

**О. І. КАРАТЄЄВА
О. А. КОВАЛЬ
В. І. ГРОЗА**

**ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕРОБКИ
ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ТА
ВІДХОДІВ СІЛЬСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА**



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

О. І. Каратєєва
О. А. Коваль
В. І. Гроза

**Технологія переробки побутових
відходів та відходів сільського
господарства**

Курс лекцій

для здобувачів вищої освіти ступеня «бакалавр» спеціальності 162
«Біотехнології та біоінженерія»

Миколаїв
2018

УДК 62-665.9:606

К21

Автори: О. І. Каратєєва, О. А. Коваль, В. І. Гроза

Рекомендовано до друку рішенням науково-методичної ради факультету
ТВППТСБ Миколаївського НАУ від 24.05.2018р., протокол № 9.

Рецензенти:

О. І. Юлевич канд техн. наук, доцент, доцент кафедри генетики,
годовлі тварин та біотехнології, Миколаївський
національний аграрний університет;

Т. М. Манушкіна канд. с.-г. наук, доцент, доцент кафедри
землеробства, геодезії та землеустрою,
Миколаївський національний аграрний університет.

Каратєєва О. І., Коваль О. А., Гроза В. І.

К.21 Технологія переробки побутових відходів та відходів сільського
господарства : курс лекцій для здобувачів вищої освіти ступеня
«бакалавр» спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» /
О. І. Каратєєва. – Миколаїв : МНАУ, 2018. – 190 с.

У курсі лекцій викладено зміст дисципліни «Технологія переробки
побутових відходів та відходів сільського господарства» – науки, яка дає
здобувачам вищої освіти знання та отримання навичок щодо екологічно
безпечної переробки та утилізації побутових відходів та відходів сільського
господарства, отримання теплової та електричної енергії та корисних
матеріалів, принципів управління відходами, впровадження сучасних
біотехнологій в дану галузь.

УДК 62-665.9:606

© Миколаївський національний аграрний
університет, 2018
© Каратєєва О. І.,
Коваль О. А.,
Гроза В. І., 2018

ЗМІСТ

1. Вступна лекція 5
2. Стан та склад ТПБВ
3. Переробка компонентів ТПБВ
4. Термічні методи знешкодження ТПБВ
5. Біологічні методи знешкодження ТПБВ
6. Перспективи розвитку технологій знешкодження ТПБВ
7. Проблема утилізації відходів сільського господарства.
Основи мікробіологічної трансформації природних органічних субстратів
8. Переробка відходів тваринництва
9. Біоконверсія органічних продуктів, отримання цільових продуктів та їх використання
10. Мікробіологічні способи утилізації відходів
11. Сучасні технології переробки відходів тваринництва.
Біотехнології XXI століття

Тема 1

Вступна лекція

План:

1. Місце та значення проблеми побутових відходів.
2. Проблема утилізації побутових відходів та її історія.
3. Переробка побутових відходів у розвинених країнах світу.
4. Проблема утилізації побутових відходів в Україні.

1. Місце та значення проблеми побутових відходів.

Сьогодні для значної кількості міст проблема твердих відходів є більш гострою, ніж забезпечення населення питною водою чи чистим повітрям. Тому увага до проблем їх знешкодження та утилізації щорічно буде зростати. Підтвердженням цього є той факт, що до проблем утилізації твердих відходів останнім часом досить інтенсивно приєднуються люди, професійні інтереси котрих досить далекі від екології. В Україні цією проблемою почали активно перейматися з 2006 р. Так, в Івано-Франківському художньому музеї демонструвалась виставка під назвою «Сміття», основним матеріалом для експонатів котрої слугували побутові та промислові відходи. На виставці було представлено багато картин та фото, котрі ілюстрували стан звалищ міста. Аналогічна виставка в цей же час під назвою «Люди із сміття» була проведена у Німеччині, де основним матеріалом для експонатів також були вибрані відходи та залишки утилізованих предметів. В Нью-Джерсі нещодавно відкрито музей сміття, котрому, на думку відвідувачів, для повноти картини не вистачає лише запахів реальних об'єктів.

Вже сьогодні у школах м. Вінниця запроваджено екологічні

програми із поводження з відходами на рівні квартири, будинку, двору, вулиці. Випущено спеціальні посібники із сортування сміття. Керівництво міста сподівається таким шляхом вплинути і на доросле населення міста.

Варто зауважити, що відношення громадськості до поводження із твердими відходами стає чи не основним фактором, котрий перешкоджає успішному впровадженню нових прогресивних технологій їх переробки. Та й майже кожен може пригадати випадки із власного досвіду, пов'язані з викидом в довкілля сміття після пікніка у лісі, злив у каналізацію залишків побутової хімії, спалювання пластиків на присадибній ділянці, тощо. Тому говорити про високу екологічну культуру та відповідальність населення передчасно. І саме виховання населення повинно стати сьогодні ключовим напрямком вирішення проблем побутових та промислових відходів. Не зайвим було б законодавче підкріплення поводження з відходами як кожного окремого громадянина, так і керівників підприємств, без якого всі заходи матимуть лише декларативний характер.

Вичерпування доступних природних ресурсів змусить людство рано чи пізно звернутися до величезних запасів промислових твердих відходів, які містять практично всі відомі на Землі елементи. З іншого боку, навіть вирішення проблеми ТПБВ (тверді побутові відходи) буде тимчасовим, оскільки наше життя змінюється настільки динамічно, що майбутній склад та об'єми відходів просто важко передбачити.

Все гострішою стає проблема старих комп'ютерів та

побутової техніки. Сьогодні все це потрапляє на звалище, оскільки утилізація апаратів, котрі виготовлені з використанням значної кількості різноманітних типів пластичних мас, металів, деревини, скла, картону та ін. викликає певні труднощі. Крім корисних матеріалів та дорогоцінних металів, побутова техніка містить свинець, кадмій, багато міді, хрому та інших речовин, які в умовах звалища після деякого часу починають забруднювати довкілля. Об'єми електронного брухту будуть постійно зростати. Наприклад, лише у США у 2013 р. на звалище було відправлено 250 млн. персональних комп'ютерів. У 2015 р. морально застарілими вважалися 370 млн. апаратів, значна частина яких також закінчила життєвий цикл на звалищі. Причинами такого становища вважається два фактори. Перш за все, значно скоротився термін експлуатації електронної техніки та термін її «старіння». Якщо комп'ютер, випущений у 1992 р. вважався морально застарілим через 4,5 роки, то комп'ютер, зібраний у 2015 р. вважається застарілим вже через 2 роки. З кожним роком насиченість нашого життя електронною технікою зростає, що також суттєво впливає на об'єми електронного сміття.

2. Проблема утилізації побутових відходів та її історія.

