

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Р. А. САНЖАРА, О. В. ЛЕСНОВСЬКА

**ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО
ВИРОБНИЦТВА**

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Дніпро – 2024

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Р. А. САНЖАРА, О. В. ЛЕСНОВСЬКА

**ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО
ВИРОБНИЦТВА**

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Дніпро – 2024

УДК 631.862:620.925

С 18

Рекомендовано до друку вченою радою Дніпровського державного аграрно-економічного університету (протокол №9 від 27.06.2024 року).

Рецензенти:

Козир Володимир Семенович – доктор с-г наук, професор, академік НААН України;

Піщан Станіслав Григорович – доктор с-г наук, професор, завідувач кафедри технології виробництва і переробки продукції тваринництва Дніпровського державного аграрно-економічного університету;

Могутова Валентина Федорівна – кандидат с-г наук, доцент, завідувачка кафедри тваринництва та харчових технологій Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Автори:

Санжара Р. А., к. с-г наук, доцент кафедри технології виробництва і переробки продукції тваринництва

Лесновська О. В., к. с-г наук, доцент кафедри технології виробництва і переробки продукції тваринництва

Санжара Р. А., Лесновська О. В. Технологія переробки відходів сільськогосподарського виробництва: навч. посібник. Дніпро, 2024. 144 с.

У навчальному посібнику розглянуто питання для набуття здобувачами вищої освіти знань з основ технологічних процесів переробки відходів різних галузей сільськогосподарського виробництва. Зокрема, розглядаються методики переробки посліду різних видів сільськогосподарських тварин за допомогою компостування, вермикультур, синантропних мух, методика виробництва біогазу. Рекомендовано для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 204 «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва».

ISBN 978-966-981-933-8

УДК 631.862:620.925

© Дніпровський державний аграрно-економічний університет, 2024
© САНЖАРА Р.А., ЛЕСНОВСЬКА О.В.

ЗМІСТ

Вступ	6
Розділ 1. Поняття відходів, переробки, проблема побутових відходів в Україні та світі	7
<i>1.1. Проблема побутових відходів та важливість її вирішення</i>	7
<i>1.2. Історія та сучасність вирішення проблеми побутових відходів</i>	9
<i>1.3. Підходи розвинених країн до переробки відходів</i>	11
<i>1.4. Шляхи вирішення проблеми побутових відходів в Україні</i>	15
<i>1.5. Використання відходів с-г виробництва як біоенергетичного ресурсу</i>	17
Розділ 2. Відходи галузей тваринництва. Їх характеристика	22
<i>2.1. Загальні положення</i>	22
<i>2.2. Проблема запаху</i>	23
<i>2.3. Тверді фракції гною</i>	27
<i>2.4. Стічні води тваринництва</i>	30
Розділ 3. Технологія і способи приготування гною	32
<i>3.1. Способи зберігання гною</i>	32
<i>3.2. Вплив гною на ґрунт і рослини.</i>	36
<i>3.3. Безпідстилковий гній</i>	39
<i>3.4. Використання гною в органічному землеробстві</i>	40
<i>3.5. Теоретичні основи компостування</i>	43
<i>3.6. Практика приготування компосту</i>	56
Розділ 4. Виробництво біогазу. Характеристика сировини і технології.	61
<i>4.1. Біогазова сировина</i>	62
<i>4.2. Сучасні технології виробництва біогазу</i>	67
<i>4.3. Характеристика та використання біогазу</i>	76
Розділ 5. Виробництво біогазу. Характеристика мікроорганізмів і опис технологічного процесу	81
<i>5.1. Схема технологічного процесу</i>	81
<i>5.2. Характеристика мікроорганізмів, що беруть участь в анаеробному зброджуванні</i>	83
<i>5.3. Нагрівання сировини в варильному котлі</i>	88
<i>5.4. Змішування сировини в варильному котлі</i>	88
<i>5.5. Охорона праці та техніка безпеки</i>	91
Розділ 6. Переробка відходів птахівництва. Вермикомпостування	94
<i>6.1. Характеристика, зберігання та біоконверсія пташиного посліду</i>	94

6.2. <i>Основи вермикомпостування</i>	102
Розділ 7. Переробка органічних відходів. Вирощування дріжджових культур і синантропних мух	110
7.1. <i>Переробка твердих і рідких відходів мікроорганізмами</i>	110
7.2. <i>Особливості вирощування дріжджів</i>	114
7.3. <i>Використання синантропних мух</i>	116
Розділ 8. Біотехнологія очищення стічних вод	122
8.1. <i>Біотехнологія очищення води</i>	122
8.2. <i>Показники забруднення стічних вод</i>	124
8.3. <i>Роль аквакультури в очищенні стічних вод</i>	126
8.4. <i>Технології біологічної очистки стічних вод</i>	128
Рекомендована література	139

ВСТУП

З появою цивілізованого суспільства виникла постійна проблема збереження навколишнього середовища. Людська діяльність, така як промисловість, сільське господарство і побут, постійно змінювала фізичні, хімічні і біологічні властивості середовища, багато з яких були шкідливими. Відходи від тварин і людей часто використовувалися для збільшення родючості ґрунту, що не є проблемою, якщо їх невелика кількість. Однак великі тваринні комплекси вважаються серйозними джерелами забруднення. Накопичення фекальних мас і гною створює антисанітарні умови, що загрожують забрудненню ґрунту, водних джерел і повітря.

Гній містить органічні речовини, які роблять його цінним добривом для ґрунту, проте також є потенційним джерелом інфекцій і захворювань. Існує ризик зараження людей і тварин при використанні гною у сільському господарстві. Крім того, гній сприяє розмноженню мух і гризунів, які можуть передавати різні захворювання. Загроза також полягає у наявності отруйних хімічних сполук у гній, таких як солі важких металів, залишки пестицидів і антибіотиків.

Забезпечення стійкого ветеринарного і екологічного благополуччя можливе лише за умови суворого дотримання санітарно-гігієнічних вимог при очищенні, зберіганні, утилізації і підготовці гною для використання у сільському господарстві.

Тому вивчення питань та набуття здобувачами вищої освіти знань з основ технологічних процесів переробки відходів різних галузей сільськогосподарського виробництва є дуже актуальним для здобувачів спеціальності 204 «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти.

Розділ 1

Поняття відходів, переробки, проблема побутових відходів в Україні та світі

1.1. Проблема побутових відходів та важливість її вирішення

Проблема утилізації відходів діяльності людини у сьогоdnішніх містах з високою концентрацією та високотехнологічними і сільськогосподарськими виробництвами стоїть гостріше, ніж вирішення проблеми нестачі питної води та забруднення повітря. Тому важливість їх нейтралізації та утилізації побутових відходів буде щорічно зростати. Це підтверджується також тим, що люди, чий професійні інтереси досить посередньо перекликаються з екологічними проблемами, останнім часом інтенсивно займаються питаннями утилізації відходів побуту людей. У нашій країні цим питанням почали активно займатися у 2006 році, наприклад, в художньому музеї міста Івано-Франківська (Україна) була продемонстрована експозиція з назвою «Сміття», експонати цієї експозиції в переважній більшості були виготовлені з різноманітних відходів як побутового так і промислового характеру. На виставці знаходилося багато малюнків та світлин, що ілюструють стан міських сміттєзвалищ. Приблизно в цей же час подібний захід з назвою «Люди зі сміття» проходив і в Німеччині, де в якості основного матеріалу для виготовлення творінь були відходи і залишки викинутих предметів. Нещодавно в місті Нью-Джерсі (США) відкрився музей сміття, якому, за словами відвідувачів, не вистачає запахів реальних предметів, щоб доповнити картину.

Низка шкіл нашої країни вже запровадила плани роботи з екологічними відходами на рівні квартир, будинків, дворів та вулиць. Видано спеціальні інструкції щодо сортування сміття. Таким чином міська влада сподівається вплинути на доросле населення міста.

Потрібно сказати, що безвідповідальне ставлення населення до переробки твердих побутових відходів стає чи не головним фактором, що стримує успішне впровадження нових прогресивних технологій їх переробки. І практично кожен може згадати випадки з особистого життя, що пов'язані з невідповідальним відношенням до відходів, зокрема коли залишали сміття після пікніка в лісі, змивали побутову хімію в каналізацію, спалювали пластик на присадибній ділянці і т.д. Саме через це, стверджувати що ми маємо високу ступінь відповідальності у відношенні побутових відходів, мабуть ще рано. Тому, висвітлення цих питань для населення сьогодні має стати ключовим напрямком у вирішенні проблем утилізації та переробки відходів. Не зайвим буде законодавче забезпечення відповідальності за неправильне поводження з відходами як для окремих громадян, так і для керівників підприємств, без чого вся робота матиме дуже низьку результативність.

Виснаження наявних природних ресурсів рано чи пізно змусить людство звернути увагу на величезну кількість твердих промислових відходів, в яких містяться величезна кількість необхідних у виробництві та життєдіяльності хімічних елементів. Проте, навіть подальша переробка наявних побутових та інших відходів може бути тимчасовим рішенням. Науково-технічний прогрес змінює життя та людство і нові види відходів, що можуть утворюватися в майбутньому, просто складно передбачити.

Відносно нова і гостра проблема відходів, це утилізація комп'ютерів і побутової техніки. Сьогодні все це потрапляє на сміттєзвалища, так як утилізація пристроїв, які складаються з тісного поєднання різних видів пластмас, металів, дерева, скла, картону та інших видів матеріалів, становить значні проблеми. До складу таких відходів входять як відносно не шкідливі та дорогоцінні матеріали, так і такі що з попаданням у навколишнє середовище значно його забруднюють (свинець, кадмій, мідь, хром та інші).

Обсяги електронного брухту продовжать зростати. Наприклад, тільки в США в 2013 році на звалища було відправлено 250 мільйонів тонн відходів.

персональні комп'ютери. У 2015 році 370 мільйонів пристроїв вважалися застарілими, багато з яких також завершили свій життєвий цикл на полігоні. Вважається, що причинами такої ситуації є два фактори. По-перше, значно скоротився термін служби електронного обладнання і період необхідності його «оновлення». Наприклад, комп'ютерна техніка 1992 року випуску морально застарілою і непридатною до подальшого використання через 4,5 роки, то обладнання, побудоване в 2015 році, вважається застарілим через 2 роки. Кожного року кількість складного електронного обладнання у нашому побуті збільшується, що також істотно впливає на обсяги електронних відходів.

1.2. Історія та сучасність вирішення проблеми побутових відходів

Часто побутові відходи твердого типу утворювалися в результаті антропогенних процесів. Людство, на початку свого суспільного розвитку, вживало і споживало тільки продукти природного походження і жило невеликими відокремленими групами, тому тверді відходи його не турбували. Найпростіший спосіб позбутися від невеликої кількості таких відходів - спалити або закопати їх. Відчутний індустріальний розвиток та використання значних кількостей речовин не природнього походження почали формувати проблему та поняття відходів різного характеру.

Перші масштабні епідемії, це одні із відчутних і видимих проблем що зумовлені наявністю твердих побутових відходів, епідемії були викликані їх переносниками, які масово розмножувалися в купах сміття - щурів, клопів, бліх і т.д.

Оскільки міста швидко зростали, а санітарії приділялося мало уваги, сміттєзвалища часто розташовувалися в містах, що ще більше посилювало проблему їх наявності. Перші відомі згадки про проблеми твердих побутових відходів та рекомендації по їх вирішенню датуються 320 роком до нашої ери в законі що діяв у Афінах. А лише 1714 року в Англії спеціальний указ зобов'язав всі муніципалітети ввести положення, що передбачає регуляцію

побутових відходів які накопичуються в місті. У 19 столітті гостро постало питання про організацію нових сміттєзвалищ. Ще в 1889 році американські чиновники заявили про відсутність місць для накопичення відходів, а британські футурологи цілком обґрунтовано розраховали, за яку кількість часу вулиці міста Лондон будуть вкриті щільним шаром кінського посліду. У XX ст. відбувається загострення наявних проблем ТПВ і появою нових. Вихід у побут та промисловість нових матеріалів та хімічних речовин, яких немає у звичайному природному середовищі, а саме: різноманітних реагентів, побутової хімії, ліків і медикаментів, поява побутової техніки тощо, призвело до забруднення основних компонентів навколишнього середовища – питної і відкритої води, ґрунту, повітря. Суттєво підвищується значення соціального фактору – населення певної місцевості дуже негативно відноситься до розміщення поблизу різних полігонів та звалищ, особливо якщо відходи планується розміщувати з інших територій. Прикладом стала американська баржа «Munro» з Нью-Джерсі (США), яка рік плавала від одного до іншого порту з вантажем твердих відходів і поверталася, не позбувшись жодної тонни. Фактор ресурсозбереження набуває все більшого значення в питанні утилізації твердих побутових відходів тому, що істотно змінюється їх склад і ці речовини можуть стати техногенними відкладеннями за складом окремих компонентів, і економічним фактором, так як переробка відходів може, в ряді випадків, приносити досить значний дохід.

Сьогодення характеризується більш високим темпом утворення побутових та промислових відходів, навіть більш високим ніж ріст населення, так як людям завжди було властиво прагнути жити краще і комфортніше.

Загал твердих побутових відходів включає в себе деяку кількість ньюансів. До характерних ознак твердої фракції відходів побуту та виробництва є їх локальність у місцях виробництва та скупчення людей. Через це такі місця, в першу чергу являються місцем поширення біологічно,

хімічно шкідливих і канцерогенних речовин, що становлять негативний вплив на життя та здоров'я людей.

Потрібно завжди брати до уваги вплив твердих побутових відходів на зміни природного ландшафту. За розрахунками академіка І. Б. Петрянова-Соколова, у промисловому виробництві в середньому лише 2% природних матеріалів, що видобуваються з надр землі, повністю використовуються. Решта стає відходами. В наслідок промислового виробництва по всьому світу було знищено близько 20 млн км², що навіть більше за площі під сільськогосподарським виробництвом.

1.3. Підходи розвинених країн до переробки відходів

На сьогодні розвинених країнах значну кількість побутових відходів збирають і переробляють не комунальні служби, а приватні підприємства, які також займаються промисловими відходами.

У грошовому вираженні ринок побутових відходів у країнах які розвиваються, має оцінку приблизно в \$120 млрд, при цьому найважливішими ринками є США (\$46,5 млрд), Європа (країни ЄС а також Норвегія та Швейцарія, разом майже \$36 млрд) та Японія (близько \$30,5 млрд). У світовій практиці переважна більшість твердих не промислових відходів досі вивозиться на звалища: у країнах бувшого Радянського Союзу на звалища вивозиться 97% загальної кількості твердих побутових відходів, у США – 73%, у Великобританії – 90%, у Німеччині – 70%, у Швейцарії – 25%, у Японії – близько 30%.

Вивіз твердих побутових відходів на звалища (полігони) має глибоке історичне коріння і має розглядатися як вимушене, тимчасове вирішення проблеми, що в принципі суперечить екологічним та ресурсним вимогам.

Оскільки сміттєзвалища віддаляються від міст все далі і далі, а площа поховань твердих побутових відходів не може збільшуватися до нескінченності, проблема можливості подальшої, більш повного

використання та переробки твердих побутових відходів актуальна для всіх країн.

Саме промислова переробка з урахуванням екологічних вимог, можливість економії та заощадження ресурсів є кардинальним шляхом вирішення проблеми твердих побутових відходів.

У США, згідно результатів досліджень Агентства яке займається охороною природи (ЕРА), кожного року в домогосподарствах утворюється 1,6 мільйона тонн небезпечних відходів. Вирішення проблеми поводження з небезпечними відходами на рівні міста здійснюється комплексно, у вирішенні питання задіяні муніципальні органи влади, приватний бізнес та громадськість, відповідно до програм.

На Алясці, наприклад, вартість знезараження небезпечних відходів складає 125 000 доларів. При цьому загальний кошторис усієї програми з регуляції поводження з небезпечними відходами становить 400 тисяч доларів США. Контроль наявності та обігу небезпечних матеріалів, в тому числі і відходів, у США здійснює федеральний рівень та рівень штатів. На федеральному рівні, наприклад рух таких речовин контролюється аж трьома державними органами.

До універсальних відходів можна віднести матеріали та речовини, що часто використовуються у міському побуті чи в приватній садибі. Держава не регулює небезпечні відходи, які накопичуються в приватному секторі. В сфері виконання екологічної програми законодавчо запроваджено пункти прийому відходів що становлять небезпеку. Такий підхід сприяє створенню загальнонаціональної мережі локальних центрів збору та накопичення небезпечних відходів. Спеціальні пункти прийому призначені для забезпечення безкоштовного збору певної категорії небезпечних відходів з будинків, а також зберігання протягом не значного часу відходів що утворилися внаслідок діяльності малого бізнесу та потенційно можуть становити небезпеку. Знання громадян про необхідність окремого збору різних відходів не лише допомагає краще відокремлювати небезпечні

побутові відходи та знешкоджувати їх, але й допомогти дізнатися, як зменшити їхню кількість та вплив на навколишнє середовище.

Утилізацією відходів які становлять хімічну небезпеку в США займаються приватні компанії, але після отримання відповідної ліцензії. Отримати в такій компанії консультацію можна в будь-коли, а для реалізації процедури утилізації відходів розроблені відповідні форми заявок. Так, для наприкладу, якщо ви маєте певну кількість спеціальних ємностей, вони маркуються і на кожну ємність і вид відходів оформляються заявки визначеного зразка. Наявні ємності для накопичення можна придбати у організації, що займається вивезенням небезпечних відходів.

У рішенні проблеми накопичення відходів є варіант, яким охоче користуються країни Заходу, а саме експорт побутового сміття до країн третього світу. Сьогодні Китай став гігантським у світі звалищем. Використовуючи не офіційні данні, зазначається, що 80% відходів експортується з розвинених країн до країн Азії, з яких 90% потрапляє в Китай.

Велика частина цього сміття (яке містить понад 300 видів небезпечних речовин і матеріалів) на промислових заводах піддається сортуванню та переробці, причому без використання будь-якого очисного обладнання. За 2012 рік прибуток Китаю від переробки таких відходів склав \$177,4 млрд. У загальному річному обсязі перероблених Китаєм небезпечних відходів, що становить близько 11 млн тонн – відходи промислового виробництва становлять понад 10 млн тонн, медичні відходи - 650 тисяч тонн, радіоактивні відходи - 115,3 тонни. В період з 1996 по 2004 рік було поховано 26,4 мільйона тонн небезпечних відходів без будь-якої обробки та належної утилізації.

Китай також має величезну кількість промислових відходів від власного виробництва, їх кожного року накопичується понад 1 млрд тонн, це у 5 разів перевищує річний обсяг твердих побутових відходів. Законодавством Китаю відходи розділяються на три окремі групи: муніципальні (побутові),

промислові та небезпечні. До побутових відходів належать побутові, відомчі, комерційні, вуличні та необроблені промислові відходи. Дуже часто будівельне сміття з після зведення нових споруд або від демонтажу старих будівель також включається в загальний обсяг ТПВ.

Утилізація відходів у таких країнах як, наприклад, Японія має свої особливості, адже їх просто ніде закопати. Відходи розділяють на дві окремі групи: побутові та промислові. За переробку промислових відходів відповідають компанії, внаслідок діяльності яких ці відходи утворилися. Переробка побутових відходів покладена на місцеві муніципалітети. Щорічний об'єм побутових відходів у Японії приблизно 50 мільйонів тон, а промислових близько 400 мільйонів тон. Якщо розподілити даний об'єм на все населення то отримаємо по 3,75 тонни на кожного жителя. Отже, середньостатистичний японець щодня «виробляє» понад 1 кг побутових відходів та близько 10 кг промислових.

На сьогоднішній день у світі налічується близько 20 різних за типом та результативністю способів переробки, знешкодження та утилізації твердих побутових відходів. За кінцевою метою вони поділяються на *ліквідаційні*, які в основному вирішують санітарно-гігієнічну складову, і *утилізаційні*, тобто такі що допомагають додатково використати вторинні ресурси. За технічним виконанням всі способи утилізації та знешкодження твердих побутових відходів поділяються на *термічні, біологічні, хімічні, механічні та змішані*. Передовий досвід впевнено переконує, що не обов'язково вивозити всі тверді побутові відходи на звалища. Значна частина з них, після відповідної обробки, може давати користь. Найбільшого поширення в різних країнах набули такі методи (табл. 1).

Найбільш економічно і екологічно обґрунтованими і найбільш поширеними способами утилізації та утилізації твердих побутових відходів на сьогоднішній день можна вважати наступні:

- накопичення на певним чином підготованих ділянках;

- відокремлення за типом різних матеріалів та їх повторним використанням;
- спалювання у різних установках, часто з рекуперацією тепла;
- компостування з добривом або біопаливом;
- вермикюльтура з подальшим використанням біогумусу.

Таблиця 1.

Частка різних методів у процесах утилізації твердих побутових відходів

Країна	Кількість відходів, тис т/рік	Захоронення, %	Сортування, %	Спалювання, %	Компостування, %
Німеччина	25 000	46	16	36	2
Греція	3 150	100	-	-	-
Данія	2 600	29	19	48	4
Іспанія	13 300	65	13	5	17
Канада	16 000	80	10	8	2
Нідерланди	7 700	45	15	35	5
Португалія	2 650	85	-	-	15
США	177 500	67	15	16	2
Швейцарія	3 700	12	22	59	7
Швеція	3 200	34	16	47	3
Японія	50 000	20	-	75	5
Україна	11 69 7	98	-	2	-

1.4. Шляхи вирішення проблеми побутових відходів в Україні

Підсумовуючи данні різних джерел, можна сказати, що враховуючи загальну масу відходів, обсяг їх побутової частини в Україні становить лише долю у 2%. Світовий показник цього співвідношення досягає 10%. Оскільки чисельність населення в Україні кожного року поступово зменшується, то збільшення загального обсягу твердих побутових відходів зумовлене збільшенням обсягу відходів, які щорічно утворюються внаслідок діяльності кожної людини. За даними Міністерства будівництва житлово-комунального господарства та регіонального розвитку України, за останні 6 років кількість

твердих побутових відходів у країні зросла до 50 млн м³/рік, а їх об'єм на одну людину склав майже 1,0 м³/рік. Якщо прийняти щільність відходів в середньому за 0,25 т/м³, то кожен житель України щодня виробляє близько 0,7 кг твердих побутових відходів.

Утилізація відходів для України є актуальною проблемою, оскільки серед європейських країн вона є лідером за об'ємом твердих побутових відходів на одного громадянина. При цьому утилізація їх залишається на рівні минулих років. З огляду на те, що відходи побуту все більше за своїм складом нагадують відходи розвинених країн (тобто в значній мірі це різноманітна пластикова упаковка, одноразовий посуд, тара від напоїв), а їхня переробка не налагоджена, то щорічно об'єми таких відходів поступово збільшуються.

Розподіл міських відходів такий: 41% - папір та картон, 17,9% - сміття, 8,1% - гума, шкіра та дерево, 7,5% - харчові відходи, 8,7% - метали, 8,2% - скло, і 1,6% припадає на інші матеріали. Проблеми утилізації та повторної переробки речовин полімерного характеру, що не руйнуються при знаходженні у ґрунті, довгий час залишаються невирішеними. Дрібні часточки полімерних матеріалів порушують природну схильність ґрунту до відновлення, спалювання такого типу матеріалів сприяє переходу наявних та новоутворених небезпечних сполук у повітряне середовище.

Ще однією проблемою є неправильний вилив рідкої фракції побутових відходів у каналізаційну систему без спеціальної підготовки, що негативно впливає на ефективність та здатність очищення таких стоків на спеціальних спорудах біологічної очистки. Це, в свою чергу, негативно впливає на якість морських вод.

За ставленням суспільства до відходів можна оцінити його рівень цивілізованості. Зі зростанням розвитку стає все актуальнішою проблема обробки все більш різноманітних відходів. Це також призводить до зростання вимог до тих, хто порушує правила та викидає сміття на громадських майданчиках. У нашій країні застаріла проблема «сміття», особливо

проблема утилізації промислових відходів, не зрушить з мертвої точки. Приватні підприємці не зацікавлені у створенні за власні кошти спеціалізованих цехів та дільниць для переробки та утилізації промислових відходів. Неперероблене сміття шкодить оточуючому природному середовищу, сміттєзвалищам, де сотні тонн сміття гниють, отруюють повітря, ґрунт, ґрунтові води та перетворюються на серйозну загрозу для людини та всіх живих організмів. Тому, щоб запобігти подальшому тотальному забрудненню, це питання можна вирішити діючи наступним чином:

- запровадити в Україні систему обов'язкового окремого збору, сортування та відокремлення різного типу сміття та систему переробки твердих побутових відходів;
- започаткувати розробку комплексу законодавчих актів, спрямованих на безпечне вирішення проблеми відходів в Україні;
- посилити боротьбу з природними сміттєзвалищами та наслідками їх існування;
- організовувати науково-дослідні роботи зі створення екологічно безпечних технологій переробки та утилізації промислових і побутових відходів;
- запустити всеукраїнську інформаційно-просвітницьку кампанію з роз'яснення необхідності правильного збору сміття для його подальшої утилізації.

1.5. Біоенергетика як вид відновлюваної енергетики в сільськогосподарському виробництві

Покращення економіки України в певній мірі пов'язано зі ступенем доступності енергії та наявності ресурсів. Сучасною проблемою є вичерпання природних паливних ресурсів, а їх використання стає не економічно вигідним і шкідливим для навколишнього середовища. Оскільки економіка використовує природні ресурси та енергію для свого розвитку,

існує тісний зв'язок між економічною діяльністю та станом природного середовища.

Сектор біоенергетики, який базується на використанні біомаси, може вирішувати як глобальні, так і локальні проблеми. Україна володіє необхідними ресурсами, технологічною та промисловою базою для розвитку цього сектору. Однак виникнення та подальший розвиток біоенергетики в країні стикаються з рядом економічних проблем. Біоенергетика ґрунтується на використанні енергії, яка виробляється з біомаси, такої як солома, відходи сільського господарства, деревообробної промисловості, посліду тварин, енергетичних культур і т. п.

Запаси біомаси знаходяться на четвертому місці, попереду лише вугілля, газ, а також та нафта. Хоча біомаса є твердим паливом, і використовується аналогічно використанню вугілля. Але з екологічної точки зору, використання біомаси у виробництві енергії за допомогою сучасних технологій є набагато безпечнішим, ніж використання вугілля. Біомаса відіграє ключову роль у виробництві тепла та електроенергії в усьому світі.

Головні переваги використання біомаси порівняно з традиційними видами палива полягають у високій екологічності, більш ефективному використанні природних ресурсів, більшому економічному вигаді, розв'язанні проблем управління відходами та місцевому характері цього енергетичного ресурсу.

Використання біомаси як палива не призводить до збільшення глобального парникового ефекту, оскільки біомаса є нейтральним паливом. Це є одним із основних способів заміщення викопного палива в сільських районах. Енергетичні ресурси біомаси у сільському господарстві поділяються на два основних сектори: сільське господарство та тваринництво. (рис. 1).

Біомаса охоплює всі відходи вирощування та переробки рослин, що можуть служити джерелом енергії: деревину, трав'яні та злакові культури, лісові насадження, відходи отримані при вирощуванні тварин і птиці, сюди

теж включаються промислові та побутові відходи, які часто не мають рослинного походження, проте їх утилізують за тим самим принципом.

У нашій країні найпоширенішими видами біомаси, які використовуються для виробництва енергії, є: стебла кукурудзи та соняшнику, солома злаків, відходи овочевого та харчового виробництва, торф, лушпиння соняшника та інші відходи, такі як відходи від тваринництва та птахівництва, енергетичні культури, деревина та її відходи від переробки, а також рослинні і тваринні відходи харчової промисловості.

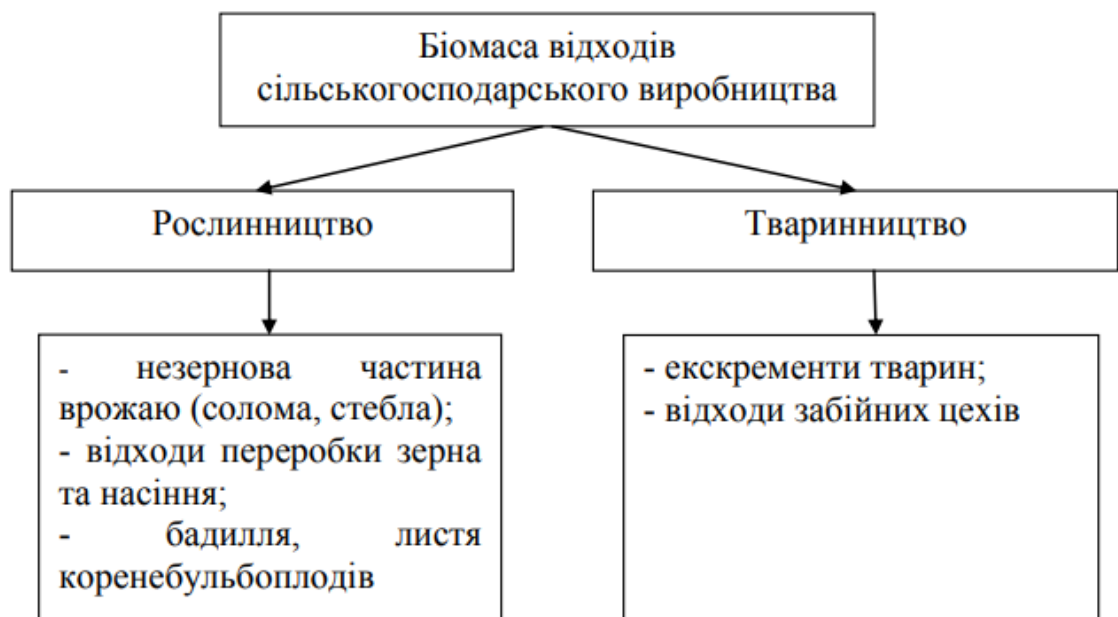


Рис. 1. Сільськогосподарська біомаса, яка може бути енергетичною сировиною

Існують два типи біомаси:

- 1) сировина для виробництва енергії (наприклад, солома, деревина, торф і т. д.);
- 2) оброблена сировина для виробництва енергії (така як біогаз, етанол, метанол і т. д.).

Здійснення формування та подальше використання біомаси можна класифікувати за такими категоріями:

- 1) відходи органічного походження сільськогосподарських, комунальних та переробних промислових галузей, які становлять проблему з утилізацією;

2) вторинна сільськогосподарська сировина, яка використовується для отримання добрив органічного походження та покращення врожайності культур (така як гній, непридатні для інших цілей частини сільськогосподарських культур і т. д.);

3) біомаса, що природньо має високий вміст енергії (наприклад, рослини, багаті на олію та цукор, водорості, енергетичне зерно і т. д.). Схема використання сільськогосподарської біомаси для енергетичних потреб наведена на рис.2.

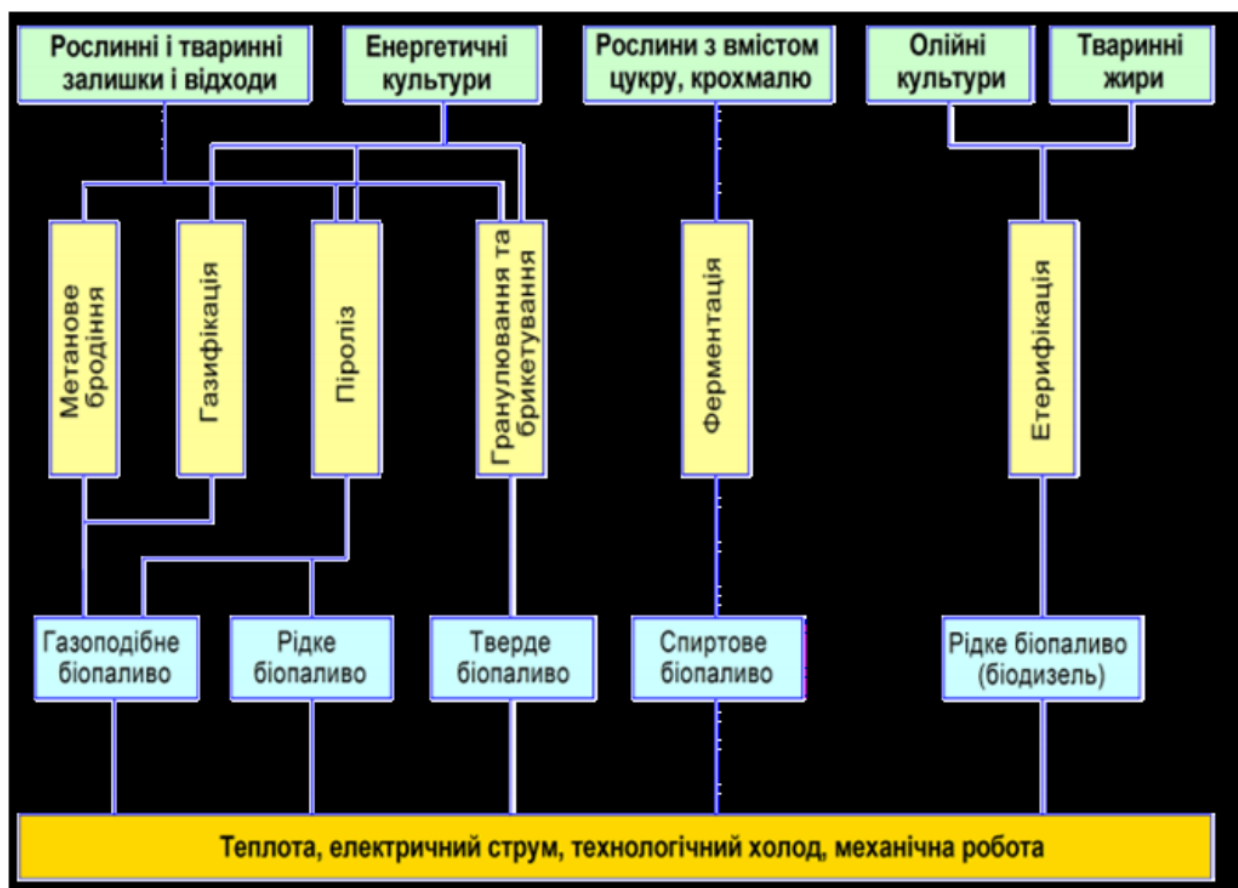


Рис. 2. Схема використання сільськогосподарської біомаси для енергетичних потреб

Розрізняють три основних види потенціалу біомаси – технічно здійснений (технічний), теоретично здійснений (теоретичний) та економічно доцільний (економічний).

Теоретично можливий потенціал визначає максимальну кількість наземної біомаси, яка може бути використана для отримання енергії,

враховуючи фундаментальні закони біофізики. Технічний потенціал, натомість, визначає можливу частину, яка може бути застосована в конкретних технічних умовах та сучасних технологічних можливостях, з урахуванням просторових обмежень, конкуренції між різними землекористувачами та інших екологічних та нетехнічних факторів. Економічний потенціал визначається пропорцією технічної реалізації, яка відповідає економічній виправданості за конкретних умов.

