

УКРАЇНА
НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ.

На правах рукопису

Чміль Анатолій Іванович
кандидат технічних наук

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ПРОДУКЦІЇ І ОБРОБКИ
ВІДХОДІВ У ТВАРИНИЦТВІ

Спеціальність 05.20.02 - застосування електротехно-
логій у сільськогосподарському
виробництві

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ
1996



Робота виконана у Національному аграрному університеті України

НАУКОВІ КОНСУЛЬТАНТИ: академік УААН,
доктор технічних наук,
професор МАРТИНЕНКО І. І.,
академік УААН,
доктор сільськогосподарських наук,
професор ГОРОДНІЙ М. М.

ОФІЦІЙНІ ОПОНЕНТИ: доктор технічних наук,
професор ДРАГАНОВ В. Х.,
доктор технічних наук, старший науковий
співробітник КОТОВ В. І.,
академік УЕАН,
доктор сільськогосподарських наук,
професор ОНИСЬКІВ М. І.

ПРОВІДНА УСТАНОВА: Український державний центр по випробуванню та прогнозуванню техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва

Захист відбудеться "24" серпня 1996 р. о 14³⁰ Годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.05.05 у Національному аграрному університеті України за адресою: 252041, Київ-41, вул. Героїв оборони, 11.

Просимо прийняти участь у роботі спеціалізованої ради або надіслати відгук на автореферат у 2-х примірниках, завірений печаткою Вашої установи, за адресою: 252041, Київ-41, вул. Героїв оборони, 15, сектор захисту дисертацій.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці університету. Автореферат розісланий "23" травня 1996 р.

Учений секретар спеціалізованої вченої ради

 ТИШЕНКО Л. П.

ЛННБ України ім. В. Стефаника



00760315 (M)

ЛННБ ім. В. С.
Київ

Актуальність теми. Вирішення продовольчої проблеми в Україні неможливе без подальшого збільшення виробництва тваринницької продукції, а отже будівництва нових, реконструкції та підвищення ефективності експлуатації існуючих тваринницьких комплексів з промисловою технологією і високим рівнем електрифікації та автоматизації виробничих процесів. Нормальне функціонування таких виробничих об'єктів залежить від двох факторів: надійного забезпечення енергетичними і матеріальними ресурсами та охорони навколишнього природного середовища від згубної дії відходів цих комплексів. Оскільки ці фактори на тваринницьких комплексах взаємозв'язані і взаємозалежні, то бажано розглядати їх в еколого-біотехнічній системі "тваринницьке виробництво-обробка і утилізація відходів-навколишнє середовище".

У середньому за рік підприємства агропромислового комплексу України споживають біля 30 млн. т усіх видів енергоресурсів у перерахунку на умовне паливо, що складає 8,3% від загальної кількості споживаних енергоносіїв у народному господарстві. Здебільшого це невідновлювані енергетичні ресурси, запаси яких, як відомо, обмежені. Проте ця обставина довгий час не приймалась до уваги і темпи споживання енергоресурсів продовжували зростати. Внаслідок цього витрати енергії на виробництво одиниці продукції у тваринництві зараз у 3-4 рази вищі, ніж у розвинутих країнах.

Саме тому для підвищення енергетичної ефективності продукції сільського господарства потрібна розробка енергозберігаючих і екологобезпечних технологій з максимальним використанням вторинних і відновлюваних джерел енергії, таких, наприклад, як біогаз, який можна порівняно легко отримати з відходів тваринництва, рослинництва, а також органічних відходів переробних підприємств. Тільки у тваринництві країни за рік накопичується понад 60 млн. т сухої органічної речовини відходів, з яких можна отримати 12 млрд. м³ біогазу, що еквівалентно 10 млн. т.у.п.

Відомі вирішення окремих питань еколого-біотехнічних систем тваринницьких комплексів носили частковий і безсистемний

характер і вирішували вузькі конкретні завдання, наприклад, обробку відходів тваринницьких комплексів у метантенках з метою отримання органічних добрив і біогазу, або вирощування мікроводоростей з метою отримання білкового корму тощо.

Вивчення стану проблеми показало, що енергетичні потоки окремих ланок такої системи вивчені недостатньо і вирішення цих питань неможливе без детального дослідження енергомасобалансу кожної, окремо взятої ланки технологічного процесу і системи в цілому. Все це приводить до невідповідності відношень між виробничою і природною системами і викликає екологічні збитки і економічні втрати.

Таким чином, відсутність наукової бази для проектування еколого-біотехнічних систем тваринницьких підприємств при виробництві сільськогосподарської продукції підтверджує актуальність теми досліджень.

Метою дослідження є розробка загальних методологічних принципів оцінки енергозберігаючих і екологобезпечних технологій тваринницьких підприємств на основі математичних моделей енергетичних потоків у вигляді окремих критеріїв для вирішення завдань проектування та експлуатації сільськогосподарських еколого-біотехнічних систем.

Завдання досліджень:

- розробити загальні методологічні принципи аналізу енергетичної ефективності та екологічної безпеки елементів сільськогосподарських еколого-біотехнічних систем;
 - обґрунтувати енерго- і ресурсозберігаючі технології виробництва тваринницької продукції;
 - розробити енергозберігаючі та екологобезпечні режими і технології обробки та утилізації органічних відходів сільського господарства;
 - на підставі системного підходу і аналізу енергетичних потоків обґрунтувати раціональну структуру сільськогосподарської еколого-біотехнічної системи "тваринницьке виробництво- обробка і утилізація відходів- навколишнє середовище";
 - розробити систему погодження антропогенної дії на навколишнє природне середовище в режимах природокористування.
- Предметом дослідження** є енергетичні потоки технологічних процесів виробництва продукції та обробки і утилізації відхо-

дів тваринницьких підприємств, об'єднаних в сільськогосподарську еколого-біотехнічну систему (СЕБС).

Методологічна основа досліджень. Робота базується на методології системного дослідження, методах математичного моделювання, теорії подібності, математичної статистики, спеціальних методиках та законі збереження енергії для системи "тваринницьке виробництво- обробка і утилізація відходів- навколишнє середовище".

Достовірність наукових положень підтверджується:

- повнотою врахування об'єктивних властивостей технологічних процесів, що досягається включенням в моделі кількісних і якісних змінних;

- відповідністю результатів теоретичних досліджень, виконаних з допомогою математичних моделей і ЕОМ, результатам натурних досліджень у виробництві;

- необхідним об'ємом статистичних даних СЕБС, що використовуються при реалізації методик і алгоритмів розрахунку.

Наукова новизна роботи. Сформульвані загальні методологічні принципи оцінки енергетичної ефективності елементів сільськогосподарських еколого-біотехнічних систем на базі системного підходу з врахуванням процесів взаємодії біологічних, технічних і природних факторів. На основі дослідження енергетичних потоків розроблена математична модель, яка дозволяє обґрунтувати структуру і режими роботи СЕБС за критерієм енергетичної ефективності і екологічної безпеки. Обґрунтована енергозберігаюча та екологічнобезпечна інтегрована система біологічної обробки і утилізації органічних відходів у тваринництві. Розроблена система погодження антропогенної дії на навколишнє природне середовище з режимами природокористування.

Практична цінність досліджень. На основі розроблених методологічних принципів оцінки енергетичної ефективності та екологічної безпеки і створених математичних моделей вибрані раціональні параметри і режими роботи елементів технологічних процесів і СЕБС в цілому. На підставі проведених досліджень розроблена енергозберігаюча та екологічнобезпечна технологія обробки та утилізації відходів тваринницьких підприємств, яка передбачає послідовну біологічну обробку відходів у три етапи шляхом передачі відходів від одного технологічного модуля до іншого з

отриманням біогазу, біогумусу і цінних кормових добавок.

Реалізація результатів досліджень. Рекомендації з аналізу енергетичної ефективності та екологічної безпеки елементів сільськогосподарської еколого-біотехнічної системи у тваринництві передані Міністерству сільського господарства і продовольства України, де отримали позитивну оцінку і рекомендовані для практичного використання при проектуванні і експлуатації тваринницьких комплексів.

Окремі результати роботи впроваджені при проектуванні і будівництві біоінженерного комплексу з обробки відходів птахофабрики, відгодівельного комплексу ВРХ та свиноферми з отриманням натуральних добрив, біогазу і цінних кормових добавок в Березнянському птахорадгоспі Чернігівської області, проєкти вермигосподарства продуктивністю 600 т на рік біогумусу асоціації "Біоконверсія" Івано-Франківської обл., при розробці енергозберігаючої системи вентиляції у телятниках учгоспу Благовіщенського сільськогосподарського інституту.

Положення, що виносяться до захисту:

1. Концепція і загальні методологічні принципи оцінки енергетичної ефективності та екологічної безпеки сільськогосподарських еколого-біотехнічних систем "тваринницьке виробництво-обробка і утилізація відходів- навколишнє середовище".

2. Енергозберігаюча та екологічнобезпечна технологія обробки і утилізації відходів тваринницьких підприємств.

3. Новий принцип погодження антропогенної дії на навколишнє природне середовище в режимах природокористування, який ґрунтується на збалансованості природоємності тваринницького підприємства і копроємності навколишнього середовища.

Апробація роботи. Матеріали теоретичних і експериментальних досліджень, включених до дисертації, доповідались і обговорювались на: Всесоюзній нараді "Культивування і застосування мікродоростей в народному господарстві" (м. Ташкент, 1977 р.); Всесоюзній конференції "Культивування і застосування мікродоростей в народному господарстві" (м. Ташкент, 1980 р.); Республіканській конференції "Агрокомплекс Сибіру і Далекого Сходу" (м. Благовіщенськ, 1990 р.); Республіканській конференції "Безпека життєдіяльності і екологічні проблеми в

регіонах Сибіру і Далекого Сходу" (м. Благовіщенськ, 1992 р.); Міжнародному конгресі "Біоконверсія органічних відходів народного господарства і охорона навколишнього середовища" (м. Київ, 1992 р.); Республіканській конференції "Екологія Полісся: проблеми, сучасність, майбутнє" (м. Луцьк, 1993 р.); Республіканській конференції "Інженерні проблеми сільськогосподарського виробництва України" (м. Київ, 1994 р.); Республіканській конференції "Моделювання сільськогосподарських процесів і машин" (м. Мінськ, 1994 р.); Третньому міжнародному конгресі по біоконверсії органічних відходів (м. Москва, 1994 р.); Міжнародному симпозиумі "Біоконверсія органічних відходів, гумінових речовин і охорона навколишнього середовища" (м. Київ, 1994 р.); на наукових конференціях професорсько-викладацького складу НАУ (м. Київ 1976- 1995 р.); на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу ВСГІ (м. Благовіщенськ 1988-1992 р.).

Публікації результатів досліджень. Основні результати теоретичних та експериментальних досліджень викладені у 36 друкованих працях.

Декларація особистого внеску. Частка участі дисертанта в одержанні експериментальних даних, надрукованих в співавторстві, складає 80% і виражається в постановці задач, в знаходженні методів їх рішення та безпосередньому вирішенні.

Обсяг та структура роботи. Дисертація викладена на 381 сторінці друкованого тексту, включає 87 рисунків, 6 таблиць, складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку літератури, що містить 466 найменувань, в тому числі 49 іноземними мовами і додатків.