Тверді побутові відходи завжди утворювались у результаті процесів життєдіяльності людини. Оскільки на ранніх етапах розвитку людського суспільства воно використовувало та споживало лише продукти природного походження і вели розосереджений спосіб життя, то тверді відходи мало йому дошкуляли. Найпростіше незначних об'ємів таких відходів можна

було позбутися шляхом спалювання чи захоронення. Інтенсивна урбанізація та використання значної кількості штучних речовин почали загострювати проблему твердих побутових відходів. Першими проблемами ТПБВ стали масштабні епідемії, спричинені їх преносчиками, які масово розмножувались у купах сміття – щурами, клопами, блохами та ін. Із збільшенням об'ємів накопичення ТПБВ почали виникати проблеми із запахами та задимленням прилеглих територій при самозагорянні звалищ. Оскільки міста росли досить швидко, а санітарії в них приділялось мало уваги, то часто звалища знаходились в межах міст, чим ще більше посилювався їх негативний вплив. Перший відомий закон щодо поводження з ТПБВ датується 320 р. до н.е. і був прийнятий в Афінах. У 1714 р. в Англії спеціальним указом всі муніципалітети були зобов'язані ввести посаду, котра передбачала управління відходами, що утворюються на території міста. У ХІХ столітті загострюється проблема місць для організації нових звалищ. Вже в 1889 р. американські чиновники констатували нестачу місць для накопичення відходів, а англійські футурологи цілком обгрунтовано розраховували, через скільки років вулиці Лондона вкриються багатометровим шаром кінського гною. ХХ ст. характеризується загостренням існуючих проблем ТПБВ та виникненням нових. Використання значної кількості речовин та матеріалів, які не характерні для навколишнього середовища: елементи живлення, побутова хімія, непридатні ліки та медичні препарати, зношена побутова техніка та інше призвели до забруднення основних компонентів довкілля – ґрунтів, повітря,

поверхневих та підземних вод. Суттєво загострюється соціальний фактор – місцеве населення досить активно і навіть агресивно реагує на спорудження на їх території полігонів для зберігання «чужого сміття». Вже приклад американської баржі «Манроу» з Нью-Джерсі, став класичним, яка протягом року блукала від порту до порту з вантажем ТПБВ і повернулася назад, так і не позбавившись жодної тонни. Все більшого значення набуває у проблемах ТПБВ фактор ресурсозбереження, оскільки склад відходів суттєво змінюється і вони за вмістом окремих компонентів можуть переходити у категорію техногенних родовищ, та економічний фактор, оскільки переробка сміття може, в окремих випадках, приносити достатньо суттєвий прибуток.

Сьогодні інтенсивність утворення твердих відходів випереджає інтенсивність росту населення, оскільки людині завжди було характерним бажання жити краще та комфортніше.

Проблеми твердих відходів включають кілька основних аспектів. Особливістю твердих відходів є їх прив'язаність до місць утворення. Тому вони, перш за все, є основним джерелом надходження в довкілля шкідливих хімічних, біологічних та біохімічних речовин, що створює загрозу здоров'ю та життю людства.

Не можна не враховувати вплив твердих відходів на зміни у природному ландшафті. За розрахунками академіка І.Б. Петрянова-Соколова, в середньому лише 2% природних матеріалів, що добуваються з земних надр, включається у промислове виробництво. Решта – стають відходами. У результаті промислової

діяльності на Земній кулі зруйновано близько 20 млн км² суші, що перевищує загальну площу сільськогосподарських угідь.

3. Переробка побутових відходів у розвинених країнах світу. В даний час у розвинутих країнах значна кількість побутових відходів збирається і переробляється не міськими комунальними службами, а приватними підприємствами, які також мають справу з промисловими відходами.

У вартісному вираженні обсяг ринку муніципальних відходів у країнах, що розвиваються оцінюється приблизно у 120 млрд дол. Найбільше значення мають ринки США (46,5 млрд дол.), Європи (країни Євросоюзу разом з Норвегією і Швейцарією, близько 36 млрд дол.) і Японії (близько 30,5 млрд дол.). У світовій практиці до цього часу переважну кількість ТПБВ все ще продовжують вивозити на звалища (полігони): у країнах пост радянського простору на звалища вивозять 97% ТПБВ, у США – 73%, у Великобританії – 90%, у Німеччині – 70%, у Швейцарії – 25%, в Японії – близько 30%.

Вивезення ТПБВ на звалища (полігони) має глибокі історичні корені, слід розглядати як вимушене, тимчасове рішення проблеми, яке в принципі суперечить екологічним і ресурсним вимогам. Оскільки звалища все далі віддаляються від міст, а площа вивезення ТПБВ нескінченно збільшуватися не може, для всіх країн актуальною є проблема промислової переробки ТПБВ.

Саме промислова переробка, враховує вимоги екології, ресурсозбереження та економіки, являє собою кардинальний шлях вирішення проблеми ТПБВ.

У США, за даними Агентства охорони навколишнього середовища (ЕРА), щорічно генерується 1,6 млн тон небезпечних відходів у домашніх господарствах. Управління небезпечними відходами на рівні міст здійснюється в комплексі, де задіяні і муніципальні влади, і приватний бізнес, і громадськість, відповідно до програм.

Так, наприклад, в Алясці, вартість розміщення небезпечних відходів коштує 125 тис. дол., в той час, як загальна вартість програми поводження з небезпечними відходами складає 400 тис. дол. Регулювання небезпечних матеріалів і відходів у США здійснюється на федеральному рівні і на рівні штатів. На федеральному рівні управління поводження з небезпечними відходами здійснюється трьома державними агентствами. Універсальні відходи включають матеріали, які часто зустрічаються на робочому місці і у домашньому господарстві.

Уряд не регулює небезпечні відходи, згенеровані в приватному секторі. Законодавчо введені Колекційні центри збору небезпечних відходів у рамках грантової програми, що сприяє створенню загальнодержавної мережі локальних колекційних центрів небезпечних відходів. Ця інфраструктура створена для того, щоб забезпечити безкоштовний збір нерегульованих небезпечних відходів з будинків, і короткострокове зберігання потенційно небезпечних відходів, згенерованих малими підприємствами. Обізнаність громадськості про збір не тільки допомагає краще розуміти і керувати сімейними небезпечними

відходами, але може допомогти вчитися зменшувати обсяг, який вони генерують.

Видалення хімічно небезпечних відходів у США здійснюється приватними компаніями, які мають відповідну ліцензію. Звернутися за консультацією в таку компанію можна у будь-який час, розроблено відповідні форми заяв для здійснення процедури з видалення відходів. Так, наприклад, якщо у вас кілька контейнерів, їх маркують і на кожен контейнер і тип відходів заповнюються відповідні форми-заяви. Вільні контейнери для зберігання можна отримати у компанії, яка забезпечує вивезення небезпечних відходів.

Один з варіантів вирішення смітцевої проблеми, яким охоче користуються західні країни, – експорт побутового сміття в країни третього світу. Сьогодні гігантським світовим звалищем став Китай. За неофіційними даними, 80% експорту сміття з розвинених країн припадає на країни Азії, 90% з нього осідає в Китаї.

Більша частина цього сміття (а вона містить більше 300 видів небезпечних для здоров'я речовин та матеріалів) сортується і переробляється на невеликих заводах, які взагалі не мають жодних очисних споруд. У 2012 році дохід Китаю, виручений за переробку сміття, склав 177,4 млрд дол. Збиток, нанесений навколишньому середовищу, ніким не оцінювався. У Китаї загальний річний обсяг небезпечних відходів становить близько 11 млн тон, з яких на частку промислового виробництва припадає понад 10 млн тон, медичних відходів – 650 тис тон, радіоактивних – 115,3 тон. При цьому з 1996 по 2004 роки 26,4 млн тонн

небезпечних відходів були поховані без будь якої обробки або належного знешкодження.

Що стосується відходів китайського виробництва, то щорічно їх утворюється понад 1 млрд тонн, що в 5 разів більше річного обсягу ТПБВ. Таким чином, у КНР чітко визначені три категорії відходів: муніципальні, промислові і небезпечні. До складу муніципальних відходів входять побутові, відомчі, комерційні, вуличне сміття і необроблені виробничі відходи. Дуже часто будівельні відходи з будівельних майданчиків або від знесення старих будинків також включають до загального об'єму ТПБВ.

В Японії проблема поводження з відходами особливо актуальна ще і тому, що там просто немає місця для їх поховання. Виділяють дві великі групи відходів – промислові, за утилізацію яких відповідають компанії, що їх виробляють, і побутові, відповідальність за поводження з якими покладено на муніципалітети. Щорічно в Японії утворюється близько 400 млн т промислових і 50 млн т побутових відходів. У перерахунку на душу населення це 3,75 т всіх видів відходів на рік. Таким чином, середній японець щодня «виробляє» більше 10 кг відходів, у тому числі понад 1 кг побутового сміття.