Грунтовний розгляд еволюції біомаси та її використання як джерела для потреб сільськогосподарського сектору вимагає систематичного аналізу та оцінки результатів цього процесу. Ефективність біоенергетичного об'єкта залежить від вартості біопалива. Комунікаційна схема між учасниками на підприємствах, які працюють з біопаливом, є більш складною, порівняно з газовими котлами, де електроенергія постачається до котла через постійну мережу трубопроводів. Для забезпечення нормальної роботи твердопаливних котлів потрібно забезпечити закупівлю та логістику заданої кількості та якості біопалива.

Кілька галузей задіяні в ланцюжку біомаса – біопаливо – тепла енергія. Послідовність отримання енергії у системі сільськогосподарської біомаси приведено (рис. 3.) Використані ресурси включають в себе процеси отримання та накопичення біомаси, перевезення, підготовки та отримання біопалива, а також процеси, пов'язані з виробництвом енергії, спалюванням підготованих матеріалів та використанням тепла.

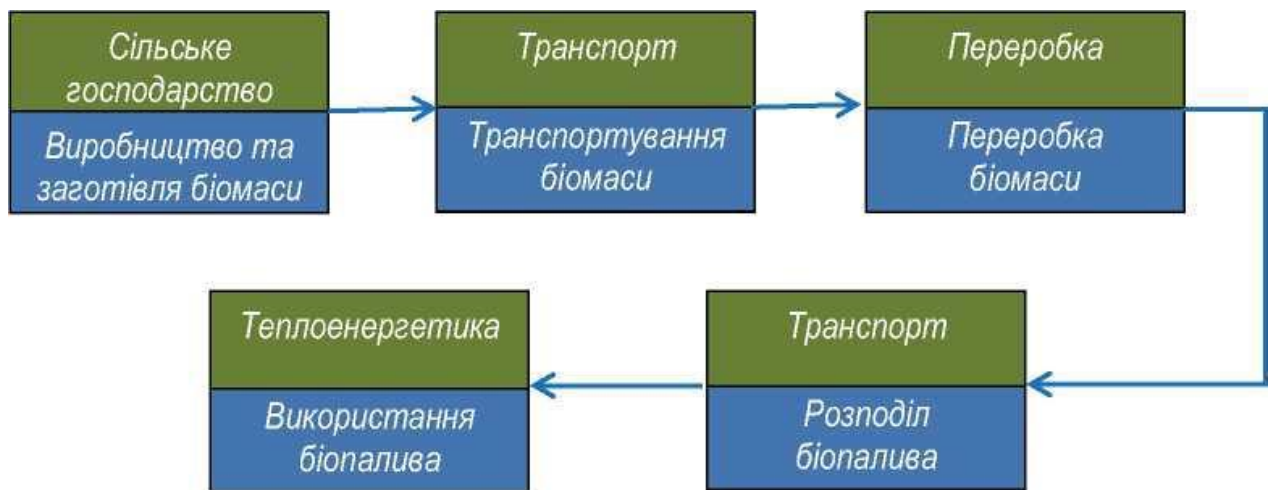


Рис. 3. Цикл виробництва сільськогосподарської біомаси, її конвертації в біопаливо та подальшого використання у теплоенергетиці.

Ціна біопалива різного типу, які подаються до котельні, залежить від співробітництва між учасниками у процесах закупівлі, переробки та логістики. Тому ключовою є необхідність забезпечення різноманітності джерел постачання та налагодження оптимальної системи постачання для біоенергетичного об'єкта.

Варто відзначити, що здійснення заготівлі та перевезення різних відходів обробки деревини для енергетичного використання в Україні зараз досить розвинено. Проте цей процес може мати значний коефіцієнт для підвищення ефективності через застосування сучасних технологій та спеціалізованого обладнання.

Створено організації, в сферу діяльності яких входить забезпечення українського ринку різними видами біомаси: тріска, паливні пелети, паливні брикети, деревина, солома, лушпиння соняшника тощо.

Контрольні запитання.

1. Які методи використовуються, щоб привернути увагу до проблеми побутових відходів?
2. Який вид побутових відходів останнім часом значно збільшився в загальному обсязі?

3. *До яких проблем призводить накопичення твердих побутових відходів у містах?*
4. *Які найбільш поширені та економічно ефективні способи утилізації та утилізації побутових відходів на даний час?*
5. *Навіщо потрібно сортувати побутові відходи?*
6. *Які шляхи вирішення проблеми побутових відходів в Україні?*
7. *Яку роль може відігравати сільськогосподарське виробництво в біоенергетиці?*

Розділ 2

Відходи галузей тваринництва. Їх характеристика

2.1. Загальні положення

У багатьох країнах об'єм відходів у тваринництві перевищує обсяг усіх побутових відходів в 5 разів. Ці відходи відрізняються високим вмістом органічних речовин та мінеральних сполук, таких як азот, фосфор, калій тощо. Розрахунки експертів вказують на те, що лише у США об'єм гною становить 1,72 мільярда тонн, причому близько 20% цього обсягу містить неперероблені поживні речовини. Лише одна третина обсягу гною містить таку ж кількість білка, як однорічна соя. У гної без підстилки від 50% до 70% азоту перебуває у розчиненому вигляді, при цьому органічні сполуки становлять 70-80% від сухої маси. Співвідношення вуглецю до азоту в фекаліях тварин досить велике (1:18-20), але в суміші екскрементів це співвідношення зменшується через наявність азоту у сечі до 5-9.

Під терміном «відходи тваринництва» мається на увазі будь-який з наступних видів органічного матеріалу:

- свіжі екскременти, в тому числі тверді і рідкі фракції;
- - тверді залишки від фільтрації рідини у ґрунт, випаровування вологи чи виділення розчинених корисних речовин;

- рідка частина, відокремлена від загальної маси відходів;
- тверді залишки від аерації або безкисневого методу знезараження гною.

Гній, який складається з комбінації фекалій та сечі тварин, разом із водою і домішками, поділяють на напіврідкий, рідкий гній і гнойові стоки. Напіврідкий гній містить від 8% до 14% сухої речовини (комбінація екскрементів та зовнішніх домішок), рідкий гній містить від 3% до 8%, а гнойові стоки містять значно менше 3% сухої речовини.

Для розв'язання проблеми з охороною природи та здоров'я людини, зокрема щодо уникнення специфічного забруднення поверхневих і підземних вод, а також для перетворення небезпечних джерел забруднення у цінні сировини для виготовлення добрив, кормових добавок, паливних матеріалів і сировини для хімічної та мікробіологічної промисловості важливо визначити характеристики основних складових відходів тваринництва.

2.2. Проблема запаху

У деяких випадках сільське господарство забруднює повітря речовинами, які шкідливо впливають на флору, фауну, а також і людину. Неприємні запахи значно погіршують повсякденне життя. Однак при утриманні тварин у великій кількості запах відходів стає проблемою. Особливо гостро ця проблема стоїть там, де гній розкидається, а значна частка відходів не утилізується. Велика частина запаху виходить від гною.

У цей час аміак та інші неприємні гази знаходяться в атмосферному повітрі у концентраціях, що перевищують допустиму межу в 5-6 разів, мікробне та загальне органічне забруднення вище за фоновий рівень у 8-10 разів, а також відзначається вагоме підвищення рівня бактерій у ґрунті.

Більшість ароматів представляють собою складну суміш хімічних сполук. В деяких випадках один конкретний компонент може переважати у запаху, його концентрацію можна виміряти за допомогою спеціальних приладів. Наприклад, аміак або сірководень, тіогліколі або масляна кислота. Отже, для ефективного контролю запахів необхідно розуміти причини їх

виникнення та конкретні хімічні сполуки, які їх викликають. Методи боротьби з ними визначаються умовами, в яких утворюються ароматичні сполуки.

Більша частина відходів сільського господарства перед використанням зберігається в стогах, складах або, в найкращому випадку, у закритих чи відкритих резервуарах. Під час знаходження відходів у складах чи резервуарах, вони виділяють компоненти анаеробного розкладу, такі як аміак, сульфіді, меркаптани, аміни, метан, органічні кислоти тощо. Багато з цих сполук не піддаються окисленню і володіють власним характерним і неприємним ароматом при наявності низьких концентрацій.

Накопичення і утилізація відходів (гною, рідкого гною) за допомогою підгросистем супроводжується більшою концентрацією неприємного запаху, ніж у «сухих» відходів, через синтез певної кількості нових сполук.

Аромати, що виникають під час анаеробного розкладу пташиного посліду під час зберігання, складаються з аміаку, кислого сульфату, органічних кислот з дво- і п'ятивуглецевими молекулами, індолу, скатолу, дикетонів, меркаптанів і сульфідів.

Отже, запахові речовини виникають внаслідок реакцій з органічними сполуками, що може свідчити про можливість використання процесу окиснення для боротьби з ароматами.

Якщо відходи повітряються та надається доступ кисню, основним запаховим сполукам залишається аміак. Додавання відповідної кількості кисню може сприяти окисненню аміаку мікроорганізмами до нітритів і нітратів.

Неприємні запахи, що утворюються на основі відходів тваринництва, викликані в першу чергу анаеробними умовами зберігання і активною діяльністю мікробіологічної частини анаеробів. Було протестовано велику кількість різних сполук, які пригнічують бактерії та/або окислюють органічні речовини. Зазвичай використовуються значні обсяги таких хімічних речовин, що має негативний вплив на подальше утилізування відходів. Крім того,

ефективність різних промислових хімікатів у видаленні запахів може варіювати. Незалежна оцінка промислових маскувальних, нейтралізуючих і дезодоруючих препаратів виявила їх неоднакову ефективність. Препарати у формі порошку на основі травних ферментів показали свою меншу ефективність.

Свіжі відходи від тварин часто мають неприємний запах, проте можливо зменшити його шляхом висушування відходів до ступеня, коли вони перестають підтримувати життєдіяльність мікроорганізмів. Система утилізації таких відходів може включати в себе процес сушіння та аерації. Природний потік повітря, який не вимагає додаткового нагрівання, або активований потік повітря за допомогою вентиляторів та аераторів, може повністю елімінувати запахи. У промислових умовах також застосовуються спеціальні сушарки для обробки відходів тваринництва та птахівництва. Зниження вологості до приблизно 30% може зменшити інтенсивність запаху, порівняно з несušеними відходами. Рівень сполук з неприємним запахом напряду залежить від способу зберігання відходів.

Використання аерації може уникнути появи неприємних запахів під час обробки відходів у рідкому стані. Цей метод допомагає відсунути утворення запахів, оскільки частково окислені відходи зменшують свій потенціал забруднення під час утворення суспензії. У цих системах азот може відновлюватися шляхом нітритрифікації. Механічна поверхнева аерація можлива поверхневими роторами, плаваючими аераторами в аерованих емностях. Успіх системи аерації полягає в ретельних розрахунках потреби в кисні специфічних відходів тваринництва і птиці.

На жаль, немає достатньої інформації про мінімальну кількість кисню, необхідну для уникнення неприємних запахів від відходів тваринництва. Зазвичай висловлюється потреба у підтримці залишкової концентрації кисню на рівні 1-2 мг/л, що відповідає санітарним нормам для скидання рідких стічних вод у поверхневі води. Однак такі стандарти не підходять для насичених або концентрованих відходів, які використовуються для

виробництва цільового продукту, органічних добрив, експрес-компосту та інших цілей.

Аерація виявляється дуже ефективним методом боротьби з неприємними запахами, якщо її застосовувати з моменту початку зберігання відходів тваринництва. Забезпечення достатньої аерації допомагає запобігти появі неприємних запахів. Але якщо відходи, які зберігаються в анаеробних умовах, не отримують достатньо кисню, це може призвести до виділення запахових сполук з субстрату. Тому важливо мати достатній запас кисню для нейтралізації запахів, оскільки недостатня кількість кисню може призвести до їх утворення.

Пахучі речовини присутні не лише у газоподібному стані, але і у вигляді летких твердих речовин. Пил у пташнику складається з відходів, найдрібніших часточок їжі, пір'я та епідермісу, які в сукупності створюють характерний запах. При належній вентиляції концентрації газів не досягають рівнів, що можуть бути шкідливими для людей або тварин. Кількість пилу, який утворюється, зазвичай зворотно пропорційна вологості повітря у приміщенні.

Хоча характер запахів не впливає прямо на санітарний стан повітря, важливо зазначити, що повітря не є середовищем, в якому зазвичай розвиваються мікроорганізми. Мікрофлора повітря головним чином залежить від складу пилу, крапель вологи, шерсті та пір'я тварин, які збираються в повітряному потоці.

Фізична система руху дрібнодисперсних твердих або рідких частинок у газовому середовищі, відома як аерозоль, переміщається в повітрі у різних напрямках. Чим більше аерозолу у повітрі, тим більше мікроорганізмів в ньому. Кожна частинка пилу може збирати на своїй поверхні різноманітні мікроорганізми.

Для оцінки санітарних характеристик забрудненого повітря (включаючи повітря з неприємними запахами) зазвичай визначають загальну кількість мікроорганізмів у 1 м³ і присутність окремих бактерій, що є показниками

забруднення повітря. Для цього часто застосовуються методи седиментації та аспірації.

Проте варто враховувати, що серед неприємних запахів можуть бути й отруйні гази, особливо у разі поганого провітрювання приміщень та зберігання анаеробних відходів.

Тому оцінка впливу запахів може бути ускладненою через їх суб'єктивний характер. Більшість запахів складаються з складних сумішей хімічних сполук, які потребують видалення, нейтралізації або знищення.

Індол, скатол, меркаптани, метиламін та інші сполуки, які мають стійкий запах, можуть бути абсорбовані, дезодоровані або руйновані за допомогою фізичних, хімічних та біологічних методів. Після очищення від смердючих сполук, гноївний матеріал може широко використовуватися у виробництві вторинної продукції, яка є необхідною для сільського господарства для підвищення продуктивності ґрунту (імовірно, підвищення врожайності сільськогосподарських культур), а також у тваринництві для отримання кормових добавок і відгодівлі молодняку, птиці, риби та інших тварин.

2.3. Тверді фракції гною

Аналіз гною великої рогатої худоби вказує на значну кількість вуглецю, у порівнянні з пташиним послідом, де цей показник значно нижчий. Ця інформація є важливою при проведенні біоконверсії, оскільки допомагає розрахувати енергетичний потенціал мікробного ценозу, який мінералізує відходи життєдіяльності тварин.

У різних господарствах тверді відходи від тваринництва неоднакові за кількістю і якістю. На молочній фермі добова кількість гною на одну тварину може коливатись в межах 33-65 кг, в середньому близько 40 кг, що складає 7-8% від ваги особини. Свіжий тваринний послід, залежно від виду тварин містить 80-85% органіки при середній вологості 80-88%.

Кількість відходів, що виробляє одна свиня за добу, залежить від її породи, розміру, типу кормів та умов утримання. Властивості свинячого гною

також визначаються режимом годування. Приблизно 30% спожитої їжі перетворюється на тканини тварини, а решта виходить у вигляді сечі та калу. Кількість випорожнених фекалій за добу становить 6-8% від живої ваги свині.

У вологому калі міститься 5-9% загальної сухої речовини, в тому числі 83% органічної. Він є нестійкою речовиною, тобто при нормальному зберіганні піддається швидкому розкладанню під впливом діяльності власного мікробіоценозу. Екскременти одних і тих самих тварин можуть містити більше поживних речовин, якщо тваринам надається більше концентратів, оскільки ці корми містять більше поживних речовин. Однак, коли вміст білка в раціоні вище норми, протеїн організмом освоюється з нижчою результативністю і більша частина його переходить в калові маси.

Аналіз складу свіжого посліду птиці показали, що в ньому міститься приблизно 75-80% вологи, 15-18% органічних речовин і 5-7% золи. При такому вмісті вологи пташиний послід містить близько 765 ккал на 1 кг сирого гною. Більш детальна характеристика гною і гною представлена в спеціальній довідковій літературі.

Для розробки ефективних систем управління та використанням відходів тваринництва необхідно ретельно вивчити їх характеристики. Відходи тваринництва відрізняються від відходів побуту своєю вищою концентрацією: тверді відходи складаються переважно з 75-85% органічних речовин та 15-25% неорганічних компонентів. Наприклад, свинячі екскременти містять більше поживних речовин у порівнянні з відходами великої рогатої худоби.

Співвідношення вуглецю до азоту (C:N) в фекаліях свиней є меншим, ніж у фекаліях великої рогатої худоби. Крім того, сеча містить близько половини всього азоту, що виділяється разом з екскрементами. Співвідношення вуглецю до азоту в фекаліях великої рогатої худоби становить приблизно 1:2, у свиней же це співвідношення коливається в межах 0,8:0,9. Враховуючи сечу, суміш екскрементів має співвідношення 5:8,

зокрема через азот, який міститься у сечі. Пташиний послід багато в чому перевершує за якістю гній великої рогатої худоби і свинячий гній. Наприклад, в сільському господарстві від 250 млн га землі до Сполучених Штатів Америки. Тонни відходів тваринництва можна було б повернути 5 мільйонам людей. тонн азоту, 2,5 млн тонн фосфору та 10 млн тонн калійних.

Тверді відходи рослинного походження, багаті вуглецем, містять вагому кількість компонентів, які важко піддаються гідролізу. В якості підстилки для тварин найбільш широко використовуються вуглецевмісні матеріали: солома, торф, тирса.

Торф відзначається високою вологовмісткістю, хорошою газопоглинальною здатністю, гігроскопічністю, бактерицидними властивостями та низькою теплопровідністю. Цей матеріал може бути розглянутий як двоелементна система, що складається з органічної та мінеральної частин. Органічна складова торфу, яка включає незначно змінені рослинні залишки та їхні продукти гуміфікації, визначає його цінність. Мінеральна складова, натомість, є більш вразливою до змін якісного складу.

Що стосується твердих побутових відходів тваринного походження, важливим є співвідношення вуглецю до азоту (C:N). Вміст вуглецю впливає на якість гною, особливо при використанні різних компонентів у тваринницькому утриманні. Наприклад, в тирсі це співвідношення складає 35-40, а при використанні злакової соломи воно ще вище. У той же час, вміст вуглецю в торфі є меншим. Однак, для оцінки якості гною вирішальним є наявність вугле- і азотовмісних речовин, які легко руйнуються мікроорганізмами до більш простих та використовуються для власної життєдіяльності.

У бичачому гної і пташиному посліді переважаючими групами мікроорганізмів є амоніфікуючі та автотрофні. Збільшення вологості субстрату призводить до помітного зменшення їх кількості.

2.4. Стічні води тваринництва

Фізико-хімічний стан стічних вод безпосередньо пов'язаний з рівнем та складом твердих відходів, що виходять у результаті життєдіяльності тварин. Особливістю рідкої фракції відходів є підвищена концентрація механічних домішок та органо-мінеральних інгредієнтів у стічних водах, а також в різноманітності їх складу та джерел тваринництва. Наприклад, рідкий свинячий гній, що щорічно утворюється у великій кількості через утримання мільйонів свиней, стає суттєвою екологічною проблемою. Його неможливо використовувати як добриво або скидати у водойми через вміст хвороботворних мікроорганізмів, гельмінтів, поживних речовин та відсутність ефективних систем очищення та переробки. Для прикладу, на свинокомплексі потужністю 108 тис. за добу отримують вихід рідкої фракції гною близько 3500 тонн.

Стічні води з птахофабрик мають специфічні фізичні властивості, які вказують на наявність своєрідної суміші розчинених газів та дрібних часточок, у тому числі гумусу. Щодо їх хімічного складу, вони містять органічні і мінеральні сполуки у зваженому, колоїдному та розчиненому станах. Приблизно 60% від загальної кількості забруднень становлять органічні речовини. У цілому, біохімічний склад стічних вод з птахофабрик є однорідним, оскільки він визначається технологічними процесами утримання птиці і характеризується стабільним добовим рівнем кількості зважених та розчинених речовин у воді на одну голову птиці.

Оцінка вмісту органічної речовини в стічних водах переважно проводиться за двома показниками: біохімічною потребою в кисні (БПК) і хімічною потребою в кисні (ХПК).

Показники безпечності стічних вод, такі як органолептичні характеристики, рівень зважених речовин, окислення та біохімічна потреба в кисні, відповідають рівню органічних речовин. Склад азоту (амонію, нітратів і нітритів) дозволяє оцінити процеси перетворення білкових речовин. Особливу увагу слід приділяти ризику стічних вод у поширенні інфекційних захворювань.

Використання відходів для зрошення кормових культур, наприклад, кукурудзи, призводить до збільшення концентрації небезпечних забруднюючих речовин у силосі в 150 разів. Наприклад, у 500 тоннах силосу зрівнем сухої речовини 20% міститься 4500 літрів розчину, який має смертельний вплив на водних мешканців при одночасному потраплянні у водойму. Однак, за словами Фішера, БПК відходів свиней становив 0,32, курятини – 0,03, а ХСК – у 1,3-1,5 раза вищий. Такі параметри, як співвідношення БСК / ХСК та співвідношення БСК / загальна або зважені речовини, може бути використано для оцінки доцільності виконання біохімічної обробки певних відходів тваринництва. Невеликі значення цих співвідношень свідчать про значну частину викидів, які не підлягають біологічному знешкодженню. Звичайно відходи тваринного походження містять значну частину твердих компонентів, що майже не розкладаються біологічно.

Свинарські ферми дають стічні води з речовинами, які не піддаються біологічному розкладанню або деградують повільно, частка таких речовин може становити близько 60-70% від усієї сухої речовини.

Відокремлення таких стійких речовин до біохімічної обробки покращить результативність очищення і сприятиме процесу перетворення органічних речовин. В залежності від використовуваних систем, рідкі відходи тваринництва піддаються певним способам обробки, зберігання та утилізації.

Використовувані методи обробки залежать виробничих умов та можливостей, зокрема наявності різного обладнання, ступеня механізації та інших факторів.

Контрольні запитання.

- 1. Що означає термін «відходи тваринного походження»?*
- 2. Яку додаткову проблему створюють відходи тваринництва?*
- 3. Вкажіть способи усунення неприємного запаху відходів життєдіяльності тварин.*

4. Що таке «леткі тверді речовини»? Чим вони небезпечні?
5. Які параметри твердих побутових відходів у тваринництві?
6. Які параметри рідкого свинячого гною викликають проблеми з його переробкою?
7. За якими показниками оцінюється вміст органічної речовини в стічних водах?

Розділ 3

Технологія і способи приготування гною

3.1. Способи зберігання і види гною

Свіжий послід від різних тварин зберігається і використовується по-різному. Його потрібно правильно підготувати до використання, адже свіжий гній для більшості культур використовувати недоцільно. Основна мета підготовки і зберігання гною полягає в мінералізації органічних речовин з метою підвищення доступності поживних елементів, усуненні шкідливої мікрофлори і патогенних мікроорганізмів (включаючи гельмінти), зменшенні кількості насіння бур'янів, які можуть прорости.

Для досягнення цих цілей використовують три основних методи підготовки гною перед внесенням: розглядований як пухкий або гарячий, щільний або холодний, і змішаний або трохи щільний. Усі вони спрямовані на створення оптимальних умов для життєдіяльності різних груп мікроорганізмів, що задіяні у розкладанні складних органічних сполук.

Процеси, які відбуваються під час оброблення гною, протікають з різною інтенсивністю, а швидкість та ступінь розкладання органічних речовин залежать не тільки від тривалості зберігання, але й від умов вологості, температури оточуючого середовища та рівня аерації гною. Найактивніше розкладається органіка при вологості від 60% до 75%. Знижена або

підвищена вологість гнійних мас значно уповільнює процес розкладання. Проте аерація має особливо великий вплив на темп інтенсивності розкладання гною. Що більше кисню проникає в масу гною, тим швидше відбувається розкладання органічних речовин, підвищується температура, і, як наслідок, зменшується кількість органіки і азоту.

При укладанні гною з використанням ширини не менше 4 метрів і висоти від 1,5 до 2 метрів з подальшим ущільненням розкладання органічних матеріалів відбувається без доступу до повітря, тобто анаеробним шляхом. Це призводить до обмеження доступу повітря, зупинки процесу розкладання органіки та пригнічення активності нітрифікуючих бактерій, що в свою чергу сприяє зменшенню втрат азоту і органічних речовин, а отже, більше азоту залишається у формі, доступній для рослин.

Насипне або гаряче зберігання.

У цьому методі гній зберігають у розпушеному стані, де кисень з повітря вільно проникає в масу добрива, стимулюючи активну діяльність аеробних мікроорганізмів, які швидко переробляють органічні речовини. Температура гнойової маси часом може сягати 70°C. Органічні речовини швидко перетворюються на мінерали, шкідлива мікрофлора та прості організми гинуть. Гнойовкою можна користуватися вже через 1-3 місяці після зберігання. Це найшвидший спосіб підготувати гній, але при цьому може бути втрачено значну кількість азоту і органічних речовин (до 30%).

Щільний або холодний метод передбачає ущільнення гною, щоб зменшити доступ повітря з навколишнього середовища. Це сприяє розвитку анаеробних мікроорганізмів, які переробляють органіку повільніше. Проте, втрати органічних речовин і азоту у цьому випадку значно менші (не більше 10%). При цьому методі напівперепрілий гній формується протягом 3-4 місяців зберігання, а повністю перепрілий - за 7-8 місяців. Недоліком такого підходу є тривалий час підготовки та неповна ефективність у знищенні насіння бур'янів і шкідливих організмів. Якщо необхідно швидше отримати гній, застосовують так званий сипучий (комбінований) спосіб зберігання.

Пухко-щільний або змішаний спосіб. Цей метод передбачає початкове нещільне укладання гною, а після того, як він прогріється до температури 60-70 °C, за 3-5 днів шари гною ущільнюються. Початкове прогрівання гною також важливо як дезінфекційний фактор при наявності в гної шлунково-кишкових патогенів і яєць гельмінтів. Цей процес допомагає зберегти насіння бур'янів і зменшити втрати азоту і органіки. Напівперепрілий гній формується швидше при пухкому та щільному зберіганні, зазвичай протягом 1,5-2 місяців, тоді як перепрілий гній утворюється протягом 4-6 місяців. Важливо зазначити, що на приватних господарствах цей метод є найпоширенішим і раціональним. Спочатку гноївку укладають у шари без ущільнення, а по мірі надходження нових порцій, нижні шари поступово ущільнюються. Відповідно до ступеня мінералізації органіки, гноївку розрізняють на такі типи (від усіх видів тварин): свіжий, напівперепрілий, перепрілий та перегнійний.

Свіжий, погано розклався гній. Солома все ще зберігає свій типовий (жовтий) колір і прозорість. Водна витяжка з такого гною має червонувато-жовтий або зеленуватий колір.

Напівперепрілий гній. Солома втрачає свій колір, стає темно-коричневою, втрачає свою міцність та еластичність, і легко рветься. Водний екстракт стає густим і має чорний колір. Внаслідок втрати пружності, підстилка гною самотійно стискається. На цьому етапі розкладання гній втрачає від 10 до 30% своєї початкової маси через розкладання органічних матеріалів. Поживні речовини стають доступнішими у більш легкодоступних сполуках, хоча деяка кількість азоту може бути втрачена. Цей тип гною майже універсально використовується для всіх сільськогосподарських культур.

Перепрілий гній. Органічне добриво представлене у вигляді однорідної маси, не містить залишків соломи або інших матеріалів. Водний екстракт має безбарвний вигляд. У результаті мінералізації органічних речовин гній

втрачає до 50% початкової сухої маси органіки і загального азоту. Цей тип гною може бути використаний для всіх видів сільськогосподарських культур.

Гумус. Груба, однорідна, темна у вигляді сухої маси речовина, яка розмазується при зволоженні. Процес виготовлення цього типу гною супроводжується втратою 75% від початкової маси. Звичайно, водний екстракт є прозорим. Зміни у вмісті органічної речовини, азоту і фосфору відображені в таблиці 2.

Як можна побачити із представлених відомостей, з поступом розкладання органічних речовин спостерігається відповідне зростання вмісту корисних речовин, особливо на пізніх етапах процесу перепревання гною. Тому необхідно регулювати і контролювати процеси перетворення гною і споживання його сухої органіки, не доводячи його до стану гумусу, так як при його розкладанні будуть відбуватися втрати органіки, в результаті чого утворюються вода і вуглекислий газ.

У розкладанні органіки гною беруть участь мікроорганізми, які активно розмножуються при великій кількості органічних залишків, доступі вологи і повітря. Їх загальна кількість на грам сухої гравійної речовини значно вище, ніж в самих родючих ґрунтах. Підвищення температури, яке супроводжує розмноження та активну діяльність мікроорганізмів, особливо яскраво проявляється у свіжому гнії, що часто використовується у тепличних умовах.

Таблиця 2

Вміст азоту, фосфору та органічної речовини залежно від ступеня розкладання гною великої рогатої худоби на солом'яній підстилці, %

Показник	Гній			
	Свіжий	Напівперепрілий	Перепрілий	Перегній
Азот	0,52	0,60	0,66	0,73
Фосфор	0,31	0,38	0,43	0,48
Втрати органічних речовин	-	29,0	47,2	62,4

Окрім процесів розкладання та мінералізації органічної речовини в свіжому гній та зростання маси бактерій, з початком перетворення в злегка перепрілий гній починається синтез нових органічних сполук, які майже нерозчинні у воді, але розчинні у лугах. Ці речовини, що відомі як гумус, становлять основу гумусу.

Напівперепрілий гній сприяє покращенню структури ґрунту та інших фізико-хімічних і біологічних характеристик. У гній включається велика кількість життєздатних насіння бур'янів, які потрапляють у нього разом з кормами. Після проходження через травну систему тварин насіння бур'янів, внаслідок пристосованості, часто покращує свою всхожість та життєздатність. Тому, якщо планується застосування свіжого гною, його варто використовувати на чорний пар або попередньо вже засіяні поля. Це сприятиме розкладанню свіжого солом'яного матеріалу та допоможе у боротьбі з бур'янами, насіння яких може проникнути на поле разом із свіжим гноєм. Пряме внесення свіжого гною під культуру, що вже була підживлена, неприпустиме через велику кількість насіння бур'янів та можливих хвороботворних організмів. Крім того, мікроорганізми, які розкладають клітковину у свіжому гній, споживають розчинні азотні та фосфорні сполуки з ґрунту, що може призвести до конкуренції з культурними рослинами і

зниження їх урожайності. Використання свіжого гною, особливо для цукрових буряків і кукурудзи, є особливо необхідним.

3.2. Вплив гною на ґрунт і рослини.

Високий вміст органічних речовин у напівперепрілому гній сприяє позитивному впливу на різноманітні фізичні, фізико-хімічні та біологічні властивості ґрунту. Регулярне внесення такого гною сприяє збільшенню кількості гумусу та загального азоту у ґрунті, зниженню його обмінної та гідролітичної кислотності, а також зменшенню вмісту рухомих форм алюмінію та марганцю. Крім того, воно підвищує ступінь насичення карбонатами у ґрунті. Піщані та супіщані ґрунти стають більш стійкими, їх здатність зберігати вологу та поживні речовини зростає. За рахунок гною глинисті ґрунти стають більш роздутими, легше піддаються обробці та стають проникними для води та повітря. Регулярне внесення гною не лише знижує кислотність ґрунту (за норми внесення 30-40 тонн гною на гектар вноситься приблизно 0,3-0,5 тони кальцію та магнію в перерахунку на карбонати), а й поліпшує живлення рослин різними макро- та мікроелементами. Важливим аспектом є викидання вуглекислого газу під час розкладання гною. Щодня при розкладанні 30-40 тонн гною вивільняється від 35 до 65 кілограмів CO₂, що сприяє покращенню вуглецевого живлення рослин. Крім того, гній вносить значну кількість мікроорганізмів у ґрунт.

Органічна субстанція у гної є важливим джерелом живлення та енергії для мікроорганізмів, які проживають у ґрунті. В результаті внесення гною збільшується активність ґрунтової мікрофлори, що сприяє розкладанню органічних сполук та звільненню поживних речовин, які в ньому містяться. Гній є джерелом всіх необхідних рослинам мікроелементів. Вміст окремих поживних речовин у гній різний і залежить від його якості, а також від умов ґрунту та клімату. У кожній тонні напівперепрілого гною міститься приблизно 4-5 кілограмів азоту, 2,5 кілограмів фосфору та 5,7 кілограмів калію. Використання азоту з напівперепрілого гною першими рослинами

залежить від вмісту аміачного азоту і становить у середньому 20-30% від загальної його кількості. У перший рік рослини переважно засвоюють аміачний азот. У твердих відходах тварин та у залишках азот міститься у вигляді органічних сполук, які повільно мінералізуються в ґрунті, тому в перший рік їх використання рослинами обмежено. Азот у рідких відходах переважно знаходиться у формі розчинних сполук, які легко перетворюються у аміак. Тому чим більше рідких виділень поглинає гноївка, тим більше аміаку міститься в гнійові, і тим більший ефект від такого гною в перший рік після внесення. Гній з підстилки на основі торфу містить природно більше амонійного азоту, тому його ефективність в перший рік вища, ніж у гною з підстилки на основі соломи. Загальний вміст калію в гнійі вищий, ніж вміст азоту і, зокрема, фосфору, тому калій краще використовувати в перший рік. Засвоєння рослинами фосфору в перший рік становить 30-40%, а калію - 60-70% від загальної їх кількості в гнійі. Порівняно з мінеральними добривами, азот у гнійі засвоюється гірше в перший рік, а фосфор майже вдвічі краще. Таким чином, при внесенні гною в першу чергу рослини збагачуються калієм. Проте удобрювальний ефект гною в основному залежить від загального та амонійного азоту, оскільки на більшості ґрунтів, зокрема на Поліссі, дефіцитуює азот для нормального розвитку рослин.

Гній має значний післяефект. Використання азоту, фосфору і калію з гноївки для другої культури становить 15-20%, 10-15% відповідно, а для третьої культури - 10-15%; 5-10% і 0-10%. Використання поживних речовин з гною під час сівозміни (з урахуванням післядії) складає: азоту – 50-60%, фосфору – 50-60%, а калію – 80-90%, що майже рівно використанню відповідних поживних речовин з мінеральних добрив. Дослідження в різних польових умовах показують, що при внесенні гною і мінеральних добрив у порівнянних кількостях сумарний приріст урожайності всіх сільськогосподарських культур за декілька років (для однієї або кількох сівозмін) досить подібний.

Проте, врожайність деяких культур (конюшина, озима пшениця, цукровий буряк) може бути вищою за рахунок використання гною, тоді як інших (жито, овес, картопля) - за рахунок мінеральних добрив. Вибір між гноєм та мінеральними добривами для певної культури залежить від біологічних властивостей рослин і характеристик ґрунту. На кислих ґрунтах, особливо при постійному внесенні фізіолого-кислих мінеральних добрив, перевага може бути на стороні гною, а на нейтральних чи лужних - на стороні мінеральних добрив, або обидва типи добрив можуть бути еквівалентними.

Одним з критеріїв оцінки ефективності органічних добрив є визначення приросту врожаю від їх використання у виробничих умовах. За ґрунтово-кліматичних умов кожної зони та встановленої системи внесення добрив сумарний приріст врожайності основних сільськогосподарських культур припадає на такі зони: Полісся – 26,6%, Лісостеп – 12,1%, Степ – 6,8%. Гній, який зберігається у гноєсховищах або у вигляді штабелів на полі, найкраще вносити рівномірно за допомогою гноєрозкидачів. У сівозміні гній слід використовувати переважно під овочеві та культури, такі як картопля, кукурудза, цукрові буряки та кормові коренеплоди, а також під озимі культури. Ці рослини є найбільш вимогливими до живлення та можуть забезпечити значні врожаї порівняно з іншими культурами.