ЗМІСТ РОБОТИ

В першому розділі "Аналіз сучасного стану і основні проблеми енергозбереження та охорони довкілля" викладено аналіз стану енергоспоживання у сільському господарстві; розглянуто тваринницьке виробництво як споживач і перетворювач енергетичних і матеріальних ресурсів, а також як джерело забруднення довкілля; проведено аналіз існуючих способів і методів обробки та утилізації відходів на тваринницьких комплексах; запропонована

концепція управління і погодження антропогенної дії на природне середовище в режимах природокористування в сільськогосподарській еколого-біотехнічній системі.

Сучасні тваринницькі ферми і комплекси є значними споживачами кормів, води, теплоти, трудових ресурсів, електроенергії і інших матеріалів і ресурсів, а також інтенсивними забруднювачами повітря, води і ґрунтів. Тобто ці об'єкти є відкритими із значними зовнішніми, прямими і зворотними зв'язками і можуть бути розглянуті в сільськогосподарській еколого-біотехнічній системі, що передбачає переробку і утилізацію відходів тваринницьких комплексів і отримання біогазу, цінних органічних добрив та білкового корму. Основним призначенням СЕБС є отримання максимальної кількості енергетично ефективною і екологічно чистою тваринницькою продукцією.

Значний внесок у розвиток наукових основ енергозберігаючих технологій у тваринництві внесли О. І. Адаменко, В. Х. Драганов, Г. Е. Кістен, М. О. Корчемний, В. І. Котов, А. А. Лебедь, І. І. Мартиненко, С. В. Мельников, Ю. М. Пригунов, Л. Г. Прищеп, Л. В. Погорілий, І. І. Ревенко, М. М. Севернев, Р. М. Славін та інші. Тут досягнуті значні успіхи, особливо в розробці способів і технічних засобів зниження енергоємності у системах створення оптимального мікроклімату у тваринницьких приміщеннях.

Питання екологічної безпеки агропромислового комплексу освітлені в роботах Ю. І. Ворошилова, І. К. Глазкова, М. М. Городнього, В. С. Дубровського, М. Г. Ковальова, В. В. Кравця, І. П. Мельника, М. І. Ониськіва, А. Р. Пузанкова, О. П. Смирнова, С. П. Циганкова та ін., що дозволяє визначити найбільш перспективні методи і засоби очищення і утилізації відходів. Але вибір оптимального варіанту технологічного процесу здійснюється здебільшого на основі техніко-економічного аналізу порівнюваних варіантів без врахування екологічної безпеки, що призводить до появи серйозних соціальних і екологічних проблем.

Відсутність системного аналізу енергетичних і матеріальних потоків між виробничою і природною системами є головною причиною застосування недосконалих технологічних процесів і систем, які не дозволяють повністю використати генетичні можливості тварин, призводять до значних втрат енергоресурсів, а також не-

гативної дії на оточуюче природне середовище, накопиченню в ґрунті, воді і кормах токсичних речовин, що перевищують допустимі значення. Особливо сильно це проявляється на територіях тваринницьких комплексів, де сукупне антропогенне навантаження здебільшого перевищує можливість природного середовища розсіювати, нейтралізувати і іммобілізувати шкідливі відходи цих об'єктів. Тому виникає необхідність погодження антропогенної дії на природне середовище (копроектність) з режимами природокористування (природоектність).

Однак отримання кількісних і якісних характеристик процесів взаємодії, необхідних для вирішення задач погодження копроектності і природоектності неможливе без застосування математичного моделювання і ЕОМ. Питання математичного моделювання еколого-біотехнічних систем розглядалися в роботах Ю. Г. Антонова, В. М. Беляніна, Н. П. Бусленка, В. М. Глушкова, А. З. Грищенко, О. Г. Івахненко, В. В. Кафарова, В. П. Кухаря, В. В. Найденка, А. В. Примака, Б. К. Скурти, Г. А. Статухи та ін. Наявність такої великої кількості робіт і різних наукових підходів обумовлена як різною метою моделювання, так і великою складністю цих систем, наприклад, наявністю тривалого часу реакції на зовнішні чинники, що підвищує ймовірність невірної оцінки сили і серйозності впливу того чи іншого зовнішнього фактору. А це накладає відповідні умови на вибір методів моделювання, обмежує ефективне застосування добре розроблених аналітичних методів, а також типових і універсальних моделей.

Таким чином, для вирішення проблеми оптимізації енергетичних і екологобезпечних режимів на тваринницьких комплексах необхідно провести системний аналіз енергетичних і матеріальних потоків з використанням математичних моделей та ЕОМ і на цій основі розробити систему погодження антропогенної дії на природне середовище з режимами природокористування. На підставі встановлених недоліків і шляхів їх подолання сформульовані задачі дослідження, які послідовно вирішені в наступних розділах дисертаційної роботи.

В другому розділі "Теоретичні та методологічні принципи аналізу енергетичних і екологобезпечних технологій і режимів в тваринництві" розглянуті теоретичні і методологічні принципи

аналізу енергетичних і екологічнобезпечних режимів і технологій у тваринництві; з позицій системного підходу проаналізована структурна схема сільськогосподарської еколого-біотехнічної системи і розроблена її математична модель; запропоновано критерій екологічної безпеки тваринницького підприємства.

В результаті досліджень основних вимог до системного аналізу розроблений такий план для реалізації системного підходу до оцінки енергетичної ефективності і екологічної безпеки СЕБС: постановка задачі- визначення меж досліджуваної системи, формулювання мети дослідження; систематизація і обробка вихідної інформації для розв'язку поставленої задачі; складання математичної моделі СЕБС і її підсистем з врахуванням прямих, зворотних, вертикальних і горизонтальних зв'язків між ними і навколишнім природним середовищем; визначення параметричних зв'язків, обмежень і допустимих зон зміни параметрів при заданій структурній схемі СЕБС; формулювання цільвих (критеріальних) функціоналів для оцінки відповідності системи поставленим задачам; вибір методів вирішення задач і планування оптимальних технічних рекомендацій для проектування, експлуатації, управління і подальшого розвитку СЕБС.

Сільськогосподарську еколого-біотехнічну систему зобразим (рис.1) у вигляді чотирьох взаємозв'язаних підсистем: підсистеми виробництва тваринницької продукції (В), де біологічні і технологічні фактори мають визначальний вплив на величину споживаних природних ресурсів і утворюваних при цьому відходів; підсистеми обробки і утилізації відходів (О), яка забезпечує обробку і знешкодження відходів перед відведенням в оточуюче природне середовище і використання відходів як сировини для виробництва корисної продукції (біогазу, білкових кормів, цінних органічних добрив); екологічної підсистеми (Е), яка охоплює природні об'єкти і процеси природокористування (грунт, водні об'єкти, повітряне середовище); підсистеми управління (У)- управляючої дії людини, математичного забезпечення, програм і алгоритмів управління.

Таким чином під СЕБС будемо розуміти таку цілісну систему, об'єкт управління котрої включає сукупність технологічних і біологічних чинників, що взаємодіють в єдиному еколого-техно-

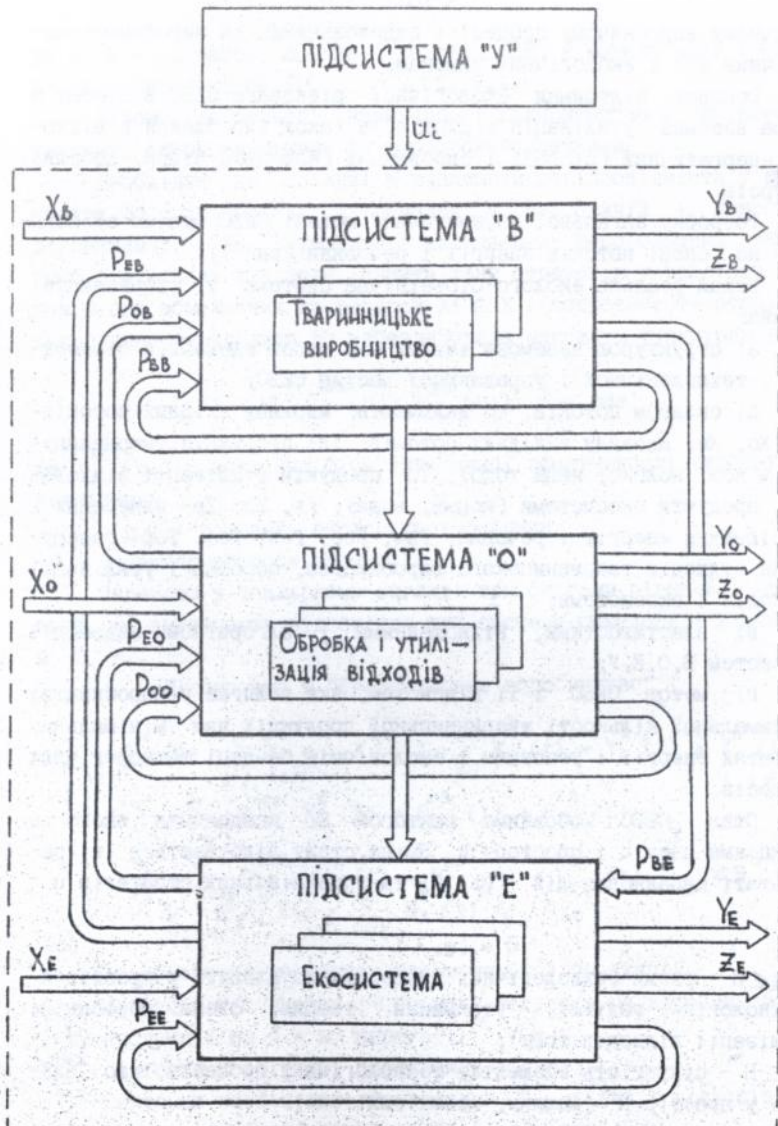


Рис. 1. - Схема потоків енергії і речовини в сільськогосподарській еколого-біотехнічній системі.

логічному виробничому процесі і задовольняють як виробничо-економічним так і екологічним вимогам.

Основов підтримки екологічної рівноваги СЕЕС в цілому є пряма взаємна утилізація відходів, а також вироблення з відходів енергетичних (біогаз) і сировинних (кормовий білок, добрива) ресурсів.

Розробку загальної математичної моделі СЕЕС будемо здійснювати на основі потоків енергії і речовини (рис. 1).

Нехай реальна еколого-біотехнічна система у тваринництві задана:

а) структурою взаємозв'язаних між собою елементів біологічної, технологічної і управляючої частин СЕЕС;

б) складом потоків, що включають: множину вхідних потоків: X_v, X_o, X_e ; множину вихідних потоків: Y_v - продукція тваринництва (м'ясо, молоко, яйця тощо), Y_o - продукти утилізації відходів; Y_e - продукти екосистеми (корми, вода); Z_v, Z_o, Z_e - винесення і розсіювання енергії і речовин; $P_vo, P_{oo}, P_{ev}, P_{oe}, P_{ov}$ - генерування відходів тваринницького виробництва, обробки і утилізації відходів і екосистеми;

в) властивостями, відношеннями і алгоритмом взаємодії підсистем B, O, E, Y ;

г) метою СЕЕС і її підсистем, яка полягає у виробництві максимальної кількості тваринницької продукції при мінімальних витратах енергії і речовини і екологічній безпеці технологічних процесів.

Стан СЕЕС зобразимо вектором S , компоненти якого є функціями часу t і простору R . Зміна стану відбувається в результаті випадкових дій $\xi(t, R)$ та управлінських стратегій u

$$\dot{u} = (g, \lambda) \quad (1)$$

де $g \in N^n$ - схеми технологічних процесів, що входять у простір N^k (технологія годівлі, утримання тварин, схеми обробки і утилізації відходів тощо);

$\lambda \in N^m$ - сукупність елементів технологічних процесів, що входять у простір N^m (машини, механізми тощо).