У світі на сьогодні нараховується біля 20 різноманітних методів знешкодження та утилізації ТПБВ. За кінцевою метою їх поділяють на *ліквідаційні*, котрі вирішують, переважно, санітарно-гігієнічні завдання та *утилізаційні*, які вирішують проблеми економічного використання вторинних ресурсів. За технологічними принципами всі методи знешкодження та утилізації ТПБВ поділяють на

термічні, біологічні, хімічні, механічні та змішані. Сьогодні людство погоджується із думкою про те, що не обов'язково всі ТПБВ вивозити на звалища. Значну їх частину після відповідної обробки можна використовувати. У різних країнах найбільшого поширення набули наступні методи (табл. 1).

Таблиця 1

Доля різних методів у процесах знешкодження ТПБВ

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	-

Найбільш економічно та екологічно виправданими та такими, що набули найбільшого поширення методами знешкодження та утилізації ТПБВ на сьогодні можна вважати:

- ❖ захоронення на спеціально обладнаних полігонах;
- ❖ сортування з повторним використанням відібраних матеріалів;
- ❖ спалювання в різних умовах, часто з утилізацією тепла;

- ❖ компостування з отриманням добрива чи біопалива;
- ❖ вермікультивування із отриманням біогумусу.

4. Проблема утилізації побутових відходів в Україні. За різними оцінками, об'єм ТПБВ в Україні складає лише 2% від загальної маси відходів. У світі цей показник складає приблизно 10%. Оскільки кількість населення в Україні щорічно знижується, то ріст загального об'єму ТПБВ спричинений ростом об'єму відходів, які щорічно продукуються кожним громадянином. За даними Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, протягом останніх 6 років об'єм ТПБВ в Україні зріс майже до 50 млн м³/рік, при тому, що їх кількість на душу населення сягає майже 1,0 м³/рік.

Якщо прийняти середню щільність відходів 0,25 т/м³, то щоденно кожен житель України продукує близько 0,7 кг ТПБВ.

Проблема утилізації відходів є для України актуальною, оскільки країна виступає європейським лідером за кількістю відходів на душу населення. Водночас ситуація з їх утилізацією залишається на колишньому рівні. У зв'язку з тим, що склад вітчизняних відходів усе більше наближається до західного (одноразовий посуд, алюмінієві банки для напоїв, пластикова упаковка), кількість їх має сталу тенденцію до щорічного збільшення.

Типовий склад міських відходів такий: папір та картон – 41%, сміття – 17,9%, гума, шкіра та деревина – 8,1%, харчові відходи – 7,5%, метали – 8,7%, скло – 8,2% та ін. – 1,6%. Тривалий час не вирішуються питання утилізації і вторинного використання

полімерних відходів, що не розкладаються у ґрунті. Дрібні полімерні відходи знижують здатність ґрунту щодо його самоочищення, їхнє згоряння призводить до викиду в атмосферу токсичних продуктів.

Іншою проблемою є існуючий неорганізований скид рідких побутових відходів у систему каналізації, що значно погіршує її роботу і якість очищення стічних вод на станціях біологічного очищення, що у свою чергу не може не відобразитися на якості морської води.

По тому, як людство ставиться до сміття, можна судити наскільки суспільство цивілізоване. Чим вище щабель розвитку, тим гостріше постає проблема утилізації все різноманітніших відходів. Водночас суворішають і вимоги до тих, хто дозволяє собі смітити у громадських місцях. У нас же застаріла «сміттева» проблема, особливо проблема утилізації відходів промисловості, ніяк не зрушить з мертвої точки. Підприємства не зацікавлені за свої кошти створювати спеціалізовані цехи й ділянки з переробки й утилізації промислових відходів. Неутилізоване сміття завдає шкоди екології, сміттєзвалища, де гниють сотні тон непотребу, отруюють повітря, ґрунт, підземні води й перетворюються у серйозну небезпеку для людини і довкілля. Тому, з метою запобігання подальшому хижацькому забрудненню навколишнього середовища, цю проблему можна вирішити такими шляхами:

❖ впровадити в Україні обов'язкову систему роздільного збору, сортування й сепарації сміття і систему вторинної переробки твердих побутових відходів;

- ❖ ініціювати розробку пакету законодавчих документів щодо безпечного вирішення проблеми сміття в Україні;
- ❖ посилити боротьбу зі стихійними звалищами та наслідками їх існування;
- ❖ організувати проведення науково-дослідницьких робіт зі створення екологічно чистих технологій переробки та знешкодження промислового й побутового сміття;
- ❖ розпочати загальноукраїнську інформаційно-освітню кампанію для роз'яснення необхідності належного збору сміття для його подальшої утилізації.

Тема 2

Стан та склад ТПБВ

План:

1. Морфологічний склад ТПБВ
2. Фракційний склад ТПБВ
3. Фізичні властивості ТПБВ
4. Хімічний склад ТПБВ
5. Санітарно-бактеріологічні властивості ТПБВ

1. Морфологічний склад ТПБВ Морфологічний склад ТПБВ досить різноманітний та мінливий як в часі так і територіально. Він суттєво залежить від рівня розвитку країни, пори року, географічного розміщення та ін. Тому відсоткове співвідношення між різними компонентами ТПБВ може бути наведено лише умовно або для конкретної партії сміття. Порівняння осередненого складу сміття для країн з різним рівнем розвитку показує, що при переході від бідних до багатих країн досить суттєво змінюється вміст практично всіх складових ТПБВ. З 2,3% до 32% зростає вміст паперу та картону, в той час, як вміст органічних відходів знижується із 61% до 26%. У розвинутих країнах переважна більшість продуктів харчування продається в готовому для споживання вигляді напівфабрикатів, тому більша частина відходів від переробки таких продуктів залишається на переробних підприємствах, поповнюючи категорію промислових відходів. Більшість продукції' постачається у фасованому вигляді Тому збільшення вмісту у ТПБВ паперу та картону зумовлено, переважно, широким використанням тари та пакування, що є цілком прогнозовано для країн різного рівня розвитку.

Характерно змінюється вміст скла та пластику. Для бідних країн вміст скла та пластику у сумі складає близько 5%, причому, скла в 2 рази більше ніж пластику. Для перехідних країн сумарний вміст скла та пластику зростає до 13%, з яких лише близько 2% – скло, що зумовлено зручністю використання одноразової пластикової тари. У розвинутих країнах, де проблемам екології та ресурсозбереження приділяють більше уваги, використання скляної тари багаторазового використання зростає, що зумовлює збільшення скла у відходах до 10% при зниженні вмісту пластику до 8%. Нерівномірно змінюється і вміст у відходах текстилю, гуми та шкіри.

Якщо прийняти бідні країни за базу, то у ТПБВ міститься до 7% текстилю, шкіри, гуми. У країнах перехідного типу вміст текстилю, гуми та шкіри виростає до 14%. Разом з тим, ефективна система збору таких відходів у перехідних країнах відсутня, тому основна маса потрапляє на звалище. В розвинутих країнах система збору вторинних ресурсів добре відлаштована, відпрацьована: шини відправляють на переробку, зношений одяг збирають для використання в якості дрантя чи передачі біднішим верствам населення, тому вміст текстилю, гуми та шкіри у відходах таких країн нижче 5%. Відповідно змінюються і проблеми, викликані ТПБВ. Якщо для слабкорозвинутих країн основними є санітарно-гігієнічні проблеми, то для розвинутих – проблеми ресурсозбереження та екології. Для України, як країни перехідного етапу, характерним є об'єднання обох проблем одночасно.