При комбінуванні гною з мінеральними добривами можна застосовувати декілька методів. Їх можна вносити в ґрунт одночасно або на одну й ту ж площу, але у різний час. Також можна вносити гній на одні поля (для культур, що потребують високої концентрації органічних добрив), а мінеральні добрива - на інші (для зернових культур). При додаванні мінеральних добрив до підстилкового гною слід надавати перевагу азотним і фосфорним добривам.

3.3. Безпідстилковий гній

Гній без підстилки є сумішшю фекалій та сечі тварин, розведеною у воді з незначною частиною кормового столу. Гній, залежно від вмісту вологи,

може бути напіврідким з вологістю до 90%, рідким з вологістю 90-93%, або у вигляді гнойових стоків, якщо вологість перевищує 95%. Середній вміст азоту у ньому становить 0,23-0,30%, фосфору - 0,08-0,11%, калію - 0,21-0,28%, а органічних речовин - 50-55%.

Вироблені та протестовані у виробничих умовах технології гною для більшості господарств і промислових комплексів включають наступні методи:

- гомогенізація (змішування) рідкого гною за допомогою механічних пристроїв, його видалення та внесення в ґрунт резервуарними розкидачами;
- розділення рідкого гною на тверду і рідку фракції за допомогою механічних пристроїв або у спеціальних відстійниках, з наступним використанням продуктів сепарації для внесення добрив та зрошення і добрив.

У системі обігу поживних речовин в ґрунті-рослина-тварина-ґрунт рідкі добрива використовуються протягом коротших періодів, ніж підстилковий гноївка. При внесенні рідкого гною рослинами за рік споживається в середньому 30-35% азоту, 30-35% фосфору і 50-60% калію. Рідкий гноївка переважно застосовується для культур з тривалим вегетаційним періодом, проте, на відміну від гною, його можна використовувати для однорічних і багаторічних кормових культур, зернових і зернобобових рослин, овочів, а також для озимих і ярих зернових культур, лугових рослин і пасовищ. Середні оптимальні дози рідкого гною і продуктів його переробки становлять від 200 до 300 кг/га загального азоту в добривах для багаторічних злакових трав та культур, від 100 до 150 кг/га для озимої пшениці та ярих зернових, і до 200 кг/га для однорічних трав і сумішей зернобобових культур.

Найбільший ефект рідкий гній виходить в спеціалізованих інтенсивних сівозмінах. Тому з введенням тваринницьких комплексів необхідно змінювати структуру посівних площ, куди планується вносити гній або гнойові стоки. Найкраще використовувати ці добрива в кормових сівозмінах, якими максимально насичені багаторічні рослини, в першу чергу злакові трави і

просапні культури. Стерня і скошування повинні бути максимально поширеними, забезпечуючи додаткове виробництво і граючи важливу роль в захисті навколишнього середовища від забруднення. Згідно з даними виробництва, оптимальні дози гною для основних культур на чорноземних ґрунтах в Україні складають: 20-25 тонн для озимих і ярих зернових культур; 60-80 тонн - для кукурудзи на зерно і силос, технічних і кормових культур; 20-25 тонн для однорічних трав і 10-15 тонн для весняного підживлення багаторічних трав.

3.4. Використання гною в органічному землеробстві

Запровадження систем органічного землеробства та відмова від добрив мінерального походження вимагає пошуку ефективних та надійних джерел компенсації поживних речовин і створення позитивного гумусового балансу у ґрунті. Однією з ключових задач є максимальне залучення до процесу ґрунтоутворення органічних речовин. Цю проблему можна вирішити шляхом повного використання натуральних органічних добрив, таких як перегної, сидерати, поживні залишки, ґрунтовий і трав'яний компост, а також органічні добрива, які містять макро- і мікроелементи, отримані за допомогою вирощування багаторічних бобових рослин.

Одним із основних органічних добрив є гноївко. При наявності достатньої кількості підстилки він ефективно абсорбує рідкі фракції, сприяючи підвищенню вмісту азоту. Під час зберігання гною, його поживні речовини утримуються довше, що сприяє активізації бактерій, необхідних для його мінералізації. На фермах для зберігання гною в полі виділяють окремі ділянки, де викладають купи за допомогою кілочків. Під час прибирання гною з ферми водії викидають його рівною стрічкою, утворюючи довгі купи шириною 15 метрів. Між сусідніми купами залишають 10-метровий вільний простір. Готові купи накриваються чистою соломою, яка захищає майбутнє добриво від вимивання та поглинає пари, що містять цінний азот. Через кілька місяців після такого зберігання кожні дві сусідні

купи перекочують бульдозером. Це сприяє перемішуванню маси та насиченню її киснем, що сприяє появі нової активної хвилі розвитку бактерій. В цьому випадку фермерські господарства отримують готове добриво вже через рік. Добриво, отримане за такою технологією, має приємний запах, оптимальна консистенція - не рідка, але і не дуже густа. Найкращий час для внесення гною - в квітні, травні та червні. Технологія внесення гною включає кілька етапів: спочатку ґрунт неглибоко розпушують, потім застосовують гноївку за допомогою гноєрозкидачів, далі проводять подрібнення та рівномірне вирівнювання його в ґрунт за допомогою петлевої труби, і, нарешті, здійснюють кільчасте ущільнення засобами з шипами. Цей підхід відповідає принципам органічного землеробства, який передбачає концентрацію родючості у верхньому (15-17 см) шарі ґрунту. Що стосується порівняння з внесенням гною на стерню, то якість обробки може погіршитися, тому що глибина проникнення гною в ґрунт менше. Тому для кращого змішування гною з ґрунтом рекомендується вносити його в розпушений ґрунт.

Ефективне змішування гною з ґрунтом досягається за допомогою дискової бороною з напівзахватом, яка обробляє дискову стрічку вдруге на зворотному шляху. Цей метод передбачає подвійне дискування у протилежних напрямках, що забезпечує якісне змішування гною з ґрунтом, стимулює активність ґрунтової біоти та прискорює розкладання рослинних залишків. Гній також рекомендується вносити під культурні і сидерати.

Найбільш вигідний результат спостерігається при внесенні органічного добрива навесні після першого скошу люцерни. Після розкидання органічних матеріалів рекомендується обробити поле легкими дисковими боронами для змішування гною з ґрунтом. При належній вологості ґрунту багаторічні трави розцвітають вже через 7-10 днів. Під їх захисним покривом активізуються всі ґрунтові процеси. Поживні речовини гною фіксуються в ґрунті, а частина з них стає рослинною поживою, що позитивно впливає на врожайність зеленої маси наступних укосів люцерни.

Гній вносять також після скошування однорічних трав (вика + овес) на зелені корми. На стерню вносять гній, а потім обробляють поле дисковою бороною. Цю роботу проводять протягом місяця, так як трави скошуються на зелений корм. Гній поступово вносять на скошені ділянки і дискують. Якщо на полі утворюються сприятливі умови для масового проростання бур'янів, знову застосовують культиватор дискового типу, який допомагає у розмелюванні бур'янів, перетворюючи їх на природне "зелене" добриво. При використанні гречки як сидерату, гноївкою додатково забезпечують ґрунт після дискування, перед тим як проводити нове дискування. Для підготовки передпосівного обробітку використовують культиватор з жорсткими стійками, а після цього сіють озиму пшеницю. У разі недостатнього зволоження проводять насіння неглибоко.

Внесення гною перед попередником озимої пшениці та використання сидератів сприяють ефективнішому використанню азоту рослинами, покращенню якості врожаю та стабілізації вмісту органічної речовини в ґрунті. Тому використання різних видів органічних добрив є важливим та обов'язковим елементом в сільському господарстві. Великий обсяг гною у господарствах може забезпечити розвинену галузь тваринництва, яка, крім основної продукції - молока та м'яса, буде постійно виробляти гноївку, що забезпечить достатню кількість органічних добрив на гектар сільськогосподарських угідь разом із сидератами та рештками врожаю, що відкриває перспективу реальної гармонізації між тваринництвом та рослинництвом.

Ще одним методом, який сприяє підвищенню ефективності внесення перегною, є його поєднання з використанням багаторічних трав і сидератів. Наприклад, його використовують на полях, де раніше вирощувалися зернобобові кормові культури, а також як суміш зернових і зернобобових культур для кормування. Ґрунт, збагачений азотом завдяки діяльності бульбочкових бактерій, отримує органічні речовини зі стерні та коренів рослин, а також поживні речовини гумусу.

Внесення гною на сидерати має кілька переваг. По-перше, сидерати збагачують ґрунт мікроелементами, що робить добриво більш збалансованим. По-друге, грибки і мікроорганізми розпочинають розкладання зеленої маси сидератів, що виступають певним каталізатором, перетворюючи її на гній. Вагомо, що такий подвійний внесок добрив сприяє швидкому підвищенню родючості ґрунту. Це особливо ефективно у випадках, коли гній незастосовують як сидерат, а, навпаки, після внесення перегною висівають гречку на сидерати.

3.5. Теоретичні основи компостування

Компостування - це процес швидкої розкладання органічних матеріалів в контрольованих умовах. Під час цього процесу відбувається складна взаємодія між органічними відходами, мікроорганізмами, вологою та киснем. Зазвичай органічні відходи мають різноманітну мікрофлору. Активність мікроорганізмів зростає, коли вміст вологи та концентрація кисню досягають необхідного рівня. Крім кисню та води, для росту та розмноження мікроорганізмів потрібні джерела вуглецю, азоту, фосфору, калію та деяких мікроелементів, які часто містяться у відходах.

Мікроорганізми використовують органічні відходи як харчовий субстрат, розмножуються та виділяють воду, вуглекислий газ, органічні сполуки та енергію. Частина енергії, отриманої під час біологічного розкладання вуглецю, використовується в обмінних процесах, а решта виділяється у вигляді тепла. Кінцевим продуктом компостування є компост, який містить найбільш стійкі органічні сполуки, продукти розкладання, біомасу мертвих мікроорганізмів, певну кількість живих мікробів та продукти хімічної взаємодії цих компонентів.

Мікробіологічні аспекти компостування. Компостування є динамічним процесом, який здійснюється завдяки активності спільноти різних живих організмів. Основними групами організмів, що беруть участь у компостуванні, є:

Мікрофлора, до якої належать бактерії, актиноміцети, гриби, дріжджі та водорості.

Мікрофауна, яка включає найпростіші організми.

Макрофлора, якою є вищі гриби.

Також до процесу компостування долучаються:

Макрофауна, до складу якої входять багатоніжки, кліщі, ногохвостки, черв'яки, мурахи, терміти, павуки та жуки.

У цьому процесі бере участь значна кількість бактерій (понад 2000 видів) та не менше 50 видів грибів. Бактерії, гриби, актиноміцети та безхребетні виступають як активні організми, що співіснують з мікроорганізмами та є ключовими для здоров'я компостної купи. У спільноті компостерів також присутні мурахи, жуки, багатоніжки, гусениці зимової молі, кліщі, нематоди, дощові черв'яки, щипавки, мокриці, ногохвостки, павуки, сінні павуки, енхітриди (білі черв'яки) та інші організми.

Після досягнення максимальної температури компост стає доступним для широкого кола ґрунтових тварин у міру охолодження. Ці істоти допомагають також у перемішуванні різних складових компосту. У мірному кліматі дощові черв'яки виконують важливу функцію на заключних стадіях процесу компостування та у подальшому введенні органічних речовин у ґрунт.

Етапи компостування. Компостування – це складний, багатоетапний процес. Кожна його стадія характеризується різними консорціумами організмів.

Етапи компостування складаються з:

1. Фази відставання
2. Мезофільна фаза
3. Теплолюбна фаза
4. Фази дозрівання

Стадія 1: Ця фаза розпочинається безпосередньо після додавання свіжих відходів до компостної купи. У цей період мікроорганізми адаптуються до

типу відходів та умов середовища в компостній купі. Розпадання відходів розпочинається, але загальна кількість мікробів ще невелика, а температура не досягає високого рівня.

Стадія 2: Під час даної фази активність процесу розпадання значно збільшується. Велика кількість мікробної популяції росте, переважно за рахунок мезофільних організмів, які пристосовуються до помірних температур. Ці організми ефективно розкладають прості розчинні компоненти, такі як цукри та вуглеводи. Однак запаси цих речовин швидко вичерпуються, тому мікроорганізми переходять до розкладання складніших молекул, таких як целюлоза, геміцелюлоза та білки. Внаслідок використання такого типу пелювин мікроби виділяють комплекс органічних кислот, які стають джерелом харчування для мікроорганізмів інших типів. Проте не всі утворені органічні кислоти засвоюються, що може призвести до їх значного депонування та, відповідно, до зміни кислотності середовища. Кислотність є показником завершення другого етапу компостування. Проте це явище тимчасове, бо підвищений рівень кислотності може призвести до пригнічення або й знищення мікроорганізмів.

Стадія 3: Унаслідок розмноження мікробів та їх метаболічних процесів спостерігається підвищення температури. При зростанні температури до 40 градусів за Цельсієм та вище, мезофільні мікроорганізми поступово замінюються більш термофільними видами, які стійкі до високих температур. Коли температура сягає 55 градусів за Цельсієм, більшість патогенних мікроорганізмів, що можуть спричиняти захворювання людини та рослин, загивають. Проте якщо температура перевищить 65 градусів за Цельсієм, аеробні термофільні організми у складі компостної маси також погинуть.

Висока температура сприяє швидкому розкладанню складових частин рослин до яких відносяться білки, жири та складні вуглеводи, таких як клітковина та геміцелюлоза. Це призводить до виснаження ресурсів, що використовуються для живлення, та зниження обмінних процесів, що в свою чергу призводить до поступового зниження температури.

Стадія 4. В результаті зниження температури до мезофільного діапазону мезофільні мікроорганізми починають домінувати в компостній купі. Температура є ключовим показником для визначення стадії дозрівання компосту. На цій стадії органічні речовини утворюють складні комплекси, які стійкі до подальшого розкладання і відомі як гумінові кислоти або гумус.

Компостування - це біохімічний процес, який перетворює тверді органічні відходи в стабільний продукт, схожий на гумус. Це процес біохімічного розкладання органічних компонентів у контрольованих умовах. Використання засобів контролю відрізняє компостування від природного процесу розкладання.

Процес компостування залежить від активності мікроорганізмів, які потребують вуглецю для енергії та синтезу клітинного матриксу, а також азоту для синтезу білків. Мікроорганізми також можуть потребувати фосфору, калію, кальцію та інших елементів у меншій мірі. Вуглець, що становить близько 50% від загальної маси мікробних клітин, служить джерелом енергії та будівельним матеріалом для клітини. Азот є життєво важливим елементом для синтезу білків, нуклеїнових кислот, амінокислот і ферментів, необхідних для структурних, ростових та функціональних процесів клітин.

Мікроорганізми потребують вуглецю у 25 разів більше, ніж азоту. Переважній кількості процесів, що відбуваються під час компостування, значні потреби вуглецю в повній мірі задовольняються за рахунок органічної компоненти відходів. Лише співвідношення вуглецю до азоту (C:N) та іноді рівень фосфору можуть потребувати коригування. Свіжі та зелені відходи, відомі як "зелені" субстрати, багаті азотом, тоді як коричневі та сухі, відомі як "коричневі" субстрати, містять більше вуглецю (таблиця 3).

Важливе значення для формування компосту має вуглецево-азотний баланс (C:N). Це відношення визначається як маса вуглецю до маси азоту, де кількість вуглецю перевищує кількість азоту значно. Референтне значення

для цього відношення при компостуванні становить 30:1 (30 г вуглецю на 1 г азоту), але оптимальним вважається співвідношення C:N 25:1.

Таблиця 3.

Співвідношення вуглецю до азоту в деяких субстратах

Субстрати з високим вмістом азоту («зелені» субстрати)	C:N
Скошена трава	15:1 - 25:1, 19:1
Гній	5:1 – 25:1
Кінський гній	30:1
Гній свиней	30:1
Гній великої рогатої худоби	19:1
Пташиний послід	14:1
Субстрати з високим вмістом вуглецю («коричневі» субстрати)	
Сухе листя	30:1 – 80:1
Солома	40:1 – 100:1
Деревна тирса	100:1 -500:1
Кора	100:1 – 130:1

Велике відхилення вуглецево-азотного балансу від оптимального може сповільнити процес компостування. Якщо тверді відходи містять значну кількість вуглецю у зв'язаній формі, допустиме співвідношення вуглець-азот може перевищувати 25:1. Проте високе значення цього співвідношення може призвести до окислення надлишку вуглецю, що призводить до зниження доступності азоту і відповідно до вимирання мікробного метаболізму.

З іншого боку, якщо співвідношення вуглець-азот менше оптимального, наприклад, у випадку з активним мулом або гноєм, азот може виділятися у вигляді аміаку, що призводить до втрати азоту через випаровування. Ці втрати можуть бути частково компенсовані діяльністю азотфіксуючих бактерій, які активізуються переважно в мезофільних умовах на пізніших стадіях біодеградації.

Одним з основних негативних наслідків недостатньої кількості вуглецю відносно азоту (низьке співвідношення C:N) є втрата азоту через утворення аміаку та його випаровування. Збереження азоту має велике значення для формування компосту. Втрати аміаку стають особливо помітними під час швидких процесів компостування, коли підвищується рівень аерації, утворюються термофільні умови і рівень кислотності досягає показника pH 8 і більше. Висока кислотність сприяє утворенню аміаку, а підвищена температура прискорює його випаровування.

У процесі компостування співвідношення між вуглецем та азотом зменшується від 30:1 до 20:1 у кінцевому продукті. Це зменшення співвідношення C:N стає можливим через те, що при засвоєнні вуглецю мікробами 2/3 його вивільняється у вигляді вуглекислого газу в атмосферу, тоді як решта 1/3 разом з азотом увиходить до складу мікробної біомаси.

Оскільки точне зважування субстрату при формуванні компостної купи не здійснюється, зазвичай суміш готують з рівних частин "зеленого" і "коричневого" матеріалів. Регулювання співвідношення вуглецю до азоту базується на якості та кількості різних видів відходів, що використовуються при формуванні купи.

Прискорити процес природного розкладання субстрату під час компостування можна, контролюючи не лише співвідношення вуглецю до азоту, але й вологість, температуру, рівень кисню, розмір частинок, форму та розмір компостної купи, а також кислотність. Поміж зазначених компонентів, які необхідні для зростання та множення мікроорганізмів - основних розкладачів органічних відходів, для прискорення швидкості компостування використовуються різноманітні добавки хімічного, рослинного та бактеріального походження.

Зазвичай, більшість відходів містять всі необхідні поживні речовини та достатню різноманітність мікроорганізмів, що ідеально для компостування. Єдиний компонент що потребує додаткового внесення – азот. Також

відзначається, що для більш швидкого досягнення теплової стадії, можна додати частину вже готового компосту до системи.

Аерація. У звичайних умовах компостування є аеробним процесом. Це означає, що наявність кисню необхідно для регуляції обмінних процесів і мікробного дихання. У перекладі з грецької «аеро» означає повітря, а «біос» - життя. Мікроорганізми використовують кисень набагато ефективніше, ніж інші окислювачі, оскільки він має значно більше енергії - на 19 разів. Оптимальна концентрація кисню становить 16-18,5%. На початку процесу компостування у порах зазвичай міститься 15-20% кисню, що відповідає його рівню в навколишньому повітрі. Концентрація вуглекислого газу зазвичай коливається від 0,5 до 5,0%. Протягом компостування концентрація кисню зменшується, а вуглекислого газу збільшується.

Якщо концентрація кисню впаде нижче 5%, виникають анаеробні умови. Контроль за вмістом кисню в повітрі корисний для регулювання режиму компостування. Простий спосіб контролювати це - за допомогою нюху, оскільки запахи розкладання свідчать про початок анаеробного процесу. Аерація може забезпечуватися природною дифузією кисню у компостній масі шляхом її перемішування вручну, за допомогою техніки або примусової аерації. Аерація виконує також інші функції в процесі компостування. Повітряний потік видаляє вуглекислий газ і воду, що виробляються мікроорганізмами, а також відводить тепло через теплопередачу шляхом випаровування. Потреба в кисні змінюється відповідно до стадій процесу: вона низька на початковій мезофільній стадії, досягає максимуму в термофільній стадії, а потім зменшується до мінімуму на стадії охолодження і дозрівання.

Гомогенізація допомагає досягнути однорідності суміші, що збільшує площу поверхні контакту сировини, необхідну для біологічного розкладання. Контрольоване перемішування гарантує, що більша частина сировини піддається обробці в термофільних умовах. Зайва агрегація може призвести до охолодження та висихання компостної маси, сприяє порушенню

цілостності міцелію актиноміцетів і грибів. Здійснення постійного перемішування куп компосту є високовитратним з точки зору машинного обладнання та ручної праці, тому частота перемішування є компромісом між економічною ефективністю та потребами процесу. Використання компостних установок рекомендує чергувати періоди активного перемішування з періодами покою.

Вологість. Компостним мікробам потрібна вода. Розкладання відбувається набагато швидше в тонких рідких плівках, які утворюються на поверхнях органічних частинок. Оптимальним вмістом для процесу компостування вважається вологість 50-60%, але при використанні середовища можливі і високі значення. Оптимальний рівень вологості змінюється в залежності від характеристик і розмірів частинок сировини. Якщо вміст води відноситься до менше 30% від загальної маси, це пригнічує активність бактерій, і швидкість біологічних процесів різко падає, може навіть зупинитися, якщо вологість опуститься до 20%. В той же час вологість понад 65% заважає дифузії повітря в компостній масі, що призводить до зниження рівня деградації і супроводжується неефективністю процесу.

Якщо вологість занадто велика, порожнечі в структурі компосту насичуються водою, що обмежує доступ кисню до мікроорганізмів. Рівень вологості визначається на дотик при натисканні на грудку компосту. Якщо при натисканні виділяються 1-2 краплі води, це свідчить про достатність вологості компосту.

Вода утворюється під час процесу компостування за рахунок життєдіяльності мікроорганізмів, але втрачається через випаровування. У випадку примусової аерації втрати води можуть бути значними, і може знадобитися додаткове забезпечення водою. Це можна здійснити шляхом поливу або додаванням активного мулу та інших рідких відходів.

Хорошим індикатором процесу компостування служить температура. Температура в компостній купі змінюється відповідно до етапів

компостування: мезофільного, теплолюбного, охолодження та дозрівання. Після закладки субстрату температура поступово підвищується через кілька годин і знаходиться на рівні навколишнього середовища. У першій, мезофільній стадії, мікроорганізми, які присутні в субстраті, активно розмножуються, при цьому температура підвищується до 42°C, а середовище стає більш кислотним через утворення органічних кислот.

При подальшому підвищенні температури до значення вище 40°C мезофіли гинуть, і настає перехід до теплолюбного етапу. На зміну їм приходять термофіли. При цьому температура підвищується до 60 °C, при якій грибки втрачають свою активність. Після 62 градусів за Цельсієм процес продовжується зі спороутворюючими бактеріями і актиноміцетами; Середовище стає лужною за рахунок виділення аміаку при розщепленні білків.

Під час термофільної фази компостування, субстрати швидко розкладаються, адже легко розчинні компоненти, такі як цукри, крохмаль, жири та білки, швидко використовуються. Однак після використання цих швидкорозчинних компонентів, швидкість реакції починає спадати, коли у компост включаються більш стійкі субстрати. В цей час швидкість вироблення тепла стає рівною швидкості його втрат, що відповідає досягненню максимальної температури.

Після цього компост переходить до фази охолодження. У деяких випадках, особливо при компостуванні старих відходів, можуть відбуватися кілька температурних максимумів. Це означає, що досягнуто стабільного стану компостної купи. Легкозасвоювані сполуки вже розщеплені, потреба в основному кисні задоволена, компостований матеріал перестає приваблювати мух і паразитів і погано пахне, так як легкодоступні азот і сірка зв'язуються новими мікроорганізмами. На етапі охолодження, який настає після температурного максимуму, кислотність повільно знижується, але залишається лужною. Термофільні гриби, що походять з холодних зон, активно розкладають полісахариди, геміцелюлозу та целюлозу разом із

актиноміцетами, перетворюючи їх на моносахариди, які в подальшому можуть бути використані широким спектром мікроорганізмів. У цей період швидкість випромінювання тепла знижується, а температура поступово зближується до значень навколишнього середовища.

Перші три етапи компостування пройшовби відносно швидко, в залежності від типу системи компостування, можуть займати кілька днів або тижнів. Завершальний етап, дозрівання, триває кілька місяців, під час якого втрати маси та виділення тепла низькі. На даному етапі відбуваються складні хімічні процеси між залишками лігніну та білків загиблих мікроорганізмів, що призводять до утворення гумінових кислот. Компост не нагрівається, а анаеробні умови не виводять азот з ґрунту при внесенні. Кінцевий продукт має слаболужну кислотність. Вважається, що висока температура є важливою умовою для успішного компостування. Проте насправді при надмірно високих температурах процес біодеградації може сповільнюватися через пригнічення росту мікроорганізмів; деякі види навіть втрачають активність при температурі вище 70 °C. Поріг, коли відбувається інгібування, становить близько 60 °C, тому під час швидкого компостування важливо уникати високих температур на тривалий період. Однак температура навколо 60 °C корисна для боротьби з теплочутливими патогенами. Тому важливо створювати умови, при яких, з одного боку, патогенна мікрофлора вмирає, а з іншого - розвиваються мікроорганізми, які відповідають за розкладання.

Для досягнення цих цілей рекомендовано підтримувати температуру навколо 55 °C. Контроль температури може бути забезпечений шляхом примусової вентиляції під час процесу компостування. Відведення тепла здійснюється за допомогою системи випарування. Найсприятливішими для утворення компосту є температурні межі мезофільної та термофільної фаз. З урахуванням широкого спектру організмів, які беруть участь у компостуванні, оптимальний діапазон температур для цього процесу становить від 35 до 55 °C.

Дисперсія частинок. Основна мікробна активність проявляється на поверхні органічних частинок. Тому зменшення розмірів частинок призводить до збільшення площі поверхні, а це, в свою чергу, здавалося б, супроводжується збільшенням мікробної активності і швидкістю деградації. Однак, коли частинки занадто дрібні, вони щільно злипаються, погіршуючи циркуляцію повітря в ворсі. При цьому зменшується надходження кисню і значно знижується активність мікробів. Розмір частинок також впливає на доступність вуглецю та азоту. Допустимий діапазон розмірів знаходиться в межах 0,3-5 см, але може відрізнятись в залежності від типу вихідного матеріалу, ступеня дрібнення та умов середовища. Найбажанішим є оптимальний розмір частинок, який може варіюватися від 12,5 мм для механізованих систем з перемішуванням і примусовою аерацією до близько 50 мм для нерухомих компостних куп.

Різні органічні сполуки, присутні в компості, мають різну теплотворчу здатність. Білки, вуглеводи та жири мають теплотворчу здатність у межах від 9 до 40 кДж. Під час компостування великих мас може виділятися значна кількість тепла, що призводить до підвищення температури до 80-90 °С. Ці значення значно перевищують оптимальні температурні показники (55 °С), тому може виникнути необхідність у випарному аераційному охолодженні.

Компостна купа повинна бути достатнього розміру, щоб запобігти швидкій втраті тепла і вологи і забезпечити ефективну аерацію по всьому об'єму. При компостуванні матеріалу у відкритих купах з природною аерацією важливо дотримуватися оптимальних розмірів. Купи не повинні перевищувати 1,5 м у висоту та 2,5 м у ширину, оскільки це може уповільнити дифузію кисню до середини ворсу. Однак їх можна складати у компостний ряд будь-якої довжини. Мінімальний об'єм купи складає близько одного кубічного метра.

Максимальний розмір ворсу обмежується 1,5 м у висоту та 1,5 м у ширину при будь-якій довжині. Висота ворсу має важливе значення, оскільки занадто велика висота може призвести до стиснення матеріалу під власною

вагою, що призводить до втрати повітряності суміші та сприяє анаеробним процесам.

Низька компостна купа швидко втрачає тепло і не може підтримувати оптимальну температуру для теплолюбних організмів. Крім того, через високу втрату вологи утворення компосту сповільнюється.

Час дозрівання компосту. Час, потрібний для завершення процесу дозрівання компосту, залежить від різноманітних факторів, які були вище згадані. Швидкість цього процесу може бути значно підвищена, якщо дотримуються оптимальні умови, такі як вміст вологи, співвідношення вуглецю до азоту та інтенсивність аерації. Звільнення більш короткого періоду дозрівання пов'язане зі збалансованим рівнем вологості, оптимальним співвідношенням вуглецю до азоту, а також регулярним наданням доступу кисню до субстрату. Процес може уповільнитися в разі недостатньої вологості сировини, низьких температур, великого співвідношення вуглецю до азоту, великих розмірів частинок субстрату, високого вмісту деревини та недостатньої аерації. Однак, якщо всі необхідні умови для розвитку мікроорганізмів будуть виконані, процес компостування сировини відбуватиметься значно швидше.

Мета полягає в тому, щоб розробити ефективну систему компостування, яка була б економічно доступною, але водночас надійною. Тривалість формування компосту також залежить від умов навколишнього середовища. У різних джерелах зустрічаються різні часові рамки компостування: від декількох тижнів до 1-2 років. Цей період може коливатися від 10-11 днів (для компостування садових відходів) до 21 дня (для відходів з високим співвідношенням вуглецю до азоту у розмірі 78:1). За допомогою спеціального обладнання можна скоротити тривалість цього процесу до 3 днів. При активному компостуванні тривалість процесу може становити від 2 до 9 місяців (залежно від методів компостування і характеристик субстрату), проте можливе і більш коротке затримання від 1 до 4 місяців.

Під час процесу компостування матеріал зазнає фізичних змін,

набуваючи темний колір, що характерний для компосту. Помітно змінюється і запах компостувального матеріалу, переходячи від неприємного до аромату «землі», що виникає в результаті життєдіяльності актиноміцетів. Остаточним результатом цього етапу є стабілізація органічної речовини. Ступінь стабілізації є відносною, оскільки остаточна стабілізація органіки пов'язана з утворенням CO₂, H₂O та мінеральної золи. Окрім змін у зовнішньому вигляді та ароматі, параметрами стабільності є: остаточне зниження температури, рівень самозігрівання та кількість розкладеної органіки.

Оскільки компостування здійснюється за допомогою життєдіяльності різноманітних мікроорганізмів, які утворюють мікробне співтовариство, для оцінки ступеня "зрілості" компосту використовуються мікробіологічні показники. З шести розглянутих мікробіологічних показників тест на активність дегідрогенази виявився найбільш інформативним та відповідним. Порівняно з іншими критеріями, цей метод виявився більш простим, швидким і економічно доцільним для контролю стабільності і готовності компосту. Після досягнення відповідної стабільності для зберігання, компост сортується на фракції за допомогою просіювання.

Готова торф'яна гнойова суміш транспортується транспортером на ділянку, де нагромаджується екскаватором-навантажувачем. Там він зберігається близько двох тижнів, після чого вивозиться на поля, де зберігається в штабелях до внесення. Порівняльний склад органічних добрив та компостів наведено в таблиці 4.

Під час компостування гною з торфом відбувається нейтралізація його надлишкової кислотності, що створює сприятливі умови для активізації біологічних процесів. Це сприяє прискоренню розкладання торфу, що в свою чергу призводить до певного збільшення кількості доступного для рослин рухомого азоту. Отже, компости з гноєм та торфом виявляються досить ефективними.

Таблиця 4.

Порівняльний склад органічних добрив і компосту

Добриво	Орієнтовний вміст, %			Вода, %	Норма внесення, т/га
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O (кисень)*		
Гній великої рогатої худоби, що перепрів	0,9	0,3	0,7 (5)	65	20-40
Рідкий гній великої рогатої худоби	0,4	0,2	0,4 (5)	88,5	30-60
Торфогноєві компости	0,8	0,2	0,3 (8)	70	20-60

* - вміст кисню в сполуці

3.6. Практика приготування компосту

Сьогодні кожен фермер визнає важливість компосту для стимуляції розвитку рослин та відновлення виснаженого ґрунту. Всі процеси хімічного та мікробіологічного характеру, що відбуваються в компості, були ретельно вивчені, що дозволяє здійснювати його приготування з усвідомленням, регулювати та направляти процес у необхідному напрямку. Матеріали для компостування можуть бути різноманітні - від муніципальних відходів, що складаються з органічних і неорганічних компонентів, до більш однорідних субстратів, таких як відходи тваринництва та рослинництва. У природних умовах процес біодеградації відбувається повільно, зазвичай на поверхні ґрунту, за умови температури навколишнього середовища та, за можливість, в анаеробних умовах. Нерухомі рослинні залишки, які не пошкоджені шкідниками або хворобами, послід тварин і птиці та інші матеріали розкладаються в пухку купу (або "штабель"), який вирівнюють до рівної поверхні, а зверху закривають верхнім шаром землі з рослинами або торфом.

Основу "штабеля" становить шар з листя, тирси або торфу товщиною 10-12 см. Регулярно "штабель" поливають водою або розчином добрив, через 40-50 днів компост перемішують, а коли температура досягає 60 °С, його ущільнюють.

Компостування представляє собою процес біотермічної перетворення та розкладу органічних матеріалів в аеробних умовах, під впливом мікроорганізмів, переважно теплолюбних. Під час компостування температура підвищується до 60 °С, що має негативний вплив на личинок і лялечок комах, яйця гельмінтів і збудників хвороб, а також насіння бур'янів.

Основні цілі технологічного процесу приготування компосту включають:

- максимально повне збереження поживних речовин, що містяться в добривах;
- отримання компосту, який зручно зберігати, транспортувати і вносити в ґрунт;
- можливість механізації та автоматизації процесу на максимальному рівні;
- зменшення робочого часу та витрат;
- мінімізацію забруднення навколишнього середовища.

Зазвичай, компост складається з двох основних складових. Однією з них, як правило, є гній, що володіє високим вмістом поживних речовин і мікрофлори, а також містить значну кількість легкорозчинних азотовмісних органічних сполук. На тваринницьких фермах і комплексах, де велика рогата худоба утримується без використання підстилки, система компостування гною може бути найбільш практичною і економічно доцільною при наявності достатнього запасу вологопоглинаючих матеріалів, таких як торф, солома та інші. Витрата вологоємних матеріалів на кілограм гною, необхідний для отримання якісного компосту, становить не менше 0,3 кг соломи або 0,5 кг торфу з вологістю 40%. Якщо гній містить не менше 0,2% азоту (2 кг на 1 т компосту), витрати на його виробництво і використання компенсуються витратами на вирощування культури.