Формально систему зобразимо у вигляді

$$\bar{S}(t) = A(\bar{S}(t), U) \quad (2)$$

де $A(\cdot)$ - оператор, що визначає стан СЕБС у момент часу $t \in [t_0, T]$ по значенню вектора $\bar{S}(t)$, $t \in [t_0, T]$.

Відомо, що сучасні тваринницькі підприємства є низькоєфективними, енерговмісткими та екологонебезпечними.

Необхідно на множині M визначити невідповідність у швидкостях обороту енергії і речовин у виробничій і природній підсистемах, що зумовлює виникнення непогоджених еколого-біотехнічних відносин, знайти таку стратегію управління $u_0 \in M$, яка б при обмеженнях на ресурси $X_i \in X$ і копроємність оточуючого природного середовища N_s забезпечувала максимум функціоналу

$$\Phi = \Psi \{ \eta_i^{БЕЕ}(u_i), \eta_i^{ЕБ}(u_i) \} \rightarrow \max \quad (3)$$

де $\eta_i^{БЕЕ}(u_i)$ - показник біоенергетичної ефективності стратегій управління;

$\eta_i^{ЕБ}(u_i)$ - показник екологічної безпеки;

Ψ - оператор згорток критеріїв.

Запишемо у скалярному вигляді три системи рівнянь і нерівностей, що визначають відповідно три системи обмежень у підсистемах В, О, Е.

Підсистема В "Тваринницьке виробництво"

$$\sum_{\lambda \in H^m} X_{i\lambda}^B(t) - \sum_{j=1}^n \sum_{\lambda \in H^m} a_{ij\lambda} X_j^B(t) - \sum_{j=1}^n Z_j^B(t) - Y_i^B(t) \geq Y_0^B(t) \quad 1, j \in I^B$$

$$\sum_{\tau \in I^B} \sum_{\lambda \in H^m} P_{i\lambda}^{ОБ} X_i^B(t) = P_i^{ОБ}(t) + P_i^{ЕБ}(t) \quad (4)$$

$$\sum_{\tau \in I^B} \sum_{\lambda \in H^m} P_{i\lambda}^{БЕЕ} X_i^B(t) = P_i^{БЕЕ}(t) + P_i^{ЕБ}(t) \quad \gamma \in H^n$$

$$\sum_{\tau \in I^B} \sum_{\lambda \in H^m} N_{\lambda}^B X_i^B(t) - \sum_{\tau \in I^B} N_{\lambda}^B \leq N_{\lambda 0}$$

де Y_0^B - обмеження на випуск тваринницької продукції;

$a_{ij\lambda}$ - коефіцієнт витрат j -го виду ресурсів на виробництво i -го виду продукції на λ -му агрегаті;

$P_{i\lambda}^{ОБ}$ - питомий коефіцієнт споживання ресурсів;

$P_{i\lambda}^{БЕЕ}$ - питомий коефіцієнт утворюваних γ -их видів відходів при виробництві i -го виду продукції на λ -му агрегаті;

$\beta_{i\lambda}^B$ - коефіцієнт витрат виробничих потужностей λ -го агрегату при виробництві i -го виду тваринницької продукції;
 N_{λ} - приріст виробничої потужності λ -го агрегату;
 N_{λ_0} - виробнича потужність λ -го агрегату.

Підсистема О "Обробка і утилізація відходів"

$$\sum_{g \in H^k} X_{Yg}^0(t) - \sum_{g \in H^n} \sum_{g \in H^k} \alpha_{Ylg} X_{Yg}^0(t) - \sum_l Z_l^0(t) - Y_l^0(t) \geq Y_o^0(t)$$

$$\sum_{g \in H^n} \sum_{g \in H^k} P_{lg}^{BO} X_{Yg}^0(t) - P_m^{BO}(t) + P_m^{EB}(t) \quad (5)$$

$$\sum_{g \in H^n} \sum_{g \in H^k} P_{lg}^{OEB} X_{Yg}^0(t) - P_m^{OE}(t) + P_m^{BE}(t) \leq H_c$$

$$\sum_{g \in H^n} \sum_{g \in H^k} \beta_{l\lambda g} X_{Yg}^0(t) - \sum_{\tau=1}^t N_{\lambda g}^0(\tau) \leq N_{\lambda g}^0$$

де Y_o^0 - обмеження на випуск l -ої продукції;
 α_{Ylg} - коефіцієнт Y -го виду відходів при виробництві l -го виду продукції на g -му технологічному модулі;
 P_{lg}^{BO} - питомий коефіцієнт споживання ресурсів при виробництві l -го виду продукції на g -му технологічному модулі;
 P_{lg}^{OEB} - питомий коефіцієнт утворених m -их видів відходів;
 H_c - копремність оточуючого природного середовища;
 $\beta_{l\lambda g}$ - коефіцієнт витрат виробничих потужностей λ -го агрегату;
 $N_{\lambda g}^0$ - приріст виробничої потужності λ -го агрегату на g -му технологічному модулі.

Підсистема Е "Екосистема"

$$\sum X_i^E(t) - \sum_{r \in H^p} \sum_{\lambda \in H^m} a_{r\lambda}^E X_i^E(t) - \sum_l Z_l^E(t) - Y_l^E(t) \geq Y_o^E(t)$$

$$Y_o^E(t) - Y_o^{E-1}(t) + \sum_{r \in H^p} \sum_{\lambda \in H^m} a_{r\lambda}^E X_i^E(t) \leq L_r^E \quad (6)$$

$$\sum_{g \in H^s} \beta_{r\lambda g} X_i^E(t) - \sum_{\tau=1}^t N_{\lambda g}^E(\tau) \leq N_{\lambda g}$$

де $a_{r\lambda g}$ - коефіцієнт витрат r -го виду ресурсів при виробництві q -ої продукції на λ -му агрегаті;
 L_r^E - гранично допустима доза токсиканту.

Для оцінки ефективності нової техніки, а також оптимізації режимів роботи обладнання найбільшого поширення набула методика

на основі критерію приведених витрат. Але в умовах інфляції і економічної кризи, коли ціни швидко зростають, дати повну економічну оцінку стало практично неможливо. В цих умовах ефективність використання енергетичних ресурсів у тваринництві, та пошук енергозберігаючих технологій доцільно здійснювати за допомогою системного біоенергетичного аналізу.

Під системним біоенергетичним аналізом (СБЕА) розуміється метод системного дослідження сільськогосподарських технологічних процесів, направлений на виявлення резервів енергозбереження з врахуванням природних і техногенних потоків енергії і речовин і в їх нерозривному зв'язку.

В основі СБЕА лежить визначення коефіцієнту біоенергетичної ефективності, кількісним виразом котрого є відношення енергії, акумульованої у продукції (енерговміст продукції), до сумарних витрат енергії на її виробництво (енергоємність продукції):

$$\eta_{БЕЕ} = \frac{E_{п}}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l C_{ij}^k X_{ij}^k} \quad (7)$$

де $E_{п}$ - енерговміст тваринницької продукції, ГДж/ц;

C_{ij}^k - енергетичний еквівалент k- го елемента i- го виду витрат для кожного технологічного процесу j, ГДж/(ц, м², люд. год);

X_{ij}^k - величина k- го елемента i- го виду витрат для кожного технологічного процесу j, (ц, м², люд. год);

i, k - види витрат і їх елементів: прямі (електроенергії, палива і мастильних матеріалів), непрямі (на виробництво кормів, племінних тварин, лікарські препарати тощо), інвестиційні (машини: споруди тощо), живої праці (робітників, службовців);

j - технологічні процеси (годівля, доїння, прибирання гною, підтримання мікроклімату тощо).

Такий підхід дає змогу врахувати не тільки прямі витрати енергії і палива, але й оречевлені раніше в різних галузях народного господарства, а також витрати живої праці робітників і службовців.

Системний біоенергетичний аналіз значно перевищує можливості техніко-економічного аналізу по виявленню резервів еко-

номії невідновлюваних енергоресурсів. Так, якщо в процесі проведення техніко-економічного аналізу здійснюється константація недоліків і обумовлених ними причин, то результатом СВЕА є пошук конкретних шляхів усунення недоліків, підвищення ефективності функціонування досліджуваного об'єкту.

Третій розділ "Енергетичний аналіз електрифікованих технологій тваринницьких виробництв" присвячено енергетичному аналізу і оптимізації режимів і технологій тваринницьких комплексів.

Ефективність процесів перетворення енергії у сільському господарстві розглянемо на прикладі тваринницького комплексу по відгодівлі великої рогатої худоби. Оскільки усі відомі типові проекти відгодівельних комплексів мають низку істотних технічних і технологічних недоліків, за основу розрахунку потоків антропогенної енергії у тваринництві нами взято перспективну модель комплексу для вирощування молодняка великої рогатої худоби на 12 тис. скотомісць, що рекомендована для впровадження в Україні. В моделі запроваджено такі технологічні рішення: 15-20- денні бички у кількості 135 голів надходять із господарств через кожні 6 днів. Перший період вирощування провадять у приміщеннях павільйонної забудови місткістю 600 голів. Для другого і третього передбачено блокування трьох і чотирьох приміщень. Утримання тварин весь час безприв'язне, групове, на щільових підлогах. До складу кормів входять заміники незбираного молока, концентрати, трав'яне борошно, сіно, сінаж, силос.

Основним інструментом для оптимізації енергетичних режимів є енергетичний баланс, складений для перспективної моделі комплексу з розрахунку, що інтенсивність вирощування становить 1000 г на добу, а адавальна маса тварин дорівнює 500 кг. Структуру енергетичного балансу подано на діаграмі (рис. 2). З неї видно, що із сукупних питомих енерговитрат, які становлять 13,00 ГДж/ц, найбільша питома вага енергоспоживання припадає на виробництво та приготування кормів- 7,13 ГДж/ц (55%), на закупівлю молодняка- 2,81 (22%) та електричну енергію- 1,48 ГДж/ц (11%). Коефіцієнт біоенергетичної ефективності для запропонованої моделі комплексу становить 7,69%, тоді як на відгодівельному комплексі радгоспу-комбінату "Обухівський" за даними 1992 р,

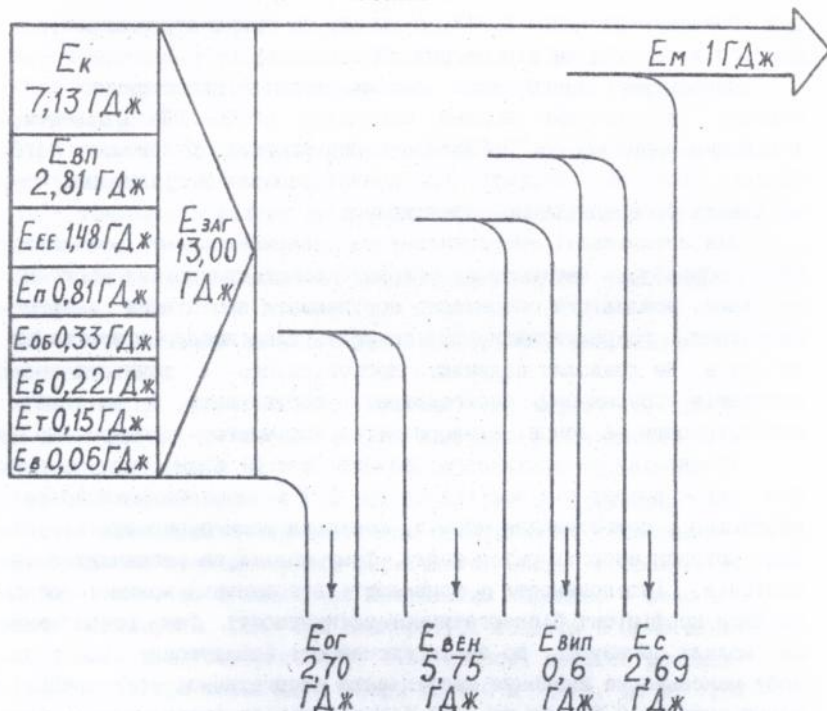


Рис. 2. Діаграма потоків енергетичного балансу тваринницького комплексу по відгодівлі ВРХ на 12 тис. голів з розрахунку на 1 ц приросту живої маси, ГДж

Езаг- сукупні питомі енерговитрати; E_k - енерговитрати на виробництво і приготування кормів; $E_{вл}$ - енерговитрати на молодняк, що ставиться на відгодівлю; $E_{ее}$ - витрати електричної енергії; E_p - витрати палива і мастильних матеріалів; $E_{об}$ - енерговитрати на обладнання і машини; E_b - енерговитрати на будівлі і споруди; E_t - енерговитрати живої праці; E_v - енерговитрати на воду; E_m - енерговміст м'якоти туші; $E_{ог}$ - втрати енергії крізь огорожі; $E_{вен}$ - втрати теплової енергії системою вентиляції; $E_{вип}$ - втрати теплової енергії на випаровування; E_c - енерговитрати із стічними водами.

