зернових 20 ц/га і вище, а за більшої урожайності надлишок теплової енергії доцільно конвертувати в електричну, підвищивши рівень забезпечення електричною енергією.

Структуру фінансових надходжень при функціонуванні агроєкосистеми на основі імітаційної моделі можна навести як діаграму (рис. 25).

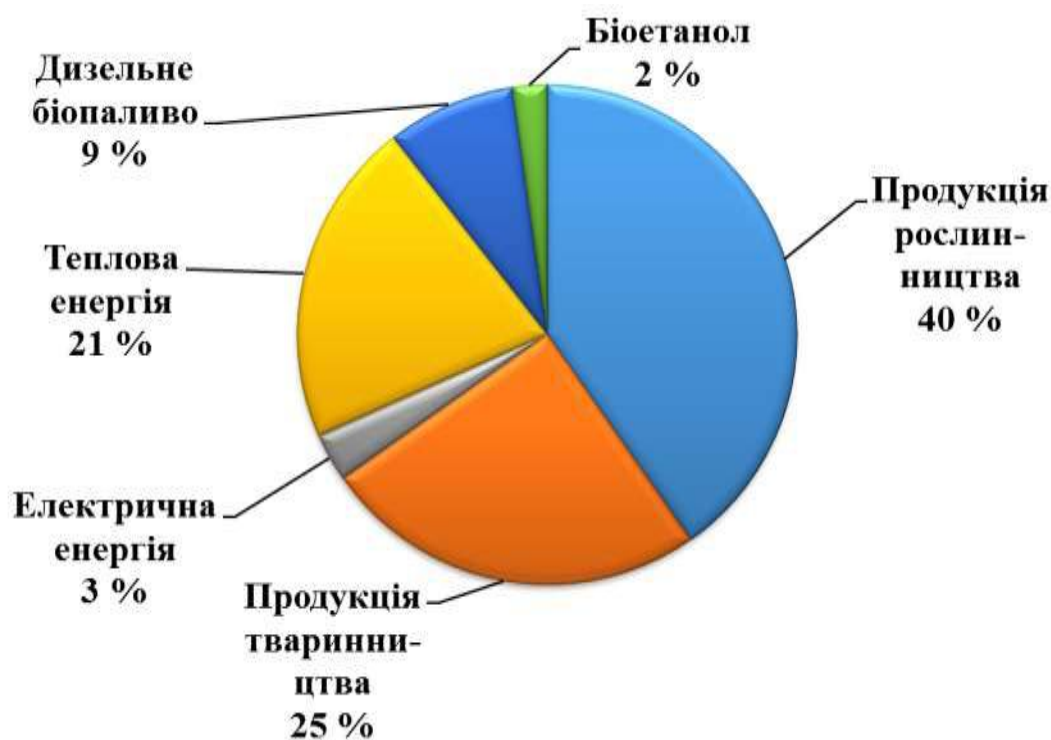


Рис. 25. Структура фінансових надходжень агроекосистеми від виробництва сільськогосподарської продукції та біопалива

Із рис. 25 видно, що до 35 % всіх фінансових надходжень у сільськогосподарському виробництві можливо забезпечити завдяки виробництву і використанню біопалива.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне обґрунтування та вирішення наукової проблеми підвищення рівня енергетичної автономності агроекосистем за одночасного підтримання родючості ґрунтів завдяки формалізації механіко-технологічних параметрів технічних засобів для агропромислового отримання газоподібного, рідкого та твердого біопалива.

1. Отримано математичну модель, яка характеризує взаємозв'язок між геометричними і кінематичними параметрами метантенка та технологічними параметрами процесу виробництва біометану із витратами енергії та рівномірністю перемішування субстрату. Розроблена модель свідчить, що збільшення внутрішнього радіуса біогазового реактора від 0,5 до 2,15 м обумовлює зміну коефіцієнта заповнення обертового метантенка від 0,89 до 0,946. При цьому завдяки узгодженню динаміки зміни потужностей на перемішування біомаси та подолання опору підшипників забезпечується мінімальна питома потужність, що витрачається на обертання метантенка, у межах від 99,85 до 101,23 Вт/м³. Рівномірне перемішування органічного та мінерального прошарків субстрату забезпечується за раціональних значень кутової швидкості метантенка від 0,035 до 0,08 с⁻¹ та довжини лопаток метантенка від 77,5 до 82,5 % до його внутрішнього радіуса.