Найчастіше гній компостують на фермі або в полі. Компост краще проводити поблизу будиночків для худоби, так як тут краще весь процес. Для процесу компостування використовують наявні гноєсховища або спеціально облаштовані польові майданчики, де можна здійснити приготування компосту за допомогою технічних засобів. Поблизу гноєсховищ або компостних майданчиків створюють місця для зберігання компостних матеріалів. Розмір гноєсховищ або майданчиків повинен дозволяти накопичувати компост протягом трьох місяців. Для зручності технічного оснащення майданчик повинен бути шириною не менше 18 м, а довжина визначається виходячи з передбачуваної кількості компосту при завантаженні - 1,5 - 2,0 т на 1 м². З обох кінців встановлюються під'їзні доріжки по всій ширині майданчика. Під'їзна дорога повинна утворювати вододіл, який буде перешкоджати попаданню талої і дощової води на ділянку, а також стікання з нього гноївки. Висота вододілу не менше 0,5 м. Поздовжні сторони ділянки готують висотою 0,8-1,0 м. Дно ділянки роблять з ухилом 1,0-1,5% в сторону місця збору гною. На протязі великих земельних ділянок влаштовують кілька місць для збору гною, з розрахунку одне місце на кожні 600 м² площі. Майданчик завантажується через один кінець і розвантажується через протилежний. Структура такого об'єкту включає насосну станцію, змішувальний відділ, склад для зберігання торфу і склад готової продукції.

Не рекомендується ущільнювати гнойові компости з торфом, які розміщені в купах.

Більш вдосконаленою технологією є компостування з польовим перемішуванням. Для цього зазвичай формують бурти шириною 2,2-2,5 м, висотою 1,5-1,7 м і довжиною 200 м.

Основою компостування є перемішування куп, які виробляються за допомогою мішалки для компосту. Перемішування проводять з інтервалом 3-5 днів (9 разів на купу). Процес компостування займає 120 днів, а кількість пересадок становить 16-20 разів.

Протягом усього процесу замішування ворсу його зволожують. У процесі компостування відбувається добова зміна температури, вологості та вмісту вуглекислого газу.

Цілеспрямоване, безперервне розпушування та інтенсивне перемішування за допомогою відповідних механізмів забезпечує оптимальний вплив бактерій на життєво необхідні для цього процесу умови. Температура, яка в купі підвищується до 75 °С, забезпечує знищення насіння бур'янів і знезараження компосту.

Постійне розпушування, перемішування і систематичний полив є ключовими для успішного процесу компостування. При правильному виконанні цих процедур запах буде мінімальним, а під купами компосту не буде утворюватися збитків води. У зимовий період процес майже не змінюється.

Під час інтенсивного оброблення матеріалів можна контролювати параметри процесу протягом 6-12 тижнів. У такому випадку отримується якісне органічне добриво.

Основні параметри готового продукту: температура – 30-35 °С, вологість – 32-38%, вміст вуглекислого газу – до 8%, кисню – до 12%, співвідношення NPK – 1,35:0,57:0,97.

Агротехнічні вимоги до компосту. Готовий якісний компост повинен являти собою однорідну темну розсипчасту масу, з вмістом вологи не більше 75%, з близькою до нейтрального середовища і містити комплект необхідних поживних речовин в доступній для рослин формі.

Для отримання якісного компосту важливо дотримуватися правильної технології приготування та контролювати різні процеси, які відбуваються в купах, такі як температура, вологість, аерація, кислотність середовища і т.д. Довжина купи може бути будь-якою, але не менше 6-8 метрів, висота - від 2,5 до 3 метрів, ширина підстави - від 4 до 6 метрів.

Для забезпечення необхідної аерації у компостній масі необхідно регулярно перемішувати її під час процесу дозрівання. Це сприяє зниженню

вологості компосту. Щоб підвищити рівень вологості, можна поливати компост рідким гноєм або водою. Термін дозрівання торф'яно-гнойових компостів, закладених у весняно-літній період, становить 2-3 місяці, торф'яно-гнойових компостів - 1-2 місяці. При закладці взимку термін дозрівання всіх видів компосту збільшується до 3-4 місяців. Готувати компост необхідно в спеціально відведених (стаціонарних або тимчасових) місцях поблизу ферм або на краю поля. Необхідно будувати цехи компостування на великих тваринницьких комплексах.

В основному існує два види підстилкового компосту на основі гною: торф і гнойово-земляний.

Торф'яно-гнойовий компост найбільш ефективний, коли співвідношення торфу до гною становить 1:1. Такий компост практично ідентичний гною за своїм впливом на врожаїв основних сільськогосподарських культур.

Торф'яної компост з гною зазвичай готують на полях, де його планується вносити. Існує кілька способів приготування компосту з торф'яного гною.

У господарствах, де немає торфу, вносять гній і земляні компости. Гнойові купи повинні бути не тільки засипані, але і перешаровані ґрунтом в кількості, що не перевищує 30% від ваги гною.

Включення 20-25% нейтрального глинистого ґрунту до гною сприяє перетворенню органічних речовин гною в стійкі гумусові сполуки, що багаті азотом. Крім того, рілля є важливим джерелом мінеральних частинок, особливо глинистих, необхідних для утворення органомінеральних сполук і подальшої стабілізації гумусу в компості. Тому рівномірне розподілення ґрунту у компості є важливим.

Ґрунт, доданий до гною, адсорбує леткі азотовмісні сполуки, які утворюються під час розкладання гною, і поглинає рідину, що виділяється з гною. Введення соломи і фосфоритного борошна у гнойову і ґрунтову масу допомагає різко знизити втрати азоту в компості, а вміст рухомих форм фосфору значно зростає.

Процес приготування гною та земляного компосту є значним додатковим джерелом органічних добрив, особливо для степових та лісостепових регіонів України, де відсутні значні запаси торфу.

Контрольні запитання.

- 1. Яка основна мета підготовки та зберігання гною?*
- 2. Скільки часу потрібно, щоб підготувати гній до сипучого або гарячого зберігання?*
- 3. В який час проводиться повне приготування гною густим або гарячим методом?*
- 4. Що таке гумус?*
- 5. Що таке система органічного землеробства?*
- 6. Охарактеризуйте групи організмів, що беруть участь у компостуванні?*
- 7. Впровадити технологію компостування гною на польових ділянках.*

Розділ 4

Виробництво біогазу. Характеристика сировини і технології

Біогаз є одним з найперспективніших варіантів з ряду альтернативних джерел енергії. Він являє собою певну комбінацію різних газів, що утворюється в результаті процесу бродіння органічних речовин без участі кисню. Таку підготовлену комбінацію речовин називають субстратом. У біогазі частка метану може досягати 70%. Цей вид енергії можна використовувати різними шляхами. Утворений газ можна спалювати за допомогою спеціалізованого обладнання, а отримане тепло використовувати для обігріву приміщень, тощо. При спеціальній обробці його можна використовувати для роботи автомобільних двигунів. У когенераційних

установках є можливість виробляти електроенергію, яка потім продається або використовується у власному виробництві.

Розвиток виробництва біогазу, рівно як розвиток інших альтернативних джерел енергії, зумовлений рядом причин:

1. Розвиток економіки країни зумовлює збільшення потреби у різних видах енергії (електричної, теплової, паливної). Робота промислового обладнання, теплові електростанції, транспорт – все це вимагає безперебійного надходження енергії у різних її проявах. На промислових підприємствах основним способом отримання енергії є тепло від горіння природних ресурсів - вугілля, природного газу; бензину, гасу, мазути, які також отримують після переробки нафти. Але використання викопних джерел енергії має один величезний недолік – у відмінність від альтернативних джерел енергії (які є відновлюваними), родовища викопного палива швидко виснажується.

2. Відходи від аграрного сектору та підприємств харчової промисловості можуть призводити до викидів парникових газів та інших забруднень у навколишнє середовище. Ці відходи є складними для утилізації або обробки, проте їх можна використовувати як сировину для виробництва біогазу.

Отримання біогазу з органічних залишків аграрного виробництва вважається одним із самих перспективних напрямів отримання альтернативної енергії з мінімальної шкодою для навколишнього середовища. Україна має значні перспективи для розвитку даного напрямку завдяки великому агропромислому комплексу (АПК). Адже значний розвиток АПК зумовлює наявність величезної кількості відходів як рослинного так і тваринного походження, що може слугувати сировинною базою для розвитку синтезу біогазу. Окремою статтею може йти вирощування спеціальних високоенергетичних культур.

1. Біогазова сировина

Як основа (сировина) для проведення процесу бродіння в анаеробних умовах може бути використаний цілий ряд сировини органічного походження (ОС). В залежності від походження відходи поділяються на побутові, промислові та сільськогосподарські, в залежності від агрегатного стану розрізняють відходи рідкі (стічні та фільтраційні води), напіврідкі (осад від стічних вод, напіврідкий гній) і тверді (тверді відходи, гній, інші відходи сільського господарства). Хімічний склад та інші характеристики відходів істотно різняться не лише від їх походження, місцевості та галузі отримання, а й цілого ряду інших причин – температури, вологості та інше. Кожен з цих факторів може вплинути на перебіг технологічних процесів при здійсненні виробництва біогазу. Найбільший вплив на технологічний процес має вологість сировини, склад хімічного агента, співвідношення вмісту сухої речовини субстрату до органічної речовини, розмір частинок, здатність до біологічного розкладання тощо. Ці самі фактори обумовлюють значний вплив на тип біореактора в якому проводиться процес бродіння.

Сільськогосподарський сектор України генерує значні обсяги органічних відходів, що має потенціал для виробництва біогазу. Цей біогаз може замінити природний газ у кількості 2,6 млрд кубометрів щорічно. Збереження темпів розвитку сільського господарства, та підвищення рівня врожаїв силосу та інших культур, зазначений потенціал може бути значно збільшений, та за різними оцінками, досягати рівня від 7,7 до 18 млрд кубометрів. Для досягнення цієї мети планується використовувати 6% ріллі, включаючи 50% вільних від посівів, для вирощування кукурудзи для біогазу. При цьому очікується, що 53,0% потенціалу біогазу буде отримано з кукурудзяного силосу, 5,7% - з побічних продуктів та відходів рослинництва, 5,3% - з побічних продуктів та відходів харчової та переробної промисловості, а 36% - з відходів гною тварин.

Відходи тваринного походження можуть створювати різні екологічні проблеми, такі як виділення парникових газів, наявність аміаку у повітрі,

забруднення річок озер та ґрунтових вод, розповсюдження хвороботворних бактерій, насіння бур'янів, личинок мух та різних комах, а також викликати проблеми в наслідок утворення неприємного запаху.

Відходи тваринництва, зокрема гній великої рогатої худоби, є субстратом, який підходить і часто використовується для виробництва біогазу. Зазначений субстрат має низку переваг. Зокрема, гній тварин має значну буферну ємність, а така властивість поререджує різкі зміни рН в реакторі під час процесу бродіння. Гній вже має у своєму складі метаногени. Ці мікроорганізми зумовлюють процес бродіння в анаеробних умовах. Також цей субстрат містить достатню кількість мікро- і макроелементів, що забезпечують можливість розвитку різних мікроорганізмів.

Таблиця 5.

Потенціал виробництва біогазу з відходів тваринництва та кукурудзяного силосу

Вид діяльності		Ферми ВРХ	Силос кукурудзи
Загальна кількість підприємств в Україні		5079	виращування на 50% вільних орних земель
Обсяг основної продукції	голів тис. т	1 526.4	41 140.4
Загальний обсяг основних відходів	тис. т	15 431.6	-
Потенціал виробництва біогазу із загального обсягу відходів/продукції	млн м ³ /рік	385.8	7 405.5
Частка економічно доцільного потенціалу	на БГУ з міні-ТЕЦ від 0.1 МВт	97%	-

Хімічний склад відходів великої рогатої худоби (табл. 6) може варіюватися в залежності від виду тварин, харчового раціону, умов утримання, методів накопичення та обробки відходів. Для оптимальної вихідної біомаси гною важливі такі показники: концентрація сухої речовини в діапазоні 8-12% (не перевищуючи 12%), вміст органічної речовини не менше 80%, співвідношення вуглецю до азоту (C:N) у межах 30:1, та рівень рН від 6,5 до 7,5. Використання гною великої рогатої худоби в якості моносубстрату має ряд особливостей, що створюють певні проблеми у роботі біогазових установок (БГУ) та зменшують вихід біогазу.

Через це широке поширення отримало застосування косубстратів. Перші роботи, присвячені вивченню коферментації різних типів ОС, почали розвиватися у 1970-х роках, а нове бачення у використанні коферментації було розроблено у 2000-х роках. На сьогодні спільна ферментація відходів

різних типів забезпечує найбільш стабільну роботу мікроорганізмів, які забезпечують перетворення органіки та продукування біогазу. Суть коферментації полягає в підборі декількох субстратів і їх співвідношень з розрахунку оптимального балансування наявних поживних речовин і таким чином забезпечити найбільшу результативність процесу бродіння (співвідношення компонентів ОС, вологість, рН). Комбінативність дозволяє уникнути інгібування (контролюється концентрація амонію, інших інгібіторів), збільшити кількість біогазу і стабільність синтезу, розширити спектр задіяних мікроорганізмів, що задіяні в процесі розкладання органічних відходів. Підвищений вміст вуглеводів і жирів у відходах веде до збільшення співвідношення вуглецю до азоту (C/N), а зі зростанням кількості білка це співвідношення зменшується. Надмірна кількість вуглеводів може спричинити дестабілізацію процесу через накопичення жирних кислот, або збільшення амонію при надлишку білків, а також пригнічення жирними кислотами при надмірі жирів.

Відходи рослинного походження мають підвищене співвідношення C/N, мають низький рН і часто надмірно накопичуються під час ферментації. Відходи переробки деревини характеризуються високим вмістом целюлози (деревні відходи) мають значення C/N вище 100/1, таке співвідношення не достатнє для нормального розвитку мікроорганізмів, що задіяні у процесі бродіння. Тваринний і пташиний послід мають низьке співвідношення C/N, а при бродінні утворюється значна кількість амонію, що може уповільнити процес.

Комбінування різних субстратів дозволяє досягти бажаної комбінації поживних речовин, що забезпечує оптимальний ріст та розвиток мікроорганізмів. Вдала комбінація забезпечує оптимальне співвідношення C/N, а також дозволяє уникнути порушень розвитку процесу внаслідок накопичення інгібіторів, зокрема амонію. Зазвичай, в процесі спільної ферментації вихід біогазу перевищує суму виходів метану, який утворюється під час ферментації окремих субстратів.

Таблиця 6.

Фізико-хімічний склад гною великої рогатої худоби

Компонент	Вміст, % у сухій речовині
Органічна речовина	77-85
Сира клітковина	27,6-50,3
Жири	2,9-4,3
Білки	9,3-20,7
Лігнін	16-30
Азот	1,9-6,5
Фосфор	0,2-0,7
Калій	2,4
Кальцій	2,3-4,9
Магній	-
C:N	21:1
Вологість	86-87%

Зараз кукурудза на силос - найбільш популярна культура для використання у біогазових установках. Цю культуру легко силосувати, і навіть при використанні її в чистому вигляді, не виникає проблем з функціонуванням біогазових установок. На сьогодні існують спеціальні сорти кукурудзи, призначені для використання у біогазових установках. Також вони зазвичай дають більший врожай біомаси.

Кукурудзяний силос є однією з найбільш поширених та енергопривабливих рослинних сировин для виробництва біогазу в ЄС.

Відповідний клімат, давній та широкий досвід України у використанні кукурудзи в якості кормової та зернової культури сприяли її швидкій адаптації до використанню у біогазових установках.

Компонентний та органічний склад субстрату кукурудзи (табл. 7) та її біорозкладність визначають потенціал виділення метану з кукурудзяного силосу.

Частка кукурудзяного силосу в суміші з іншими косубстратами може становити від 2 до 99%. Зараз найбільш результативними вважаються біогазові установки, в яких частка кукурудзяного силосу у суміші складає 25%.

Таблиця 7.

Властивості кукурудзяного силосу

Показник	Значення показника
Вологість, %	19,6
C:N	78:1
Азот, % у сухій речовині	0,2-0,93
Фосфор (PO ₄), % у сухій речовині	0,2-0,8

За даними різних досліджень, при співвідношенні відходів великої рогатої худоби до кукурудзяного силосу 4:1 отримують біогаз в об'ємі розміром 152 дм³ на кг сухої речовини. При співвідношенні гній великої рогатої худоби – кукурудзяний силос 9:1 кількість біогазу досягає 194 дм³ на кг сухої речовини (бродиння відбувалося при 90% вологості та перемішуванні).

Так, через використання коферментації, отримуються значимі переваги, а саме:

- Зменшення рівня концентрації аміаку, що притаманний тільки процесу бродінню гною;
- Покращення синтезу біогазу за рахунок оптимізації співвідношення C:N
- Підвищення активності синтезу та кількості біогазу на одиницю об'єму установки.

4.2. Сучасні технології виробництва біогазу

Анаеробне зброджування є одним з найбільш ефективних методів енергетичної обробки органічних відходів. Принципова схема технології показана на рисунку 4. Відходи збираються в накопичувальних ємностях,

потім завантажуються в реактор, де сировина проходить всі етапи бродіння з виділенням біогазу. Отриманий біогаз надходить на когенераційну установку, де використовується для вироблення електроенергії, частина якої нагріває реактор. Дигестат, що утворюється в результаті анаеробного зброджування, відокремлюється від води і може використовуватися як добриво.

Найпростіша система анаеробного зброджування містить один реактор, який відповідає за всі чотири стадії процесу. Її називають одноступінчастою системою бродіння. Однак поряд з досягненнями науки і біотехніки вчені виявили, що кожен етап бродіння має різні оптимальні умови. Тому ідея фізичного поділу стадій процесу (багатоступенева ферментація) спрямована на оптимізацію кожної з них для досягнення найвищої продуктивності біотрансформації.

В даний час до багатоступінчастих систем відносять тільки дво- і триступеневі системи (рис. 4). Двоступенева система виконує гідроліз і метаногенез у двох різних реакторах. Більш складна триступенева система виконує гідроліз, ацидогенез/ацетогенез і метаногенез в різних реакторах.

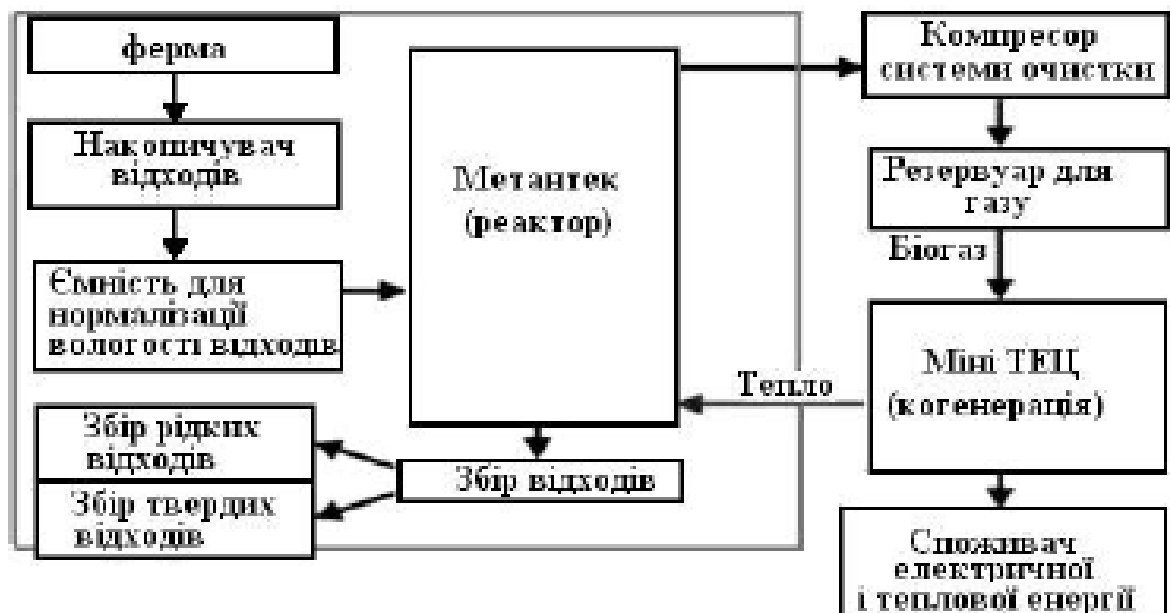


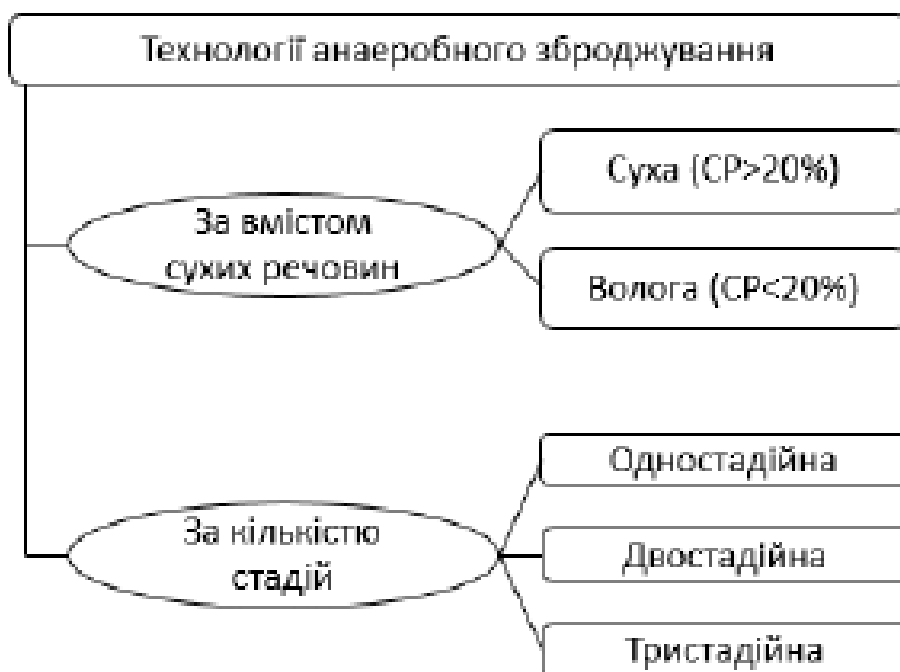
Рис. 4. Схема виробництва біогазу з відходів

Хоча фазовий перетин найкраще підходить до умов життя бактерій і має свої переваги, багатоступінчасті технології не знаходять широкого застосування. Додаткові витрати на другий бак, змішувальні системи, системи опалення та насоси мають досить тривалу окупність інвестицій і можуть бути неприбутковими. Тому доцільніше використовувати для цього проекту одноступінчасту технологію.

У одноступінчастій технології умови (такі як температура, рН і т.д.) відповідають всім чотирьом етапам процесу. Проте метаногени є найбільш чутливими до умов навколишнього середовища і мають найповільніше зростання серед мікроорганізмів, необхідних для процесу бродіння.

Тому умови навколишнього середовища в одноступінчастих системах повинні бути оптимізовані для метаногенезу.

Технології виробництва біогазу з відходів класифікуються по-різному, але основна класифікація проводиться між сухим і мокрим методами, і є дуже загальною (рис. 5). Він заснований на вмісті сухої речовини субстрату, де значення $\leq 15\%$ визначається як вологе анаеробне бродіння, а $> 15\%$ - як сухе анаеробне бродіння.



***Рис. 5. Класифікація технологій анаеробного зброджування за
вмістом сухої речовини та кількістю стадій***

Відходи з високим вмістом сухої речовини можна переробляти за допомогою систем мокрого бродіння, але це вимагає додавання значної кількості води. Розбавлення потоку відходів потребує не лише збільшеного споживання води та енергії, а також більшого об'єму реактора. Більше того, розбавлення відходів може призвести до зменшення виходу біогазу та збільшення обсягу стічних вод. Тому для переробки твердих побутових відходів більш ефективно використовувати сухі ферментери (малюнок 6).

Основними проблемами сухих систем у порівнянні з мокрими є змішування та відкачування субстрату з високою в'язкістю. В даний час в Європі активно розвиваються технології Dranco, Valorga, Kompogas і Biocell.

Система Dranco (DRy ANaerobic COmposting) представлена вертикальним реактором (рис. 6, а). У цій системі частина збродженого матеріалу відводиться назад до змішувального насоса, де змішується зі свіжими матеріалами (розмір частинок <1 см) для змішування у співвідношенні 6-8:1. Потім суміш впорскується у верхню частину реактора і переміщається вниз до кінцевого дна, де гвинтовий конвеєр видаляє частину матеріалу. Решту ферментованого матеріалу перед очищенням зневоднюють. У реакторі відсутнє активне перемішування, тому через неповне бродіння може бути втрачено 20-30% біогазу.

У системі Kompogas (рис. 6, б) для гомогенізації відходів використовується горизонтальний реактор з внутрішніми роторами. Вхідний потік відходів (розмір частинок <1 см) змішується з рідким мулом з утворенням КП в межах 23-28% для нормальної течії системи. При більш високих значеннях СР виникають труднощі при транспортуванні через занадто високої в'язкості. Система часто працює в термофільному режимі (55-60 °С) протягом 14-20 днів. Матеріал зневоднюють шнековим пресом, потім тверду частину компостують в умовах аерації протягом 2-3 тижнів. З

однієї тонни відходів система може виробляти 130-150 м³ біогазу, 500 кг компосту та 300 літрів рідких добрив.

Система анаеробного зброджування сухого шихту бекону (рис. 6. с) аналогічний процесам, які відбуваються на полігоні твердих побутових відходів.

Однак, на відміну від природного біорозкладання на сміттєзвалищі, процеси в системі сухого бродіння періодичної дії прискорюються двома основними факторами.

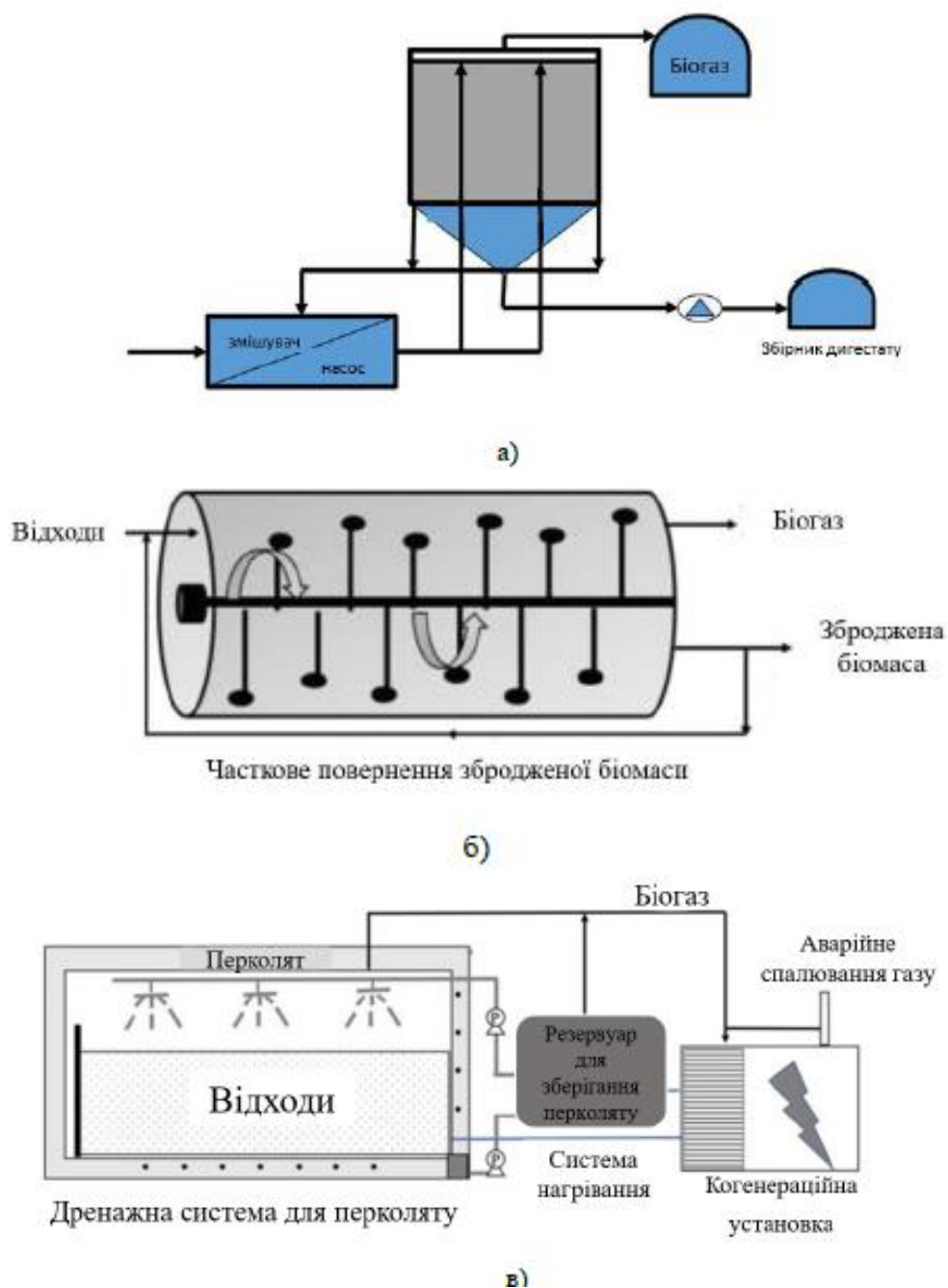


Рис. 6. Види анаеробних систем сухого бродіння

Перший - це безперервна рециркуляція фільтрату. Це допомагає підтримувати вологість сировини і забезпечує рівномірний розподіл метаногенів та інших бактерій. По-друге, температура в системах регулюється в оптимальних межах. Це забезпечує більш високу ефективність виробництва біогазу.

Реактор завантажують свіжими матеріалами (ТР 30-40%), вивантажують, а потім заповнюють новою партією. Бродіння закінчується, коли припиняється виробництво біогазу. Після бродіння більше 20 діб при мезофільній температурі мул компостують протягом 1-3 тижнів. На кожен тону відходів система виробляє 90 кг біогазу (5% CH_4), 455 кг стічних вод і 310 кг компосту. Незважаючи на економію 40% вартості обладнання в порівнянні з системами безперервного сухого зброджування, системи сухого дозування мають набагато нижчу норму внесення, оскільки вимагають набагато більше місця для будівництва.

Сухі технології використовуються не тільки для переробки твердих побутових відходів, а й для відходів рослинництва і тваринництва. Однак через менший вихід біогазу та високий вміст відходів тваринництва в субстраті ефективніше використовувати вологу технологію.

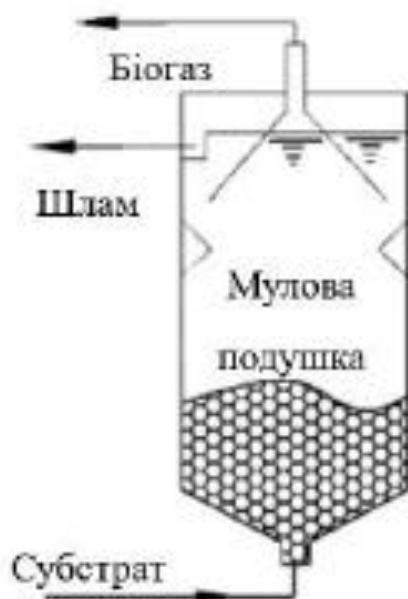
Технології виробництва мокрого біогазу розраховані на сировину з вмістом сухої речовини менше 15%. Виходячи з характеру процесу бродіння, до варильних котлів пред'являються такі вимоги: абсолютна герметичність стінок, що перешкоджає газообміну; непроникність для рідин; збереження міцності в статичному стані під впливом власної сили тяжіння і ваги навантаженої підкладки; ідеальна теплоізоляція; стійкість до корозії; надійне завантаження та спорожнення; наявність внутрішнього простору для обслуговування. Існує кілька технологій з використанням різних реакторів (рис. 7.) з перемішуванням, або без перемішування.

Проточний реактор (рис. 7, а) нагадує горизонтальний циліндричний резервуар з герметичною кришкою. Оптимальна частка речовин ЦП в

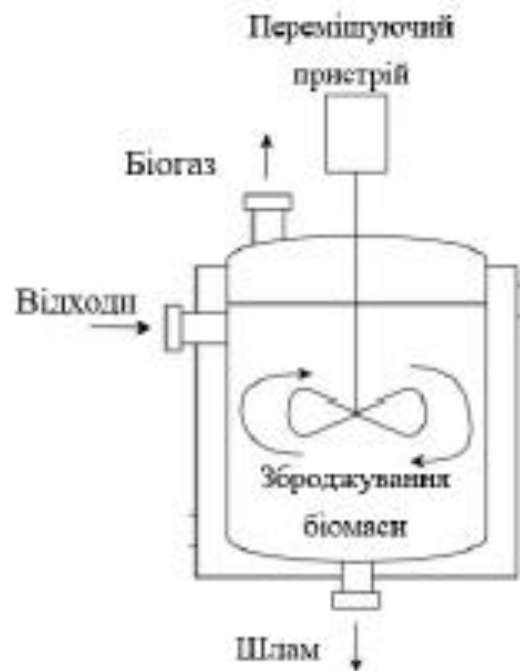
сировині для таких варильних котлів становить 11-13%. Кожне нове завантаження матеріалу відсуває попереднє далі по конструкції, на виході ми отримуємо вже зброджений матеріал і біогаз. Тривалість процесу становить приблизно 15-20 днів. До недоліків цього методу можна віднести недостатній ступінь гомогенізації, а отже, і менший вихід біогазу.



а)



б)



в)

Рис 7. Типи систем вологого анаеробного бродіння

Більш ефективною технологією є UASB (Upflow anaerob sludge blanket), показана на рисунку 7. (б). Потік відходів надходить у реактор знизу і тече вгору.

Таким чином, мікроорганізми в шарі мулу на дні розкладають органічні речовини в потоці відходів без процесу перемішування. Сепаратор у верхній частині відокремлює мул від стічних вод і збирає біогаз. Однак ця технологія вимагає більш високих експлуатаційних витрат.

Найчастіше в мокрій технології використовуються реактори типу CSTR (Continuous stirred-tank reactor), рис.7 (в). У реактор подається сировина, яке постійно перемішується, щоб забезпечити гомогенізацію вмісту реактора.

При цьому з реактора видаляється рівна кількість стоків. Час перебування в реакторі може змінюватися в залежності від характеру використовуваної сировини і температури процесу і зазвичай становить від 2 до 4 тижнів. Такі системи мають низькі експлуатаційні витрати.

Зазвичай такі варильні котли використовуються для бродіння сировини з вологістю 90-98%. Вони використовуються на практиці для обробки гною тварин, осаду стічних вод, муніципальних відходів, відходів сільського господарства або сумішей цих субстратів. При перемішуванні створюється однорідна підкладка, що перешкоджає розшаруванню і утворенню поверхневої кірки.

Це найоптимальніша технологія для субстрату, описана з точки зору капітальних та експлуатаційних витрат, виходу біогазу, технологічних параметрів та вихідної сировини.

Швидкість процесу бродіння залежить від температури. Важливо те, що чим вище температура, тим швидше відбувається розкладання.

Температурні режими, в яких процвітають відповідні штами бактерій:

- психрофільні перенапруження при температурі нижче 25°C;
- мезофільні штами при температурі 25-45°C;
- теплолюбні штами при температурі вище 45°C.