цей показник дорівнює 5,84%, а на фермах більшості колгоспів і радгоспів республіки він ще нижчий.

Привертають увагу також великі втрати енергетичних ресурсів: із стічними водами комплексу (2,69 ГДж/ц), вентиляційними викидами (5,75 ГДж/ц), через огорожі будівель (2,70 ГДж/ц). Все це говорить про значні резерви у підвищенні коефіцієнта біоенергетичної ефективності.

Для оптимізації енерговитрат на тваринницькому комплексі було розроблено математичну модель і пакет прикладних програм, які дають можливість оперативно порівнювати проекти за енерговитратами, розраховувати їх потребу для знову створюваних об'єктів. Це дозволяє підвищити достовірність і точність результатів розрахунку енерговитрат, порівнювати і оцінювати енерговитрати на основі єдиного методологічного підходу.

Із аналізу енергетичного балансу (рис. 2) видно, що основним видом витрат під час відгодівлі ВРХ є енерговитрати на виробництво і приготування кормів, оскільки вони перевищують усі інші витрати енергії разом узяті. Тому навіть за незначних змін раціонів, інтенсивності і тривалості вирощування можна істотно змінити коефіцієнт біоенергетичної ефективності. Так розрахунки на моделі показують, що за інтенсивності вирощування 1000 г на добу максимальне значення коефіцієнта енергетичної ефективності корму складає 9,5%, що на 6,3% більше, ніж за інтенсивності вирощування 600 г на добу.

Продуктивність тварин при умові повноцінної годівлі досягає високого рівня тільки при створенні мікроклімату, що відповідає їх біологічним потребам. Зменшення приросту маси тварин внаслідок дискомфортного мікроклімату не тільки знижує коефіцієнт корисної дії корму, але й спричиняє інші витрати: збільшує строк відгодівлі, додаткове застосування технологічного обладнання, недоотримання продукції на зайнятих площах тощо.

Для оптимізації теплозахисту тваринницького приміщення ККД в системі "тварина- середовище" запишемо як

$$\eta_{ee}^{(R)} = \frac{m_T C_n (\Pi - 365 - \Delta \Pi \frac{T_{bl}}{24})}{E_T + E_B} \rightarrow \max \quad (8)$$

де m - кількість тварин у приміщенні;

Sp- енерговміст тваринницької продукції, ГДж/ц;

Π - продуктивність тварин при оптимальних параметрах мікроклімату, ц;

$\Delta\Pi$ - втрати продуктивності тварини за рахунок збільшення втрат теплоти організмом, ц;

T_v - тривалість впливу на втрату продуктивності i - го виду огорожі, год./рік;

E_t - річні втрати технічної теплоти на потреби опалення і вентиляції, ГДж;

E_b - енерговитрати на огорожуючі конструкції тваринницького приміщення, ГДж.

На основі запропонованої математичної моделі (8) проведено дослідження ефективності теплозахисних властивостей огорожуючих конструкцій на прикладі тваринницького приміщення I-го періоду вирощування на 600 голів. На рис. 3 приведено залежність коефіцієнта енергетичної ефективності теплозахисту тваринницького приміщення від термічного опору огорожі. Із графіка видно, що функція має нелінійний характер з явно вираженим максимумом. Так, при температурі повітря в приміщенні $t_{в} = 10^{\circ}\text{C}$ коефіцієнт енергетичної ефективності досягає максимуму ($\eta_{ee} = 0,331$) при термічному опорі $R_c = 1,0 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$, що на 7,8% більше, ніж при $R_c = 0,5 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$. Слід також відзначити, що застосування огорожуючих конструкцій з термічним опором менше $1,0 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ є енергетично неефективним.

Не менш важливе значення для енергозбереження в системі кондиціонування повітря (СКП) є оптимізація температурного режиму у тваринницьких приміщеннях. Адже можна створити такий температурний режим, коли продуктивність буде максимальною для даного виду тварин, а з енергетичної точки зору витрати на кондиціонування будуть не завжди доцільні. Критерієм оцінки ефективності температурного режиму може бути коефіцієнт енергетичної ефективності

$$\eta_{ee}^{(t)} = \frac{E_p}{E_{\text{ВИТ}}^k + E_{\text{ВИТ}}^{\text{СКП}}} \quad (9)$$

де $E_{\text{ВИТ}}^k$ - енерговитрати на корми, ГДж;

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

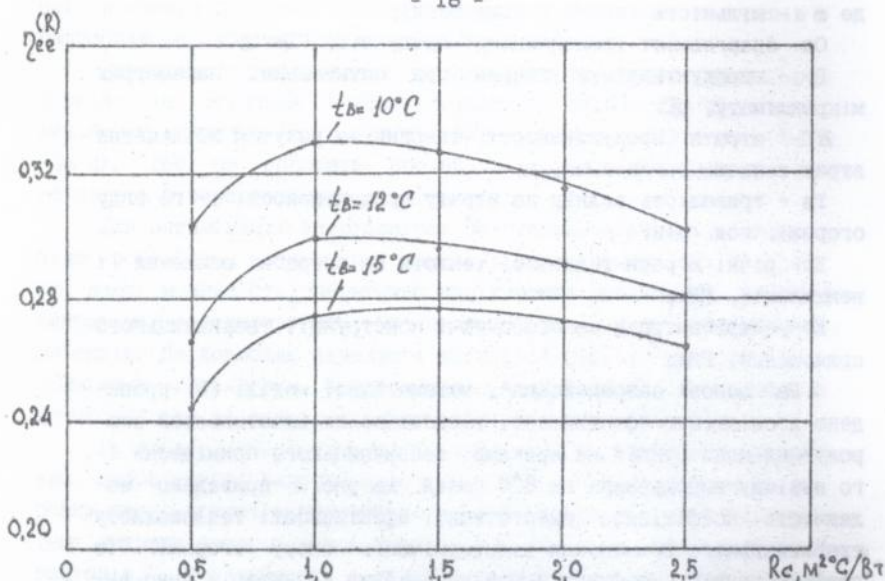


Рис. 3. Залежність коефіцієнта енергетичної ефективності теплоахисту тваринницького приміщення від термічного опору огорожі.

κ
Евит- енерговитрати системи кондиціонування повітря, ГДж.

Аналіз залежності коефіцієнту енергетичної ефективності СКП від температури повітря у тваринницькому приміщенні показує, що з підвищенням температури повітря t_B від 0 до $+10^\circ C$ значення коефіцієнту зростає і досягає свого максимуму при $t_B = +10^\circ C$. Подальше підвищення температури приводить до різкого зниження коефіцієнту, хоча максимальна продуктивність тварин спостерігається при $t_B = +15^\circ C$.

На основі математичної моделі (9) отримано також залежність енергетично оптимальної температури в приміщенні від зовнішньої температури і вологості повітря. Встановлено, що в зимовий період року температура повітря в тваринницькому приміщенні по відгодівлі ВРХ має бути в межах $+10; +5^\circ C$ і з зниженням температури і підвищенням вологості зовнішнього повітря знижуватися. Це дозволяє зменшити витрати теплової енергії на мікроклімат при незмінному коефіцієнті біоенерге-

тичної ефективності.

Серед заходів по подальшому підвищенню економічної ефективності виробництва тваринницької продукції важливе місце займають питання вдосконалення організації ручної праці обслуговуючого персоналу.

У більшості випадків основним критерієм оцінки живої праці є час. Однак при цьому не враховуються такі важливі властивості як тяжкість праці, інтенсивність праці, монотонність тощо. В той же час будь-який вид трудової діяльності зв'язаний з витратами фізичної та розумової енергії, а також психологічною і емоціональною напругою.

Відсутність врахування при проектуванні машин зв'язаних з ними предмету праці, людини і джерела енергії викликає невідповідність між нормативними і фактичними значеннями експлуатаційних показників і призводять до зміни технічного рівня, якості і економічної ефективності, а в деяких випадках причиною виробничого травматизму та профзахворвань.

Для попередження таких явищ необхідно здійснити перехід від проектування машин до проектування біотехнічних систем "людина- машина- предмет праці- засіб праці- джерело енергії". Якщо при проектуванні машини її енергетичні властивості не будуть у повній мірі погоджені з енергетичними властивостями предмету праці, людини і джерела енергії, то енергетичні процеси в біотехнічних системах не будуть відповідати оптимальним. Звідси випливає важливість енергетичного підходу при розгляді біотехнічних систем.

Розглянемо процес енергетичної взаємодії на прикладі машино-ручного технологічного процесу, структурно-енергетична модель котрого приведена на рис. 4. На основі моделі запишемо рівняння балансу енергії для ручного

$$\Delta E_{\text{л}} = \Delta E_1 + \Delta E_2 + \Delta E_3 + \Delta E_{\text{л}} \min \quad (10)$$

і машинного технологічного процесу

$$\Delta E_{\text{м}} = \Delta E_4 + \Delta E_5 + E_{\text{м}} + E_{\text{м}} \min \quad (11)$$

де E_L - енергія людини, що витрачається на здійснення процесу, кДж;

E_n - енергія неживої природи, що витрачається на здійснення процесу, кДж;

$\Delta E_1, \Delta E_2, \Delta E_3$ - енергія людини, що витрачається на зруйнування речовинних елементів відповідно в зонах 1, 2, 3;

$\Delta E_4, \Delta E_5, \Delta E_M$ - енергія неживої природи, що витрачається на зруйнування речовинних елементів в зонах 4, 5 і машини;

$\Delta E_{L, \min}, \Delta E_{n, \min}$ - енергія людини і неживої природи, що необхідні для доцільної зміни предмета праці.

З рівнянь (10) і (11) видно, що не уся енергія джерела йде на виконання корисної роботи, а тільки частина - мінімальна енергія. Тому ступінь корисного використання енергії в технологічному процесі можна виразити через ККД технологічного процесу, який для ручного технологічного процесу буде

$$\eta_{гп}^p = \frac{\Delta E_{\min}}{\Delta E_A} \quad (12)$$

Ефективність запропонованої моделі оцінювали на прикладі технологічного процесу роздачі замінника незбираного молока за допомогою установок УВТ-20 та КПГ-10.