2. Розроблено математичну модель надходження повітря до зони газифікації та згорання котла із верхнім горінням, що пов'язує теплову

потужність із аеродинамічним опором розподільника повітря, витратами повітря через нього та його геометричними параметрами. Встановлено, що витрати повітря при спалюванні соломи на 1 кВт теплової потужності котла становлять від $3,53 \cdot 10^{-4}$ до $3,69 \cdot 10^{-4}$ м³/с. Надходження повітря у котел для утворення генераторного газу становить від 22,4 до 31,6 % та на спалювання газу від 77,6 до 68,4 % від загального об'єму повітря. Для забезпечення рівномірного розподілу повітря у зоні утворення генераторного газу максимальний розмір отворів розподільника має перебувати у межах від 13 до 26 мм і зменшуватись із фіксованим кроком від 0,3 до 0,7 мм.

3. Отримано математичну модель для визначення енергетичних витрат на турбулентне перемішування емульсії у циркуляційних змішувачах у ході виробництва дизельного біопалива залежно від геометричних та технологічних параметрів змішувача. Встановлено, що турбулентний режим у струмені емульсії забезпечується при тиску від 0,01 до 0,05 МПа та діаметрі сопла форсунок змішувача від 10 до 35 мм.

4. Експериментально отримано рівняння регресії, що пов'язують потужність, що витрачається на обертання метантенка із геометричними і кінематичними параметрами метантенка та технологічними параметрами процесу виробництва біометану, що виражені через коефіцієнти заповнення та занурення. Встановлено, що заповнений на величину від 94 до 95 % обертовий метантенк з об'ємом завантаження біомаси від 3 до 103 м³ потребує мінімальної потужності для приводу від 299 Вт до 10,4 кВт при його зануренні у рідину на величину від 95 до 97 %. При цьому питома потужність приводного механізму у розрахунку на об'єм біомаси в реакторі перебуватиме у межах, що встановлені теоретично.

5. На основі експериментальних даних отримано рівняння регресії, яке пов'язує витрати повітря у топці котла із його ефективністю, що виражена дійсною тепловою потужністю та вмістом СО у димових газах котла. Встановлено, що для досліджуваного котла КГВ-20 із теоретичною тепловою потужністю 20 кВт, питомих вміст СО набуває мінімальних значень на рівні 216 мг/м³ при загальній подачі повітря до топки котла $0,0071$ м³/с, що на 4 % нижче ніж встановлено теоретично, у цьому разі котел розвиває максимальну дійсну теплову потужність 16,6 кВт із ККД 82,8 %.

6. Експериментально отримано рівняння регресії, що пов'язує енергетичні витрати на перемішування емульсії у циркуляційних змішувачах із параметрами форсунок та насосної станції. Встановлено, що у діапазоні обертів гідронасоса НШ-100 від 800 до 1400 об/хв споживана потужність незначно знижується при зміні діаметра сопла форсунки у межах від 9 до 30 мм, а у діапазоні від 200 до 800 об/хв та при зміні діаметра сопла форсунки потужність залишається сталою. Мінімальні енерговитрати при перемішуванні та циркуляції емульсії досягаються на рівні 65 Вт за частоти 400 об/хв гідронасоса НШ-100, у цьому разі забезпечується достатня інтенсивність перемішування емульсії.

7. За результатами економічного обґрунтування елементів удосконаленої агроекосистеми встановлено, що найбільший економічний ефект можливо

отримати у збалансованій агроєкосистемі, яка поєднує рослинництво, тваринництво і виробництво біопалива, забезпечивши при цьому бездефіцитний баланс гумусу. За урожайності озимої пшениці 30 ц/га прибуток для такої агроєкосистеми становитиме 2360 грн/га, що вище на 51,6 % ніж для агроєкосистеми без виробництва біопалива, у цьому разі до 35 % всіх фінансових надходжень у сільськогосподарському виробництві забезпечується завдяки виробництву і використанню біопалива.

ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Встановлено доцільність використання розроблених технологічних процесів та обладнання для виробництва біометану на основі обертових метантенків, спалювання соломи у котлах із верхнім горінням та виробництва дизельного біопалива на основі циркуляційний змішувачів, що дає змогу в агроєкосистемі, яка складається із блоків виробництва продукції рослинництва, тваринництва, птахівництва, аквакультури, грибівництва, блоку виробництва органічних добрив на основі соломи, гною і посліду для забезпечення балансу гумусу та блоку виробництва біопалива, за урожайності озимої пшениці до 30 ц/га отримати рівень забезпечення електроенергією до 17,3 % і повністю забезпечити потреби у тепловій енергії та рідкому біопаливі. Розроблено рекомендації щодо виробництва біометану, дизельного біопалива та використання соломи зернових, як енергоресурсу.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографія

1. Перспективи розвитку альтернативної енергетики на Поліссі України / [В. О. Дубровін, Л. Д. Романчук, С. М. Кухарець, І. Г. Грабар, Л. В. Лось, Г. А. Голуб, С. В. Драгнев, В. М. Поліщук, В. В. Кухарець, І. В. Нездвєцька, В. О. Шубенко, А. А. Голубенко, Н. М. Цивенкова]. – К.: Центр учбової літератури, 2014. – 335 с. *(Здобувач проаналізував особливості конверсії рослинної біомаси сільськогосподарського походження в енергію та біопаливо і техніко-економічні особливості використання соломи при прямому спалюванні).*

Статті у наукових фахових виданнях:

2. [Дубровін В. О.] Обґрунтування раціональних параметрів колісних рушіїв МТА для застосування в умовах зони Полісся України / [В. О. Дубровін, С. М. Кухарець, В. Р. Білецький // Наук. вісн. НАУ. – 2007. – Вип. 107. – С. 328–333. *(Здобувач розробив схему автоматизованої реєстрації та оперативного оброблення результатів експерименту).*

3. Нездвєцька І. В. Оптимізація сушіння коренів цикорію / І. В. Нездвєцька, С. М. Кухарець, О. Д. Муляр // Вісн. Житомир. нац. агроєкол. ун-ту. – 2010. – № 1. – С. 319–325. *(Здобувач розробив схему установки для дослідження характеристик матеріалів сільськогосподарського походження із автоматизованою фіксацією результатів досліджень).*

4. Сарана В. В. Багатокритеріальна оцінка сучасного обладнання для виготовлення паливних гранул і брикетів з відходів переробки сільськогосподарських культур і деревини / В. В. Сарана, М. М. Гудзенко,

С. М. Кухарець // Наук. вісн. НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2010. – Вип. 144, Ч. 3. – С. 190–197. *(Здобувач знайшов залежності для оцінки існуючого обладнання для виробництва твердого біопалива).*

5. Драгнєв С. В. Обґрунтування конструктивних параметрів періодичного реактора етерифікації рослинних олій / С. В. Драгнєв, С. М. Кухарець // Наук. вісн. НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2010. – Вип. 144, Ч. 4. – С. 190–197. *(Здобувач розробив методика для визначення раціональних параметрів періодичних реакторів-естерифікаторів).*

6. Кухарець С. М. Алгоритм розподілу органічних ресурсів у агроєкосистемах / С. М. Кухарець // Зб. наук. пр. Вінницького нац. аграр. ун-ту. Серія «Технічні науки». – 2012. – Вип. 10.–Т. 1. – С. 61–66.

7. Кухарець С. М. Забезпечення енергетичної автономності агроєкосистем на основі виробництва біопалива / С. М. Кухарець, Г. А. Голуб // Вісн. Житомир. нац. агрокол. ун-ту. – 2012. – Т. 1 (30), № 1. – С. 345–352. *(Здобувач проаналізував науково-технічні та економічні проблеми, що постають при виробництві й використанні біопалива в агроєкосистемах та запропонував шляхи їх розв'язання).*

8. Нездвєцька І. В. Використання методів нечіткого моделювання при проектуванні сушильного обладнання / І. В. Нездвєцька, С. М. Кухарець // Наук. вісн. НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2012. – Вип. 170, Ч. 1. – С. 378–383. *(Здобувач запропонував методика моделювання параметрів обладнання для перероблення продукції рослинництва на основі нечіткої логіки).*