Сезонні зміни складу ТПБВ характеризуються збільшенням вмісту харчових відходів з 20-25% навесні, до 40-55% восени, що пов'язано з великою кількістю овочів і фруктів у раціоні харчування (особливо у містах південної зони), що представлено на рисунку 1.

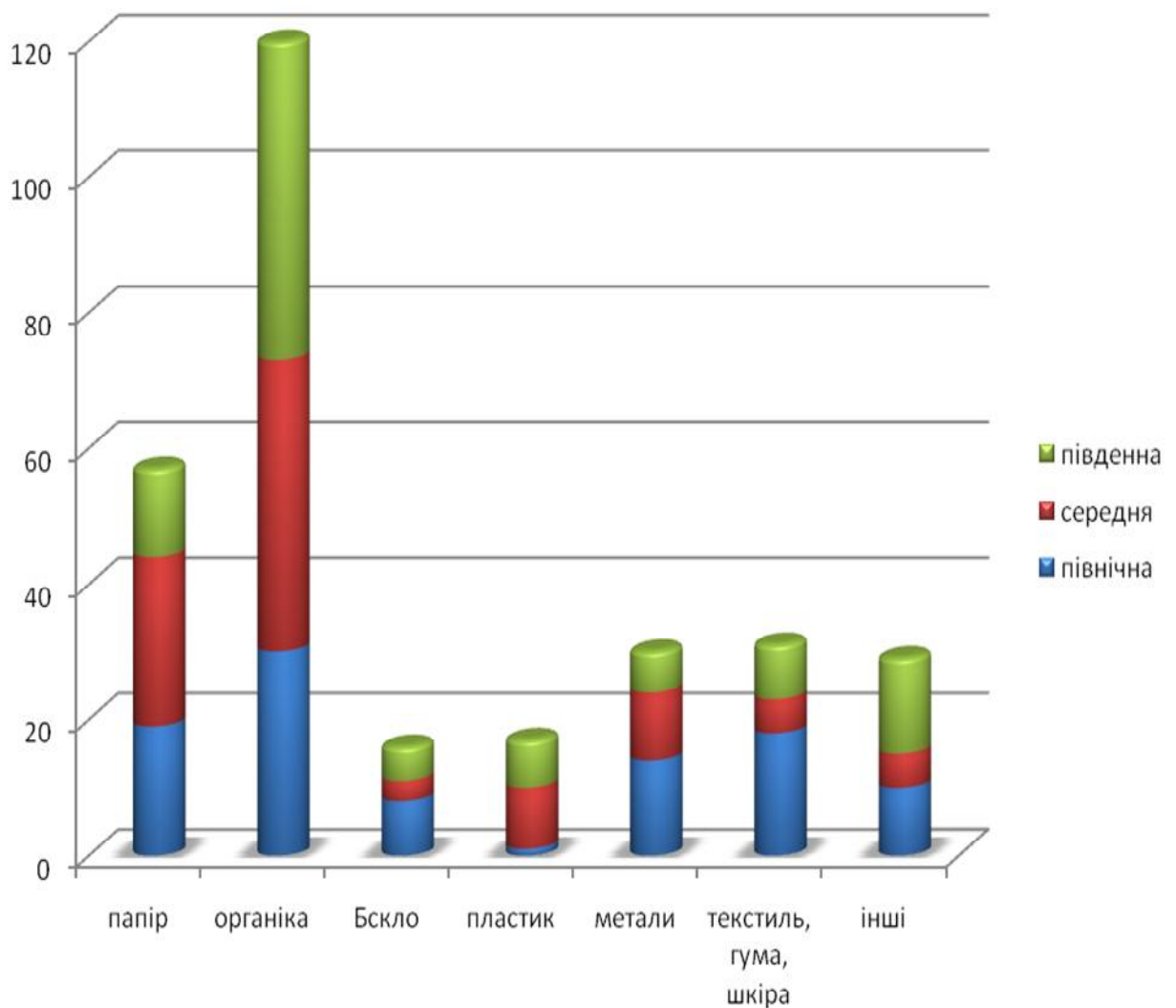


Рис. 1. Морфологічний склад ТПБВ для різних кліматичних зон України

Суттєво змінюється у ТПБВ вміст сміття, що змітається безпосередньо з вулиць та прибудинкових територій. У зимовий період його доля зменшується в два-три рази.

Потік ТПБВ формується, в основному, за рахунок відходів

трьох основних галузей – жилого сектора, комунальних та громадських організацій, промисловості. В усіх випадках мова йде про тверді відходи, що утворюються у результаті перебування працівників на робочому місці і забезпечення їм нормальних умов діяльності (рис. 2).

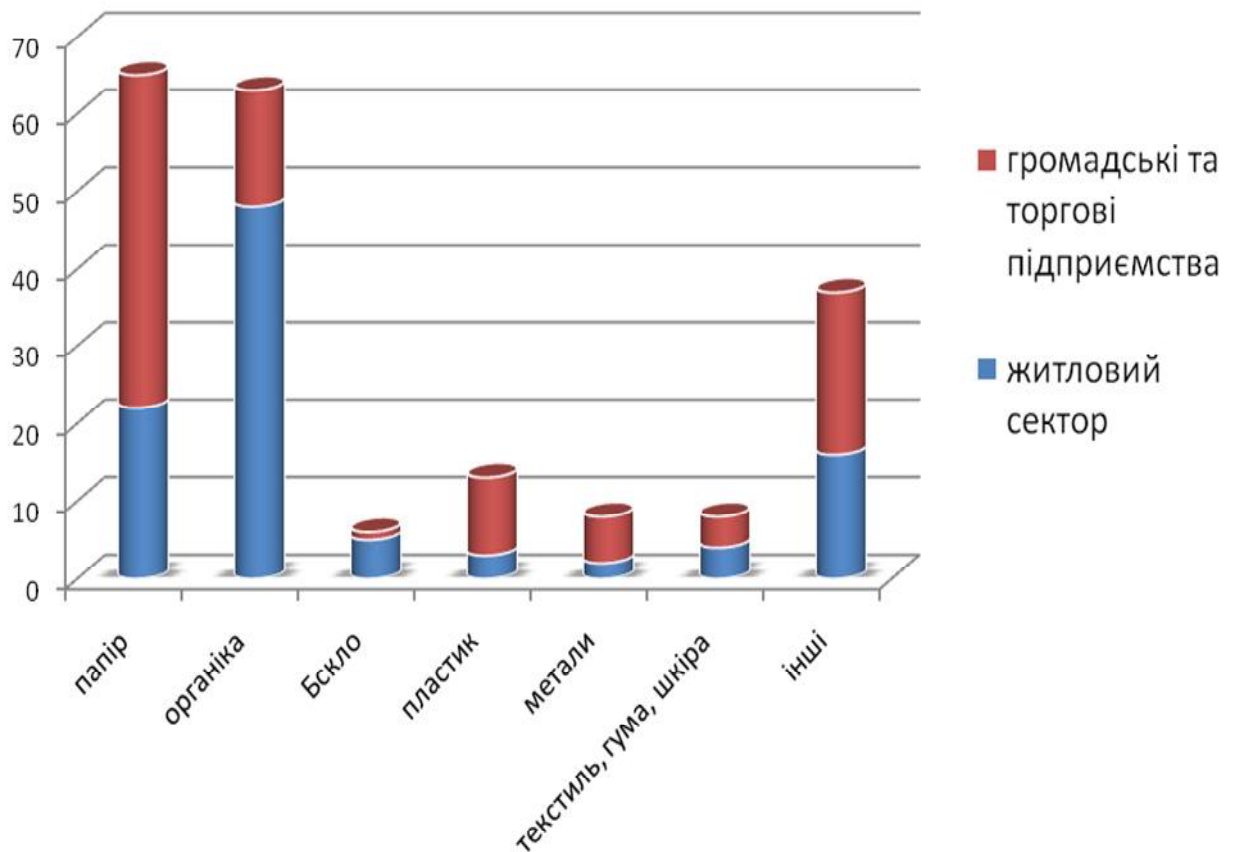


Рис. 2 Морфологічний склад ТПВ для різних джерел утворення

Найбільш суттєво відрізняються відходи за вмістом органіки та паперу і картону, що цілком пояснюється особливостями процесів діяльності людини у житловому секторі та на промисловому чи комунальному підприємстві.