Виявлено, що питомі енерговитрати оператора за зміну при використанні установки КПГ-10 складають 21,84 кДж/гол., що на 22,6% менше, ніж при використанні УВТ-20, а це дозволяє збільшити навантаження на оператора з 120 до 180 голів. Повні енерговитрати оператора при цьому складатимуть 912,1 кДж/год. що не виходить за межі гранично допустимих енерговитрат.

В четвертому розділі " Удосконалення енергозберігаючих технологій очищення та утилізації відходів тваринницьких комплексів " приводяться результати теоретичних і експериментальних досліджень енергетичної досконалості процесів анаеробного зброжування відходів тваринницьких комплексів, процесів культивування мікродоростей на стічних водах комплексів і процесів вермикультивування твердої фракції відходів.

Аналіз існуючих систем переробки, знешкодження і використання відходів тваринницьких підприємств дозволяє виділити три принципово різних напрямки: а) традиційне

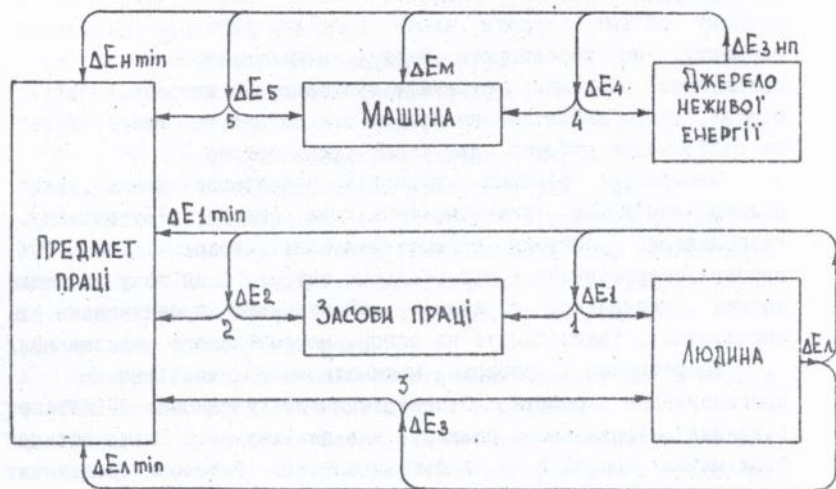


Рис. 4. Структурно- енергетична модель технологічного процесу.

використання на добрива (без попередньої обробки), що призводить до значного забруднення оточуючого природного середовища і розповсюдженню різних хвороб серед людей і тварин; б) переробку відходів в очисних спорудах, вартість котрих складає до 50% від вартості комплексу, а розміщення потребує великої площі; в) переробку відходів шляхом впровадження технологічних процесів з максимальним коефіцієнтом переносу енергії на тваринницьку продукцію, тобто перетворення відходів в енергію, корми і органічні добрива.

В роботі розроблені і проаналізовані три варіанти (модулі) обробки і утилізації відходів- анаеробне зброжування відходів в метантенках, культивування мікрководоростів на стічних водах і вермикультивування твердої фракції відходів. Кожен із цих модулів може розглядатись як самостійний вид обробки, так і в комплексі з іншими.

Застосування анаеробного зброжування тваринницьких відходів дозволяє: знешкодити практично всю патогенну мікрофлору; провести інактивацію насіння бур'янів; зберегти

поживні речовини, такі як азот, фосфор, калій практично в повному об'ємі (втрати азоту, найбільш рухомого біогенного елемента, не перевищують 3-5%); мінералізувати до 40% органічної речовини; отримати відновлюване джерело енергії-біогаз, якого достатньо не тільки для покриття енерговитрат на підтримання процесу, але і для інших потреб.

Анаеробна обробка відходів передбачає використання цілого комплексу інженерно-технічних споруд (метантенку, газгольдеру, системи термостабілізації тощо) і потребує значних енергетичних і матеріальних витрат. В зв'язку з цим досить актуальною є задача оптимального проектування і експлуатації таких споруд на основі математичного моделювання.

Теоретичною основою математичного моделювання і прогнозування роботи біоенергетичних установок (БЕУ) є рівняння матеріального балансу, яке пов'язане із швидкостями біохімічних реакцій і дебітами потоків. Виведення рівняння матеріального і енергетичного балансів можливе при наявності інформації про гідравлічні характеристики БЕУ, від яких залежать умови проведення, обмеження і кінцеві результати процесу. Крім того необхідні відомості про швидкість протікання біохімічних реакцій і вплив на них умов середовища і робочих параметрів. Суттєвого спрощення рішення можна досягнути в умовах усталеного режиму системи, при якому загальний матеріальний баланс описується алгебраїчним рівнянням.

На основі досліджень на лабораторній і пілотній установках встановлено, що підвищити ефективність процесу можна за рахунок двостадійного процесу ферментації з іммобілізацією мікрофлори, попереднього нагріву відходів вихідними продуктами зброжування, а також зменшенням витрат теплоти через огорожуючі поверхні.

Для дослідження енергетичної досконалості процесу анаеробного зброжування складемо рівняння балансу енергії БЕУ:

$$E_c + E_t + E_{ob} + E_{ee} + E_{жп} = E_b + E_{ef} + E_v \quad (13)$$

де E_c - енерговміст відходів і витрати на їх доставляння, ГДж;

Et- витрати теплоти на нагрівання відходів і компенсацію теплових втрат, ГДж;

Eоб- енерговитрати на обладнання, ГДж;

Eеe- витрати електричної енергії, ГДж;

Eжп- енерговитрати живої праці, ГДж;

Eб- енерговміст утворюваного біогазу, ГДж;

Eеф- енерговміст ефлюенту на виході із БЕУ, ГДж;

Eв- теплота, що втрачається поверхнею біореактора, ГДж.

Аналіз складових рівняння (13) показує, що попередній нагрівання стічних вод вихідними продуктами зброжування дозволяє підвищити коефіцієнт біоенергетичної ефективності БЕУ з 1,88 до 4,7, тобто у 2,5 рази.

Не менш важливою складовою рівняння балансу БЕУ є втрати теплоти через огорожуючі конструкції біореактора.

На рис. 5 приведена залежність питомих теплових втрат від термічного опору і вологості субстрату, з якого видно, що збільшення вологості субстрату на 5% призводить до зростання теплових витрат в 1,5-2 рази. Із графіка також видно, що із збільшенням термічного опору теплові втрати зменшуються, але при цьому слід враховувати і зростаючі енерговитрати на теплоізоляцію. З врахуванням цього нами запропоновано рівняння для визначення енергетично оптимального термічного опору теплоізоляції

$$R_t = \sqrt{\frac{(t_c - t_n) Z C_r}{\lambda C_m}} \quad (14)$$

де t_c , t_n - температура відповідно суспензії і зовнішнього повітря, °C;

Z - тривалість роботи біореактора, год.;

C_r, C_m - питомі енерговитрати відповідно теплової енергії і матеріалів теплоізоляції, ГДж/ГДж, ГДж/т;

λ - коефіцієнт теплопровідності теплоізоляції, Вт/м°C.

На основі результатів власних досліджень та аналізу літературних вітчизняних і зарубіжних джерел встановлено, що найбільш прийнятними для вирощування мікрободоростей на стічних водах тваринницьких підприємств є закриті культивационні установки, які дозволяють цілорічно отримувати

Q_n , МДж/т а.с.р.

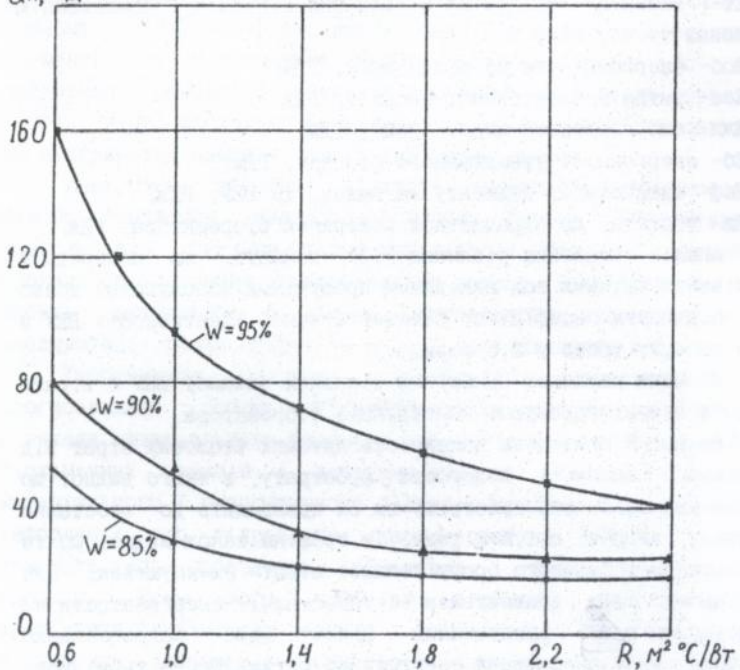


Рис. 5. Залежність питомих тепловтрат біоенергетичної установки від термічного опору огорожі і вологості субстрату.

суспензію мікроводоростей як цінну білково-вітамінну добавку та забезпечують надійне біологічне очищення стічних вод по запобіганню забруднення навколишнього природного середовища.

На основі експериментальних досліджень були отримані залежності швидкості росту мікроводоростей від температури суспензії при різних значеннях опромінення. Із аналізу цих залежностей було встановлено, що температурний оптимум для культури *Chlorella vulgaris* при різних значеннях опромінення (40-100 Вт/м² ФАР) лежить в межах 35-39^oС.

На основі вивчення теплових потоків отримано рівняння теплового балансу для суспензії мікроводоростей в зимовий

період експлуатації установки:

$$C_c m_c \frac{dt_c}{dt} = KtFt(t_{вр} - t_c) + Pп(1 - \eta_c) + Pпер + \\ + C_{жс} \frac{dm_{жс}}{dt} dt_{жс} - \Delta c F_c (t_c - t_{в}) G_{вр} C_{в} \beta_{в} (t_c - t_{в}) - \\ - G_{вр} C_{у} \rho_{у} (t_c - t_{у}) - C_c \frac{dm_{уе}}{dt} dt_c \quad (15)$$

де C_c , m_c , t_c - питома теплоємність, маса і температура суспензії;

Kt , Ft - коефіцієнт теплопередачі і площа теплообмінника;

$t_{вр}$, $t_{у}$, $t_{в}$ - температура води в теплообміннику, вуглекислоти і повітря, що поступають в суспензію;

$Pп$, η_c - потужність і світловий ККД занурених в суспензію джерел опромінення;

$C_{жс}$, $C_{в}$, $C_{у}$ - питомі теплоємності живильного середовища, повітря і вуглекислоти;

$G_{вр}$, $G_{у}$ - кількість повітря і вуглекислоти, що розчинилися в суспензії;

Δc - коефіцієнт тепловіддачі від вільної поверхні суспензії;

F_c - площа вільної поверхні суспензії.

Аналогічно були складені рівняння теплового балансу для повітря культивацийної споруди і води, що знаходиться в теплообміннику.

На основі запропонованих математичних моделей визначені питома потужність системи термостабілізації, що необхідна для підтримання заданої температури суспензії, вплив добових витрат суспензії на потужність проточного водонагрівача і залежність тривалості нагрівання суспензії мікрободоростей від потужності нагрівних елементів проточного водонагрівача.