9. Формалізація параметрів ІЧ-сушильних установок імпульсної дії при моделюванні технологічних процесів сушіння / І. В. Нездвєцька, С. М. Кухарець, С. С. Бучик, О. Л. Сидорчук // Вісн. Житомир. держ. технол. ун-ту. – 2012. – № 1. – С. 47–52. *(Здобувач проаналізував математичну модель установки на основі теорії нечітких множин).*

10. 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. агрокол. ун-ту. – 2012. – Т. 1 (31), № 2. – С. 187–195. *(Здобувач розробив структурну схему та імітаційну модель функціонування агроєкосистеми із виробництва біопалива).*

11. Кухарець С. М. Регулювання використання органічних ресурсів для виробництва біопалива / С. М. Кухарець, Г. А. Голуб // Сільськогосподарські машини: зб. нук. ст. – Луцьк, 2013. – Вип. 24. – С. 187–194. *(Здобувач встановив залежності для визначення обсягів біомаси, що може бути використана для біоконверсії та обґрунтував шляхи техніко-технологічного удосконалення відповідного обладнання).*

12. Кухарець С. М. Механіко-технологічний підхід до конструювання агроєкосистеми / С. М. Кухарець // Вісн. Житомир. нац. агрокол. ун-ту. – 2014. – Т.1 (39), № 1. – С. 187–197.

13. Кухарець С. М. Обґрунтування енергетичних витрат на привід обертового реактора біогазової установки / С. М. Кухарець, Г. А. Голуб // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і

технологій для сільського господарства України: зб. наук. пр. ДНУ УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – 2014. – Вип. 18 (32), Кн. 2. – С. 356–365. *(Здобувач отримав математичну модель розрахунку основних раціональних параметрів обертового метантенка із мінімальними енерговитратами).*

14. Голуб Г. Особливості конструкції модульної біогазової установки з обертовим реактором / Г. Голуб, С. Кухарець, Б. Рубан // Техніка і технології АПК (Науково-виробничий журнал). – 2014. – № 9 (60). – С. 10–14. *(Здобувач отримав залежності визначення потужності для забезпечення обертання біореактора та встановив раціональні конструкційні параметри обертових метантенків).*

15. Кухарець С. М. Вплив конструктивно-технологічних параметрів складових вакуумної системи на стабільність режимних характеристик мобільної доїльної установки / С. М. Кухарець, О. Ю. Романишин, О. В. Медведський // Вісн. Житомир. нац. агрокол. ун-ту. – 2014. – Т. 4 (45), №2, Ч.1. – С. 290–298. *(Здобувач розробив методика для визначення надійності і ефективності функціонування технічної системи залежно від конструктивно-технологічних параметрів складових системи).*

16. Кухарець С. М. Аналіз процесів утворення та горіння генераторного газу в котлах для спалювання соломи / С. М. Кухарець // Вісн. Житомир. нац. агрокол. ун-ту. – 2014. – Т. 4 (45), № 2, Ч. 2. – С. 336–344.

17. Голуб Г. А. Моделювання гумусного стану ґрунтового середовища агрокосистеми / Г. А. Голуб, С. М. Кухарець // Наук. вісн. НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2014. – Вип. 196, Ч. 2. – С. 20–27. *(Здобувач розробив математичну модель гумусного стану ґрунтового середовища).*

18. Кухарець С. М. Обґрунтування основних параметрів котлів із верхнім горінням / С. М. Кухарець // Наук. вісн. НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2014. – Вип. 196, Ч. 2. – С. 238–250.

19. Голуб Г. А. Ефективність використання котлів із верхнім горінням для спалювання соломи / Г. А. Голуб, С. М. Кухарець, О. Я. Переходько // Вісник Сумського нац. аграрного ун-ту. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». – 2014. – Вип. 11 (26). – С. 28–32. *(Здобувач отримав математичну модель для встановлення основних параметрів котлів із верхнім горінням).*

20. Особливості виробництва біопалива та отримання енергії в умовах агропромислового виробництва / Г. Голуб, С. Кухарець, В. Шубенко, Н. Бовсунівська // Техніка і технології АПК (Науково-виробничий журнал). – 2015. – № 2 (65). – С. 31–34. *(Здобувач обґрунтував технічні та технологічні пропозиції отримання енергії із сировини сільськогосподарського походження).*

Статті у міжнародних виданнях:

21. Кухарець С. Н. Обеспечение рационального использования сырья для получения биотоплива в агропромышленном комплексе / С. Н. Кухарець, Г. А. Голуб, С. В. Драгнев // Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. – 2013. – Vol. 15, No 4. – P. 69–76. *(Здобувач розробив алгоритм регулювання використання органічних ресурсів для виробництва біопалива).*

22. 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, No 5. – P. 99–107. (Здобувач розробив схему технологічного процесу енергетичного використання сировини рослинного походження).