Тому очевидно, що морфологічний склад відходів від кожних з перелічених трьох джерел буде суттєво відрізнятися між собою.

2. Фракційний склад ТПБВ. Фракційний склад ТПБВ являє собою вміст у суміші шматків відповідного розміру. Цей показник дуже важливий для процесів транспортування та обробки ТПБВ, оскільки є визначальним при виборі обладнання для окремих процесів, як наприклад, сепарації, розділення, компостування. Дослідженнями встановлено, що до 2% загальної маси ТПБВ складають шматки розміром більше 350 мм. 98% відходів мають менший розмір. Вміст різних фракцій коливається у значних межах і суттєво залежить від пори року, країни, кліматичної зони та ін. 2% відходів, являють собою великогабаритні відходи у вигляді побутової техніки, старих меблів, шматків будівельних конструкцій з різних матеріалів. Основна маса ТПБВ представлена фракціями до 150 мм (80-90%) і тільки менше 2% представлено фракціями більше 350 мм, фракцій 150-350 мм – 8% (табл. 2).

Таблиця 2

Фракційний склад ТПБВ

Склад	Розміри фракцій, мм				
	350-250	250-150	150-100	100-50	<50
Папір	3-8	9-11	9-11	7-9	2-8
Харчові відходи	–	0-1	2-10	7-13	17-22
Метал	–	0-1	0,5-1,0	0,8-1,6	0,3-0,5
Деревина	0,5-1,0	0,0-0,5	0,0-0,5	0,5-1,0	0,0-0,5
Текстиль	0,5-1,3	1,0-1,5	0,5-1,0	0,3-1,8	0,0-0,5
Кісти	–	–	–	0,3-0,5	0,5-0,9
Скло	–	0,0-0,3	0,3-1,0	0,5-1,5	0,0-0,3
Шкіра, гума	–	0,0-1,0	0,5-2,0	0,5-1,5	0,0-0,3
Камені	–	–	0,2-1,0	0,5-1,5	0,5-2,0
Пластмаси	0,0-0,2	0,3-0,8	0,2-0,5	0,2-0,5	7-11
Усього	4-10	11-15	18-22	20-30	30-40

Наведені дані свідчать, що фракційний і морфологічний склад ТПБВ взаємозалежні: чим менше харчових відходів, тим

дрібніше загальна фракція; чим більше пляшок, тари, упакувань, тим крупніше відходи.

Вважається, що із загальної маси відходів близько 75% піддається біологічному розкладанню.

3. Фізичні властивості ТПБВ. Суттєве значення для процесів переробки відходів мають їх фізичні властивості – вологість, щільність, зв'язність, абразивні та корозійні властивості та ін. *Вологість* ТПБВ може коливатися в дуже широких межах. Визначається вона, переважно, вологістю самих складових відходів, умовами та терміном їх зберігання. Якщо папір, картон, деревина у своєму природному стані вміщують не більше 20-50% вологи, то вологість харчових відходів рідко буває нижчою 60%, а в окремих випадках сягає 95% і більше. Вологість ТПБВ складає для середньої зони 40-50%, для південної – 35-70 %.

Суттєво на вологість ТПБВ впливають умови їх зберігання та доступність для атмосферних опадів. Оскільки ТПБВ накопичуються на відкритих площах, то атмосферні опади здатні суттєво збільшувати їх вологість. Змінюється вологість і при тривалому зберіганні відходів, особливо у теплу пору року, коли органічні компоненти підлягають гниттю та бродінню з виділеннями додаткової кількості вологи. У загальному випадку вважається, що за звичайних умов вологість ТПБВ складає близько 35%.

Щільність ТПБВ у значній мірі залежить від морфологічного та фракційного складу, тому є такою ж мінливою, як і інші характеристики. Для території України щільність ТПБВ

може коливатися у межах 0,18-0,6 т/м³. Коливається залежно від часу року, умов життя, ступеня благоустрою житлового фонду:

для упорядженого житлового фонду:

весна-літо – 0,18-0,23 т/м³;

осінь-зима – 0,2-0,25 т/м³.

Для невпорядкованого житлового фонду:

осінь-зима – 0,3-0,6 т/м³.

Визначальним у формуванні щільності ТПБВ є вміст паперу, картону та пластику. Оскільки для розвинутих країн вміст цих компонентів збільшується, то щільність відходів знижується.

Найбільшу щільність мають відходи, які утворюються на територіях з пічним опаленням, найменшу – ТПБВ, що утворюються у великих містах централізованою системою опалення. Щільність ТПБВ в значній мірі залежить від процесу їх обробки після збирання. Наприклад, початкова щільність ТПБВ складає 140-180 кг/м³. Після пресування, котре дозволяє знизити транспортні витрати, продовжити термін експлуатації полігону та покращити умови розкладання органічної речовини, щільність може бути збільшена до 600-800 і навіть 900-1000 кг.

Завдяки наявності у ТПБВ паперу та картону, текстилю, дроту, шматків пластику їм характерна така властивість, як **зв'язність**. Вона виявляється у схильності ТПБВ до утворення аркоподібних куполів і здатності проходити через решітку з розміром комірки 30х30 см. Наявність у відходах значної кількості вологих та липких компонентів надає їм такої властивості, як **зчеплюваність**, яка виявляється у налипанні відходів на стінки

бункерів розміщених під кутом 65-70° до горизонту. Тому при проектуванні обладнання для транспортування та накопичення ТПБВ необхідно враховувати ці властивості, тим більш, що вони можуть суттєво змінюватись залежно від вмісту окремих компонентів.

Наявність у ТПБВ шматків металів, скла, кераміки, кісток призводить до часткового руйнування поверхонь, по яких відходи переміщуються. Такі *абразивні властивості* змушують будувати бункери для накопичення відходів з металів, які більш стійкі до такого впливу або обшивати металом споруди з інших матеріалів. Однак, при цьому виникає інша проблема. Оскільки окремі компоненти ТПБВ мають значну вологість, містять достатню кількість солей, а органічні компоненти здатні розкладатися з утворенням різноманітних кислот, значно зростають *корозійні властивості* як самих відходів, так і їх фільтратів. Особливого руйнування зазнає обладнання при дії абразивних відходів із підвищеними корозійними властивостями. При зберіганні ТПБВ схильні до злежування, самоущільнення та втрати сипучості. В окремих випадках для зменшення об'єму ТПБВ та забезпечення більш зручного та ефективного транспортування їх піддають примусовому пресуванню. Основною характеристикою відходів в цьому випадку служать їх *компресійні властивості* – вплив тиску на здатність відходів до ущільнення. Обробка ТПБВ тиском 0,1 МПа дозволяє у 3-4 рази зменшити об'єм та відповідно збільшити щільність до 0,7-0,9 т/м³. Збільшення тиску до 0,3-0,5 МПа супроводжується зменшенням початкового об'єму відходів у 5-8

разів та збільшенням щільності до 1 т/м^3 і більше. При такому тиску спостерігається руйнування різноманітних пустотілих шматків, їх зминання та видавлювання невеликої кількості вологи. Видалення 80-90% вологи з ТПБВ спостерігається при тисках у 10-20 МПа, коли їх об'єм зменшується ще в 2,0-2,5 рази із збільшенням щільності у 1,3-1,7 рази. За такого тиску зникають пустоти між окремими шматками, практично повністю перекривається доступ кисню до глибинних шарів відходів, тому розвиток мікроорганізмів гальмується і спресовані відходи тимчасово стабілізуються. Подальше підвищення тиску до 60 МПа дозволяє видалити решту 10-20% вологи, однак дуже мало впливає на зміну об'єму та щільності відходів.