При дослідженні залежності тривалості нагрівання суспензії від потужності водонагрівача було встановлено, що при малих значеннях потужності проточного водонагрівача системи термостабілізації має місце тривалий процес нагрівання суспензії і значні витрати електроенергії. Проте при збільшенні потужності до величини, при якій добуток потужності на опір тепловіддачі культиватора перевищує

пятикратне значення температури суспензії ($PR \geq 5tc$), енергетичні показники проточного водонагрівача стабілізуються.

Визначальною умовою підвищення продуктивності мікроводоростей є ефективність використання оптичного опромінення які забезпечують протікання в клітинах фізіологічних процесів і перш за все фотосинтезу. Оскільки суспензія мікроводоростей являє собою завись світлорозсіюваних, селективно поглинаючих клітин то із збільшенням глибини культиватора і густини біомаси відбувається значне падіння опромінення і нижні шари суспензії практично не приймають участі у процесі фотосинтезу.

З метою підвищення продуктивності установки для вирощування мікроводоростей в роботі запропоновано культиватор глибинного типу з зануреними рухомими джерелами опромінення (А. с. СРСР N1005699). Результати експериментальних досліджень показали, що швидкість росту мікроводоростей при цьому в 1,5-2 рази вища, ніж при опроміненні культури зовнішніми джерелами опромінення.

Отримання високої продуктивності культури мікроводоростей пов'язане з задачею знаходження оптимальних умов культивування.

В роботі показано, що найбільш прийнятним критерієм оптимізації є швидкість росту мікроводоростей. Оскільки в процесі росту культура зазнає змін внаслідок старіння, накопичення в живильному середовищі продуктів метаболізму, адаптації до даних умов культивування, тому для досягнення максимальної швидкості росту мікроводоростей необхідно постійно вести пошук рівнів зовнішніх факторів.

Запропоновано спосіб оптимізації швидкості росту мікроводоростей який полягає в тому, що температура і рівень опромінення культури змінюється у відповідності із зміною в часі максимальним значенням швидкості росту суспензії.

В результаті аналізу режимів культивування мікроводоростей виявлено досить високу енергоємність даного процесу, про що свідчить коефіцієнт біоенергетичної ефективності, який складає $\eta_{\text{БЕЕ}}^{\text{KM}} = 6,49\%$. Спільна ж робота культиватора мікроводоростей з біоенергетичною установкою, звідки поступає живильне середовище, теплота і вуглекислий газ дає змогу підвищити коефіцієнт біоенергетичної ефективності культивационної установки

більш ніж у 7 разів.

Як було встановлено в попередніх дослідженнях, найбільш ефективним біологічним способом утилізації твердої фракції органічних відходів сільськогосподарського виробництва є вермикультивування, що дає можливість отримувати біогумус-високоєфективне добриво пролонгованої дії (2-3 роки проявляється дія) з синхронним ефектом (можливість використання доступних елементів живлення відповідно до етапу онтогенезу сільськогосподарських культур), а також цінну білкову добавку для тваринництва, птахівництва і рибівництва.

Ефективність процесів перетворення енергії при біоконверсії органічних відходів в біогумус і білковий корм розглянуто на прикладі захищеної (плівкової) вермикультивационної споруди, що дає можливість цілорічно отримувати цінну продукцію для сільського господарства.

Для забезпечення оптимального мікроклімату вермикультивационної споруди необхідна кількісна оцінка параметрів температурно-вологісного режиму. Вирішення цієї задачі можливо на основі рівняння теплового балансу, складеного для найбільш тяжких температурних умов, які мають місце в зимовий період експлуатації споруди.

Запишемо рівняння балансу теплоти за проміжок часу $d\tau$ для вермикультивационної споруди окремо для субстрату і повітря при умові, що температура субстрату вище температури повітря в культивационній споруді:

для субстрату

$$P_{cd}d\tau - K_{cF_c}(t_c - t_r)d\tau + K_{cb}F_{cb}(t_c - t_b)d\tau + C_{cm} dt_c \quad (16)$$

або

$$P_c = \frac{t_c - t_r}{R_c} + \frac{t_c - t_b}{R_{cb}} + C_{cm} \frac{dt_c}{d\tau} \quad (17)$$

де P_c - потужність субстратного нагрівного елементу, Вт;

K_c , K_{cb} - коефіцієнт тепловіддачі відповідно від субстрату до ґрунту і від субстрату до повітря, Вт/м²°С;

F_c , F_{cb} - площа тепловіддачі відповідно від субстрату в оточуючий ґрунт і від субстрату до повітря, м²;

t_c , t_r , t_b - температура субстрату, ґрунту і повітря споруди

ди, °С;

C_s, m_c - питома теплоємність і маса субстрату в вермикультиваційній споруді, Дж/кг°С, кг;

$R_c, R_{св}$ - опір тепловіддачі відповідно від субстрату до ґрунту і від субстрату до повітря споруди, °С/Вт;

для повітря вермикультиваційної споруди

$$P_{вд} \tau_c - K_o F_o (t_b - t_n) d\tau - K_{св} F_{св} (t_c - t_b) d\tau + C_{св} m_{св} dt_b \quad (18)$$

або

$$P_{в} = \frac{t_b - t_n}{R_o} - \frac{t_c - t_b}{R_{св}} + C_{св} m_{св} \frac{dt_b}{d\tau} \quad (19)$$

де $P_{в}$ - потужність повітряного нагрівного елементу, Вт;

K_o - коефіцієнт тепловіддачі через огорожу споруди, Вт/м²°С;

F_o - площа тепловіддачі огорожі, м²;

$C_{св}, m_{св}$ - питома теплоємність і маса повітря в вермикультиваційній споруді, Дж/кг°С, кг;

R_o - опір теплопередачі через огорожу, °С/Вт.

Якщо скласти рівняння (17) та (19) отримаємо рівняння теплового балансу для вермикультиваційної споруди в цілому:

$$P_c + P_{в} = \frac{t_c - t_r}{R_c} + \frac{t_b - t_n}{R_o} + C_{сст} m_{сст} \frac{dt_c}{d\tau} + C_{св} m_{св} \frac{dt_b}{d\tau} \quad (20)$$

На основі приведених рівнянь отримано значення добових витрат електроенергії для секції лож в залежності від температури і швидкості зовнішнього повітря, значення критичної різниці температур, починаючи з якої стає енергетично ефективно застосовувати утеплювачі.

Не менш суттєвий вплив на енергетичну ефективність вермикультиваційної споруди має співвідношення потужностей субстратних і повітряних нагрівних елементів. На рис. 6 наведено залежність добових витрат електроенергії на обігрівання вермикультиваційної споруди від співвідношення потужностей субстратного і повітряного нагрівних елементів ($K = P_c/P_{в}$). Аналіз залежності показує, що добові витрати електроенергії стабілізуються і приймають мінімальне значення при співвідношенні $K \geq 2-3$. В той же час при відсутності повітряного обігріву вермикультиваційної споруди ($K=0$) витрати електроенергії зро-

W_д, кВт·год

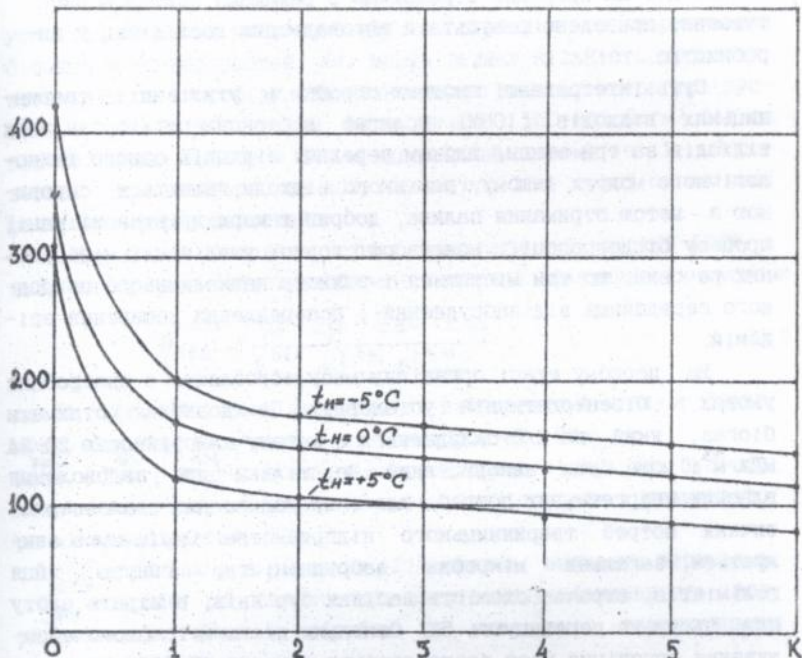


Рис. 6. Добові витрати електроенергії на обігрівання вермикультивацийної споруди.

стають більш ніж у 2,5 рази в порівнянні з системою обігріву, де K=2.

Завдяки застосуванню комбінованого субстратно-повітряного обігріву коефіцієнт біоенергетичної ефективності вермиробництва складає $\eta_{БЕЕ}^{БК} = 0.671$, що на 11,6% більше традиційного відкритого вермикультивування.

В п'ятому розділі "Синтез оптимальної ресурсо- і енергоберігаючої СЕВС на основі еколого-енергетичної збалансованості і її виробнича апробація" на основі теоретичних і експериментальних досліджень проведених у попередніх розділах запропоновано інтегровану систему обробки і утилізації тваринницьких відходів; розроблено систему погодження антропо-

генної дії на природне середовище з режимами природокористування; приведено результати впровадження досліджень у виробництво.

Суть інтегрованої системи обробки і утилізації тваринницьких відходів (ICOU) полягає в біоконверсії органічних відходів за три етапи, шляхом передачі відходів одного технологічного модуля іншому, для якого відходи являються сировиною з метою отримання палива, добрив і кормів, інтенсифікації процесу біодеградації, можливості повної утилізації мінеральних речовин, що там містяться і захисту навколишнього природного середовища від забруднення і попередження поширення епідемій.

На першому етапі органічну масу обробляють в анаеробних умовах в біоенергетичній установці. Це дозволяє отримати біогаз, який на 2/3 складається з метану калорійністю 20-24 МДж/м³ і може бути використаний не тільки для задоволення власних енергетичних потреб, але і як паливо для теплоенергетичних потреб тваринницького підприємства. Окрім того знижується загальна мікробна забрудненість, гинуть яйця гельмінтів, втрачає схожість насіння бур'янів, а втрати азоту при цьому не перевищують 5%. Оскільки після метанового зброжування органічна маса розкладається лише на 40-50%, її також потрібно утилізувати. Це здійснюють після розподілу ефлюенту на тверду та рідку фракції.

На другому етапі тверду фракцію використовують для вермикультивування- промислового вирощування дощових черв'яків на відкритих земельних ділянках та в закритих спорудах, що є надійним засобом підвищення родючості ґрунту й одержання екологічно чистої сільськогосподарської продукції. З субстрату формують ложа на які заселяють маточне поголів'я черв'яків (1,5-2 тис. особин на 1 м²). У результаті біологічної переробки при температурі 20-22 °С за 30 днів з 1 т субстрату одержують 100 кг біомаси черв'яків, яку можна використати як білковий корм для годівлі тварин, у тому числі птиці й риби, а також 600 кг біогумусу- цінного органічного добрива.

На третьому етапі рідка фракція ефлюенту надходить у культиватор мікроводоростей, де відбувається подальша

утилізація органічних речовин з відходів та нарощування біомаси мікроводоростей, які мають велику кількість протеїну, вітамінів та хлорофілу. За оптимальних умов (температура суспензії- 36-38 С, режим опромінення- 150-200 Вт/м² ФАР та підживлювання культури 2%- м вуглекислим газом) з 1 м² поверхні культиватора за добу одержують 1 кг сухої органічної речовини мікроводоростей.