23. Голуб Г. Эффективность использования оборудования для производства дизельного биотоплива / Г. Голуб, М. Павленко, С. Кухарец // Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. – 2015. – Vol. 17, No 3. – P. 11–16. (Здобувач розробив методіку техніко-економічного обґрунтування використання циркуляційних реакторів).

Статті у інших виданнях:

24. Кухарець В. В. Формування стратегії управління конверсії біосировини у сільськогосподарських підприємствах / В. В. Кухарець, С. М. Кухарець // Збірник наук. пр. Вінницького нац. аграр. ун-ту. Серія «Економічні науки». – 2012. – Вип. 1.– Т. 1. – С. 87–91. (Здобувач розробив матрицю взаємозв'язків внутрішніх та зовнішніх чинників процесу конверсії органічної сировини у сільськогосподарських підприємствах).

25. Scientific bases of production and use of biofuel in agroecosystems / G. Golub, V. Dubrovin, S. Kukharets, O. Marus, M. Pavlenko, V. Chuba // Міжнародний електронний журнал «Біоресурси планети і якість життя». – 2013. – Вип. 4. – Режим доступу до журн.: <http://gchera-ejournal.nubip.edu.ua/index.php/ebql/article/view/146/112>. (Здобувач отримав імітаційну математичну модель функціонування агроєкосистеми із виробництвом біопалива).

Патенти на винаходи:

26. Пат. 96243. Україна, МПК А23N 12/08, А23L 3/54. А23В 7/02, F26В 3/30. Установка для сушіння сипких харчових продуктів рослинного походження / Лось Л. В., Кухарець С. М., Нездвєцька І. В., Шубенко В. О.; заявник та патентовласник Житомир. агрокол. ун-т. – № а201014824; заявл. 10.12.2010; опубл. 10.10.2011, Бюл. № 19. (Здобувач здійснив патентний пошук та запропонував конструкцію обертового барабана).

27. Пат. 105346 Україна, МПК F24Н1/10, F23В60/00. Котел водогрійний для спалювання рослинної біомаси / Переходько О. Я., Голуб Г. А., Дубровін В. О., Дімітрев О. Н., Кухарець С. М.; заявник та патентовласник Нац. ун-т. біоресурсів і природокористування України. – № а201310034; заявл. 12.08.2013; опубл. 25.04.2014; Бюл. №8. (Здобувач здійснив патентний пошук та запропонував конструкцію розподільника повітря)

Навчальні посібники:

28. Альтернативна енергетика: навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів / [М. Д. Мельничук, В. О. Дубровін, В. Г. Мироненко, І. П. Григорюк, В. М. Поліщук, Г. А. Голуб, В. С. Таргоня, С. В. Драгнєв, І. В. Свистунова, С. М. Кухарець]. – К.: Аграр Медіа Груп, 2011. – 612 с. (Здобувач проаналізував особливості використання теплових насосів та виробництва біопалива умовах сільськогосподарських підприємств).

29. Альтернативна енергетика: навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів / [М. Д. Мельничук, В. О. Дубровін, В. Г. Мироненко,

І. П. Григорюк, В. М. Поліщук, Г. А. Голуб, В. С. Таргоня, С. В. Драгнев, І. В. Свистунова, С. М. Кухарець]. – К.: Аграр Медіа Груп, 2012. – 244 с. *(Здобувач проаналізував особливості виробництва біопалива в умовах сільськогосподарських підприємств).*

Науково-методичні рекомендації:

30. Безвідходне виробництво зернових культур в системі АПК: наук.-метод. рекомен. щодо продовольчого та енергетичного використання сільськогосподарської сировини / [В. В. Кухарець, С. М. Іванюта, М. В. Кузубов, М. Д. Мельничук, В. О. Дубровін, Г. А. Голуб, І. П. Григорюк, В. І. Кравчук, В. Г. Мироненко, С. М. Кухарець, В. О. Шубенко, В. Р. Білецький, О. П. Слинко, А. І. Мороз, В. С. Таргоня, С. В. Драгнев, С. М. Виговський]. – К.: НУБіП України, 2009. – 63 с. іл. *(Здобувач запропонував концепцію безвідходних технологій у сільському господарстві).*

31. Рекомендації щодо створення сільськогосподарського обслуговуючого кооперативу для надання послуг у виробництві та реалізації біопалива у Житомирській області / [Н. М. Головченко, В. Є. Данкевич, С. В. Добрякова, В. О. Дубровін, Г. Р. Зіміна, В. В. Зіновчук, Н. В. Зіновчук, В. М. Карпюк, В. В. Кухарець, С. М. Кухарець, А. В. Ращенко]. – Житомир, 2011. – 96 с. *(Здобувач обґрунтував технологічні та технічні особливості виробництва та використання твердого біопалива).*

32. Технологія переробки біологічних відходів у біогазових установках з обертовими реакторами / [Г. А. Голуб, О. В. Сидорчук, С. М. Кухарець, В. В. Гох, С. В. Осауленко, О. А. Завадська, Б. О. Рубан, Н. Л. Поліковська, Р. Л. Швець, В. В. Чуба, М. Ю. Павленко]. – К.: НУБіП України, 2014. – 106 с. *(Здобувач провів дослідження та проаналізував енергетичні параметри біогазової установки із обертовим реактором).*

33. Виробництво та використання дизельного біопалива на основі рослинних олій / [Г. А. Голуб, М. Ю. Павленко, В. В. Чуба, С. М. Кухарець]. – К.: НУБіП України, 2015. – 119 с. *(Здобувач провів дослідження та проаналізував енергетичні параметри циркуляційного змішувача розділювача).*

Матеріали і тези конференцій:

34. Кухарець С. М. Виробництво твердого біопалива в умовах сільськогосподарського виробництва / С. М. Кухарець, В. В. Кухарець, О. О. Осадчий // Зб. наук. пр. Подільського держ. аграр.-техн. ун-ту. – 2011. – Спец. вип. Сучасні проблеми збалансованого природокористування: наук.-практ. конф. – С. 159–163. *(Здобувач отримав залежності для визначення координат економічно доцільного розміщення лінії для виробництва твердого палива).*

35. Кухарець С. М. Енергоавтономність агроecosистем на основі біологічних видів палива / С. М. Кухарець // Зб. наук. пр. Подільського держ. аграр.-техн. ун-ту. Спец. вип. Сучасні проблеми збалансованого природокористування: наук.-практ. конф. – 2012. – С. 149–154.

36. Кухарець С. М. Обґрунтування механіко-технологічних основ конструювання агроecosистем / С. М. Кухарець, Б. А. Шелудченко // Зб. наук.

пр. Подільського держ. аграр.-техн. ун-ту. Спец. вип. Сучасні проблеми збалансованого природокористування: наук.-практ. конф. – 2013. – С. 164–171. (Здобувач запропонував формалізовані підходи до представлення агроєкосистем як складної структури).

37. Оцінка особливостей виробництва і використання біопалив у агроєкосистемах / С. М. Кухарець, Г. А. Голуб, І. В. Нездвєцька, С. В. Бушма // Матеріали сьомої Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Науковий потенціал 2013». – 2013. – Режим доступу.: <http://int-konf.org/konf032013/>. (Здобувач запропонував структурну схему агроєкосистеми із виробництва біопалива).

38. Обґрунтування технологічного процесу сушіння зернових із використанням сировини рослинного походження / А. А. Голубенко, Н. М. Цивенкова, С. М. Кухарець, В. О. Шубенко // Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні». – (10–11 квітня 2013). – Львів, 2013. – С. 166–171. (Здобувач запропонував схему технологічного процесу енергетичного використання сировини рослинного походження).

39. Golub G. Scientific bases of production and use of biofuel in agroecosystems / Golub G., Kukharets S., Marus O. // The 8th International Research and Development Conference of Central and Eastern European Institutes Proceedings – (25–28 June, 2013). – Місто, 2013. – Р. 59–65. (Здобувач розробив комп'ютерну модель функціонування агроєкосистеми із виробництвом біопалива).