Згідно з дослідженнями, вихід біогазу при термофільному способі бродіння приблизно на 30% вище, ніж в мезофільному режимі. Однак через більш високу температуру витрата тепла на власні потреби процесу в термофільному режимі збільшується в 1,5 рази (у відсотках від теплового еквівалента виділеного біогазу), при цьому кількість товарного біогазу майже така ж, як і в мезофільному режимі. Отже, вибираємо мезофільний метод бродіння.

На рисунку 8 зображена технологія виробництва біогазу з відходів тваринництва і рослинництва, яка в подальшому використовується для виробництва електричної та теплової енергії в когенераційній установці (ТЕЦ).

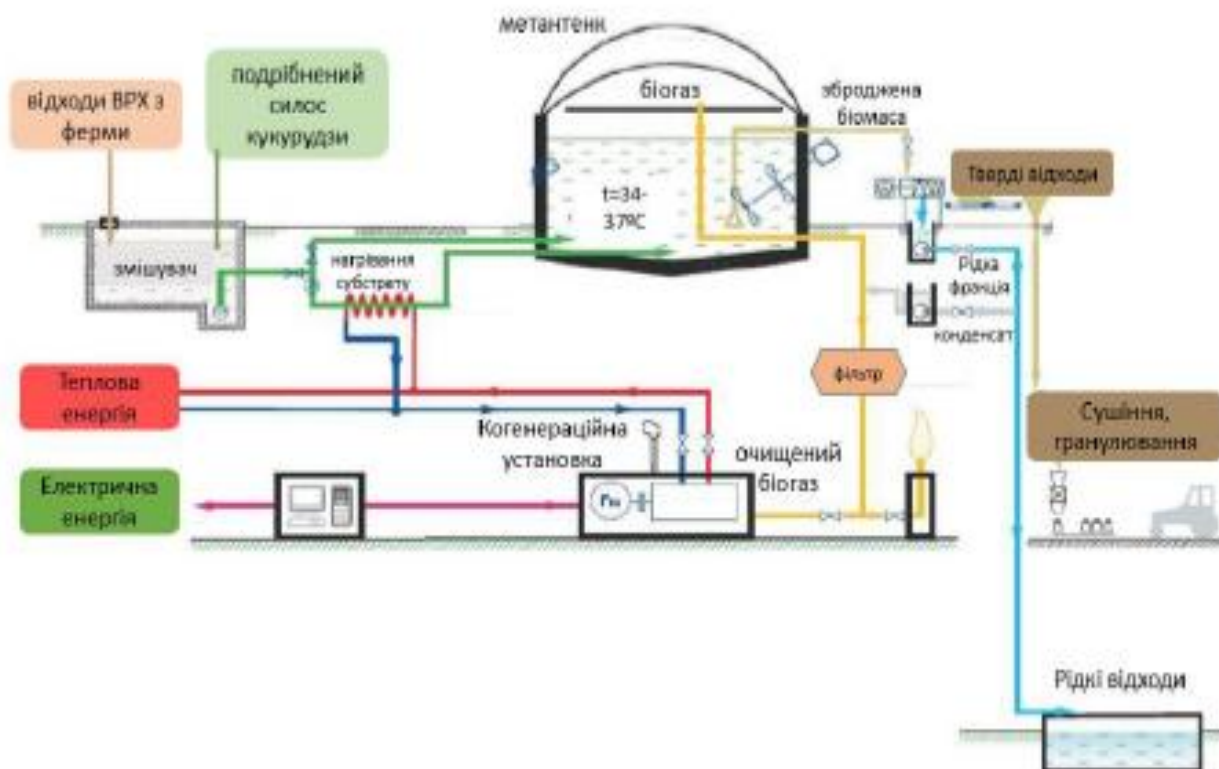


Рис. 8. Технологічна схема типової біогазової установки переробки відходів великої рогатої худоби та кукурудзяного силосу, з генерацією електричної та теплової енергії на тепловій електростанції

За періодичністю технології виробництва біогазу поділяються на безперервні та періодичні. Безперервні – постійні або з короткочасними перервами в подачі сировини в реактор і видаленні збродженої маси.

Сировина має бути рідким або напіврідким. Технологія вимагає невеликих камер бродіння. Резервуари можуть бути різними, вони також можуть бути змішаними (механічні мішалки, що перекачують сировину, видують біогаз). При періодичній технології нова сировина надходить в варильний котел тільки після того, як попередня партія буде повністю видалена. Безперервна технологія забезпечує стабільність виходу біогазу, вимагає менше обслуговування, не вимагає тривалого накопичення сировини, тому ми обираємо саме цю технологію.

Важливо відзначити, що перед утилізацією на ТЕЦ біогаз очищається від зайвої вологості за допомогою системи труб, розташованих під землею (конденсація води відбувається через різницю температур). Також необхідно очистити біогаз від сірководню. Найпростішим і економічно вигідним способом є суха чистка в спеціальному фільтрі.

4.3. Характеристика та використання біогазу

Біогаз є важливим джерелом енергії з високим коефіцієнтом корисного використання (ККД) і може бути використаний для різних цілей, зокрема для виробництва електроенергії, опалення та обігріву води, сушіння і інших процесів.

Оскільки енергію з біогазу дає тільки метан, доцільно описати якість газу, вихід газу та кількість газу, щоб віднести все до метану, з його нормованими значеннями. Обсяг газів залежить від температури і тиску.

Високі температури змушують газ розтягуватися і зменшувати теплотворну здатність разом з об'ємом, і навпаки. Крім того, з підвищенням вологості знижується і теплотворна здатність газу. У загальному випадку вихід метану виражається в м³ метану на кг органічної сухої речовини. Цей показник набагато точніший, ніж м³ біогазу на м³ свіжого субстрату.

Якість біогазу в першу чергу визначається вмістом метану або співвідношенням метану (CH₄) до вуглекислого газу (CO₂). Вуглекислий газ

спричиняє втрати при зберіганні біогазу. Тому важливо прагнути до високого вмісту метану та якомога нижчого вмісту вуглекислого газу.

Біогаз містить 40-70% метану (CH_4), 30-60% вуглекислого газу (CO_2), близько 1% сірководню (H_2S) і невелику кількість азоту (N_2), водню (H_2), водяної пари та аміаку (NH_3). Об'ємна теплотворна здатність біогазу становить 22 МДж/м³.

Теплотворна здатність, в залежності від вмісту метану, знаходиться в межах 5-7 кВт-год/м³ біогазу, в середньому близько 6,0 кВт-год/м³. Біогаз має нижчу теплотворну здатність порівняно з природним газом, пропаном і метаном, але вдвічі вищий за водень. Біогаз має щільність 1,2 кг/м³ і трохи легший за повітря. Має температуру спалаху близько 700 °С.

Вміст метану в біогазі визначається, перш за все, за такими критеріями:

- Умови технологічного процесу
- склад субстрату;
- Температура субстрату.

Після метану та вуглекислого газу сірководень (H_2S) є найважливішим компонентом біогазу. Сірководень дуже корозійний і корозійний, що в першу чергу викликає проблеми з клапанами, газовими лічильниками, пальниками і двигунами. Тому необхідно видаляти сірку з біогазу. Біогаз, очищений від сірки, практично не має запаху.

Крім того, біогаз містить сліди аміаку, елементарного азоту, водню та кисню із загальним вмістом від 6 до 8%. Газ, що надходить з біогазової установки, насичений водяною парою, що може спричинити проблеми при спалюванні біогазу в котлах та двигунах. Видалення надлишку вологи з біогазу шляхом конденсації є дуже важливим етапом збагачення газу. Конденсат також використовується для відділення певної кількості аміаку, що міститься в біогазі та спричиняє пошкодження двигуна, особливо підшипників кольорових металів.

Ступінь очищення біогазу залежить від мети його подальшого використання. Для живлення місцевої газомережі необхідно очистити біогаз

до вмісту метану 96-98%. Для спалювання в когенераційній установці (відповідно до обраної технології) необхідний вміст метану не менше 45%.

Для ТЕЦ існують максимальні концентрації сірководню та біогазу, оскільки продукти його окислення мають сильні корозійні властивості. Оптимальні характеристики біогазу, призначеного для виробництва електроенергії з використанням ТЕЦ, наведені в таблиці 8.

Отриманий біогаз повинен відповідати вимогам, зазначеним у таких документах: ДСТУ 7721:2015 «Газоподібне паливо. Біогаз. Технічні вимоги та методи контролю», ДСТУ 7509:2014 «Газоподібні палива. Біогаз. Методи відбору проб», ДСТУ 4516:2006 «Відновлювальні джерела енергії. Біогазові установки».

Існує кілька способів використання біогазу.

Таблиця 8.

Вимоги до біогазу, призначеного для когенерації

Компонент	Оптимальний/гранично допустимий вміст
CH ₄ , %	60-80
CO ₂ , %	20-40
H ₂ S, мг/м ³	8000
O ₂ , N ₂ , %	<1

Біогаз як паливо. Біогаз використовується як паливо, проте перед використанням в якості палива його необхідно очистити до рівня якості природного газу, оскільки він буде використовуватися у двигунах, призначених для природного газу. У наш час існують автомобілі, які розраховані на 100% біогаз. Біогаз як паливо не підлягає оподаткуванню. Використання біогазу в якості палива дуже поширене в Швеції, де майже половина транспортних засобів працює на біогазі, що становить загальну

потужність близько 90 МВт.

Подача в газову мережу. Постачання біогазу в комунальній мережі відкриває нові перспективи для виробництва біогазу. Це дозволяє використовувати газ там, де він дійсно потрібен. Таким чином, можна знизити великі втрати за рахунок відсутності використання надлишкового тепла і підвищити загальну ефективність виробництва енергії

Однак існують серйозні перешкоди щодо транспортування та якості біогазу.

Для використання в газових мережах біогаз повинен містити високий вміст метану і низький вміст сірководню, щоб наблизитися до характеристик природного газу (табл. 9). Для цього його необхідно очистити і висушити, а також довести до наявного тиску в газовій мережі.

Таблиця 9.

Вимоги до вмісту біогазу, що подається в газову мережу.

Метан	96%
Вуглекислий газ	<3%
Кисень	<0,5%
Загальний вміст сірки	<120 мг/м ³
Сірководень	<5 мг/м ³
Волога (точка роси під тиском)	<(-10)-(-30)°C
Пил	<1µm
Олії	<100-200 ppm

Очищення газу до рівня якості природного газу вважається економічно обґрунтованим лише у випадку високої витрати палива. Загалом вважається, що система очищення стає доцільною для установок, які виробляють від 250 м³/год газу.

Опалення біогазом. У системах біогазового опалення виділяють

опалювальні котли з малопотужними атмосферними пальниками, що мають потужність від 10 до 30 кВт, а також котли з паяльними пальниками великої потужності. Опалювальні котли призначені для роботи з однією буферною накопичувальною ємністю, яка забезпечує теплом будинок, реактор, промислове водопостачання та інші побутові потреби. Дешевою альтернативою котлу є перколятор (газовий водонагрівач), який працює на одній атмосферній пальнику і використовується в основному для нагріву промислового водопостачання.

Охолодження біогазу. Тепло потрібно в першу чергу взимку. Генератори, що генерують електроенергію-тепло-холод, також використовуються для використання надлишкового тепла влітку. У них теплова енергія перетворюється в холодну в так званих адсорбційних установках і потім може бути використана для охолодження, наприклад, у великих холодильних установках. На жаль, їх ефективність дуже низька. Цей метод практично не застосовується.

Когенерація - це когенерація тепла і електроенергії в результаті згоряння теплоносія в газопоршневих агрегатах. Крім того, когенераційні установки дають можливість при необхідності виробляти пар, холод і вуглекислий газ.

Цей спосіб найбільш поширений.

Електроенергію, отриману під час когенерації, можна продавати державі за «зеленим» тарифом, а тепло спрямовувати на власні потреби компанії або прилеглі населені пункти. Ключовим фактором тут є «зелений» тариф, оскільки витрати на будівництво та експлуатацію біогазової станції можуть бути досить високими. Фактично держава використовує ці інструменти для субсидування підприємств та надання їм економічного обґрунтування використання альтернативних газів.

Спалювання на когенераційній установці не вимагає високого ступеня очищення біогазу від домішок, задовольняє потреби біогазу в теплі та

електроенергії, а також дозволяє продавати електроенергію за «зеленим» тарифом, що дає економічну вигоду.

Контрольні запитання.

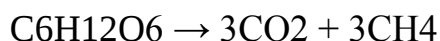
- 1. Що таке «біогаз»?*
- 2. Яка сировина для виробництва біогазу?*
- 3. Чому використання косубстратів є більш ефективним у виробництві біогазу?*
- 4. Яка культура сьогодні найбільш популярна для використання на біогазових установках?*
- 5. Які критерії класифікації технологій анаеробного зброджування?*
- 6. Наведіть процентний вміст речовин, що входять до складу біогазу.*
- 7. Які проблеми використання біогазу в міській газовій мережі?*

Розділ 5

Виробництво біогазу. Характеристика мікроорганізмів і опис технологічного процесу.

5.1. Схема технологічного процесу

Технологія виробництва біогазу з відходів тваринництва і рослинництва базується на процесі анаеробного зброджування. Цей процес передбачає послідовність реакцій, під час яких мікроорганізми, відсутність кисню, розкладають складні сполуки з утворенням метану і вуглекислого газу:



Процес анаеробного зброджування можна розділити на чотири основні етапи: гідроліз, ацидогенез, ацетогенез і метаногенез (рис. 9).

I етап - гідроліз. У більшості випадків біомаса складається з великих органічних полімерів. Для того, щоб бактерії в анаеробних реакторах могли отримати доступ до енергетичного потенціалу матеріалу, ці ланцюги повинні бути спочатку розщеплені на мономери, такі як цукри, які легко доступні для інших бактерій. Гідроліз цих високомолекулярних полімерних компонентів є необхідним першим кроком анаеробного зброджування. За допомогою гідролізу складні органічні молекули розщеплюються на прості цукри, амінокислоти та жирні кислоти.

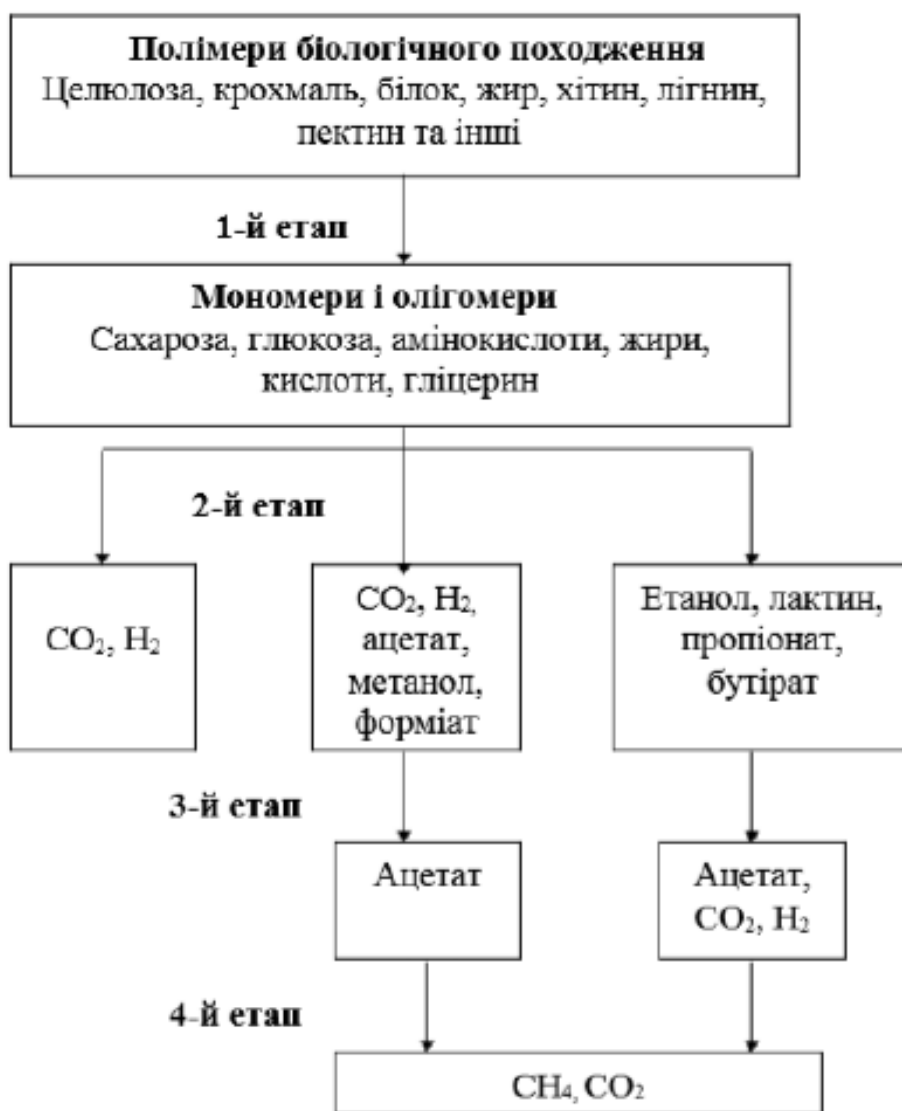
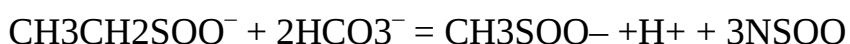


Рис. 9 Основні фази мікробної деградації складних органічних речовин до метану в анаеробних умовах

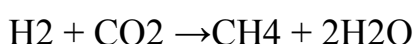
Ацетат і водень, що утворюються на ранніх стадіях, можуть бути використані безпосередньо метаногенами. Інші молекули, такі як леткі жирні кислоти з довжиною ланцюга більшою, ніж у ацетату, повинні бути спочатку катаболізовані в сполуки, які можуть бути безпосередньо використані метаногенами.

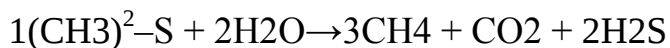
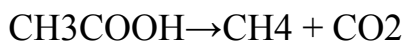
II етап – ацидогенез. Поглинаючи продукти гідролізу через клітинні мембрани, ацидогенні мікроорганізми здатні утворювати проміжні жирні кислоти та інші продукти, такі як ацетати та більші органічні кислоти, такі як пропіонат і бутират, зазвичай у співвідношенні від 75:15:10 до 40:40:20. Цей завод також виробляє невелику кількість етанолу та лактату. Конкретні концентрації проміжних продуктів, що утворюються в результаті ацидогенезу, можуть залежати від умов деградації; концентрація жирних кислот може значно коливатися в залежності від рівня pH [...] Як правило, ацидогенез відбувається швидше, ніж всі інші етапи анаеробного травлення, ацидогенні бактерії мають час регенерації менше 36 годин [...] Важливо відзначити, що хоча безпосередні попередники кінцевої стадії метаногенезу утворюються на стадії ацидогенезу, закислення жирними кислотами є причиною гальмування подальшого перебігу процесу.

III етап – ацетогенез. На цьому етапі вищі жирні кислоти перетворюються в ацетат, а також утворюється водень. Амінокислоти з парною кількістю вуглецю можуть утворювати оцтову кислоту, а при непарній кількості спочатку утворюють пропіонову кислоту. Оцтова кислота дисоціює на ацетатний аніон і катіон водню:



IV етап – метаногенез. На цьому етапі метан утворюється з оцтової кислоти, а також з реакції відновлення водню вуглекислого газу:





5.2. Характеристика мікроорганізмів, що беруть участь в анаеробному травленні

На стадії гідролізу біополімери (білки, жири, полісахариди) розкладаються гідролітичними бактеріями на відповідні мономері за рахунок активності позаклітинних ферментів (протеаз, ліпаз, амілаз, целюлази та ін.), Прикріплених до клітинної стінки або виділяються в середовище.

Гідролітичні бактерії характеризуються високими темпами росту і стійкістю до змін умов навколишнього середовища (можуть метаболізуватися при рівні рН від 4 до 11, оптимальний рівень рН - 6-8). Вони існують в умовах надлишку субстрату до тих пір, поки весь субстрат не буде гідролізований.

Багато гідролітичних бактерій є факультативними анаеробами. При ферментації стабільних субстратів, таких як лігноцелюлоза, гідроліз стає кінцевим етапом анаеробного процесу. Гідролітичні бактерії філогенетично різноманітні. Найбільша кількість гідролітиків виявлено серед представників *Bacteroidetes* і *Fimicutes*. Залежно від речовин, що розкладаються бактеріями, їх поділяють на протеолітичні, гліколітичні та ліполітичні. Протеолітики виявлені у представників родів *Clostridium*, *Coprothermobacter*, *Anaerosalibacter*, *Caloramator*, *Butyrivibrio* та ін.

Гліколітичні бактерії поширені серед родів *Clostridium*, *Bacteroides*, *Ruminococcus*, *Thermoanaerobacter*, *Acetivibrio*, *Fibrobacter* та ін. Ліполітичні бактерії зустрічаються в родах *Clostridium*, *Bacillus*, *Selenomonas* та ін. Багато бактерій мають здатність гідролізувати різні види біополімерів, а потім зброджувати отримані мономері. Анаеробні гриби також відіграють велику роль у розкладанні органіки.

На стадії ацидогенезу продукти гідролізу перетворюються ферментуючими бактеріями в суміш ГДК (ацетат, пропіонат, бутират, ізобутират, валерат, ізовалерит), лактату, спиртів, форміату, водню і CO₂. Гідролітичні бактерії забезпечують ацидогенні субстрати для росту. Ацидогенні бактерії, в свою чергу, підтримують концентрацію продуктів гідролізу на певному рівні, необхідному для синтезу гідролітичних ферментів. Бактерії бродіння характеризуються високими темпами росту і метаболізму, тому при недостатній активності мікроорганізмів, що утилізують ГДК, відбувається їх накопичення. Бактерії, що бродять, розрізняються за здатністю утворювати молекулярний водень. До бактерій, які не здатні утворювати водень як продукт бродіння, відносяться молочнокислі і пропіоновокислі бактерії.

Продукти метаболізму бактерій, що продукують водень, змінюються в залежності від парціального тиску водню: водень, ацетат і CO₂ утворюються при низькому парціальному тиску, а МАФ, етанол і лактат - при високому парціальному тиску.

Ацидогенні бактерії зустрічаються серед представників *Bacteroidetes*, *Chloroflexi*, *Firmicutes* і *Proteobacteria*, в родах *Bacteroides*, *Spirochaeta*, *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Streptococcus*, *Enterococcus* та ін.

Ацетогенна (синтрофічна) стадія є однією з найважливіших стадій анаеробного розкладання органічної речовини. Утворені в результаті попередніх етапів МАФи і спирти окислюються бактеріями до субстратів метаногенезу – ацетату, водню і CO₂.

Пропіонат і бутират є основними проміжними продуктами розкладання органіки після ацетату. Залежно від субстрату, що підлягає ферментації, в результаті повного мікробного розкладання пропіонату і бутирату синтрофними бактеріями і метаногенними археями утворюється близько 20-43% метану.

Пропіонат є окислювальною бактерією. Синтрофічне розкладання пропіонату відбувається тільки при концентрації водню нижче 10⁻⁴ атм.

Більшість пропіонат-окислювальних синтрофів здійснюють цей процес шляхом метилмалоніл-КоА.

Другий метод реалізує лише один відомий на сьогодні вид, *Smithella propionica*. Дві молекули пропіонату перетворюються в одну молекулу бутирату і одну молекулу ацетату, потім бутират окислюється до двох молекул ацетату і водню.

До пропіонат-окислювальних синтрофних бактерій належать представники родів *Syntrophobacter*, *Smithella*, *Pelotomaculum*, *Desulfotomaculum*.

Бактерії, що окислюють бутират. Розкладання бутиратних і довголанцюгових кислот здійснюється шляхом β -окислення, в основі якого лежить розщеплення ацетильних груп, які шляхом ряду перетворень перетворюються в ацетат, водень і форміат. У своєму метаболізмі бактерії родів *Syntrophomonas*, *Syntrophus*, *Syntrophothermus*, *Thermosyntropha* активно розкладають бутират.

Останнім часом з'являється все більше доказів великого значення синтрофних ацетат-окислювальних бактерій (САОБ), які здатні здійснювати реакції розкладання ацетату до водню і вуглекислого газу в присутності метаногенів, що використовують водень.

В даний час виділено лише кілька САОБ, а саме термофільні *Thermacetogenium phaeum* і *Pseudothermotoga lettingae*, термотолерантні *Tepidanaerobacter acetatoxydans*, а також мезофільні *Clostridium ultunense* і *Syntrophaceticus schinkii*.

САОБ беруть активну участь у розкладанні ОР, і вважається, що найбільший внесок у процес вони вносять при зміні умов травлення, наприклад, при збільшенні навантаження на ОР в біореакторі, при підвищенні температури, а також при високій концентрації амонію і водню.

До ацетогенних бактерій відносяться також гомоацетогени, здатні синтезувати ацетат з водню і вуглекислого газу ($4\text{H}_2 + 2\text{CO}_2 = \text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O}$). Гомоацетогени сприяють перемиканню шляху метаногенезу в бік

ацетокластиків і можуть конкурувати за водень з гідрогенотрофними метаногенами, але спорідненість гомоацетогенів до водню значно нижче і їх активність досить низька.

Процес анаеробного зброджування завершують метаногени.

Середовищем існування метаногенів є морські та прісноводні донні відкладення, шлунково-кишковий тракт тварин, болота, затоплені ґрунти, полігони твердих побутових відходів, гноєсховища та інші природні та антропогенні екосистеми.

Здатністю утворювати метан володіють 50 видів з 17 родів, що належать до архей, які філогенетично дуже неоднорідні. Метаногенні археї представлені наступними загонами: *Methanococcales*, *Methanobacteriales*, *Methanosarcinales*, *Methanomicrobiales*, *Methanopyrales* і *Methanocellales*. Всі метаногени є облигатними анаеробами, зростання яких пригнічується кількістю кисню в газовій фазі 0,004%. Більшість з них є мезофілами, і мають оптимальний ріст при 30-40 °C, оптимальний pH становить 6,5-7,5.

Гідрогенотрофні метаногени використовують CO₂ як субстрат і H₂ як донор електронів. Процес відновлення CO₂ до метану відбувається в кілька етапів. До гідрогенотрофних метаногенів належить більшість представників рядів *метанобактерій*, *метаномікробів*, *метанококів*, *метанопіралів* і *метаноцелалів*. Саме ці організми відіграють важливу роль у процесі ацетогенезу за рахунок споживання водню.

Тільки представники родів *Methanosarcina* і *Methanothrix* (*Methanosaeta*) – *ацетокластичні метаногеногени* – здатні використовувати ацетат як субстрат для утворення метану. Для представників роду *Methanothrix* ацетат є єдиним субстратом, до якого вони виявляють дуже високу спорідненість.

Представники роду *Methanosarcina* мають найширший спектр субстратів, які можна використовувати: активно використовується ацетат, різні метильовані сполуки C₁, а також суміш H₂ з CO₂, H₂ з CO.

Метилотрофні метаногени здатні використовувати метанол, метиламіни, метильовані сполуки сірки. Більшість метилотрофних метаногенів належать

до порядку *Methanosarcinales* (*Methanomethylovorans*, *Methanohalophilus*, *Methanohalobium*, *Methanosarcina thermophila* та ін.).

Отже, анаеробне зброджування представляє собою складний багатоступінчастий процес, у якому бере участь велика кількість мікроорганізмів, що відрізняються метаболічно і філогенетично. У співтоваристві існують трофічні зв'язки, які дозволяють перетворювати сполуки, що окремим мікроорганізмам залишаються недоступними. Серед бактерій, які беруть участь у анаеробному травленні, метаногени виявляються найбільш чутливими до змін умов навколишнього середовища.

5.3. Нагрівання сировини в варильному котлі

Найпоширенішою схемою є використання системи опалення та водогрійного котла, що працює на тепловій енергії, отриманій під час спалювання біогазу на тепловій електростанції. Для передачі тепла використовуються теплообмінники у формі змійовиків, секцій радіаторів або паралельно зварених труб. Теплоносієм є гаряча вода з температурою близько 60°C. Використання більш високих температур може збільшити ризик прилипання зважених частинок до поверхні теплообмінника.

Для уникнення осадження твердих частинок на зовнішній поверхні теплообмінників рекомендується розміщувати їх у робочій зоні мішалки.

При встановленні опалювальної системи важливо забезпечити необхідні умови для природної циркуляції рідини в системі. На трубах опалення слід встановити вентилі для випуску повітря з верхніх точок, а на обладнання опалювальної системи - розширювальний бак для компенсації зміни обсягу води. У середині реактора встановлюють термометр або термостат для контролю температури.

Для підтримки необхідної температури в реакторі найчастіше використовується система труб з теплоносієм, яка монтується в стіну або розташовується перед стінкою бака.

5.4. Змішування сировини в варильному котлі

Перемішування сировини в реакторі сприяє підвищенню ефективності роботи біогазової установки, запобігає випаданню твердих частинок на теплообмінники і дно реактора, а також утворенню кірки на поверхні. Під час безперервної роботи варильного котла необхідне постійне перемішування. Зазвичай змішування здійснюється за допомогою наступних методів: механічні мішалки, біогаз (що пропускається через шар сировини), або перекачування сировини з верхньої зони в нижню (рис. 10).

Робочими органами механічних мішалок можуть бути гвинти, лопаті і планки, які можуть бути приведені в рух вручну, за допомогою електродвигунів або пневматичного обладнання.

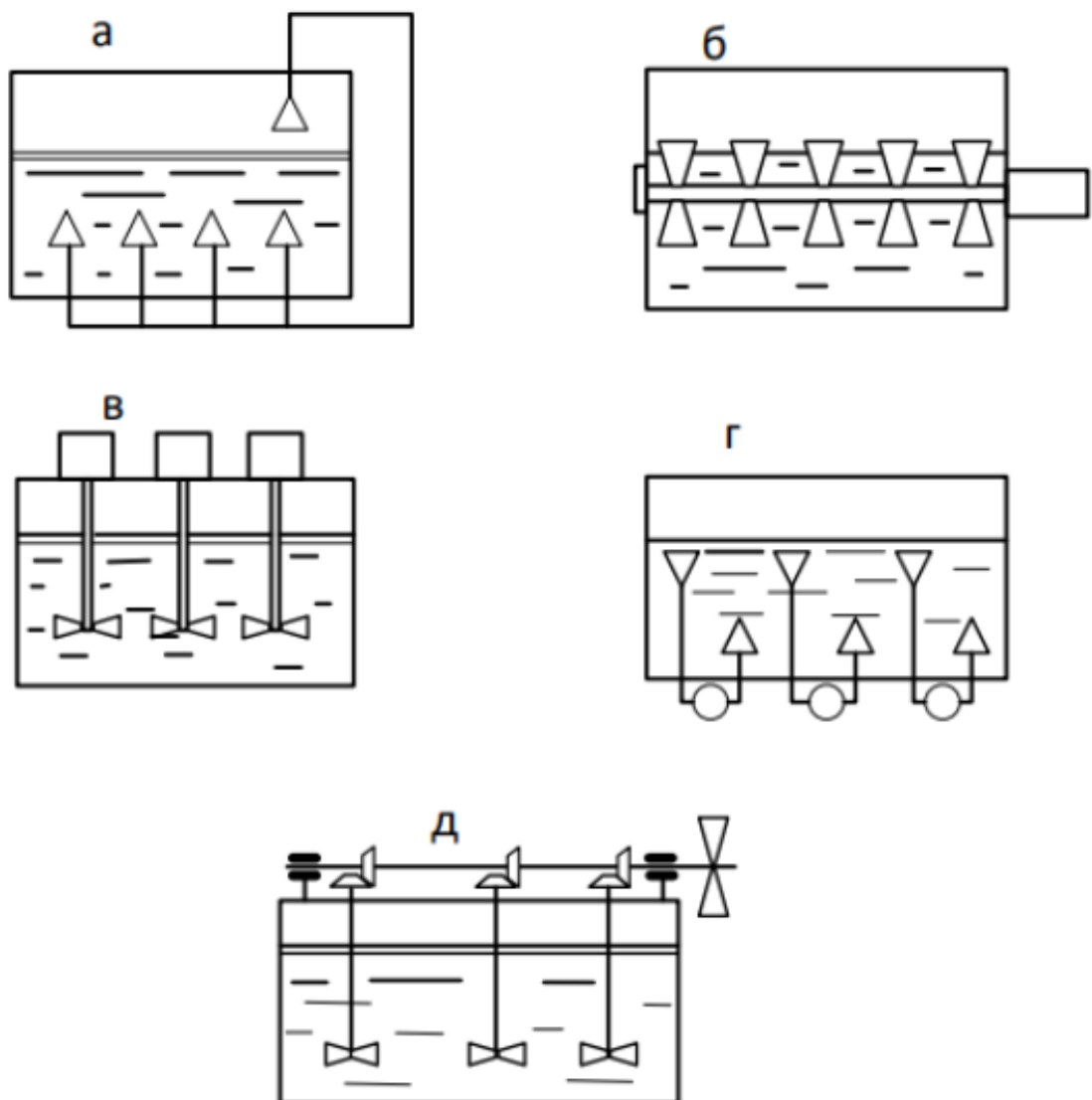


Рис. 10. Способи змішування сировини в варильних котлах:

(а) змішування біогазу; б) лопатеве механічне перемішування; в) перемішування механічними мішалками з електродвигунами; г) перемішування за допомогою насоса; д) змішування з механічними мішалками від вітрогенератора.

Ручні механічні мішалки є найпростішими у виготовленні та експлуатації, коли застосовуються в реакторах невеликих установок з низьким виходом біогазу. З конструктивної точки зору, вони представляють собою шахту, яка горизонтально або вертикально встановлена всередині реактора, паралельно центральній осі. На валу закріплені спіральні поверхневі лопаті, які забезпечують перемішування сировини і біологічних агентів. Це збільшує швидкість процесу анаеробного зброджування і скорочує час перебування вихідної сировини в реакторі. Попутне змішування біогазу менш ефективне, ніж механічне.

Для циліндричних реакторів, в яких співвідношення діаметрів: висота більше 2:1 і об'єм близько 1 000 м³, все частіше застосовують шнекові занурювальні мішалки.

Пропелер приводиться в рух електродвигуном у водонепроникній оболонці потужністю 2,5-25 кВт (в залежності від розміру бака).

Пропелер, в залежності від свого розташування, виробляє потік в горизонтальному або вертикальному напрямку. Щоб уникнути утворення кірочок на поверхні субстрату і осаду, зручно змінювати висоту мішалки. Для мішалки, яка буде обертатися в сторони, трос направляється роликами. Крім того, на рухомому опорі повинен бути встановлений посудину, який заповнюється водою і ущільнює рухому обсадну трубу і нерухомий вал.

Також слід враховувати, що занурювальні двигуни можна використовувати при температурі до 40 °С, інакше вони недостатньо охолонуть. Мішалки з безпосереднім електричним занурювальним двигуном працюють на високих оборотах до 1500 об/хв.

Можлива установка двох мішалок, які монтуються на протилежних кінцях конструкції. Крім того, може бути встановлена додаткова третя мішалка для запобігання утворенню мулу. Діаметр ротора дво- або трилопатевих мішалок залежить в основному від частоти обертання і лежить в межах 300-700 мм.