На рис.7 наведено схему енергетичних потоків ІСОУ, з якої визначимо коефіцієнт біоенергетичної ефективності системи

$$\eta_{БЕЕ}^{ІСОУ} = \frac{E_{БВ} + E_{БГ} + E_{БЧ} + E_{БК}}{E_{ЗАГ}^{БВ} + E_{ЗАГ}^{БК} + E_{ЗАГ}^{КМ}} \quad (21)$$

де E_Б, E_{БГ}, E_{БЧ}, E_{БК}- енерговміст відповідно біогазу, біогумусу, біомаси черв'яків і мікроводоростей, ГДж; E_{ЗАГ}^{БВ}, E_{ЗАГ}^{БК}, E_{ЗАГ}^{КМ}- загальні енерговитрати відповідно біоенергетичної установки, вермикультиваційної споруди і культиватора мікроводоростей, ГДж.

Підставляючи в рівняння (21) числові значення отримаємо $\eta_{БЕЕ}^{ІСОУ} = 1,046$, що говорить про енергетичну ефективність запропонованої системи обробки та утилізації тваринницьких відходів.

Екологічна ефективність залежить від глибини утилізації органічних відходів, яка для запропонованої ІСОУ, наприклад, по БПК₅ складає 0,93.

Основна задача управління СЕБС полягає у визначенні зрівноваженого компромісу між позитивними ефектами від розвитку індустріальної технології сільськогосподарського виробництва та негативною дією цієї технології на людину і природу. Тоді у відповідності з законом збалансованого природокористування концепцію збалансованості виразимо як обмеження суми виробничої природоємності Π_i на певній території R за деякий час t величиною копроємності N_c навколишнього природного середовища

$$\sum_{i=1}^n \Pi_i(R, t) \eta_i^{ЕБ} < N_c \quad (22)$$

Для кількісного визначення природоємності і копроємності найбільш ефективним є поширення енергетичного підходу, оскільки антропогенна дія кількісно тісно пов'язана з рівнем

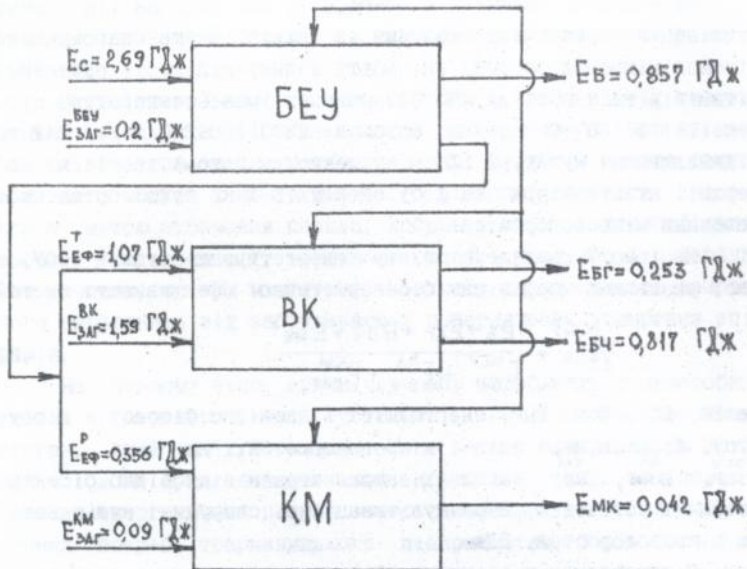


Рис. 7. Схеми енергетичних потоків інтегрованої системи обробки і утилізації органічних відходів. технологічного споживання енергії

$$\Pi_i = \frac{K_i \sum_{j=1}^n (E_1 + E_2 + \dots + E_n)}{R} = \frac{K_i \cdot E_{зат}^{СЕБС}}{R} \quad (23)$$

де K_i - контамінаційний еквівалент технології, що враховує токсичність відходів.

Структурно-функціональну схему оптимізації СЕБС наведено на рис. 8.

Окремі результати наукових досліджень впроваджені при проектуванні і будівництві біоінженерного комплексу з обробки відходів птахофабрики, відгодівельного комплексу ВРХ та свиноферми з отриманням натуральних добрив, біогазу і цінних кормових добавок на Верезнянській птахофабриці Чернігівської обл., проєкті вермикультиваційної споруди продуктивністю 600 т на рік біогумусу асоціації "Біоконверсія" Івано-Франківської обл., при розробці енергозберігаючої системи вентиляції у

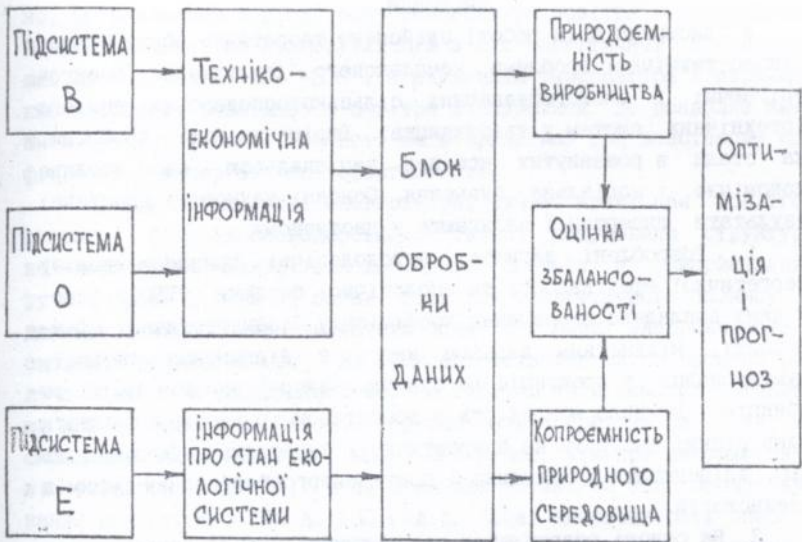


Рис. 8. Структурно-функціональна схема оптимізації СЕБС.

телятниках учгоспу Благовіщенського сільськогосподарського інституту.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі здійснено теоретичне обґрунтування науково-технічної проблеми комплексного дослідження енергозберігаючих і екологобезпечних сільськогосподарських еколого-біотехнічних систем у тваринництві. Вирішення цієї проблеми, яка стала в розвинутих країнах національною, має важливе економічне і соціальне значення. Основні наукові і практичні результати дисертації полягають у наступному.

1. Розроблені загальні методологічні принципи аналізу енергетичної ефективності та екологічної безпеки СЕБС, в основу яких покладено визначення коефіцієнту біоенергетичної ефективності, кількісним виразом якого є відношення енергії, акумульованої у продукції до сумарних витрат енергії на її виробництво. Це дало можливість з достатньою точністю моделювати вплив різних факторів на енергетичну і екологічну ефективність СЕБС, здійснювати порівняння і пошук енергозберігаючих режимів і технологій.

2. На основі розробленої математичної моделі проаналізовано енергетичний баланс на прикладі перспективної моделі комплексу по відгодівлі ВРХ на 12 тис. скотомісць, що рекомендована для впровадження на Україні.

Аналіз показує, що із сукупних питомих енерговитрат, які складають 13,00 ГДж/ц, найбільша питома вага енергоспоживання припадає на корми- 7,13 ГДж/ц, молодняк, що ставиться на відгодівлю- 2,81 ГДж/ц і електричну енергію- 1,48 ГДж/ц. Коефіцієнт біоенергетичної ефективності для запропонованої моделі комплексу складає 7,69%, в той час як на відгодівельному комплексі радгоспу-комбінату "Обухівський" він дорівнює 5,84%.

Виявлені джерела значних втрат енергоресурсів: із стічними водами комплексу- 2,69 ГДж/ц; вентиляційними викидами- 5,75 ГДж/ц; втрати через огорожі будівель- 2,70 ГДж/ц, що говорить про значні резерви у підвищенні коефіцієнту біоенергетичної ефективності.

3. На основі розробленої математичної моделі визначена ефективність енергетичних витрат в залежності від параметрів мікроклімату (температури, відносної вологості, швидкості руху повітря і температури внутрішніх поверхонь огорож). Встановле-

но, що в зимовий період року температура повітря у тваринницькому приміщенні по відгодівлі ВРХ з біоенергетичної точки зору має бути в межах $+10 \div +5^{\circ}\text{C}$ і з зниженням температури і підвищенням вологості зовнішнього повітря знижуватися. Це дозволяє зменшити витрати теплової енергії на мікроклімат при незмінному коефіцієнті біоенергетичної ефективності.

4. Для оптимізації енерговитрат ручної праці при обслуговуванні сільськогосподарських тварин побудована структурно-енергетична модель технологічного процесу з використанням ручної праці, а на її основі рівняння енергетичного балансу, з допомогою якого можна визначити повні і корисні енерговитрати в системі "людина-машина". На прикладі технологічного процесу роздачі замітника незбираного молока телятам за допомогою установки КПГ-10 визначені питомі енерговитрати оператора за зміну, які складають 21,84 кДж/гол., що на 22% менше, ніж при використанні установок УВТ-20, а це дозволяє збільшити зону обслуговування оператора з 120 до 180 голів. Повні енерговитрати оператора при цьому складатимуть 912,1 кДж/год, що менше гранично допустимих енерговитрат (1046 кДж/год).

5. З системних біоенергетичних позицій проаналізовані відомі і запропоновані нами способи і технологічні схеми переробки відходів в анаеробних умовах. Встановлено, що підвищити ефективність процесу можна за рахунок двостадійного процесу ферментації з імобілізацією мікрофлори, попереднього нагріву відходів вихідними продуктами зброжування, а також зменшенням втрат теплоти через огорожуючі поверхні. Основними факторами, що впливають на коефіцієнт енергетичної ефективності біореактора є температура субстрату t_c , доза добового завантаження d і вологість субстрату W . Експериментальні дослідження на лабораторній і пілотній установках дозволили встановити енергетично оптимальні значення цих параметрів: t_c - $52-54^{\circ}\text{C}$ для першої ступені метантенку, t_c - $30-34^{\circ}\text{C}$ для другої ступені, d - $10-12\%$, W - $90-92\%$.

Попереднє нагрівання відходів вихідними продуктами зброжування дозволило підвищити коефіцієнт біоенергетичної ефективності біогазової установки у 2,5 рази.

6. На основі результатів досліджень, та аналізу літературних вітчизняних і зарубіжних джерел встановлено, що найбільш

прийнятими для вирощування мікроводоростей на стічних водах тваринницьких комплексів є закриті культивацийні установки, які дозволяють цілорічно отримувати суспензію мікроводоростей (хло-рела, спіруліна) як цінну білково-вітамінну добавку та забезпечують надійне біологічне очищення стічних вод від забруднення довкілля.

Проведеними дослідженнями встановлено, що для підтримання оптимальної температури суспензії культивацийна установка повинна бути обладнана системою термостабілізації, яка складається із теплообмінника і електрокалориферного обігріву повітря. При цьому потужність водонагрівача прямопропорційна п'ятикратному значенню температури суспензії і обернено пропорційна опору тепловіддачі культиватора.

Встановлено, що рівномірне опромінення культури мікроводоростей по всьому об'єму культиватора може бути досягнуто застосуванням рухомих джерел опромінення, занурених в суспензію (а.с. СРСР N 1005699). Швидкість росту мікроводоростей при цьому в 1,5-2 рази вища, ніж при опроміненні культури зовнішніми джерелами опромінення.