40. [Dubrovin V.] Energy analysis of solid biofuels production from agro biomass / [V. Dubrovin], S. Drahniev, S. Kukharets // Second International Conference on Natural and Antropic risks IGNAR. – Bacau, Romania, 2014. – Р. 183. (Здобувач запропонував напрями виробництва біопалива у сільському господарстві).

41. Кухарець С. М. Аналіз процесу отримання біодизельного пального та обґрунтування основних параметрів реактора-розділювача / С. М. Кухарець, Г. А. Голуб, В. М. Хрус // Зб. наук. пр. Подільського держ. аграр.-техн. ун-ту. – Спец. вип. Сучасні проблеми збалансованого природокористування: наук.-практ. конф. – 2014. – С. 164–171. (Здобувач розробив математичну модель для встановлення основних параметрів реакторів-розділювачів).

АНОТАЦІЯ

Кухарець С. М. Механіко-технологічне обґрунтування параметрів обладнання для підвищення енергетичної автономності агроєкосистем. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, 2015.

У дисертації обґрунтовано механіко-технологічні основи для формалізації структури агроєкосистем на основі оптимізації взаємозв'язків між елементами агроєкосистеми у визначеному діапазоні умов. Удосконалено обладнання для виробництва біоенергоресурсів шляхом мінімізації його енергоємності при

збереженні якісних показників технологічних процесів.

Створено: математичну модель обертового метантенка на основі мінімізації енерговитрат на перемішування субстрату, що враховує внутрішній радіус та робочу довжину біореактора, кутову швидкість, форму та кількість лопаток для перемішування біомаси, щільність, динамічну в'язкість, форму, розміри та вміст твердої фракції, а також технологічні параметри процесу виробництва біометану, а саме: рівень заповнення біомасою метантенка та глибину занурення метантенка у зовнішньому корпусі; математичну модель розподільника повітря для енергоефективних котлів із верхнім горінням, що базується на визначенні подачі повітря до зони газифікації та згоряння із забезпеченням максимальної теплової потужності та враховує діаметр та кількість отворів для подачі повітря, геометричні розміри і аеродинамічний опір розподільника повітря та витрати повітря через нього; математичну модель енергозберігаючого циркуляційного перемішування емульсії у циркуляційних змішувачах у ході виробництва дизельного біопалива із забезпеченням необхідних розмірів областей перемішування, перебігу реакції та урахуванням геометричних розмірів корпусу циркуляційного змішувача, подачі насоса, параметрів форсунок, а також густини та динамічної в'язкості емульсії.

Ключові слова: агроєкосистема, баланс гумусу, біогаз, біомаса, біометан, біодизель, емульсія, котел, метантенк, реактор, солома, субстрат.

АННОТАЦІЯ

Кухарец С. Н. Механико-технологическое обоснование параметров оборудования для повышения энергетической автономности агроэкосистем. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.05.11 – машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. – Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев, 2015.

В диссертации представлены механико-технологические основы для формализации структуры агроэкосистем на базе оптимизации взаимосвязей между элементами агроэкосистемы в определенном диапазоне условий. Усовершенствовано оборудование для производства биоэнергоресурсов путем минимизации его энергоемкости при сохранении качественных показателей технологических процессов.

Разработана модель функционирования агроэкосистемы, которая состоит из блоков производства продукции растениеводства, животноводства, птицеводства, аквакультуры, грибоводства, блока производства органических удобрений на основе соломы, навоза и помета для обеспечения баланса гумуса, блока производства биотоплива. Данная модель позволяет установить уровень энергетической автономности агроэкосистем и обосновать направления совершенствования оборудования для производства и использования энергии на основе биосырья.

Создана математическая модель вращающегося метантенка на основе

минимизации энергозатрат на перемешивание субстрата, учитывающая внутренний радиус и рабочую длину биореактора, угловую скорость, форму и количество лопаток для перемешивания биомассы, плотность, динамическую вязкость, форму, размеры и содержание твердой фракции субстрата, а также технологические параметры процесса производства биометана, а именно уровень заполнения биомассой метантенка и глубину погружения метантенка во внешнем корпусе; математическую модель воздухораспределителя для энергоэффективных котлов с верхним горением, основанную на определении подачи воздуха в зону газификации и сгорания с обеспечением максимальной тепловой мощности с учетом диаметра и количества отверстий для подачи воздуха, геометрических размеров и сопротивления воздухораспределителя и расхода воздуха через него; математическую модель энергосберегающего циркуляционного перемешивания эмульсии в циркуляционных смесителях в процессе производства дизельного биотоплива с обеспечением необходимых размеров областей перемешивания и протекания реакции и учетом геометрических размеров корпуса циркуляционного смесителя, подачи насоса, параметров форсунок, а также плотности и динамической вязкости эмульсии.