Досить важливою фізичною властивістю ТПБВ є їх **теплотворна здатність**. У середньому при згорянні 1 кг відходів створюється 5,0-6,0 МДж енергії. Цей параметр у значній мірі залежить від морфологічного складу, вологості, щільності та інших параметрів відходів. Питома теплоємність компонентів ТПБВ:

вода – 4190

залізо – 400

дерево, картон – 2000–2500

алюміній – 860

скло, каміння – 800–1000

Теплопровідна здатність ТПБВ залежить від щільності; так при зміні щільності від $0,2 \text{ т/м}^3$ до $0,5 \text{ т/м}^3$ теплопровідна здатність зменшується з 2000 до 940 ккал/кг.

4. Хімічний склад ТПБВ. Хімічний склад ТПБВ також є досить мінливою характеристикою, тому може бути наведений лише у вигляді оціночних значень. Основним елементом ТПБВ є вуглець з домішками кальцію, фосфору, азоту, сірки, кисню та інших елементів. Типовий хімічний склад твердих побутових відходів по кліматичних зонах представлений у таблиці 3.

Таблиця 3

Хімічний склад ТПБВ для різних кліматичних зон України

Показники	Кліматична зона	
	середня	південна
Органічна речовина	56-72	56-80
Зольність	28-44	20-44
Азот загальний	0,9-1,9	1,2-2,7
Кальцій	2-3	4,0-5,7
Вуглець	30-35	28-39
Фосфор	0,5-0,8	0,5-0,8
Калій загальний	0,5-1,0	0,5-1,1

Вміст значної кількості органічних речовин дозволяє отримувати з ТПБВ шляхом компостування продукти з високими агрохімічними показниками.

Порівняння хімічного складу ТПБВ зі складом земної кори змушує визнати, що ТПБВ значно токсичніші в наслідок наявності значних концентрацій хлору, фтору, бромю та важких металів. З іншого боку, вміст у ТПБВ окремих компонентів у концентраціях, на кілька порядків більших, ніж у земній корі, робить сховища ТПБВ цінними техногенними родовищами.

5. Санітарно-бактеріологічні властивості ТПБВ. Санітарно-бактеріологічні властивості ТПБВ суттєво відрізняються

від аналогічних властивостей різних твердих компонентів літосфери – ґрунтів глин, пісків, руд та ін. ТПБВ містять велику кількість вологих органічних речовин, які розкладаються і виділяють гнилісні запахи і фільтрат. При висиханні продукти неповного розкладу утворюють пил, який містить у собі до 15 млрд мікроорганізмів на 1 г сухої речовини. Внаслідок цього відбувається інтенсивне забруднення повітря, ґрунту, поверхневих і ґрунтових вод. Комахи, птахи, тварини є разнощиками патогенних мікробів. Крім патогенних мікроорганізмів, ТПБВ містять в собі яйця гельмінтів, які зберігають свою життєдіяльність протягом десятків років і також з пилом та фільтратом виносяться за межі складування відходів і є джерелом забруднення вод та ґрунтів.

Мікроорганізми, що містяться в ТПБВ є збудниками таких небезпечних захворювань, як гепатит, дизентерія, туберкульоз, аскаридоз, різних шкіряних, респіраторних та інших захворювань.

Контроль бактеріального забруднення в Україні здійснюється за допомогою титрування (титр – вміст будь-чого в одиниці об'єму). Існують спеціальні методики. Наприклад, в Україні в якості тест об'єкта використовують «коло-титр», тобто кількість клітин кишкової палички у ТПБВ, що свідчить про розвиток іншої, більш небезпечної патогенної мікрофлори. У країнах ЄС як титр використовують фекальний стафілокок.

Знезараження побутових відходів здійснюється наступними методами: спалювання органіки на сміттєспалювальних заводах, обробка дезінфікуючими розчинами, біологічне знезараження в аеробних умовах (компостування) і в анаеробних умовах

(захоронення на полігонах), пресування з повним видаленням вологи, капсулювання подрібнених ТПБВ різними зтверджувачами.

Біологічне знезараження ТПБВ під час захоронення їх на полігонах здійснюється наступним чином: відходи накривають шаром ґрунту, щоб перекрити доступ кисню всередину. В анаеробних умовах (за відсутністю кисню) розвиваються анаеробні бактерії, які вбивають патогенні мікроби і розкладають органічні речовини. Процес розкладання органіки доволі тривалий і потребує наявності великих ділянок для складування ТПБВ. При цьому є можливість використання біогазу, який утворюється у процесі розкладання органічних речовин і який на 60% складається з метану, що дозволяє використовувати його як в якості палива.

Біологічне знезараження відходів при їх компостуванні відбувається наступним чином: за наявності кисню і вологи у відходах розвиваються аеробні бактерії. Спочатку розвиваються мезофільні аеробні бактерії, які розкладають деякі органічні сполуки. При цьому виділяється енергія, яка розігріває масу відходів до температури 25-30°C. Після розігріву у середовищі ТПБВ починають активно розвиватись термофільні аеробні бактерії, які розкладають більш стійкі органічні сполуки. При цьому маса відходів розігрівається до температури 55-60°C. Така температура вбиває більшість патогенних мікроорганізмів. Так, наприклад, збудник туберкульозу у відходах за звичайних умов може зберігатись 150-180 діб, а при температурі 60°C гине протягом 60 хвилин. Так само гинуть збудники холери, дизентерії, тифу та ряду інших хвороб.

Тема 3

Переробка компонентів ТПБВ

План:

1. Загальні положення щодо переробки компонентів ТПБВ
2. Переробка макулатури
3. Переробка харчових відходів
4. Переробка пластичних мас
5. Переробка металів
6. Переробка скла

1. Загальні положення щодо переробки компонентів ТПБВ. Вилучення та повторне використання компонентів ТПБВ має досить сутєві позитивні екологічні та економічні наслідки. Адже вилучення з потоку паперу та картону, скла та пластику, металів та харчових відходів суттєво знижує загальний об'єм відходів, які підлягають знешкодженню тими чи іншими методами. Використання компонентів ТПБВ в якості вторинної сировини дозволяє знизити об'єми первинної сировини, зменшує кількість дерев, що вирубуються, руди, що добувається, сільськогосподарських культур, що згодуються худобі. Крім цього, відомо, що собівартість матеріалів, отриманих із вторинної сировини у 5-15 разів нижча від матеріалів із первинної сировини. Значно знижуються витрати на усунення негативних екологічних наслідків переробки та транспортування вторинної сировини, оскільки, на відміну від первинної, її джерела завжди розміщуються у місцях скупчення промислових підприємств, здатних її переробляти.