Дволопатеві мішалки з діаметром ротора 1000-1600 мм, які працюють зі швидкістю 0-160 або 0-100 об/хв, застосовують для перемішування субстратів з високим вмістом СР за допомогою шнекових мішалок.

Для приводу встановлюються гідравлічні агрегати з двигуном потужністю 15 кВт.

5.5. Охорона праці та техніка безпеки

Біогазові установки можуть бути джерелом небезпеки в багатьох випадках:

1) Хоча біогаз ($\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$) легший за повітря, він схильний до розшарування. При цьому вуглекислий газ збирається ($\rho = 1,85 \text{ кг/м}^3$) на дні, а легший метан ($\rho = 0,72 \text{ кг/м}^3$) піднімається вгору. Витік біогазу (як сирого, так і неочищеного) може призвести до отруєння або задухи

2) Біогаз, змішаний з повітрям, може вибухнути, якщо відсоток загальної суміші становить понад 6 відсотків і з'явиться джерело займання з температурою понад 700°C .

3) Небезпеки, спричинені роботою/несправністю обертових частин установки, електроприладів, трубопроводів і посудин, що працюють під тиском.

Затверджені правила безпеки біогазових установок передбачають великий і детальний опис заходів безпеки при поводженні з окремими елементами будівлі, комплектації технічних приміщень для спалювання газу і розміщення генераторів, приймання виконаних робіт, експлуатації та зупинки установки, організації зон підвищеної небезпеки (вибухонебезпечних зон), запобігання аваріям і т.д. Випробування та пусконаладжувальні роботи

біогазової установки повинні відповідати ДСТУ 7588:2014 «Сільськогосподарська техніка. Біогазові установки. Методи випробувань». Крім цього, необхідно враховувати вимоги з охорони праці, оскільки у біогазових установках (БДУ) зазвичай працює окремий персонал. Необхідно надати документ з небезпечними зонами, з якого можна визначити наступне:

- Місця, де можуть утворюватися вибухонебезпечні газові суміші та рівень їх небезпеки;
- Які заходи вживаються для зниження цього ризику;
- Схематичне зображення небезпечних зон. Оборонні дистанції зосереджені на безпеці під час вибуху.

Зона 0 - це зона, де завжди є ризик вибуху (в біогазових установках при нормальній роботі цього зазвичай не відбувається).

Зона 1 охоплює зону, де час від часу виникають вибухонебезпечні середовища різних газів (наприклад, навколо газових факелів).

Зона 2 охоплює зону, де може утворюватися вибухонебезпечна атмосфера газів.

Загальні вимоги до безпеки виробничого обладнання встановлюються згідно з ГОСТ 12.2.003-74, що визначає вимоги до основних конструктивних елементів, органів управління та захисних засобів, що входять у склад будь-якого типу та призначення виробничого обладнання. Згідно з ГОСТ 12.1.030-81, заземлення використовується як захист від ураження людей електричним струмом. Крім того, безпека експлуатації в нормальних умовах забезпечується застосуванням ізолюючих пристроїв, огороженням струмоведучих деталей та низькою напругою. Особи, які працюють з електроустановками, повинні користуватися засобами індивідуального захисту, такими як спеціальне взуття та рукавички. Захисні засоби повинні періодично піддаватися випробуванням і бути захищеними від механічних пошкоджень та впливу факторів, які можуть погіршити їх діелектричні властивості. Заземлення є обов'язковим для забезпечення безпеки.

Під час проведення робіт з відключенням напруги необхідно негайно після перевірки відсутності напруги встановлювати заземлення на струмоведучих частинах. Заземлені струмоведучі елементи мають бути розділені від інших струмоведучих частин видимим обривом, таким як вимкнені вимикачі, роз'єднувачі, роздільники або вимикачі навантаження, або через відсутність запобіжників, демонтовані шини або проводи. Додаткове заземлення також встановлюється безпосередньо на робочому місці у випадках, коли ці елементи можуть бути під напругою (потенціалом), що може спричинити ураження електричним струмом, або коли на них може бути подана напруга понад 42 В змінного струму або 110 В постійного струму від зовнішнього джерела.

При виконанні робіт на біогазовій установці необхідно дотримуватися вимог щодо гігієни праці та виробничої санітарії, а також контролювати відповідність нормам мікроклімату, освітлення, рівня шуму і вібрацій.

Нормативні параметри мікроклімату включають температуру (t , $^{\circ}\text{C}$), відносну вологість (W , %), швидкість руху повітря (м/с) та інтенсивність теплового випромінювання (Вт/м^2). Допуски наведені в таблиці 10.

Таблиця 10.

Вимоги до мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Допустима температура на робочих місцях, $^{\circ}\text{C}$		Допустима відносна вологість на постійних та непостійних робочих місцях	Допустима швидкість руху кисню на постійних та непостійних робочих місцях, м/с
		Постійних	Непостійних		
Холодний	Середньої важкості Пб	15-21	13-23	75	не більш 0,4
Теплий	Середньої важкості Пб	16-27	15-29	70 при 25°C	0,2-0,5

Джерелами виробничого шуму і вібрацій можуть бути різноманітні обладнання, такі як двигуни, вентилятори та насоси. Заходи для захисту від шуму повинні включати розробку шумобезпечного обладнання, використання засобів індивідуального захисту та впровадження будівельних та акустичних методів.

Основними технічними заходами для зниження шуму і вібрацій є правильне проектування масивних фундаментів для вібраційного обладнання, таких як дробарки, з урахуванням динамічних навантажень:

- використання віброутримуючих гнучких вставок на вихлопі від нагнітачів;
- використання вібропоглинаючого гумового покриття;
- шумоізоляція галасливих автомобілів з кожухами.

Контрольні запитання.

- 1. Вкажіть кількість і коротко опишіть основні етапи анаеробного зброджування.*
- 2. Яке значення метатенка у виробництві біогазу?*
- 3. З якою метою нагрівається сировина в варильному котлі?*
- 4. Охарактеризуйте способи перемішування сировини в варильних котлах?*
- 5. Чим небезпечна біогазова установка?*
- 6. Які параметри мікроклімату робочого місця нормалізуються при роботі на біогазовій установці?*
- 7. Що може бути джерелом вібрації в біогазовій установці? Які технічні заходи використовуються для боротьби з цією проблемою?*

Розділ 6

Переробка відходів птахівництва. Вермикомпостування

6.1. Характеристика, зберігання та біоконверсія пташиного посліду

Пташиний послід є важливим органічним добривом, яке відрізняється високим вмістом корисних речовин та легкодоступністю для рослин після внесення в ґрунт.

Залежно від методів утримання птиці, виділяють різні типи пташиного посліду: підстилковий, який має вологість до 50%; напіврідкий (нативний), вологість якого досягає 88%; та рідкий, з вмістом води понад 96%. З технічної точки зору найбільш придатними для біоконверсії є підстилковий та місцевий безпідстилковий пташиний послід. У випадку наявності сепарації, також можна використовувати тверду фракцію підстилки, яка становить 25-30%.

Хімічний склад. Гній містить 15-40% золи, 2,8-4,5% сирого жиру, 14-25% сирі клітковини, 46-48% безазотистих екстрактів, а також безліч мікроелементів: Mn, Zn, Co, Cu, Fe. Мікроелементи виділяються в міру розкладання органіки, тому вони доступні рослинам більш тривалий час, ніж мікроелементи в мінеральних добривах, які діють тимчасово, поки не зв'яжуться у важкодоступні форми.

Тому, розведення пташиного посліду речовинами, які мають менший вміст корисних речовин або водою, призводить до значного збільшення його обсягу та зниження якісних показників.

Поживні речовини у пташиному посліді перебувають у доступній формі, а значна їх частина легко перетворюється у водний екстракт: калій – 75-100%, азот – 30-75%, фосфор – 3-47%. Їх розчинність значно збільшується під час зберігання та розведення водою.

Для зберігання чистого пташиного посліду рекомендується щільно укладати в купи трохи меншого розміру, ніж для гною (ширина підстави 4-5 м, висота 1,5-2,0 м, довжина – довільна). Їх засипають шаром ґрунту товщиною 10-15 см, що не перевищує 25% від загальної маси гумусу. У разі коли вологість підстилки менше 60%, її слід зволожити. Якщо підстилка

перегрілася, зволоження слід повторити, щоб уникнути аеробних умов зберігання.

Хімічний склад гною залежить від виду птахів, способу утримання і троху від їх віку (табл. 11).

Основну частину поживних речовин зосереджено в твердій органічній фракції гною.

Переваги гною як добрива. Пташиний послід є цінним органічним добривом, яке, залежно від типу підстилки, містить від 60% до 85% органічних речовин. Кожна тонна свіжого пташиного посліду містить до 20 кг загального азоту, до 15 кг фосфору та 10 кг калію, що у перерахунку на загальну масу пташиного посліду в країні може забезпечити додатковий урожай в 90 тисяч тонн діючої речовини NPK, або близько 10% від загальної кількості внесених мінеральних добрив протягом останніх років. Поживні речовини добрив легко переходять у водний екстракт: азоту до 70-75%, фосфору до 47% і калію майже до 100%. Крім макроелементів, у посліді містяться різноманітні мікроелементи, такі як марганець, цинк, кобальт, мідь та інші.

Таблиця 11.

Склад пташиного посліду в залежності від виду птиці (%)

Складові	Курячий	Качиний	Гусячий
Вода	56	56,6	77,1
Органічні речовини	25,6	26,2	13,4
Азот	1,63	1,0	0,55
Фосфор	1,6	1,4	0,54
Калій	0,85	0,62	0,95

Значна концентрація органічної речовини в пташиному посліді сприяє його насиченості збудниками інфекційних захворювань, включаючи ті, що можуть впливати на людину.

Хімічний склад пташиного посліду повністю залежить від виду птиці та методу її утримання, оснащення пташника, типу поїлок та іншого обладнання. Пташиний послід, в порівнянні з послідом інших тварин має найбільшу кількість поживних речовин, і їх доступність для рослин також вища. Вміст поживних речовин у посліді значно варіюється в залежності від виду і віку птиці, якості корму, методів годівлі та утримання.

Послід птиці є популярним матеріалом, що складається з твердих і рідких відходів птиці, включаючи суміш сечі та калу. Оскільки птахи споживають більше концентрованих кормів і мають невелике споживання води, їхній послід містить приблизно в 3-4 рази більше макро- та мікроелементів, ніж гній від великої рогатої худоби.

Пташиний послід має значно меншу вологість порівняно з гнієм від великої рогатої худоби, його сипучість відповідає стандартам і він може бути використаний у якості готового добрива у дозах, розрахованих за вмістом азоту. При вологості 60%, послід курей має приблизний склад: 1,8-2% азоту, 1,5-1,8% фосфору та 0,8-1% калію. Крім макроелементів, він також багатий на мікроелементи. Наприклад, у 1 кг сухої речовини міститься 90-160 мг марганцю, 65-90 мг цинку, 5-7 мг кобальту, 12-18 мг міді, 50-75 мг бору і 450-850 мг заліза. Приблизно 30% ваги посліду складають частинки розміром менше 0,1 мм, а приблизно 70% - частинки розміром від 0,1 до 1,0 мм.

Вихід гною в залежності від технології утримання птиці. У птахівництві прийнято кілька технологій: вигульний, клітинний, вольєрний, комбінований.

Спосіб вільного вигулу птахів, таких як кури, гуси, індики, качки, широко практикується на різних типах ферм: від племінних і товарних ферм до цехів, де тримають батьківське стадо птахофабрик. В цей спосіб утримання молодняку характерний переважно для великих спеціалізованих ферм, які розташовані неподалік від міст та промислових центрів.

При вольєрному способі утримання птахів їх тримають під відкритим небом на охороненій території або у спеціальних будівлях легкого типу з

навісом і відкритим фасадом. Місток, який знаходиться під навісом, зазвичай виготовляють із металевої сітки. Підстилку в таких умовах чистять 1-3 рази на рік. Комбінований метод використовується на птахофабриках і великих комерційних фермах для вирощування молодняка, поєднуючи переваги різних систем утримання.

Підлоговий вигул і вольєрний способи прийнято вважати підлоговими. Це може бути як постільна білизна на незамінній глибокій підстилці, так і непостільна на сітчастій або рейковій підлозі. При цьому отримують гній (твердий, вологість менше 60-65%) або підстилку (пластик, вологість 65-90%). При клітковому способі утворюється безкрапельний рідкий послід (вологість більше 90%).

Для підстилки використовують різноманітні матеріали, такі як торф, солому, кукурудзяні качани (для дорослої птиці), лушпиння соняшнику, подрібнені стебла соняшнику, а також листя дерев. Важливо зберігати торф з вологістю не більше 45-50%.

Правила зберігання пташиного посліду регулюються стандартом ВНТП – АПК 04-05, який встановлює вимоги до зберігання підстилкового і безпідстилкового гною на промислових птахофабриках. Згідно з цим стандартом, сховища і майданчики для зберігання гною мають будуватися з урахуванням очікуваного обсягу гною на підприємстві протягом щонайменше півроку. Обсяг посліду можна легко розрахувати, враховуючи, що в середньому одна несучка виробляє до 165 г гною на добу при вологості близько 70%. Об'ємна вага гною зазвичай становить 0,6-0,7 г/см³. Залежно від консистенції підстилки, місце зберігання безпідстилкової повинні мати схил і дно жорсткого водонепроникного чохла. Для напіврідкої консистенції використовують криті напівзаглиблені ділянки до 1,5 м, заглиблені ділянки - до 4 м. Розміри стандартного сховища зазвичай коливаються від 18 до 36 м у ширину і від 60 до 150 м у довжину.

Місця для компостування можуть бути як наземними, так і напівзаглибленими. Вони мають бути асфальтованими і мати нахил від 0,003 до 0,005 для стоків, які направляють дренажні води в накопичувальні ємності.

Гній у сховищах без біоконверсії зберігає токсичні властивості. Звідти його слід відправити на компостування одним із наступних способів. Пройшовши біоконверсію, він стає таким же безпечним, як і добриво.

Біоконверсія: вихід на новий рівень. Сфера аграрної науки описує біоконверсію органічних відходів як їх промислову переробку за допомогою біологічних методів задля отримання добрив природнього походження, отримання біогазу та різних білкових компонентів. Це також може бути біологічним процесом перетворення високомолекулярних сполук вуглецю за допомогою бактерій та грибів.

Під час перетворення органічної речовини та мінералізації токсичних речовин вони розкладаються на прості елементи і сполуки, які стають джерелом мінерального живлення для рослин.

Біоконверсія передбачає свідомий контроль температури, вологості та рівня кисню для сприяння розвитку як аеробних, так і анаеробних бактерій, залежно від використовуваної технології. Цей процес досягається через компостування гною у буртах або спеціальних бункерах. Це важливий технологічний крок у виробництві знезараженої компостної маси, яка є основою для створення нового покоління органо-мінеральних біоактивних добрив (ОМБД).

Згідно європейських стандартів, результатом біоконверсії є компост, який отримують з будь-якої органічної маси і використовують для добрива сільськогосподарських культур у дозах до 10-15 тонн на гектар. Однак, відповідно до наших нормативів, цей компост вважається проміжним продуктом, який слід перетворювати на складні біоактивні добрива з максимальною дозою внесення до 2 тонн на гектар.

Процес біоконверсії не лише очищує гноємасу від мікроорганізмів, але й сприяє утворенню в технологічному процесі органо-мінеральних комплексів,

які включаються до складу мінеральних добрив, подібно до природних процесів. Під час біоконверсії регулюється мікробіологічний склад добрив, що сприяє балансу між руйнуванням та синтезом органічних речовин у ґрунті.

У технології будь-якої біоконверсії передбачено змішування пташиного посліду з іншими органічними додатками, такими як торф, тирса, солома, лушпиння та інші, а також з додаванням мінеральних компонентів, таких як сорбенти, йодообмінники, меліоранти, NPK та інші.

Існує три методи біоперетворення пташиного посліду. Традиційний метод включає використання простої техніки, такої як бульдозери, екскаватори, міксери, трактори, самоскиди і т.д. Цей метод є найбільш доступним і менш продуктивним. Час витримки компосту в такому випадку становить 4-6 місяців.

Сучасний пальовий метод з використанням високопродуктивного змішувача масового виробництва може мати продуктивність до 4000 тонн на годину. Час компостування в такому випадку складає 30-45 днів. Крім того, забезпечується гранулювання та упаковка готової продукції у спеціальні пакети, мішки.

Третій метод - бункерно-ферментативний - це нова вітчизняна технологія біоконверсії, яка включає в себе використання спеціальних бункерів з метою створення аеробних і анаеробних процесів (для зниження термофільних реакцій), які не передбачені в попередніх методах.

Науковий колектив Інституту сільського господарства Національної академії аграрних наук України розробив формули, технології та регламенти для виготовлення органо-мінеральних біоактивних добрив (ОМБД) на спеціалізованих лініях виробництва.

Під час науково-промислових випробувань, які проводилися у різних областях України - Київській, Житомирській, Черкаській, Сумській та Львівській, були отримані високі результати. Зокрема, виявлено, що внесення близького до ОМБД основного добрива у кількості 1-2 тонн на гектар має

схожий ефект з внесенням гною у дозі 30-40 тонн на гектар, а також просапного добрива в кількості 0,3 тонни на гектар відповідає ефективності помірних доз мінеральних добрив (N60P60K60).

Результати польових досліджень свідчать про перспективність використання органо-мінеральних біоактивних добрив (ОМБД) у різних галузях сільського господарства, таких як полівкове господарство, овочівництво, садівництво, зелене землеробство, а також на землях, що потребують меліорації.

Важливо підкреслити, що мінеральні добрива, що складають ОМБД, виявляються на 30-40% ефективнішими для польових культур і вдвічі ефективнішими для овочевих культур у порівнянні з дією лише мінеральних добрив. Це пояснюється формуванням органо-мінеральних комплексів під час біоконверсії та підвищенням біологічної активності ґрунту. Крім того, застосовуючи нашу технологію, можна отримати ОМБД, придатні для вирощування органічної продукції рослинництва.

Важливо зазначити, що добриво піддається лише пташиний послід, який пройшов повний цикл біоконверсії (компостування), що призводить до мінералізації токсичних та патогенних елементів. Навіть свіжовисушений і перетворений в гранули гній залишається токсичним і токсикологічно небезпечним, так само, як і свіжий гній.

Пташиний послід може бути використаний для підживлення ґрунту в різних фазах сільськогосподарських робіт, включаючи передсівбову обробку, оранку під озимі культури, висівання ярих культур, а також для підживлення озимих культур у дозі 5-6 ц/га. За даними наукових дослідних установ, впровадження пташиного посліду веде до підвищення врожайності різних видів зернових культур: у випадку зернових врожаї підвищується на 2-3 ц/га, а для кукурудзи цей показник становить 4-6 ц/га.

Виробництво органічного добрива нового покоління з пташиного пір'я

По всьому світу виробляється значна кількість курячого м'яса, що природно призводить до накопичення великої кількості пір'яних відходів. Ці відходи виявляються чудовим джерелом сировини для виготовлення екологічно чистих органічних добрив.

Пір'я містять різноманітні корисні компоненти, такі як широкий спектр мінералів та макроелементів (азот, фосфор, калій), до 30 мікроелементів, декілька видів гумінових кислот, а також до 15 видів амінокислот та інших елементів у формі, легко засвоюваній для ґрунтової мікрофлори, що забезпечує її родючість.

Використання такого органічного добрива сприяє не лише підвищенню врожайності та якості сільськогосподарських культур та продукції, але і збереженню родючості ґрунту, що є основою сільськогосподарського виробництва.

У країнах Європи використання органічних добрив із пір'я птахів у середньому приносить додатковий дохід у розмірі 67 € на гектар.

6.2. Основи вермикомпостування

Один із методів переробки тваринного гною та повернення частини його поживних компонентів худобі полягає у виготовленні білкових продуктів. Екскременти тварин містять значну кількість органічних добрив, які можуть стати джерелом поживних речовин для мікроорганізмів: різних бактерій (аеробних, анаеробних), дріжджів, цвілевих грибів, мікро водоростей, а також личинок різних мух та комах і дощових черв'яків. Продукти, отримані шляхом біотехнологічної обробки посліду, набувають значних змін, в порівнянні з вихідною сировиною. Наприклад, суха біомаса термофільних бактерій, отримана з рідкої фракції гною, містить близько 55% білка.

Останнім часом значно більше уваги звертається на обробку гною в наслідок життєдіяльності личинок синантропних мух, а також дощових черв'яків.

Процес обробки гною дощовими черв'яками, відомий як вермикультура, має давні коріння. Ідея використання дощових черв'яків для переробки гною

та інших органічних відходів з метою отримання цінних органічних добрив і білкових кормів була вже відома в 1798 році, коли Готард опублікував книгу "Про розведення черв'яків", рекомендуючи годувати курей дощовими черв'яками для підвищення їх продуктивності і стійкості.

У 1930-х роках американський фермер і лікар Барретт вивчав вермикультуру, розводячи дощових черв'яків у дерев'яних ящиках, наповнених сумішшю ґрунту, гною та іншими органічними відходами. Його дослідження принесли до 3000 екземплярів дощових черв'яків на кубічний фут. У 1946 році він описав свій експеримент у книзі.

Імовірно, це сприяло народженню перших великих підприємств з вирощування дощових черв'яків у США у 1950-х роках. В 1959 році в Каліфорнії був виведений окультурений гібрид дощового черв'яка за допомогою методів селекції, який відзначався високою плодючістю та довголіттям. Кожна особина цього гібриду народжує від 500 до 1500 потомків на рік - у 10 разів більше, ніж у дикій природі, і має тривалість життя у 16 років - у чотири рази більше, ніж у природних форм.

Цей гібрид є більш технологічним і може бути успішно вирощений у відкритих культиваторах, таких як грядки. Крім того, до 1980 року у США було створено понад 1500 великих спеціалізованих ферм для вирощування дощових черв'яків. Відомо, що у цій країні існують великі ферми з тваринництва, де весь гноївницький матеріал та відходи переробляються за допомогою черв'яків. Культивовані дощові черв'яки та технології їхнього вирощування експортуються з США.

У 1976 році на промисловій основі розпочалось розведення дощових черв'яків в Італії, а пізніше в цьому занятті приєдналися Англія, Франція та інші країни Західної Європи, а також Японія. Було вивчено технології вирощування дощових черв'яків на різних субстратах та відібрано штами компостних черв'яків, які за своїми біологічними та технологічними характеристиками були подібні до червоного (каліфорнійського) гібрида. У

1989 році цей гібрид був привезений до України фахівцями Івано-Франківської агрохімії.

Технологічні черв'яки пройшли кілька етапів еволюції. При оптимальних умовах утримання (температура субстрату – $22^{\circ}\text{C} \pm 0,5$; вологість – $70 \pm 10\%$; рН – $7,0 \pm 0,5$), цикл розвитку черв'яка триває близько 160 ± 20 днів. У таких умовах черв'яки можуть пройти два цикли розмноження за рік, а їх популяція може збільшуватися в 1000 і більше разів.

За допомогою спеціальних технологічних штамів компостних черв'яків субстрат трансформується два абсолютно різних, але однаково цінних органічних продукти :

1. Біомасу черв'яків, що є цінним кормом природного походження, якого можна отримати від 70 до 100 кілограмів з 1 тонни абсолютно сухої органічної маси, або приблизно 8-10 кілограмів з 1 тонни гною протягом одного циклу розмноження на площі 1 квадратного метра культиватора при "пасивній дозі" 0,5 кілограма на квадратний метр.

2. Гранульоване перегнійне органічне добриво, яке підвищує родючість ґрунту, дозволяє отримати врожайність від 600 кілограмів з 1 тонни сухої органічної речовини або приблизно 400 кілограмів при вологості 50% з кожної тонни гною підстилки з вмістом води 75% за один цикл вирощування черв'яка на 1 квадратному метрі культиватора. Черв'ячний компост містить близько 15% гумусу.

Промислове виробництво черв'ячного компосту та його застосування є ефективним способом швидкого відновлення родючості ґрунту. Промислова біотехнологічна переробка гною за допомогою черв'яків і личинок синантропних мух може стати новою галуззю сільськогосподарського виробництва, яка допоможе вирішити проблему дефіциту тваринного білка та підвищить родючість ґрунту.

Давайте розглянемо деякі конкретні аспекти вермикюльтури, тобто біотехнології, що використовує дощових черв'яків. У цій технології

основними об'єктами є самі черви, зокрема, червоний каліфорнійський черв'як, який є найбільш перспективним для цієї галузі.

Дощові черв'яки відзначаються високою плідністю. Кожна статевозріла особина черв'яків відкладає від 70 до 100 іноді й більше коконів. Кожний кокон містить в середньому 2-3 яйця. З цих яєць через 2-3 тижні вилуплюються нові особини, які вже через 7-12 тижнів стають здатними власними силами відтворювати потомство. Дорослі особини можуть жити від 10 до 15 років, досягаючи в довжину декількох десятків сантиметрів і ваги десятків грамів. Вага молодих особин при досягненні статевої зрілості може становити до 1 грама.

Завершене коло розвитку дощових черв'яків (від народження до статевого дозрівання) триває в середньому 70-80 днів. Ці черв'яки є гермафродитами, тобто у кожної особини є як жіночі, так і чоловічі статеві органи.

Протягом одного дня одна особина черв'яка споживає кількість їжі, що відповідає її масі, приблизно 1 граму. Після перетравлення черв'як виділяє близько 60% біогумусу, що має в своєму складі повний комплект необхідних рослинам поживних речовини в збалансованому вигляді. Біогумус також вологоємний і може містити 70% вологи.

Звичайне перенесення дощових черв'яків з їхнього природного середовища в штучне середовище зазвичай призводить до масового загибелі черв'яків. Лише деякі особини вдаються адаптуватися до нових умов. Після певного періоду всі особини що адаптувалися розпочинають процес розмноження і формування коконів, і процес нарощування біомаси починається.

Тому важливо, щоб рецептура субстратів для черв'яків була стабільною і готувалася з мінімальними відхиленнями від встановлених норм. Черв'яки мають бути пристосовані саме до використовуваного типу субстрату, а не якогось іншого. Саме постійність субстрату та пристосованість до нього черв'яків зумовлює успіх підприємства з вермикультури.

Основою для вирощування черв'яків готуються на основі гною різних видів сільськогосподарських тварин або птиці. Свіжий гній розкладають у бурти для бродіння на термін 3-4 місяці. Після переброджування гною, його змішують з садовою землею, дрібно нарізаною соломною або іншими матеріалами з вмістом целюлози і карбонатом кальцію. Ці компоненти тшратно перемішуються. Лотки заповнюються підготовленим субстратом у кількості 25-30 м³ на 100 м². Після цього субстрат зволожують і заселяють черв'яками у визначеній кількості.

Якщо черв'яки під час випуску в субстрат проникають глибше, то це свідчить про високу якість субстрату, а якщо вони з'являються на поверхні, то це ознака низької якості.

Умови вирощування черв'яків мають наступні параметри: товщина субстрату в культиваторі не перевищує 25-30 см; вологість – у межах 70±10%; температура – 22±5°C; кислотність навколишнього середовища (рН) – 7,0±0,5; витрата води (протягом 140-150 днів) – 1 тонна на м²; щільність «висіву» культиваторів становить 5000 особин на 1 м²; тривалість одного вегетаційного циклу складає 140-150 днів; розрахункова щільність черв'яків – до 50 000 особин на 1 м²; біомаса черв'ячної «культури» – від 6 до 9 кг на м²; відокремлення дощових черв'яків від субстрату; повторне використання глистів і їх яєць.

Італійські науковці вирощують черв'яків на виробничих субстратах зі щільністю приблизно 5000 особин на 1 м², що відповідає близько 1 кг на м². На площі 100 м² культиваторів потрібно 90-100 кілограмів черв'яків.

Якщо використовуються лотки, то їх розмір складає 2×3 метри і вони можуть містити до 100 000 дорослих особин. Черв'яки розмножуються в лотках 36 разів на рік, а кінцевий врожай біогумусу досягає 400 кілограмів на м².

При розведенні черв'яків у штабелях їх висота коливається від 30 до 60 см, ширина становить 1,8 м, а довжина - 20 м. Вихід черв'яків складає 1,5-2 кг на м², а їхня вага збільшується від 5 до 6 разів на рік.

Вирощування дощових черв'яків у промислових об'ємах відбувається на ділянках розміром 120×240×50 см, де налічується близько 50 000 особин загальною вагою приблизно 20 кг. Найбільш підходящим субстратом вважається суміш соломи, посліду та ґрунту у співвідношенні 5:1:2:2. Дно бурту рекомендується застелити сіном люцерни або соломою.

Для вирощування черв'яків в ящиках і траншеях можна використовувати свіжий свинячий гноївкою. Спочатку черв'яків поміщають в частково перепрілий гній товщиною 12-15 см. Після 30-45 днів, коли у субстраті з'являться кокони і молоді черв'яки, можна почати годувати їх свіжим свинячим гноєм. Щоб підживлювати, використовують переважно тверду фракцію, яку розкладають шаром 2-3 см на поверхні субстрату з черв'яками у кількості 10-15 кг на м², або гнойову рідину в такій самій кількості.

Вологість субстрату підтримують в межах 65-70%, для чого поливають 1-2 рази на тиждень залежно від температурного режиму. При використанні гноївки додатковий полив не потрібний.

Вирощування черв'яків на ґрунтовій ділянці, розташованій у тіні або в бетонній траншеї, приносить найкращі результати, дозволяючи збільшити їх біомасу в 7-8 разів протягом 6 місяців, з квітня по вересень. При вирощуванні у ґрунтовій траншеї або в ящиках біомаса черв'яків зростає в 4-5 разів.

На 1 м² щодня можна переробити 1,5 кг гною, а на 1 гектар - 7,5 тонн (з урахуванням під'їзних доріг для техніки площа для розведення черв'яків складає 50% від загальної). За теплу частину року вони на зазначеній площі можуть утилізувати приблизно 1300 тонн гною, при цьому виробляючи 20-25 тонн білкових кормів і 400 тонн біогумусу.

Одним з ключових завдань технології вермикюльтури є розробка економічно ефективного методу відділення черв'яків від субстрату. До цього часу основним способом було використання обертового барабана як екстрактора черв'яків, який служив для вилучення черв'яків як приманки для риболовлі.

Існують інші методи відділення черв'яків від субстрату. Наприклад, для видалення черв'яків з переробленого ними гною можуть використовувати свіжий компост, який розкладають на верху купи і поливають. Протягом 2-3 днів основна маса черв'яків мігрує на верх, де їх легше видалити. Черв'яків разом із свіжим компостом відокремлюють, а залишений біогумус використовують за призначенням.

Під час процедури відділення черв'яків, бурти розкривають, знімаючи верхній шар соломи, який захищає її від пересихання та зменшує освітленість. Черв'яки переміщуються в нижні шари, тоді як верхню частину біогумусу знімають і використовують у господарстві або продають.

Ефективне ведення розведення черв'яків дозволяє отримувати продукцію двічі на рік.

Щодо біохімічного складу черв'яків: на 1 грам сухої маси, вони містять приблизно 20% вуглеводів, 4,5% жирів, 15% мінеральних солей, та 41 мг лізину, 10,1 мг метіоніну, 31,7 мг валіну, 47,5 мг лейцину та 24,6 мг фенілаланіну незамінних амінокислот.

Порошок, отриманий з дощових черв'яків, містить від 72% до 78% білка, що перевищує показники рибного борошна (50%) або концентрату соєвого білка (45%).

Включення білкових добавок у раціон тварин може призвести до зниження витрат корму на 30%, збільшення виходу м'яса на 10% та зниження собівартості продукції на 40%. У разі гострої білкової недостатності ці показники можуть бути в 5-8 разів вище.

Молоді птахи, які отримують дощових черв'яків у дії 8-10 днів у день, швидко ростуть, а їхнє пір'я набуває блиску, що свідчить про їх міцне здоров'я. Дорослим птахам дають 20-30 грам черв'яків на голову.

З 1 га розгорнутих культиваторів можна отримати до 10 000 кг біомаси живих черв'яків на рік. Їх суха маса становить 20% біомаси. Так, з 1 гектара можна отримати 2000 центнерів протеїнового порошку.

Використовуючи отриману білкову добавку у рекомендованій кількості у раціоні тварин (не менше 3-5% від сухої речовини раціону для дорослих тварин і 10-15% для молодняка), можна передбачити їх потребу в поголів'ї худоби в господарстві. Наприклад, використовуючи зазначену кількість білкової добавки, можна збалансувати до 2 тисяч тонн комбікорму для свиней і отримати близько 500 тонн приросту м'яса (відгодівля 2 тисяч голів молодняка свиней на рік).

Важливим фактором є поповнення кількості черв'яків у природному ґрунті. Досліди показують, що наявність їх достатньої кількості у ґрунті стимулює ріст врожайності кукурудзи на 250%, жита на 64%, картоплі на 150%, гороху на 300%.

З кожної тонни субстрату, обробленого хробаками, виходить 600 кілограмів біогумусу, який містить до 30% гумусу і 70% золи. Біогумус накопичує азот, п'ятиокис фосфору, оксид калію, кальцій, магній, залізо і ряд незамінних для рослин мікроелементів.

Використання біогумусу значно покращує якість ґрунту та збільшує врожайність. Наприклад, застосування біогумусу може збільшити врожайність озимої пшениці на 20%, кукурудзи на 30-50%, картоплі на 40-70%, а також підвищити цукристість буряка. Крім того, всі культури стають більш стійкими до захворювань.

Використання біогумусу (черв'ячного компосту) для добрива полів різко зменшує витрати на транспортування гною. Наприклад, якщо на 1 гектар поля зазвичай вносять 40-50 тонн гною, то для досягнення такого ж ефекту при застосуванні біогумусу потрібно лише 3 тонни біогумусу, а для багатьох культур цілком достатньо 1,5 тонни на гектар.

Отже, біотехнологія переробки відходів тваринництва стає важливою та цікавою галуззю сільськогосподарського виробництва, розвиток якої обумовлений розширенням антропогенного впливу на природне середовище, загостренням екологічної проблеми та погіршенням стану охорони природи на планеті.

Ключовим аспектом актуальності нової галузі є можливість додаткового виробництва тваринних білків. Дефіцит цих білків є особливо гостро відчутним як в країні, так і в світі, що сповільнює зростання продуктивності тваринного господарства і птахівництва.

У кінцевому підсумку, виробництво біогумусу розглядається як ефективний метод вирішення проблеми відновлення родючості ґрунту. Це дозволяє вирішити питання гумусової біотехнології, що стає альтернативою хімізації ґрунтів і створює передумови для біологізації сільськогосподарського виробництва.

Контрольні запитання.

- 1. Які фактори визначають склад пташиного посліду?*
- 2. Який негативний фактор пташиного посліду пов'язаний з високою концентрацією органічної речовини?*
- 3. Поясніть поняття «біоконверсія». Як відбувається процес?*
- 4. Назвіть три основні способи біоперетворення пташиного посліду.*
- 5. Що таке процес вермикомпостування?*
- 6. Які два екологічно чисті продукти є результатом вермикомпостування?*
- 7. Яка основна технологічна проблема в загальній технологічній схемі вермикультури?*

Розділ 7

Переробка органічних відходів. Вирощування дріжджових культур і синантропних мух

7.1. Переробка твердих і рідких відходів мікроорганізмами

Особливу загрозу природному середовищу становлять промислові відходи. Однак, за умови належної обробки, гнойові стоки можуть зберегти свою вартість як важливе органічне добриво.