Разработанные математические модели, позволили обосновать конструктивно-технологические параметры и создать типоразмерные ряды вращающихся метантенков для получения биогаза, котлов с верхним горением для сжигания соломы и циркуляционных смесителей-разделителей для получения дизельного биотоплива заданной производительности.

Установлено, что заполненный на величину от 94 до 95% вращающийся метантенк с объемом загрузки биомассы от 3 до 103 м³ требует минимальной мощности для привода от 299 Вт до 10,4 кВт при его погружении в жидкость на величину от 95 до 97 %.

Установлено, что для котла КГВ-20 с теоретической тепловой мощностью 20 кВт, удельное содержание СО приобретает минимальные значений на уровне 216 мг/м³ при общей подаче воздуха в топку котла 0,0071 м³/с, при коэффициенте полезного действия 82 %.

Минимальные энергозатраты при перемешивании и циркуляции эмульсии в циркуляционном смесителе достигаются на уровне 65 Вт при частоте 400 об/мин гидронасоса НШ-100, и обеспечивается достаточная интенсивность перемешивания эмульсии.

По результатам экономического обоснования элементов усовершенствованной агроэкосистемы установлено, что наибольший экономический эффект можно получить в сбалансированной агроэкосистеме, которая сочетает растениеводство, животноводство и производство биотоплива, обеспечив при этом бездефицитный баланс гумуса. До 35% всех финансовых поступлений в сельскохозяйственном производстве обеспечивается благодаря производству и использованию биотоплива.

Ключевые слова: агроэкосистема, баланс гумуса, биогаз, биомасса, биометан, биодизель, эмульсия, котел, метантенк, реактор, солома, субстрат.

ANNOTATION

Kukharets S. M. The mechanical and technological substantiation of the equipment parameters for increasing the energy self-sufficiency of agroecosystems. – Manuscript.

Thesis for a Doctor's degree in engineering sciences, in speciality 05.05.11 – machinery and Mechanization of Agricultural Production.. – National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, 2015.

The paper substantiates the mechanical and technological principles of formalizing the structure of agroecosystems on the basis of optimizing the interdependence between the elements of the agroecosystem within a specified range of conditions. The equipment for the production of bioenergy resources is improved by means of minimizing its energy capacity with all qualitative indices of the technological processes preserved.

The author has also designed a model of a rotary methane tank on the basis of minimizing energy consumption for substrate mixing which takes into account the interior radius and the bioreactor effective length, the angular speed form and quantity of blades for mixing biomass, density, dynamic viscosity, form, dimensions and content of hard fraction, as well as such technological parameters of the biomethane production process as the level of methane tank filling with biomass, the depth of the methane tank submergence in the outer body, the mathematical model of an air distributor for energy efficient boilers with top combustion which is based on determining the air feed in the zone of gasification and combustion for ensuring the maximum heat capacity with respect to the diameter and quantity of holes for air feed, the geometrical dimensions and the aerodynamic resistance of the air distributor and air discharge from it; the mathematical model of the energysaving circulation mixing of emulsion in circulation mixers in the process of diesel biofuel production with the provision of obligatory dimensions of mixing areas and reaction flow with respect to the geometrical dimensions of the circulation mixer body, pump feed, parameters of injectors, as well as the density and dynamic viscosity of emulsion.

The author has developed the mathematical models which make it possible to substantiate the constructive and technological parameters and to establish the standard size rows of rotary methane tanks for obtaining biogas, as well as boilers with top combustion for burning straw and circulation mixers and distributors for obtaining diesel biogas of the prognosticated efficiency.

Keywords: agroecosystem, balance of humus, biogas, biomass, biomethane, biodiesel, emulsion, boiler, methane tank, reactor, straw, substance.