Для того, щоб споживач міг випити 330 мл напою, повинні працювати кілька галузей промисловості у кількох країнах. Коротко процес виглядає наступним чином. У Австралії, де розміщені значні поклади бокситів, із земних надр добувається необхідна для отримання алюмінію сировина. На першому етапі природна сировина піддається очищенню та збагаченню, в результаті чого з кожної тонни руди отримують 500 кг бокситів та 500 кг відходів. Бокси завантажують у рудовози і переправляють у Швецію, Норвегію та інші країн де є можливість отримання дешевої електроенергії. На спеціалізованих підприємствах з 500 кг бокситів отримують 250 кг алюмінію у вигляді масивних зливків, котрі в подальшому нагрівають до 500°C та прокатують до товщини у 3 мм. На наступному етапі обробки холодним прокатуванням товщину отриманих листів зменшують до 0,3 мм та з них штампують баночки з кришечками. Їх миють, фарбують, наносять необхідну інформацію, покривають лаком, напилюють на внутрішню поверхню захисне покриття та відгинають кромку. На заводі безалкогольних напоїв їх ще раз миють, чистять і лише тоді заповнюють продукцією та герметизують. Далі баночки встановлюють у спеціальну картонну чи пластикову тару і відправляють в торгівельну мережу, де розпродують, у середньому, за 3 доби. Для того, щоб випити баночку напою, достатньо кількох хвилин. Після цього 84% баночок викидається у сміття. У результаті загальний об'єм відходів при виробництві баночок складає 88%. Якщо сюди додати відходи, котрі утворюються при виготовленні картону, вирощуванні буряків та отриманні цукру,

добуванні та виготовленні інших компонентів напоїв, то кілька хвилин задоволення споживача (причому, інколи досить сумнівного) явно програють перед шкодою для природи. Все це без врахування шкідливих газових викидів та стічних вод, які супроводжують описаний процес на всіх етапах. Така ж ситуація характерна для всіх без виключення виробів.

Підраховано, що Україна щорічно захоронює 3,3 млн т макулатури, 550 тис т металу, 600 тис т полімерів, 770 тис т скла, 550 тис т текстилю. В той же час у США, Німеччині, Японії, Франції із вторинної сировини добувають 20% алюмінію, 33% заліза, 50% свинцю, 44% міді. Лише у США переробка ТПБВ щорічно забезпечує прибуток більше \$2 млрд. З кожним роком ситуація змінюється на краще і в Україні. Сьогодні на ринку вторинної сировини найбільш популярними є алюмінієві банки, ПЕТФ-пляшки, макулатура. А якщо ще зважити на те, що утилізація 1 млн т макулатури зберігає 60 га лісу, а переробка 120 т консервних бляшанок дозволяє отримати 1 т олова та уникнути добування із земних надр 400 т руди, то є очевидним, що рециклінг – найбільш безпечний шлях розвитку людства у поводженні з відходами.

2. Переробка макулатури. Макулатура – один з видів твердих відходів, збір та утилізація якої сьогодні відпрацьовані досить добре. На сьогодні в Україні збір та переробка макулатури являє собою окрему галузь, масштаби діяльності якої захоплюють. Щорічно в Україні виробляється більше 800 тис т целюлозо-паперової продукції та споживається в якості сировини близько 600

т макулатури. Макулатура вважається основним джерелом сировини для целюлозо-паперової промисловості (ЦПП) майбутнього. Тому питанням збору та використання її сьогодні приділяється досить багато уваги. Характерним сьогодні є розвиток технологій не лише отримання з макулатури низькоякісної продукції типу картону чи туалетного паперу, а й навіть деяких видів високоякісного офісного та санітарно-гігієнічного паперу. Сьогодні переробка макулатури – один з напрямків розвитку целюлозо-паперової промисловості. Фактично макулатура дозволяє частково замінити такі види сировини та напівфабрикатів, як целюлоза, ревіна та паперова маса. Позитивним є, також, той факт, що комбінати, які переробляють макулатуру, не лише утилізують тверді відходи, а й випускають корисну для суспільства продукцію. Тому більшість виробництв з використанням макулатури в якості сировини є високорентабельними та привабливими з економічної точки зору. Основними джерелами утворення макулатури є житловий сектор, підприємства культурного, адміністративного та громадського призначення, підприємства з випуску чи обробки целюлозо-паперової продукції.

Макулатура, як вторинна сировина, може значно змінюватись. Згідно ДСТУ 3500-97 «Макулатура паперова і картону», виділяють 13 видів відходів паперу та картону (табл. 4). Як видно із даних таблиці, марка макулатури визначається видом продукції (папір чи картон), кольором, наявністю наповнювачів, покривних матеріалів та інше.

Таблиця 4

Група	Марка	Склад
А (високої якості, масова частка забруднень до 0,5 %)	МС-1А	Відходи виробництва білого паперу (крім газетного): папір для друку, писальний, креслярський, для малювання, основа світлочутливого паперу та інші види білого паперу;
	МС-2А	Відходи виробництва всіх видів білого паперу у вигляді обрізків з лініюванням та чорно-білою або кольоровою смужкою – папір для друку, писальний, діаграмний, для малювання;
	МС-3А	Відходи виробництва паперу із сульфатної небіленої целюлози: пакувального, шпагатного, електроізоляційного, патронного, мішкового, основи абразивного, основи для клейової стрічки, а також перфокарти, паперовий шпагат, відходи виробництва електроізоляційного картону;
	МС-4А	Використані мішки паперові невологоміцні (без бітумного просочування, прошарку і армованих шарів);
Б (середньої якості, масова частка забруднень до 1,0 %)	МС-5Б	Відходи виробництва і споживання гофрованого картону, паперу та картону, які використовуються у його виробництві;
	МС-6Б	Відходи виробництва та споживання картону всіх видів (крім електроізоляційного, покрівельного і взуттєвого) з чорно-білим та кольоровим друком;
	МС-7Б	Використані книги, журнали, брошури, проспекти, каталоги, блокноти, зошити, записні книжки, плакати та інші види продукції поліграфічної промисловості та паперово-ділових товарів з однофарбовим та кольоровим друком, без палітурок, обкладинок та корінців, які видано на білому папері;
В (низької якості, масова частка забруднень до 1,5 %)	МС-8В	Відходи виробництва і споживання газет та газетного паперу;
	МС-9В	Паперові гільзи, шпулі (без стержнів і корків), втулки (без покриття і просочення);
	МС-10В	Литі вироби з паперової маси;

В (низької якості, масова частка забруднень до 1,5 %)	МС-11В	Відходи виробництва і споживання паперу та картону з просоченням і покриттям: вологоміцні, бітумовані, ламіновані, а також паперові мішки, виготовлені з паперу зазначених видів;
	МС-12В	Відходи виробництва і споживання паперу та картон чорного і коричневого кольорів, папір з копіювальним шаром, для обчислювальної техніки, папір-підкладка з нанесеним дисперсним барвником різних відтінків, а також покрівельний картон;
	МС-13В	Відходи виробництва і споживання різноманітних видів картону, білого і кольорового паперу (крім чорного і коричневого кольорів), обкладинкового, світлочутливого, в т.ч. надрукованого на апаратах розмножувальної техніки, афішного, шпалерного, пачкового, шпульного та ін.

Очевидно, що кожна марка макулатури придатна для отримання лише визначеного виду паперу, картону чи іншої продукції. Тому у кожній країні існують свої національні, сировинні, технологічні та інші фактори виробництва і споживання паперу і картону. І, відповідно, кожна країна встановлює свої системи класифікації макулатури.

Сьогодні переробка макулатури є досить прибутковою справою з позитивним екологічним ефектом. Адже кожна повторно використана тонна макулатури зберігає 13-17 дерев, 31,5 т води, 318-577 дм³ нафти, більше 4 м³ місця на звалищі. Теоретично сьогодні близько 80% паперової продукції може бути утилізовано.

Реальний об'єм утилізації значно нижчий. Визначальним фактором при цьому є не лише якість макулатури, а й об'єми її

збору, сьогодні вважається можливим повертати для утилізації близько 70% паперової продукції.