Спільна робота культиватора мікроводоростей з біоенергетичною установкою, звідки поступає живильне середовище, теплота, і вуглекислий газ дає змогу підвищити коефіцієнт біоенергетичної ефективності культивацийної установки більш ніж у 7 разів.

7. Встановлено, що вермикультивування в ложах на відкритому повітрі не дає можливості оптимізувати технологічні параметри і перш за все температурний режим і змушує здійснювати процес сезонно. Запропоновано культивування черв'яків здійснювати в дешевих плівкових спорудах з комбінованим субстратно-повітряним електрообігрівом.

Встановлені залежності потужності нагрівних елементів від параметрів навколишнього середовища, а також оптимальне співвідношення субстратного і повітряного обігріву.

Коефіцієнт енергетичної ефективності вермикультивування в плівкових спорудах з електрообігрівом на 10-12% вищий сезонного вермивиробництва у відкритих спорудах.

8. На основі теоретичних і експериментальних досліджень розроблена енергозберігаюча і прородоохоронна технологія оброб-

ки і утилізації тваринницьких відходів з максимальним коефіцієнтом переносу енергії на тваринницьку продукцію, яка полягає в комбінованій обробці відходів у три етапи, шляхом передачі відходів одного технологічного модуля іншому, для якого відходи служать сировиною, з метою отримання органічних добрив, корму і палива, інтенсифікації процесу біоконверсії та можливості повної утилізації мінеральних речовин, що знаходяться у відходах (заявка на винахід №93006767). Це дає змогу отримувати з 1 т сухої речовини відходів великої рогатої худоби 500 м³ біогазу, 100 кг біомаси черв'яків, 600 кг біогумусу і 25 кг сухої органічної речовини мікрободоростей.

9. Визначена структура і склад інформаційних потоків системи погодження антропогенної дії на навколишнє природне середовище в режимах природокористування. Запропоновано діагностувати стан екологічних об'єктів на основі коефіцієнту екологічної безпеки, який являє собою відношення копроємності оточуючого середовища до природоємності тваринницького виробництва. Оцінка стану і прогнозування рекомендовано вирішувати візуальним порівнянням з еталонним станом в режимі діалогу з ЕОМ.

10. Основні наукові положення, їх практичні результати рекомендовані Міністерством сільського господарства і продовольства України для впровадження при проектуванні, будівництві, реконструкції і експлуатації сучасних комплексів і тваринницьких вузлів на промисловій основі. Окремі результати роботи впроваджені на Березнянському птахорадгоспі Чернігівської обл., асоціації "Біоконверсія" Івано-Франківської обл., учгоспі Благовищенського сільськогосподарського інституту, а також в навчальному процесі при викладанні дисципліни "Інженерна екологія" і дипломному проектуванні.

Основні положення дисертації опубліковані в наступних друкованих працях:

1. Чмиль А. И. Экологобезопасная и энергосберегающая технология биоконверсии сельскохозяйственных отходов в топливо, удобрения и корма // Экотехнологии и ресурсосбережение. - 1995, №4. - с. 64-71.

2. Чміль А. І. Утилізація тваринницьких відходів //Тваринництво України. - 1994, N4. - с. 10.

3. Мартиненко І. І., Чміль А. І. Оптимізація енергетичних режимів на тваринницьких комплексах //Вісник аграрної науки. -1994, N11. - с. 70-74.

4. Мартиненко І. І., Городній М. М., Чміль А. І. Спосіб повної утилізації органічних відходів. Заявка на винахід N93006767 - Промислова власність. - 1996, N1.

5. Чміль А. И. Математическое моделирование и оптимизация процесса метанового сбраживания животноводческих отходов // Экотехнологии и ресурсосбережение. - 1996, N2. - с. 20-24.

6. Мартыненко И. И., Кравец В. В., Чміль А. И. К вопросу разработки культиваторов для выращивания водорослей на сточных водах животноводческих комплексов//Культивирование и применение микроводорослей в народном хозяйстве. -Ташкент: 1977. - с. 25-26.

7. Мартыненко И. И., Кравец В. В., Чміль А. И. Культиватор для выращивания хлореллы на сточных водах животноводческих комплексов// Культивирование и применение микроводорослей в народном хозяйстве. - Ташкент: 1980. - с. 50-51.

8. Мартыненко И. И., Чміль А. И. Определение концентрации клеток в суспензии микроводорослей // Техника в сельском хозяйстве. - 1982, N2. - с. 60-61.

9. Чміль А. И., Кужба А. П. Установка для выращивания микроводорослей. А.с. 1005699 Бюл. N11, 1983.

10. Чміль А. І. Оптимізація енергоспоживання системою кондиціонування повітря у тваринницьких приміщеннях //Вісник аграрної науки. - 1996, N6.

11. Чміль А. И. Энергетическая эффективность процесса промышленного вермикультивирования //Экотехнологии и ресурсосбережение. - 1996, N4. - с. 35-40.

12. Левитина Н. В., Чміль А. И. Новая технология очистки сточных вод и выращивания микроводорослей на животноводческих комплексах // Информационный листок. - К.: 1983. - 3 с.

13. Лут М. Т., Чміль А. І., Гавриленко В. Н. Для обслуговування електроприводів // Механізація сільського господарства. - 1988, N11. - с. 12-13.

14. Чміль А. И., Свешников В. И. Исследование запыленности воз-

духа в производственных помещениях. Методические указания. - Благовещенск: 1988. - 14 с.

15. Чмиль А. И. Замкнутые промышленно-экологические системы на животноводческих фермах //Агрокомплекс Сибири и Дальнего Востока. - Благовещенск: 1990. - с.38-39.

16. Чмиль А. И., Чмиль Л. А. Система вентиляции в животноводческих помещениях // Информационный листок N55-90 Амурского ЦНТИ. - 1990. - 2с.

17. Лут Н. Т., Чмиль А. И. Эксплуатация электрооборудования. Учебное пособие. - Благовещенск: 1990. - 204 с.

18. Мартыненко И. И., Чмиль А. И. Установка для выращивания микрородорослей на животноводческих фермах и комплексах //Информационное письмо УСХА. - К.:1980. - 7 с.

19. Чмиль А. И. Прибор для измерения концентрации клеток в суспензии микрородорослей //Информационное письмо УСХА. - К.: 1981. - 7 с.

20. Белоглазов В. В., Королев В. А., Мельников А. С., Раздобреев В. И., Чмиль А. И. Методические указания по дипломному проектированию. - Благовещенск: 1992. - 48 с.

21. Чмиль А. И. Исследование режимов температуры и облученности в установках для выращивания микрородорослей и очистки сточных вод на животноводческих комплексах. - Депонирована в УкрИНТЭИ. - N492-Ук93 К.: 1993. - 5 с.

22. Чмиль А. И. Математическое описание системы автоматической оптимизации роста микрородорослей. - Депонирована в УкрИНТЭИ. - N493-Ук93. К.: 1993. - 11 с.

23. Чмиль А. І. Оптимізація біотехнічних систем у сільському господарстві по критерію екологічної безпеки //Екологія Полісся: проблеми, сучасність, майбутнє. - Луцьк: 1993. - с.16-17.

24. Чмиль А. І. Розробка технології біологічної переробки відходів на тваринницьких комплексах. - Депонована в УкрІНТЕІ. - N2483-Ук93. К.: 1993. - 8 с.

25. Мартыненко И. И., Чмиль А. И. Моделирование и оптимизация процессов анаэробного сбраживания навоза //Моделирование сельскохозяйственных процессов и машин. - Минск: 1994. - с.44-45.

26. Чміль А. І. Обґрунтування оптимальної структури сільськогосподарської еколого-біотехнічної системи //Актуальні питання фізіології рослин в аспекті екологічних проблем України. - Чернівці: 1995. - с. 64-65.

27. Городний Н. М., Чміль А. И. Биоконверсия органических отходов в сельскохозяйственном производстве //Биоконверсия органических отходов. - М.: 1994. - с. 19-20.

28. Чміль А. І. Замкнуті промислово-екологічні системи на тваринницьких комплексах //Проблеми агропромислового комплексу: пошук, досягнення. Тези доповідей. - К.: 1993. - с. 142.

29. Чміль А. И. Оптимизация замкнутых промышленно-экологических систем на животноводческих комплексах //Безопасность жизнедеятельности и экологические проблемы в регионах Сибири и Дальнего Востока. Тез. докладов. -Благовещ.: 1992. - с. 40.

30. Мартиненко І. І., Чміль А. І. Енергозберігаюча і еколого-безпечна технологія переробки відходів тваринницьких комплексів //Інженерні проблеми сільськогосподарського виробництва України. Тези доповідей. - К.: 1994. - с. 167.

31. Чміль А. І., Лут М. Т. Формування енергозберігаючих технологій у тваринництві //Проблеми агропромислового комплексу: пошук, досягнення. Тези доповідей. - К.: 1994. - с. 79.

32. Чміль А. І. Температурні режими вермикультивування //Проблеми агропромислового комплексу: пошук, досягнення. Тези доповідей. - К.: 1994. - с. 80.

33. Чміль А. І. Проблема переробки органічних відходів на біогаз //Тези доповідей ювілейної конференції викладачів, наукових співробітників та аспірантів, присвяченої 65-річчю ф-та МСГ. - К.: 1994. - с. 81.

34. Ярошенко В. Ф., Чміль А. І., Ємець М. М., Якушко С. І. Отримання нових видів добрив та корму для тварин і птиці з відходів сільськогосподарського виробництва // Там же - с. 91-92.

35. Чміль А. И., Городний Н. М. Биоэнергетическая установка для метанового сбраживания органических отходов //Биоконверсия органических отходов. Тезисы докладов участников третьего международного симпозиума. К.: 1994. - с. 64.

36. Ярошенко В. Ф., Городний Н. М., Чміль А. И. Получение новых видов удобрений и корма для животных и птицы с отходов сельскохозяйственного производства //Там же - с. 65-66.

25-

Чмиль А. И. Энергетическая эффективность электрифицированных технологий производства продукции и обработки отходов в животноводстве. Рукопись.

Дисертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.20.02- применение электротехнологий в сельскохозяйственном производстве, Национальный аграрный университет, Киев, 1996.

Защищаются 36 научных работ, которые содержат результаты исследований энергетической эффективности и экологической безопасности эколого-биотехнических систем в животноводстве.

Разработаны концепция и общие методологические принципы анализа сельскохозяйственных эколого-биотехнических систем, дающие возможность моделировать влияние различных факторов на энергетическую и экологическую эффективность систем, осуществлять сравнение и поиск энергосберегающих режимов и технологий. Предложена безотходная энергосберегающая и природоохранная технология биоконверсии сельскохозяйственных отходов в топливо, удобрения и корма.

Chmil A. I. Energetical efficiency of electrificated technologies of output production and processing of waste in stock-breeding. Manuscript.

Thesis for a doctor's of technical degree on the speciality 05.20.02- application of electrical technology in agriculture, National Agricultural University, Kiev, 1996.

32 scientific works, which contain the results of investigations power efficiencies and ecological safety ecology-biotechnology system in stock-breeding.

It were worked out conception and general methodological principles analysis of agricultural ecology-biotechnology systems, which provide the opportunity to model an influence of different factors on energetical and ecological efficiency of system, to carry out comparison and search of power-conserving regimes and technologies. Developed wasteless power-conserving and environment conserving technology bioconversion of agricultural waste in to fuel, fertilizer and feed.

Ключові слова: енергозбереження, електрифіковані технології, екологія, математична модель, система.