З мікробної біотехнології можна використовувати значні обсяги рідких та твердих відходів сільськогосподарського походження, які дотепер залишалися без використання. Особливо перспективними є швидкоростучі мікроорганізми, які здатні перетворювати нерозкладені відходи сільського господарства у відносно несприятливих умовах, таких як глибокі та поверхневі структури.

Мікроорганізми грають ключову роль у процесі переробки органічних відходів. Залежно від типу та якості відходів, у них можуть переважати різні групи бактерій, що визначає вибір методу переробки. Дуже поширений метод обробки рідких гнойових стоків є їх утилізація біологічним методом, включаючи виробництво кормових та інших препаратів на основі мікроорганізмів. Це дає можливість ефективно та в короткі строки утилізувати вагомні обсяги відходів. Знешкодження біологічними методами може здійснюватися за наступними напрямками:

- вирощування мікроорганізмів на попередньо обробленому гної, яке включає обробку кислотами, лугами, термічну обробку та інші методи;
- вирощування з використанням рідкої фракції гною після сепарації у спеціальних великих ємностях;
- використання щільної фракції гною для вирощування грибів;
- вирощування мікроорганізмів на субстраті зі стічними водами без попереднього очищення.

Зазвичай для бродіння гною застосовують міцеліальні гриби роду *Aspergillces*, *Mucor*, *Trichoderma*, *Rhizopus*, *Geotrichum*, *Micromyces*, а також термофільні (*Lactobacillus*, *Strepto-bacterium*) і мезофільні (*Streptococcus*, *Azotobacterium*, *Pseudomonas*) мікроорганізми. Процес бродіння зазвичай відбувається при температурі 30-38°C протягом 7-14 днів. Схожі методи

виробництва кормових добавок на основі субстрату з гною розроблені в Японії, Великобританії, США та інших країнах. Крім того, дріжджі (рід *Pichia*, *Hansenula*, *Saccharomyces*, *Candida*) також вирощують на стічних водах тваринницьких комплексів для отримання кормового білка.

Наприклад, з 20 тонн свинячого гною з вологістю 80% можна отримати 1 тону кормових дріжджів, а також значну кількість добрив.

Для твердофазного вирощування грибів на щільному субстраті з гною застосовують додавання до свіжих свинячих фекалій пшеничних чи рисових висівок та інших компонентів. Харчова цінність цього продукту порівнянна зі стандартами ФАО. Однак такий метод обробітку не є придатним для стоку гною.

Активність у розкладанні целюлози, а особливо целюлозно-лігнінової основи у мікроскопічних грибів дозволяє використовувати їх для прямої переробки на субстратах з лігноцелюлозних відходів різних переробних комплексів. Гриби можна культивувати як на твердих, так і на рідких середовищах, які містять лігноцелюлозний компонент. Використання твердофазної ферментації відходів з грибами є поширеною практикою в Європі та США. Гриби культивують на гідролізованому твердому гнойовому матеріалі, який змішується з подрібненою соломною та будь-яким твердим целюлозовмісним середовищем, а також з додаванням гною або мінеральних добрив. Крім того, швидкозростаючі штами фузарії можна культивувати на різноманітних целюлозно-лігніновмісних відходах.

У випадку прямої біоконверсії щільних відходів агропромислового комплексу перевага надається термофільним міксоміцетам. Вони відрізняються більшою кількістю ферментних форм порівняно з мезофільними видами, що робить їх більш пристосованими до зовнішніх теплових умов. Найбільш перспективними для вирощування біомаси і білка можуть бути термофільні міксоміцети, які також мають здатність рости в нестандартних умовах кислотності, наприклад, у високолужних середовищах. При цьому створюються сприятливі умови для росту грибків,

пригнічуються бактерії та інша мікрофлора, що сприяє розвитку грибкових культур.

Перспективною є біотрансформація рослинної сировини дріжджоподібними грибами, які характеризуються короткою фазою лагу, наявністю гідролітичних ферментів та стійким зростанням мікробних спільнот навіть у навколишніх умовах, які не є повністю стерильними. Наприклад, дріжджі роду *Candida* успішно культивують на негідролізованому гної. Внаслідок цього процесу утворюється продукт, який може служити як кормова добавка. Перевагу білкових препаратів відрізняють дріжджові асоціації з міцеліальними грибами і бактеріями. У цих асоціаціях головну роль у підготовці субстрату виконують гриби і бактерії, тоді як дріжджі є основними продуцентами мікробної біомаси. Для зниження собівартості та прискорення технологічного процесу при виробництві білкових препаратів потрібно виключити з нього витратні процеси кислотного гідролізу.

Для глибокого культивування бактерій використовують фекалії тварин як основу живильного середовища. Ці фекалії попередньо обробляються - їх розводять, дезодорують та підігрівають. Потім до гною додають органічні поживні речовини, такі як глюкоза, патока, метанол, а також солі та вітаміни. За таких умов середовище створюється, на ньому протягом 7-14 днів вирощуються термофільні і мезофільні бактерії.

Дріжджі вирощуються на відходах свиноферм, що сприяє зниженню органічного забруднення в середньому на 90% за даними ГДК.

Існують технології вирощування бактерій й мікроводоростей, які дають можливість швидко мінералізувати субстрат. Фототрофні бактерії роду *Rhodopseudomonas capsulata*, пропіоновокислі бактерії та інші можна використовувати для очищення стічної води з гноєм, що утворюються на свинокомплексах. Це дозволяє значно знизити вміст вуглецю в субстраті, позбавити його неприємного запаху та зменшити кількість сірковмісних речовин.

Практично всі категорії мікроорганізмів, такі як бактерії, гриби, актиноміцети та дріжджі, мають потенціал для ефективного використання у біотрансформації вторинної сільськогосподарської сировини. Дослідження підтверджують високу ефективність целюлозолітичних бактерій, таких як целюломонади, у процесі конвертації рослинних матеріалів у силосі разом із соломою.

Перспективний напрямок у біотрансформації бурого соку зелених рослин полягає в його обробці молочнокислими бактеріями (*Lactobacillus*). Ця процедура спрямована на стабілізацію білкових компонентів соку, його збагачення органічними кислотами та придбання пробіотичних властивостей. Для вирощування ацидофільних бактерій використовують рідкий гній, в який додають легкоусвоювані джерела вуглеводів, такі як патока, метанол або глюкоза. Отримана біомаса містить до 71,1% сирого протеїну. Вирощування пропіоновокислих бактерій на розведеному свинячому гній дає можливість виробити білковий препарат з рівнем сирого протеїну у діапазоні від 29,6% до 36,5%. Додавання молочної сироватки до розведеного свинячого гною після бактерій що виконують пропіоновокисле бродіння, при температурі 20-30°C протягом 42-48 годин дозволяє отримати компонент, який багатий білком і має у своєму складі значимий рівень вітаміну B12.

Важливо відзначити, що найбільш інтенсивний процес утворення протеїну з перетворенням субстрату відбувається за активного перемішування, аерації, високої температури та використання термофільного штаму бактерій як продуцентів і формувачів білкового компоненту. Однак зазначена стратегія прискорення біологічного розкладання субстрату потребує постійної його гомогенізації та насичення киснем, що неодмінно потребує підвищених затрат на її виконання.

Відомий ще один метод утилізації відходів сільського господарства шляхом культивування бактерій в анаеробних умовах для виробництва біогазу та щільних залишків як цінного органічного добрива.

Обробка розбавлених відходів (1-4% сухого залишку) методом анаеробного бродіння з отриманням біогазу стає доцільною лише при згущенні рідких екскрементів опадами. Високий ступінь згущення вихідного субстрату на основі гною дає можливість отримувати високий ступінь ефективності процесу анаеробної обробки.

Мікробіологічні перетворення виявляються більш привабливими порівняно з хімічними або фізичними процесами, оскільки вони забезпечують виконання комплексу реакцій у природних умовах. Крім того, мікроорганізми мають здатність модифікувати субстрат і використовувати нерозвинені елементи середовища. Завдяки широкому спектру субстратної специфічності своїх ферментів, мікроорганізми переважають перед макроорганізмами та технічними методами обробки органічних субстратів. Важливо також пам'ятати, що мікробіологічне перетворення оброблених субстратів розв'язує ключову проблему перетворення енергії мікроорганізмів та "відходів" у продукти, необхідні людині.

7.2. Особливості вирощування дріжджів

Біоконверсія складних відходів сільського господарства є реальною можливістю для отримання значних обсягів білкових кормових продуктів. Дріжджі виявляються найбільш перспективними в цьому процесі. Вони розвиваються набагато швидше на субстратах, що мають компоненти більш щільної структури. Вирощування дріжджів на відходах свиноферм дозволяє зменшити органічне забруднення в середньому на 90% у порівнянні зі стандартними показниками БСК.

Стоки рідкого гною зі свиноферм містить приблизно 0,5-2,0% сухої речовини, близько 1% розчинених і 3,0-3,5% зважених речовин. Для підвищення щільності включають компоненти інших галузей, що сприяє збільшенню питомої швидкості росту дріжджів і підвищенню їх продуктивності.

Виготовлення дріжджової біомаси з рідких відходів сільського господарства супроводжується видаленням основної частини органічних речовин з цих матеріалів, які можуть забруднювати навколишнє середовище. Цей процес є ефективним етапом перед обробкою складних відходів, таких як рідкий гній, на біологічних очисних спорудах.

Під час обробки дріжджів маловідходних рідких відходів відбувається значне зниження кількості живих мікроорганізмів, які можуть виділятися у навколишнє середовище. Серед них можуть бути умовно-патогенні мікроорганізми, які можуть спричиняти інфекційні захворювання у тварин та людей.

Дріжджі можуть бути вирощені без необхідності суворої асептики. Найкраще вони ростуть на гнойових стоках. Власна бактеріальна флора гнойових стоків не перешкоджає росту дріжджів.

В культурах дріжджів, що вирощуються на нестерильних стоках, спостерігається підвищений вихід сирого протеїну в отриманих дріжджових препаратах. Водночас, існує можливість утворення метаболітів гнойових мікроорганізмів, які, в свою чергу, можуть позитивно впливати на зріст дріжджів. Не варто виключати, що хімічний склад гнойових стоків може змінюватися під час їхнього знезараження високими температурами. Культивування дріжджів з використанням нестерильних стоків майже зовсім усуває специфічний запах гнойових стоків, що відрізняється від ситуації при стерильному вирощуванні, де цей запах може зберігатися. Максимальний синтез білка дріжджами роду *Candida* спостерігався на рідких гнойових стоках за умови підбору оптимальних умов їх харчування.

У практичному здійсненні переробки відходів часто виникають ситуації, що ускладнюють процес, особливо нестандартний характер сировини. Стоки гною рідкої фракції в залежності від способу очищення приміщень від посліду тварин (гідропромивка, самосплавні, комбіновані методи) можуть сильно відрізнятися за хімічним складом. Вміст сухої речовини визначає різну активність та швидкість розвитку дріжджів, на якість субстрату впливає

якість кормів при годівлі тварин, система очищення та зберігання відходів від тваринництва, а також застосування різних хімічних антисептиків під час годівлі і дезодорації приміщень для тварин. Слід враховувати, що гнойові стоки можуть перебувати в трубопроводах та різноманітних резервуарах тваринницьких підприємств від однієї-двох годин до декількох днів. Такий процес накопичення провокує розвиток у цьому матеріалі специфічної мікрофлори, яка може змінювати біологічні та хімічні якості вихідного субстрату. Діяльність цієї мікрофлори може мати як негативний, так і сприятливий вплив на ріст дріжджів, які вирощуються на рідких стоках гною. Процес «дозрівання» відходів має відбуватися за рН 4,5-5,5.

Внаслідок проходження зазначених процесів, реалізується можливість на основі життєвого циклу дріжджів знешкодити та перетворити на корисні компоненти тверді та рідкі відходи тваринного походження. Разом із виробництвом харчових компонентів з високим вмістом мікробного білку, отримуються інші вагомні результати:

- нейтралізація несприятливих домішок у вихідних компонентах,
- запобігання забрудненню природнього середовища,
- забезпечення більшої стабільності екологічної ситуації. Зі стічних вод вилучається до 90% компонентів органічного походження і мікроорганізмів, які там знаходяться. Первинне вирощування дріжджів допомагає привести стоки тваринництва до санітарних норм під час подальшої їх обробки на станціях біологічної очистки.

7.3. Використання синантропних мух

Переробка свинячого і пташиного посліду личинками відкриває перспективи для розвитку та впровадження безвідходних технологій виробництва м'яса на промисловій основі у свинарстві та птахівництві. Метод біологічної переробки дозволяє конвертувати складні органічні сполуки, що містяться в гної і посліді, а також розвинену мікрофлору,

насичену білками, жирами, амінокислотами і мікроелементами, в кормовий мікробний білок, який після дезінфекції використовується для годування тварин. У процесі переробки пташиного посліду личинки мух перетворюють в'язкий субстрат з вологістю 80% в пухку масу з вологістю 40% і рН 9,5 протягом 5 днів за температури 20°C.

Після завершення переробки гною, личинки відокремлюють від субстрату, сушать і переробляють у борошно, яке використовується як білкова добавка до основного раціону птиці. Шрот, отриманий з личинок кімнатної мухи, що культивуються на свинячому гної, представляє собою суху пухку масу з вмістом води від 8% до 10%, білка від 45% до 55%, жиру від 16% до 21% і до 5% метаболічної енергії. У 1 кілограмі міститься: кормових одиниць від 0,99 до 1,26, перетравного протеїну від 340 до 430 г, лізину від 33 до 40 г, метіоніну від 10 до 15 г, цистину до 12 г, кальцію від 6 до 8 г, фосфору від 10 до 12 г. Впровадження цієї технології у птахівництві дозволить зменшити дефіцит кормів для тварин на третину, отримати органічне добриво з покращеними фізико-механічними характеристиками та забезпечить захист навколишнього середовища від забруднення відходами тваринної діяльності.

Технологічний процес масового виробництва кімнатних мух включає кілька етапів: вирощування личинок для формування маточного стада мух, підготовку пупарій, утримання мух у спеціальних приміщеннях (інсектаріях) та їх послідовне транспортування.

Личинки кімнатних мух культивують на свинячому гної або птичому посліді в спеціальних лотках з листового заліза розміром 200×90×15 см. У цих лотках гній або послід укладають рівним шаром (не більше 10 см) масою 80-100 кг. Норма насіння становить від 0,24 до 0,30 грама на кілограм субстрату. Температура у приміщенні підтримується на рівні 22-25°C, а вологість коливається в межах 60-80%.

Технологічний процес масового виробництва кімнатних мух включає кілька етапів: вирощування личинок для формування маточного стада мух,

підготовку пупарій, утримання мух у спеціальних приміщеннях (інсектаріях) та їх послідовне транспортування.

Личинки кімнатних мух культивують на свинячому гної або птичому посліді в спеціальних лотках з листового заліза розміром 200×90×15 см. У цих лотках гною або гнію укладають рівним шаром (не більше 10 см) масою 80-100 кг. Норма насіння становить від 0,24 до 0,30 грама на кілограм субстрату. Температура у приміщенні підтримується на рівні 22-25°C, а вологість коливається в межах 60-80%.

Для розмноження відбирають пупарії, вага яких до вильоту становить не менше 18 мг.

Для утримання дорослих мух використовують клітки розміром 100×60×80 см. На кожну муху припадає 8-10 см³ простору, 0,5-0,6 см² площі стін для відпочинку і 0,4 см² для поливу. У кожному дитячому садку можна розмістити 50 тисяч дорослих мух. У інсектарі об'ємом 162,5 м³ розташовано 60 кліток, що використовуються для експлуатації протягом 6 циклів. Цикли з пупаріями заряджаються через 2 дні.

Після прокидання мух у клітки подають їжу і воду. У раціон можуть входити знежирене молоко, цукор-сирець і відходи пивоваріння. Через 4-5 днів після прокидання мух у клітки ставлять стаканчики з приманочними речовинами для стимуляції процесу відтворення (послід тварин чи птиці або шар спеціального паперу, просоченого вуглекислим амонієм). Відкладені яйця кожного дня збирають..

На етапі утримання дорослих особин в клітках і отримання яйцекладки технологічного ланцюжка переробки гною були розроблені і успішно випробувані механізовані агрегати для напування мух, згодовування курячої крові, бурякової патоки, яйцекладки.

Наступний етап технології - обробка гною личинками і мухами. Процес відбувається на протязі 7 днів.

В даний час успішно функціонує кілька видів рослин для вирощування личинок. Лабораторією розроблені агрегати УКТ-1,0 карусельного типу,

корито-стаціонарні агрегати з використанням подвійного дна та інші; У НДІ тваринництва є корито-стаціонарне, а також культиватор ерліфтного типу. Наступний етап - відокремлення личинок від використаного субстрату.

Завершальним етапом технології є сушка личинок (при вологості понад 60% - підсихання переробленого гною), а також упаковка готової продукції в поліетиленові пакети.

Для запобігання поширенню інфекційних та інвазійних захворювань у тварин сільськогосподарських господарств рекомендується використовувати оптимальний режим обробки личинок, що відповідає ветеринарно-санітарним стандартам, а саме сушіння та дезінфекція в барабанній сушарці АМВ-40.

Включення личинкового шроту у раціони телят дозволяє задовольнити потребу у знежиреному молоці на 25-30% без негативного впливу на приріст і фізіологічний стан тварин.

Для складання комбікормів або зернових сумішей для телят 45-денного віку рекомендується додавати личинкову муку у кількості 100-200 г на голову, що знижує споживання компонентів молочного походження у раціонах до 25% і не має негативного впливу на проходження процесу травлення та загального здоров'я тварин.

Заміна молока або знежиреного молока личинковим борошном у складі раціонів на рівні 15-30% поживності не має негативного впливу на ріст, розвиток і проходження фізіологічних процесів у телят. Дослідження впливу комбікормів у складі раціонів на курчат-бройлерів також показали позитивні результати на їхню живу масу та екстер'єрні показники. Включення 20% личинкового борошна у корми курей дослідної групи призвело до покращення живої маси бройлерів.

В результаті досліду було встановлено, що використання нового білкового корму сприяло покращенню зросту та розвитку молодняку. Після завершення експерименту курчата з дослідної групи виявилися значно вагомішими і мали вищий приріст в порівнянні з контрольною групою.

У дослідному господарстві НДІ генетики і тваринництва вирішили годувати гібридних курей-несучок комбікормом, включаючи 5,6% личинкового борошна замість м'ясо-кісткового борошна, протягом 7 місяців. Вміст протеїну в цьому кормі становив 18%, а введення 5,6% борошна з личинок мух підвищило його рівень до 19,29%, що позитивно позначилося на якості корму.

Внаслідок включення борошна з личинок у комбікорм для несучих птахів спостерігався зріст несучості на 3,6%, збільшення маси яйця на 2 грами, підвищення індексу жовтка на 0,01 та збільшення виживаності пташенят на 12%.

Морфологічний і біохімічний аналізи не виявили відхилень в якості яєць.

Багаторічні наукові та економічні експерименти свідчать про можливість використання личинкового борошна в раціонах молодих свиноматок, що використовуються для відтворення стада, і відгодівлі решти худоби. Новий білковий корм не має негативного впливу на здоров'я тварин, репродукцію, відгодівлю та якість м'яса.

Включення личинкового шроту у раціон свиней під час інтенсивного відгодівання у діапазоні від 5% до 15% від поживності дозволяє досягнути середньодобового приросту ваги від 760 до 800 грамів, при цьому не впливаючи негативно на якість сперми, запліднення свиноматок та розвиток нащадків.

Отже, одним з методів комплексного розв'язання проблеми насичення раціону годівлі кормовим білковим компонентом при промисловому вирощуванні тварин та птиці, утилізації їх посліду є впровадження безпечних для природи способів переробки органічних відходів. Цей метод дозволяє одночасно отримувати тваринний білок та органічні добрива з покращеними фізико-механічними характеристиками.

Аналогічна технологія обробки посліду розроблена для використання в промисловому кролівництві. Вона є ефективною, економічно вигідною і

закінчується виробництвом білкового борошна для комбікормових заводів і перегною для теплиць. Також можливе безвідходне виробництво шовку.

Після обробки личинками мух свинячий гній перетворюється на високоякісне органічне добриво з нематодоцидною дією, що має особливу цінність для використання в теплицях.

Внесення біогумусу у ґрунт у розрахунку 400 г на квадратний метр допомагає знизити кількість калових нематод та відсунути терміни їхньої появи на 1,5 місяці порівняно з контрольною групою. Крім того, кількість хворих рослин зменшується з 15 до 0,8%.

Нематодоцидна дія біогумусу в основному пояснюється наявністю інгібуючих компонентів, що продукуються під час біологічного методу перетворення субстрату личинками мух. Одна тонна вихідного свинячого гною може забезпечити надходження від 400 до 500 кілограмів біогумусу.

Контрольні запитання.

- 1. Які дріжджі краще вирощувати зі стоку гною?*
- 2. Які позитивні побічні ефекти, крім виробництва кормових препаратів, досягаються за допомогою дріжджів при переробці відходів тваринництва?*
- 3. Яку цінну продукцію можна отримати, впровадивши в технологію свинарства або птахівництва процес утилізації гною личинками синантропних мух?*
- 4. Які параметри личинок мух кормової муки?*
- 5. З яких етапів складається технологічний цикл серійного виробництва кімнатних мух?*
- 6. Який найкращий метод обробки личинок для запобігання поширенню інфекційних та інвазійних захворювань у сільськогосподарських тварин та птиці?*
- 7. Яке застосування борошна, отриманого з личинок мух?*

Розділ 8

Біотехнологія очищення стічних вод

8.1. Біотехнологія очищення води

Порушення природної рівноваги та погіршення якості води в багатьох водоймах стали невід'ємними наслідками господарської діяльності людини. Промислові та побутові стоки, які виливаються у природні водойми, містять велику кількість забруднюючих речовин та токсикантів. В таких умовах самостійне відновлення водних джерел стає неможливим, що ставить перед нами нагальну потребу у впровадженні сучасних екологічно чистих та ефективних методів очищення стічних вод. Особливу увагу слід звернути на очищення стоків, що повертаються до водних об'єктів, а також тих, які можуть бути використані повторно.

Стічні води - це водна система, насичена безліччю речовин, що утворилася в результаті побутової та промислової діяльності, через що вона придбала значні зміни в своєму первісному хімічному складі або втратила свої фізичні властивості і стала непридатною для зворотних процесів. Слід зауважити, що склад і характеристики промислових стічних вод варіюються в залежності від типу виробництва та виду забруднення. Кількість забруднюючих речовин відображається на продуктивності технологічних процесів.

Очищення стічних вод є складним мультиступеневим процесом, спрямованим на відновлення якості забрудненої води з метою подальшого використання. Спочатку цей процес передбачає зменшення або видалення з води забруднюючих компонентів, таких як органічні сполуки, колоїди або тверді частки, а також знищення патогенних бактерій і інших забруднень.

Серед різноманітних сучасних методів очищення промислових і побутових стічних вод біологічна обробка визнана найбільш екологічною.

По-перше, цей метод ґрунтується на природних процесах, де гетеротрофні мікроорганізми використовують органічні та деякі неорганічні сполуки, такі як спирти, білки, вуглеводи, аміак, нітрати, фосфати, солі тощо, як джерела харчування та енергії. В процесі розкладання цих речовин мікроорганізми виділяють воду, вуглекислий газ, сульфат-іони та катіони деяких металів, а також використовують частину їх для власного росту та розмноження, що відбувається шляхом утворення біомаси. По-друге, мікроорганізми мають властивість швидко накопичуватися та утворювати колонії, що спрощує їх відокремлення від очищеної води.

Організми, зокрема бактерії, є ключовими у процесі очищення води від органічних речовин. Однак для досягнення значних результатів у очищенні води необхідно використовувати не лише бактерії, а й різноманітний спектр гідробіонтів-очищувачів, від бактерій і водоростей до хребетних, як це відбувається в природних водних екосистемах.

Особливістю нової технології є використання багатоступеневої анаеробно-аеробної очистки стічних вод з використанням нерухомих мікроорганізмів. Цей підхід має наступні переваги: збільшення ефективності очищення води від високомолекулярних органічних і неорганічних речовин, зниження енерговитрат на очищення, підвищення надійності очисних споруд у умовах добових та сезонних змін споживання стічних вод, а також зменшення обсягів осадів, що утворюються, та витрат на їх зневоднення та утилізацію.

Існує декілька типів устаткування для біологічної очистки стічних вод: біофільтри, біологічні ставки та аеротенки.

Основним традиційним методом біологічної очистки стічних вод є їх обробка активним мулом у аеротенках. Типова технологічна схема такої очистки полягає в наступному: після уважної механічної обробки для видалення сміття, піску, жиру та інших домішок, які осідають або плавають у гравітаційному полі, стічні води потрапляють у вузьку (3-11 м), глибоку (4-6 м) та довгу (50-250 м) споруду, де вони очищаються складним

гідробіоценозом - активним мулом - за постійної аерації. Після тривалого очищення (6-24 години і більше) вода надходить у вторинний відстійник, де відокремлюється від активного мулу, а потім проходить через третинну фізико-хімічну обробку (іноді з наступним хлоруванням) у проміжних водоймах (ставках), після чого виливається в річку. Частина активного мулу, яка відокремлюється у вторинному відстійнику, повертається на станцію біологічної очистки, аеротенк. Зайвий мул створює складні екологічні та технологічні проблеми, які необхідно вирішувати за допомогою цієї технології. Він містить велику кількість небезпечних вірусів, мікроорганізмів, яйця гельмінтів тощо, а також іони важких металів, біологічно стійкі, токсичні і навіть мутагенні сполуки.

У біофільтрах стічні води проходять через шар крупнозернистого матеріалу, що покритий тонкою бактеріальною плівкою. Ця плівка сприяє інтенсивному проведенню процесів біологічного окислення і виступає як активна відправна точка у біофільтрах.

У біологічних ставках очищення стічних вод відбувається за участю всіх організмів, які мешкають у водоймі.

Біологічний метод є дієвим у процесі очищення муніципальних стічних вод, а також використовується для обробки відходів в нафтопереробній, целюлозно-паперовій промисловості та виробництві штучного волокна.

8.2. Показники забруднення стічних вод

На кожному кроці процесу очищення стічних вод здійснюється суворий контроль якості води. Це включає докладний аналіз складу стічних вод, який не обмежується лише визначенням концентрацій різних речовин, але й здійснюється для повного розуміння якісного і кількісного складу забруднень. Потреба у такому аналізі випливає з унікальності кожної системи очищення, оскільки стічні води можуть містити токсичні речовини, які

можуть завдати шкоди мікроорганізмам і вплинути на ефективність системи очищення.

Нескладно визначити такі параметри, як органолептичні (колір, зовнішній вигляд, запах, прозорість, каламутність), оптична щільність, рН, температура.

Визначення вмісту органічних речовин у стічних водах є ключовим для ефективного контролю за роботою очисних споруд, повторного використання стічних вод у технологічних процесах, вибору методу очищення та доочищення, завершення процесу очищення і оцінки можливості скидання води у водоймища.

Для визначення вмісту органічних речовин широко використовуються два методи: хімічна потреба в кисні і біохімічна потреба в кисні. У першому випадку методика базується на окисненні наявних речовин у стічних водах за допомогою 0,25% розчину дихромату калію під час кип'ятіння зразка протягом 2 годин у 50% розчині сірчаної кислоти. Для повного окислення органічних речовин застосовується каталізатор - сульфат срібла.

Дихроматний метод є досить простим і легко піддається автоматизації, що зумовлює його широке застосування.

Біохімічна потреба в кисні вимірюється кількістю кисню, який споживають мікроорганізми під час аеробного біорозкладання речовин у стічних водах протягом заданого інтервалу часу в стандартних умовах. Для визначення біохімічної потреби в кисні необхідне спеціальне обладнання. У герметичному ферментері знаходиться певна кількість тестових стічних вод, які забруднюються мікроорганізмами. Під час культивування зафіксується зміна кількості кисню, який витрачається на окислення сполук, що містяться в стічних водах. Оптимальніше культивувати мікроорганізми, які вже працюють у функціонуючих біологічних системах та адаптовані до конкретного спектру забруднення.

Оцінка лише одного показника якості стічних вод, будь то хімічна або біохімічна потреба в кисні, не завжди достатня для визначення їх придатності

для біологічної очистки або ступеня остаточного очищення. Існують групи сполук, які не можна оцінити за хімічною потребою в кисні, але вони можуть бути доступними для біохімічного визначення кисню, і навпаки. Це свідчить про необхідність використання обох методів одночасно для оцінки ступеня чистоти стічних вод.

Кількість кисню, який споживається в процесах окислення забруднюючих речовин (хімічна потреба в кисні - ХСК і біологічна потреба в кисні - БСК), визначається концентрацією і спектром домішок, присутніх у воді.

- ХСК - це хімічна потреба в кисні, яка вказує на загальну концентрацію хімічних домішок, які потрібно видалити.

- БСК - це біологічна потреба редуцентів у кисні, яка показує концентрацію органічних речовин у стічних водах, що потребують повного окислення.

Значення БСК можуть варіюватися від 200 до 3000 мг О₂/л. Існують різні типи БСК, такі як БСК₅ (п'ятиденний), БСК₂₀ (двадцятиденний), а також БСК (повний). BOD_{full} вказує на час, необхідний для повного окислення всіх речовин у стічних водах до кінцевих продуктів у резервуарі.

Параметри забруднення стічними водами включають:

- ХСК, що вказує на загальну концентрацію органічних речовин;
- БСК, що вказує на концентрацію органічних сполук, які окислюються біологічним шляхом (концентрація зважених речовин);
- активну реакцію рН-середовища, яка вказує на рівень кислотно-лужного балансу;
- інтенсивність забарвлення, яка вказує на наявність фарбувальних речовин і окислювальних процесів;
- ступінь мінералізації;
- концентрацію поживних речовин, таких як азот, фосфор, калій, та інші.

При випуску стічних вод у водойму в неочищеному вигляді можливе повне використання кисню, що призводить до зниження його рівня. Тому

перед скиданням стічних вод у природні водойми необхідно очистити їх до такого рівня, щоб після скидання БСК залишався в межах санітарних норм.

8.3. Роль аквакультури в очищенні стічних вод

Крім мікроорганізмів, у процесах самоочищення води бере участь практично вся жива популяція гідроценозів - представники рослинного і тваринного світу. Значну роль у відновленні якості води відіграють представники тваринного світу, зокрема, окремі групи безхребетних - вільноживучі водні одноклітинні і дрібні багатоклітинні - коловертки, нематоди, ракоподібні та інші.

Особливий інтерес представляють безхребетні через їх активну участь в перетворенні речовин і енергії в гідроценозах, сприяючи біологічному очищенню води і відновленню її якості. Можна стверджувати, що в біореакторах для очищення води на біомасі переважають бактерії. Частка найпростіших та інших безхребетних, що утворюють трофічні ланцюги, у цих специфічних гідроценозів значно менша. Роль безхребетних в очищенні забрудненої води досі не вивчена достатньо. Зокрема, невідомо, які групи та види безхребетних найбільш доцільно використовувати у процесах відновлення якості води та які умови є оптимальними для досягнення високого рівня водоочищення.

Висока активність мідій у фільтрації води, здатність яких прочищати до 45-50 літрів води за добу, робить їх прикладом чистих місць для проживання. Живі організми, що складають гідробіоценози, є важливою компонентою будь-якої водної екосистеми. Ця біологічна система охоплює популяції рослин, тварин і пелет, які заселяють конкретні біотопи, а також включає редуценти (редуценти), продуцентів і споживачів.

У гідробіоценозах не всі компоненти мають однаковий вплив на очищення води через різний рівень їх щільності населення. За цим показником ідентифікують домінантів, субдомінантів, домінантів і випадково уведені види.

Згідно з класифікацією, розробленою С. А. Карповим, особливу роль у процесах очищення води відіграють таксони, такі як Euglenozoa, Rhizopoda, Ciliophora і Heliozoa.

У типі Euglenozoa заслуговують на увагу представники класів Euglenoidea, Diplonemea і Kinetoplastidea.

Клас Kinetoplastidea включає велику групу гетеротрофних джгутикових, зокрема, рід Bodo, які харчуються мікробною фауною очисних споруд, очищаючи воду від забруднень.

Rhizopoda (sarcodae) — переважно донні та епіперифітонні організми. Вони очищають воду від забруднень, які осідають на дно і стінки очисних споруд.

Значний вплив на процеси біологічної очистки технічної води мають представники типу Силіогора, які харчуються бактеріями та водоростями, масове розмноження яких небажано на очисних спорудах.

Що стосується безхребетних типів Nematelminthes (первинні смугасті черви) і Rotatoria (коловертки), то їх представники постійно зустрічаються практично у всіх прісноводних гідроценозах. Вони відіграють надзвичайно важливу роль у відновленні якості води після того, як у водоймах розмножується маса бактерій і найпростіших. Біомаса, представлена бактеріями, одноклітинними і колоніальними водоростями, а також рослинним і тваринним детритом, коловертками і круглими черв'яками, бере участь в трофічних ланцюгах біологічних очисних споруд.

8.4. Технології біологічної очистки стічних вод

Технологія очищення стічних вод — це послідовність процесів, спрямованих на видалення з них забруднюючих речовин та отримання очищеної води, що відповідає нормативним вимогам за вмістом забруднюючих речовин при скиданні у природний водний об'єкт (ГРС).

Технологія передочищення (локальної очистки) промислових стічних вод може бути використана для очищення стічних вод підприємства

(промислового, сільськогосподарського, теплоенергетичного тощо) перед їх скиданням у муніципальну систему водовідведення.

У випадку, коли якість очищеної води за вибраною технологією не відповідає вимогам для скидання її у природний водний об'єкт, застосовується технологія додаткового очищення стічних вод.

Технологія очищення стічних вод визначається з урахуванням наступних факторів:

- Склад і характеристики забруднюючих речовин, які присутні у стічних водах.
- Необхідний рівень очищення стічних вод від забруднень.
- Потужність і продуктивність очисних споруд для обробки стічних вод.
- Гідродинамічні параметри, вміст забруднень у природному водному об'єкті, де здійснюється скид очищених стічних вод.
- Методи утилізації утворених відкладень.
- Місцеві умови, такі як геологічна будова, рівень ґрунтових вод, рельєф місцевості, розмір та розташування майданчика очисних споруд, а також необхідність створення санітарно-захисних зон.

Вибір технології проводиться відповідно до встановлених норм проектування та на підставі аналізу техніко-економічних показників.

Структурна схема технології очищення стічних вод показана на рис.11

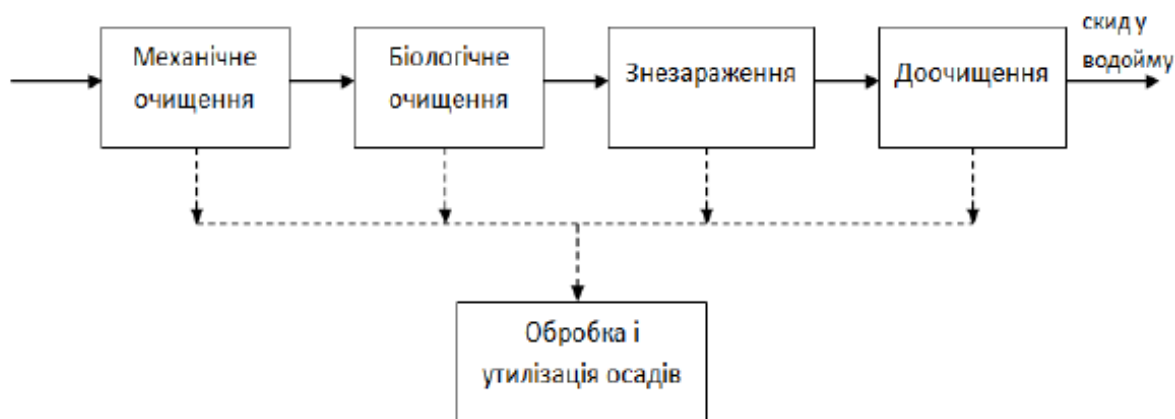


Рис. 11. Структурна схема технології очищення стічних вод

(суцільна лінія вказує на рух стічних вод, пунктирна - на рух відкладень)

Очищення стічних вод зазвичай виконується за допомогою наступних методів: механічних, фізико-хімічних та біологічних. Під час цього процесу утворюється осад, який потрібно стабілізувати, знезаражувати, зневоднювати і, нарешті, утилізувати. Якщо вимагається вищий рівень очищення перед скиданням у природний водний об'єкт, після повного біологічного очищення споруди застосовуються установки для глибокого очищення, відомі також як додаткове очищення. Після очищення стічних вод необхідно провести знезараження, щоб знищити хвороботворні мікроорганізми.

Біологічні методи очищення стічних вод використовуються для видалення органічних забруднювачів з води в нерозчиненому, колоїдному і розчиненому вигляді. Методи засновані на використанні мікроорганізмів в очисних спорудах, які мінералізують органічні сполуки, що є джерелом живлення для мікроорганізмів. Очищення муніципальних стічних вод здійснюється аеробними біологічними методами, при цьому для промислових стічних вод можуть застосовуватися як аеробні, так і анаеробні методи, в залежності від концентрації органічної речовини відповідно до БСК і ХСК. Установки біологічної очистки стічних вод можна розділити на два типи.

На об'єктах другого типу біологічна очистка проводиться в штучно створених умовах - аеротенках, біофільтрах, комбінованих конструкціях: аеротенках, окислювачах повітря, аеротенках, відстійниках, циркуляційних і окислювальних каналах (ССС) і ін.

Найпростішою технологією очищення комунальних стічних вод є біологічна очистка стічних вод в природних умовах (рис. 12). Використовується для потоку стічних вод до 10000 куб. м на добу.

Очищують стічні води спочатку механічно на спеціальних ситах, в пісковловлювачах і двоярусних відстійниках або гнільних відстійниках. На цих об'єктах анаеробне зброджування мулу відбувається одночасно з освітленням стічних вод. Стабілізований мул висушують на шламових ділянках.

Для природної біологічної очистки використовуються поля фільтрації, поля зрошення, біологічні ставки, для облаштування яких потрібні великі площі землі.

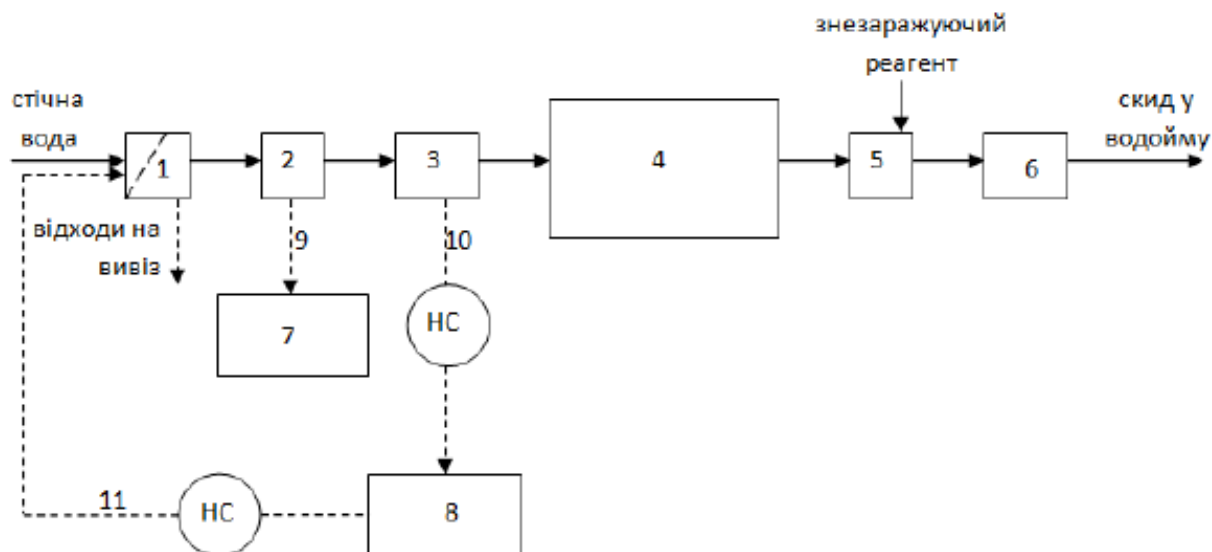


Рис. 12. Схема технології біологічної очистки стічних вод в природних умовах потужністю $Q \leq 10000$ куб. м на добу:

1 – решітки; 2 – пісковловлювач; 3 – первинний відстійник (двох'ярусний відстійник або гнилий відстійник); 4 – поля фільтрації, поля зрошення або біологічні ставки; 5 – змішувач води з дезінфікуючим засобом; 6 – контактний бак; 7 – піщані платформи; 8 – мулисті ділянки; 9 – піщаний жом; 10 – мул з відстійників; 11 – відведення води з мулових ділянок; НС – Насосна станція

Поля фільтрації - це участки землі, які плануються горизонтально або з невеликим нахилом, розділені на сегменти земляними перегородками. Процес очищення стічних вод полягає у фільтрації через шар ґрунту, що містить численні мікроорганізми, які здатні окислювати органічні речовини у стічних водах. Цей процес особливо інтенсивний у верхньому шарі ґрунту товщиною до 0,5 м, де здійснюється проникнення атмосферного кисню. Після очищення стічні води відводяться за допомогою дренажної системи.

Очищені побутові стічні води, які проходять через поля фільтрації, мають загальний БСК у межах 10-15 мг/дм³, зберігають стабільність на рівні 99% (тобто майже не піддаються гниттю), та можуть містити до 25 мг/дм³ нітратів. Вміст бактерій у ґрунті зменшується на 99-99,9% в порівнянні з їхньою кількістю у неочищеній воді.

У випадку використання полів для вирощування сільськогосподарських культур, їх називають полями зрошення.

Біологічні ставки являють собою каскад ставків, що складається з 3-5 ступенів, по яких повільно протікають освітлені або біологічно очищені стічні води. У процесах очищення беруть участь бактерії, найпростіші, водорості, вищі рослини та ін. При використанні біоставків загальна кількість неочищених стічних вод на вході в біоставки з природною аерацією становить не більше 200 мг/дм³, при штучній аерації – до 500, БСК очищених стічних вод після біоставків досягає 2-3 мг/дм³ для літніх умов і 1-2 мг/дм³ для зимових.

Для біологічної очистки невеликих об'ємів комунальних стічних вод продуктивністю $Q < 10000$ м³/добу використовується технологія з аеротенками, показана на рис.13.

У цій технології проводиться повна біологічна очистка раніше неосвітлених стічних вод. Біологічна очистка проводиться в аеротенках подовженої аерації. Часто використовуються циркулюючі окислювальні канали (ЦСК).

Централізовані системи каналізації (ЦСК) складаються з проточних басейнів з трапецієподібним перетином, які мають закриту в плані форму. Вони оснащені механічними аераторами, які забезпечують циркуляційний рух, перемішування і насичення киснем суміші очищених стічних вод і активного мулу. Швидкість циркуляції активного мулу становить 0,25-0,3 м/с, а середній вік активного мулу в структурі складає 20 днів. В процесі відбувається не лише розкладання і мінералізація органічних речовин, а й підвищення ступеня мінералізації самого активного мулу, що забезпечує його стабільність і виключає потребу в застосуванні додаткових методів.

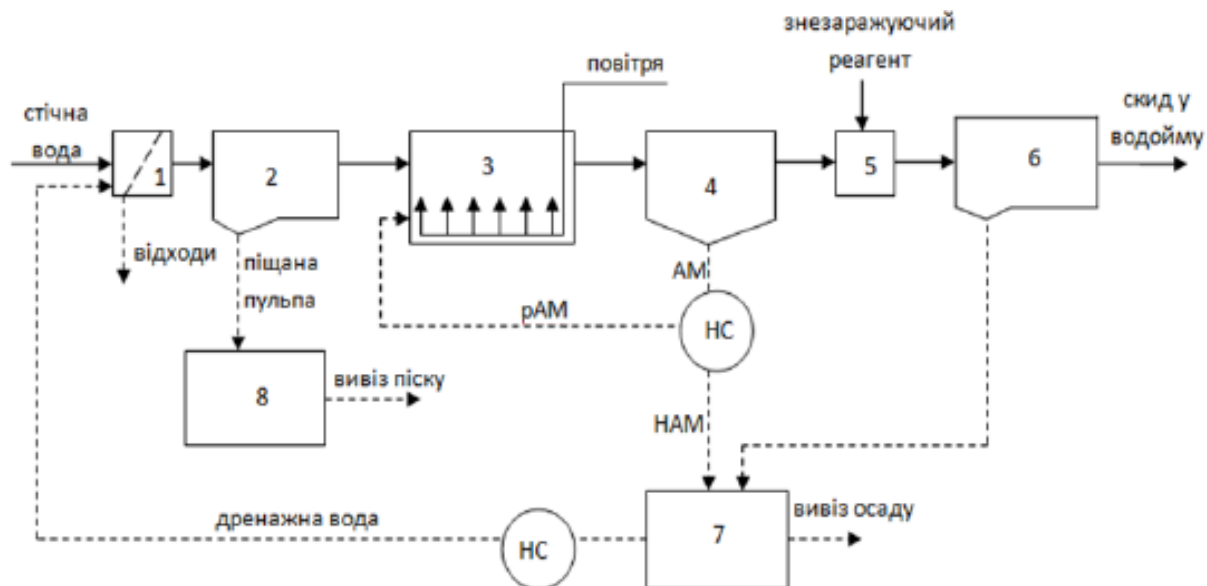


Рис. 13. Схема технології очищення невеликих обсягів стічних вод в аеротенках продуктивністю $Q < 10000$ м³/добу:

1 – решітки; 2 – пісковловлювач; 3 – подовжений аеротенк (ОЦК); 4 – вторинний відстійник; 5 – змішувач води з дезінфікуючим засобом; 6 – контактний бак; 7 – мулисті ділянки; 8 – піщані ділянки; АМ – активний мул; НАМ – надлишок активного мулу; ПАМ – рециркулюючий активний мул; НС – насосна станція

Технологія не передбачає первинного відстоювання, стабілізації активного мулу або ущільнення осаду. Після цього активний мул подається на мулові майданчики для зневоднення. Ця технологія може застосовуватися як для невеликих населених пунктів з витратою стічних вод від 700 до 1400 м³/добу, так і для промислових підприємств, таких як молокозаводи, цукрові заводи і інші.

Для очищення невеликих обсягів комунальних стічних вод з продуктивністю менше 10000 м³/добу використовується технологія біофільтрації, зображена на рис. 14.

Для повної біологічної очистки використовується технологія очищення стічних вод біофільтром.

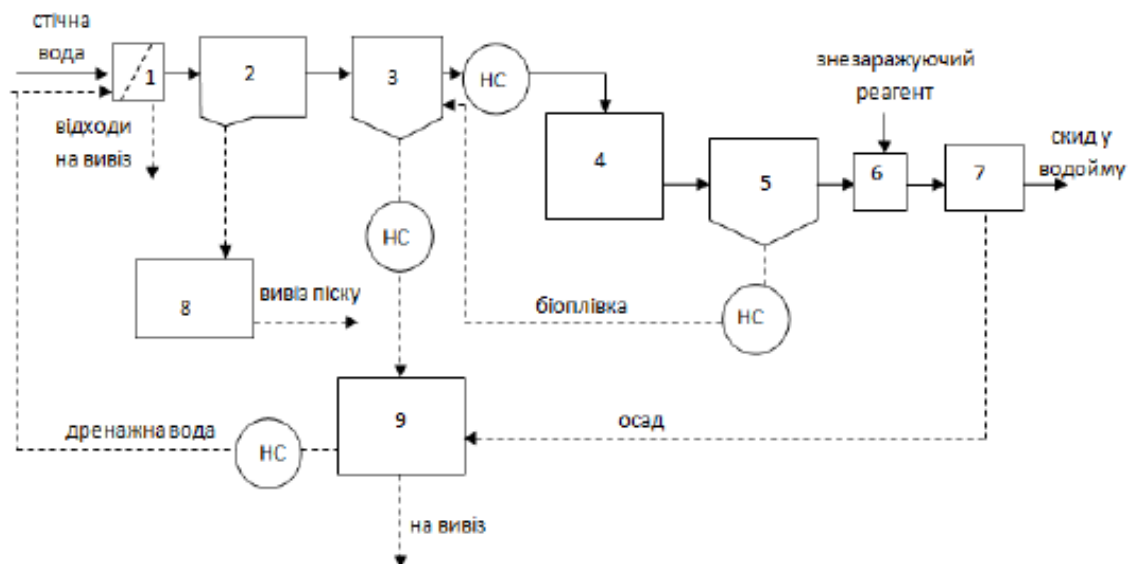


Рис. 14. Схема технології очищення невеликих об'ємів стічних вод у біофільтрах продуктивністю $Q < 10000$ м³/добу:

1 – решітки; 2 – пісковловлювач; 3 – первинний відстійник (двох'ярусний відстійник, роттерний відстійник); 4 – крапельний біофільтр; 5 – вторинний відстійник; 6 – змішувач води з дезінфікуючим засобом; 7 – контактний бак; 8 – піщані ділянки; 9 – мулисті ділянки; НС – Насосна станція

Біофільтр містить живильний шар (гравій, щебінь, пластикові листи), в пори якого надходить повітря. Стічні води подаються на живильну поверхню у верхній частині біофільтра, розпорошуються по поверхні поверхні. Рухаючись уздовж вантажу зверху вниз у вигляді тонких плівок, крапель, струменів, вони змивають біологічну плівку на вантажі і постачають мікроорганізми речовинами, що містяться в стічних водах. При перевищенні БСК на вході в біофільтр для розбавлення води, що надходить, використовується рециркуляція стічних вод. Відкинута з поверхні живлення біоплівка видаляється з біофільтра з очищеною водою і затримується у вторинних відстійниках і направляється в септик двух'ярусного відстійника для бродіння.

Технологія біологічної очистки стічних вод великих міст із застосуванням аеротенків продуктивністю $Q > 50000$ м³/добу показана на рис.15.

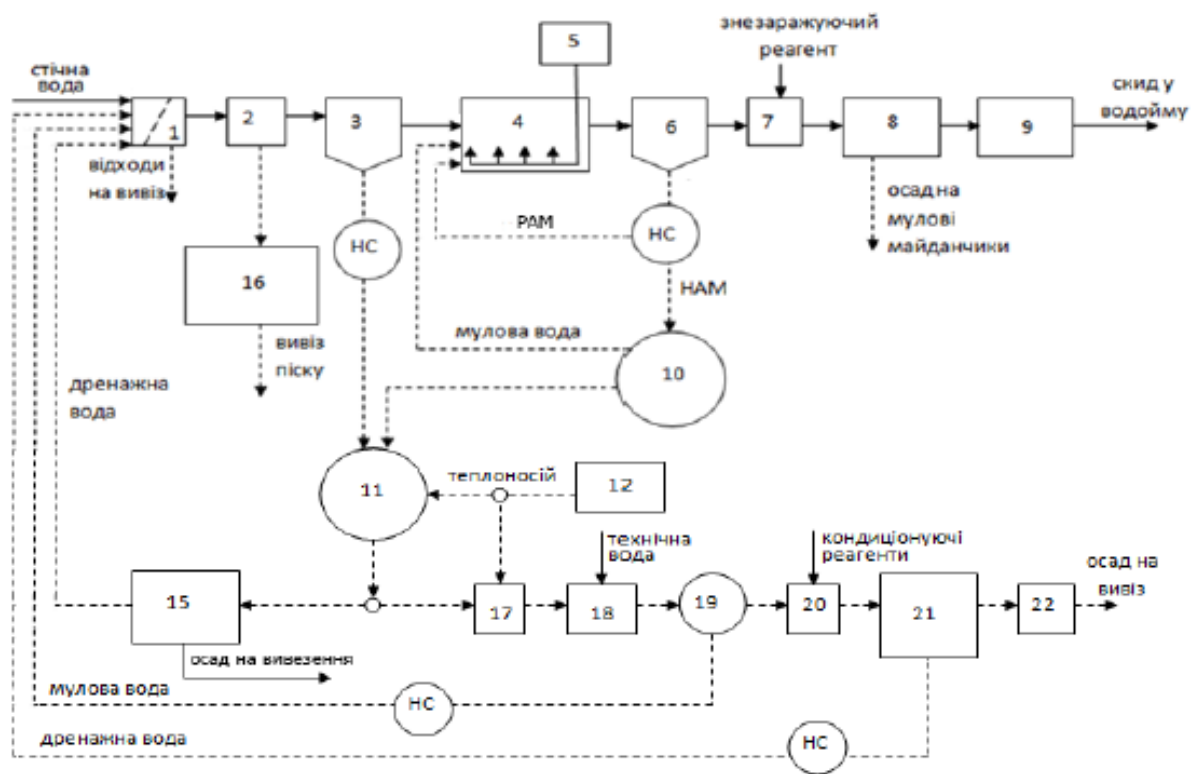


Рис. 15. Схема технології очищення великих обсягів стічних вод в аеротенках продуктивністю $Q > 50000 \text{ м}^3/\text{добу}$:

1 – решітки; 2 – пісковловлювач; 3 – первинний відстійник; 4 – аеротенк; 5 – станція розвантаження; 6 – вторинний відстійник; 7 – змішувач води з дезінфікуючим засобом; 8 – контактний бак; 9 – очисні споруди; 10 – уцілювач шлам; 11 – варильний котел; 12 – котельня; 15 – аварійні шламів майданчики; 16 – піщані ділянки; 17 – камера дегельмінтизації; 18 – камера промивання шлам; 19 – згущувач осаду; 20 – реакційна камера; 21 – цех механічного зневоднення; 22 – майданчик для зберігання висушеного мулу; АМ – активний мул; НАМ – надлишок активного мулу; ПМ – рециркулюючий активний мул; НС – Насосна станція

Для повного біологічного очищення стічних вод в технології використовуються аеротенки. Якщо ступінь очищення стічних вод за технологією недостатня для скидання очищених вод в річку, то застосовується додаткове очищення, наприклад, в біоставках або на гранульованих фільтрах. Часто використовуються фільтри, заповнені рамками. У таких фільтрах «рамкою» є шар гравію в 1,8 м з розміром 40-60 мм, на висоту 0,9 м насипається пісок з розміром гранул 0,8-1,0 мм. Швидкість фільтрації стічних вод становить 10 м/с. Початкові концентрації в стічних водах після очищення: ZR – 20 мг/дм³, ефект очищення ЕЗР – 70-80%; БСК – до 15-20 мг/дм³, EBSC = 70 %; Поверхнево-активні речовини – до 2,5 мг/дм³, EPAR = 80%.

Згідно з технологією, сирий мул з первинних відстійників перекачується в реактор, де разом з ущільненим надлишком активного мулу відбувається анаеробне зброджування.

Біогаз, що утворюється при зброджуванні мулу, збирається в бензобаки, звідки направляється на очищення. Очищений біогаз подається в котельню, де спалюється і спалюється. Використання біогазу покриває частину потреб у теплі для нагрівання метантенів та опалення будівель очисних споруд.

Для знезараження ферментованих відкладень в мезофільному режимі (знищення яєць гельмінтів) часто застосовують термічний метод - прогрівання відкладень в камері дегельмінтизації парою протягом 15-20 хвилин. при температурі 60 °С. Ступінь виведення яєць гельмінтів становить 100%. Цей метод не використовується при використанні термофільного режиму, так як в реакторі відбувається повне знищення цих забруднень.

Для зневоднення осаду замість шламових майданчиків, які потребують великих площ, використовуються механічні методи, такі як вакуумна фільтрація, фільтр-пресування або центрифугування.

Перед механічними методами необхідно кондиціонувати відкладення – промивання, ущільнення, обробку коагулянтами, флокулянтами, для поліпшення вологовиділяючих властивостей відкладень.

Для лікування відкладень можна використовувати аеробні стабілізатори (рис 16).

Замість варильних котлів можуть застосовуватися аеробні стабілізатори, в яких стабілізується суміш надлишкового активного мулу і сирого мулу з первинних відстійників. При цьому біогаз не виробляється, відсутні газові об'єкти, газгольдери тощо.

Замість варильних котлів можуть застосовуватися аеробні стабілізатори, в яких стабілізується суміш надлишкового активного мулу і сирого мулу з первинних відстійників. При цьому біогаз не виробляється, відсутні газові об'єкти, газгольдери тощо.

На очисних спорудах середньою продуктивністю від 10 000 до 50 000 м³/добу використовується технологія очищення муніципальних стічних вод в біофільтрах, схема якої показана на рис.17.

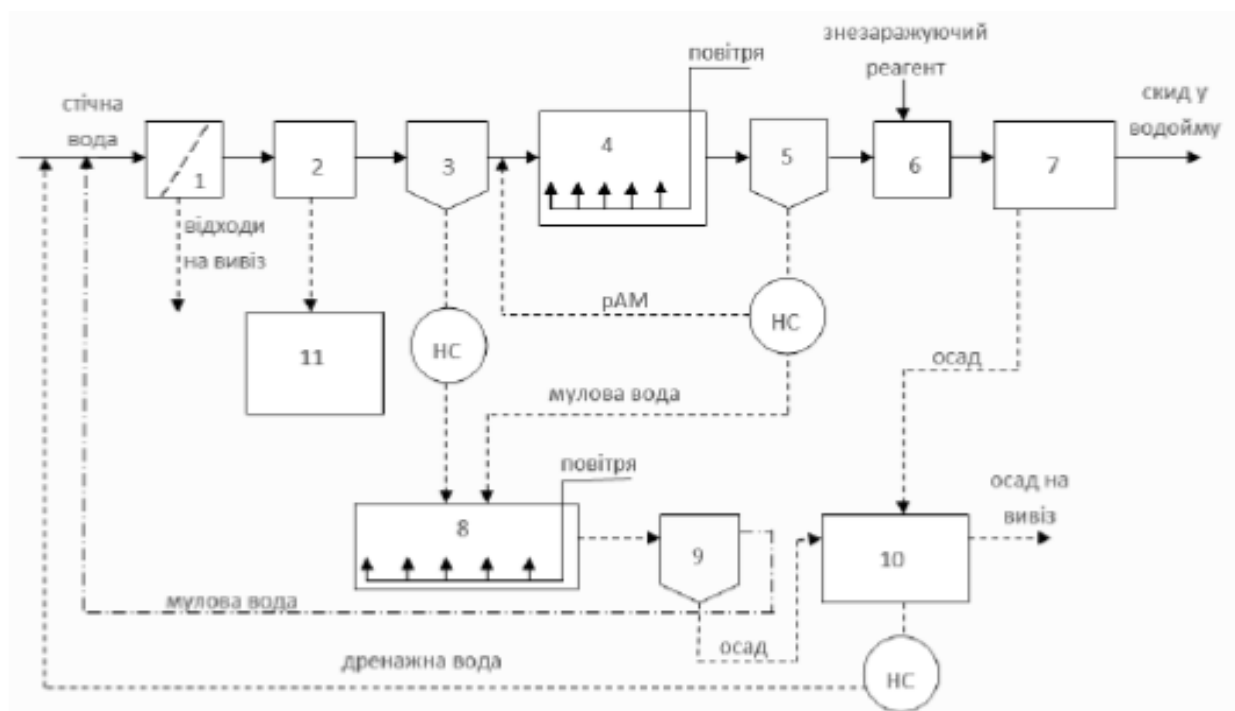


Рис 16. Схема технології очищення стічних вод з використанням аеробної стабілізації осаду:

1 – решітки; 2 – пісковловлювач; 3 – первинний відстійник; 4 – аеротенк; 5 – вторинний відстійник; 6 – змішувач води з дезінфікуючим засобом; 7 – контактний бак; 8 – аеробний стабілізатор; 9 – уцілювач шлам; 10 – мулові подушки; 11 – піщані подушечки

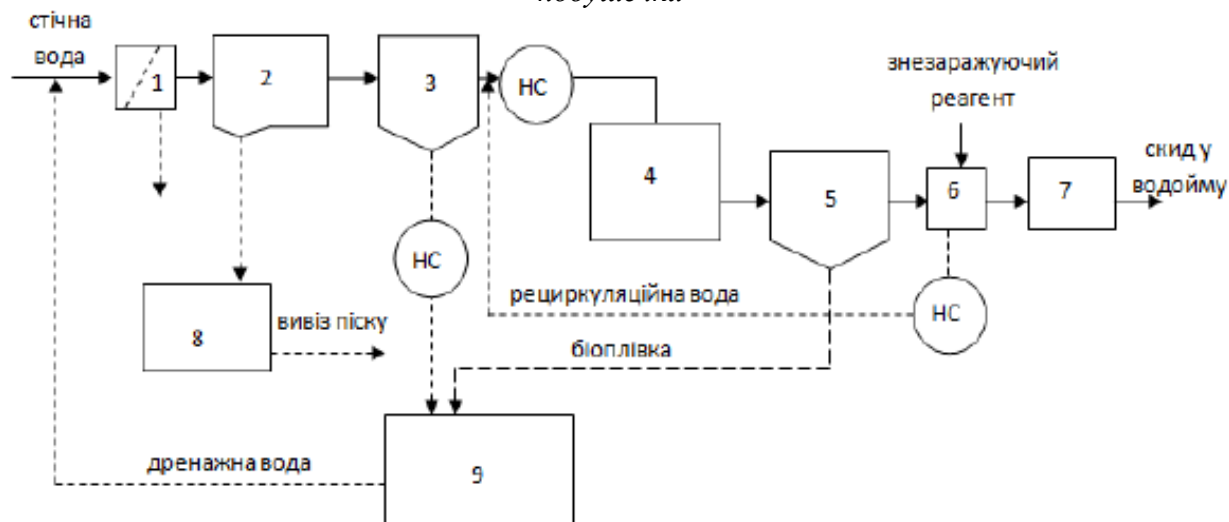


Рис. 17. Схема технології очищення стічних вод в біофільтрах продуктивністю $Q > 10000$ м³/добу, але менше 50000 м³/добу:

1 – решітки; 2 – пісковловлювач; 3 – первинний відстійник; 4 – високонавантажений біофільтр; 5 – вторинний відстійник; 6 – змішувач води з дезінфікуючим засобом; 7 – контактний бак; 8 – піщані ділянки; 9 – осадоочисні споруди; НС – Насосна станція

Повна біологічна очистка відбувається в біофільтрах. Часто використовуються високонавантажувальні біофільтри – аерофільтри.

Шламіві ущільнення в схемі не потрібні, так як вологість шламу біологічної плівки становить 96%. Біоплівка разом з сирим мулом може подаватися для стабілізації як в реактор, так і в аеробний стабілізатор. Подальше зневоднення можна влаштовувати так само, як і в попередніх схемах – на мулових ділянках або за допомогою механічних пристроїв.

При використанні високонавантажених біофільтрів подача стічних вод в біофільтри повинна здійснюватися насосами, що збільшує витрати на будівництво та експлуатацію. Якщо є можливість, використовуйте рельєф місцевості для створення необхідного тиску для роботи біофільтрів. Повітря подається в біофільтри за допомогою вентиляторів.

Контрольні запитання.

- 1. Поясніть суть питання «Антропогенний тиск на природні водойми».*
- 2. З якою метою здійснюється жорсткий контроль за якістю води на всіх етапах очищення стічних вод?*
- 3. Як використовується аквакультура для очищення води в Україні?*
- 4. Проаналізуйте процес природного самоочищення водних об'єктів.*
- 5. Як показники ХСК (хімічна потреба в кисні) і БСК (біологічна потреба в кисні) характеризують рівень забрудненості води?*
- 6. Приведіть структурну схему технології очищення стічних вод.*
- 7. Приведіть та характеризуйте найпростішу технологію очищення комунальних стічних вод з біологічною очисткою стічних вод в природних умовах.*

Література

1. Біоенергетичні проекти: від ідеї до втілення: практ. посіб. / під заг. ред. Р. Ю. Тормосова. Київ: Поліграф плюс, 2015. 208 с.
2. Гавриш В. І. Забезпечення ефективного використання паливноенергетичних ресурсів у аграрному секторі економіки: теорія, методологія, практика: монографія. Миколаїв: МДАУ, 2007. 283 с.
3. Голуб Г. БІОГАЗ [Електронний ресурс] / Г. Голуб, В. Дубровін //ЮНІДО. – 2015. – Режим доступу до ресурсу:http://www.reee.org.ua/download/trainings/%D0%A2%D0%9C_7.pdf.
4. Горова А. І. Біотехнології в екології : навч. посібник / А.І. Горова, С.М. Лисицька та ін. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 184 с.
5. Гвоздяк П.І. За принципом біоконвеєра. Біотехнологія охорони довкілля // Вісник НАН України. – 2003. – № 3. – С. 29-36.
6. Глоба Л.І., Заїка С.А., Гвоздяк П.І., Кілочицький П.Я. Прямоточні біотехнології очищення води – біоконвеєри // Інститут колоїдної хімії
7. Дев'яткіна С. С., Шкварницька Т. Ю. Альтернативні джерела енергії: навч. посіб./ НАУ. Київ, 2006. 92 с.
8. ДСТУ 7588:2014 «Сільськогосподарська техніка. Установкибіогазові. Методи випробування 1. Гладій М. В. Сучасні технології переробки відходів птахівництва і виробництва високопротеїнових кормових добавок: вітчизняний та зарубіжний досвід / М.В. Гладій, Ю.Ф. Мельник та ін. // Розведення і генетика тварин, 2016. № 51. – С. 302-310.
9. Заїка С. О. Інституційні засади розвитку біоенергетики в Україні. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького: Серія економічні науки. 2014. Т. 16, № 1. С. 189-194.
10. Кучерук П. П., Матвеев Ю. Б., Ходаківська Т. В., Грабовський М. Б. Перспективи виробництва біогазу з сумішей гнойових відходів тваринництва та рослинної сировини в Україні // Промислова теплотехніка. – 2013. – 35, №1. – С. 107- 113.
11. Каратєєва **О. І.** Технологія переробки побутових відходів та відходів сільського господарства: курс лекцій / О.І. Каратєєва, О.А. Коваль, В.І. Гроза. – Миколаїв, 2018. – 190с.
12. Кляченко О. Л. Екологічні біотехнології: теорія і практика: Навчальний посібник / О.Л. Кляченко, М.Д. Мельничук, Т.В. Іванова. – Вінниця, «Нілан-ЛТД», 2015. – 254 с.
13. Кириленко І. Г. Ефективна організація використання відходів аграрних підприємств у формуванні енергетичної та екологічної безпеки / І.Г. Кириленко, Д.М. Токарчук // Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і парктика, 2020, №2. – С. 68-83.
14. Любін М. Основи запуску та експлуатації біогазових установок дляфермерських господарств / М. Любін, О. Цуркан, Д. Токарчук. //Збірник наукових праць ВНАУ. – 2012. – №10. – С. 69–76.

15. Мельник І. П. Дощові черв'яки: наукові аспекти вирощування і практичне застосування / І.П. Мельник, Н. М. Колісник, І.А., Шувар, В.М. Сендецький, І.М. Тітов та ін. // Івано –Франківськ: Симфонія форте, 2015. – 44с.
16. Писаренко В. М. Органічні добрива / Писаренко В. М., Писаренко П. В. // Полтава, 2022. – 156 с.
17. Розвиток органічного виробництва/ Федоров М. М., Ходаківська О.В., Корчинська С. Г.; за ред.. М. М. Федорова, О. В. Ходаківської. – К.: ННЦ ІАЕ, 2011. – 146 с.
18. Саблій Л. А. Практикум з біотехнологій очищення води : навч. посіб. / Л. А. Саблій, О. М. Бунчак, В. С. Жукова. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2022. – 108 с.
19. Сиротюк К. С. Використання біомаси рослинництва для енергетичних потреб. Природне агровиробництво в Україні: проблеми становлення, перспективи розвитку: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Дніпропетровськ, 22–23 жовт. 2015 р.). Дніпропетровськ: РВВ ДДАЕУ, 2015. С. 335-337.
20. Тарарико Ю. А. Енергозберігаючі агроєкосистеми. Оцінка та раціональне використання агроресурсного потенціалу України. Київ: ДІА, 2011. 575 с.
21. Юлевич О. І. Біотехнологія: навчальний посібник / О.І. Юлевич, С.І. Ковтун, М.І. Гиль; за ред. М.І. Гиль. – Миколаїв, 2012. – 476 с.
22. Якушко С.І. Органо-мінеральні добрива: Переваги та способи виробництва / Якушко С.І. , Іванов В.П. // URL: <http://essuir.sumdu.edu.ua>.
23. Angelonidi E, Smith SR. A comparison of wet and dry anaerobic digestion processes for the treatment of municipal solid waste and food waste. *Water Environ J.*– 2015. –№29. – С.549–557.
24. Biogasgewinnung und –nutzung. Handreichung. – Institut fur Energetik und Umwelt gGmbH. 3., uberarbeitete Auflage, Gulzow, 2006. – 232 p.
25. Chu X., Wu G., Wang J., Hu Z.H. Dry Co-digestion of sewage sludge and rice straw under mesophilic and thermophilic anaerobic conditions // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2015. – V. 22. – № 24. – С. 43–53.
26. Harmonization of biomass resource assessments. Vol. I: Bestpractices and methods handbook. Report on WP5 of the EC FP7 Project «Biomass Energy Europe», 2010. BTG Biomass Technology Group B.V., the Netherlands.
27. Key World Energy Statistics 2016, IEA <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf>
28. Trzcinski AP, David CS. Microbial biomethane from solid wastes: Principles and biotechnological processes. USA: CRC Press; 2017. p. 77–151.
29. Zareei S. Modeling and optimization of biogas production from cow manure and maize straw using an adaptive neuro-fuzzy inference system [Електронний ресурс] / S. Zareei, J. Khodaei // *Renewable Energy*. – 2017. – Режим доступу: doi:10.1016/j.renene.2017.07.050.
30. Päivi Janka. The role of bioenergy in Finland's energy and climate strategy 2030. Presentation as of 07.10.2016, Brussels