Перш ніж потрапити на переробні підприємства, макулатура проходить кілька проміжних стадій та процесів. Та її частина, котра утворюється в побуті, відділяється від загальної маси ТПБВ ще в квартирах і накопичується в спеціально призначених для цього контейнерах на прибудинковій території або здається в пункти збору вторсировини. Оскільки щільність макулатури незначна, то, в більшості випадків, її піддають попередньому пресуванню та тюкуванню.

Процес пресування повністю автоматизовано. Після пресування отримані тюки вручну обв'язуються спеціальною стрічкою, шпагатом чи дротом. В результаті пресування залежно від виду відходів їх об'єм може зменшуватись в 10 разів і являє собою тук.

Попередньо спресовану і тюковану макулатуру транспортують на відповідні підприємства для подальшої переробки. Сьогодні із макулатури отримують різноманітні види паперу та картону (писальний, газетний, туалетний та інші види паперу, коробковий, тарний, гофрований та інші види картону – разом близько 70 видів), волокнисті та звукотеплоізоляційні плити, пухирчасті прокладки, коробки для яєць, фруктові піддони, горщики для квітів, пакування для електронної продукції, використовують в якості палива, компостують з отриманням органічних добрив та ін.

Згідно приблизних оцінок рециклінгу макулатури в Україні,

75% її загального об'єму використовується для отримання туалетного паперу та різних видів картону, 20% – для виробництва покрівельних матеріалів, 5% – у виробництві іншої продукції.

Сьогодні більшість підприємств з виготовлення паперу та картону з макулатури застосовують так звану «мокру» технологію. При цьому сам технологічний процес та обладнання для його реалізації в значній мірі залежать від кінцевої продукції.

В загальному випадку весь технологічний процес можна розділити на три основні етапи:

- ❖ підготовка паперової маси;
- ❖ формування полотна;
- ❖ сушіння отриманих виробів.

Підготовка паперової маси включає, як мінімум, три процеси: розпускання макулатурної сировини; очищення і сортування отриманої маси в агрегатах циклонного типу; розмол або диспергування паперової маси.

Розпускання макулатурної маси проводиться з метою дезагрегації макулатури і передбачає перетворення окремих шматків паперу та картону у відносно однорідну масу із волокон целюлози та домішок різного характеру. Отримана маса може транспортуватися насосами, що значно спрощує її переміщення в наступних технологічних процесах. Зазвичай грубе подрібнення макулатури проводиться у гідророзбивачах у водному середовищі при концентрації макулатури 4-6%.

При обертанні ротора у ванні формуються потужні турбулентні потоки, котрі зумовлюють дезагрегацію макулатури.

Значна кількість макулатури розбивається і при взаємодії безпосередньо з ротором. Утворені целюлозні волокна продовжують рухатись з водним потоком, часто зіштовхуючись між собою та з елементами гідророзбивача, що сприяє відділенню типографських фарб з поверхні волокон.

У днищі ванни влаштовано сито, через отвори якого макулатурна маса проходить у приймальну ємкість і виводиться за межі гідророзбивача для подальшої обробки. В результаті інтенсивного обертання суміші у металевій ванні із грубодисперсних домішок формується джгут, який спеціальним агрегатом видаляється із гідророзбивача, розрізується на відрізки визначеної довжини та накопичується у спеціальному контейнері. Шляхом джгутуотворення із макулатурної маси видаляються шматки полімерів, тканини, шпагату, ниток та ін. Легкі домішки в гідророзбивачах, також, видаляються у вигляді джгута, а важкі осідають у збірнику бруду.

Очищення та сортування отриманої макулатурної маси проводиться: з метою доведення її якості до необхідної для отримання продукції з визначеними характеристиками. В процесі переробки застосовують два основні типи обладнання для очищення макулатурної маси – *вібросита* та *очищувачі циклонного типу*.

Макулатурна маса по вхідному патрубку подається на сито, котре постійно вібрує. Тверді домішки, розмір яких більше розміру отворів сита, затримуються на ньому і завдяки вібрації скидаються з нього у спеціальні контейнери. Волокна макулатурної маси вільно

проходять через сито і подаються для подальшої обробки. З метою підвищення продуктивності вібросит та зменшення втрат волокна з відходами на сито подається вода, яка, також сприяє проходженню волокон через отвори сита та змиває їх з відходів. При підготовці макулатурної маси для отримання санітарно-гігієнічного паперу середньої якості розмір отворів сита сягає 2,5 мм.

Для очищення макулатурної маси від домішок, які за щільністю відрізняються від щільності мокрих волокон, найчастіше використовують агрегат циклонного типу (вихрові очищувачі). За конструкцією та принципом дії вони мало відрізняються від звичайних гідроциклонів.

Розмол або диспергування паперової маси. Окремі типи макулатури містять домішки, котрі важко піддаються диспергуванню при нормальних температурах – воск, парафін, бітум та інші водонерозчинні речовини. Макулатурну масу, отриману з такої макулатури, піддають термомеханічній обробці, яка може бути холодною чи гарячою. Холодна термомеханічна обробка проводиться при атмосферному тиску та температурі до 95°C, гаряча – при тиску в 0,3-0,5 МПа та температурі 130-150°C. Характерною особливістю процесів є те, що в першому випадку домішки просто подрібнюються до настільки малих розмірів, що не впливають на якість продукції, а в другому випадку – виводяться з технологічного процесу. Варто також зауважити, що високі температури погіршують механічні властивості волокон. Після останнього вихрового очищувача вміст волокна у відходах

мінімальний і вони виводяться з установки через верхній патрубок та транспортується для подальшої обробки.

Широке використання хімічних реагентів як в процесах виробництва паперу і картону, так і в процесах отримання з них макулатурної маси, змушує в окремих технологічних схемах вводити процес відмивання волокон від сорбованих неорганічних та органічних сполук. Схема апаратів для цього процесу включає два перфоровані барабани, частково занурені в герметичну ванну, куди під надлишковим тиском подається макулатурна маса. На кожному з барабанів формується шар волокна відповідної товщини. Оскільки барабани обертаються назустріч один одному, то макулатурна маса потрапляє у проміжок між барабанами і звільняється від значної кількості вологи в результаті стискування. На виході маса волокон з проміжку між барабанами насичується промивною водою, яка відразу ж видаляється з волокнистої маси у результаті проходження між барабаном та віджимним валом. Далі шар волокна знімається з поверхні барабана, подрібнюється, розводиться водою та поступає на подальшу обробку. У результаті такої однократної промивки з макулатурної маси видаляється близько 91 виду розчинних органічних та неорганічних сполук.

При отриманні з макулатури санітарно-технічних видів паперу високої якості та писального паперу необхідно передбачати у технологічній схемі відбілювання макулатурної маси. Цей процес дозволяє довести білизну кінцевої продукції до існуючих вимог. З екологічної точки зору найбільш безпечним вважається перекис водню, хоча досить широко використовують такі сполуки як натрію

гіпохлорит, гідросульфiт та дiтiонiт. Вiдбiлювання може проводитися у кiлька етапiв на рiзних стадiях технологiчного процесу.

На виробництвi часткове вiдбiлювання проводять вже у гiдророзбивачi, дозуючи у макулатурну масу сумiш луку з перекисом водню. Досить часто вводиться окрема стадiя вiдбiлювання з використанням спецiального обладнання у виглядi вiдбiлюючих башт цилiндричних резервуарiв.

Формування полотна. Одним з найвiдповiдальнiших елементiв технологiчних схем переробки макулатури з отриманням туалетного паперу чи картону є паперо- чи тоноробна машина. Основне її призначення – формування та обробка кiнцевої продукцiї. Основним елементом такого агрегату є сiтковий стiл, на якому вiдбувається формування паперу.

Дозований шар макулатурної маси потрапляє на трьохкамерний формуючий вал, обтягнутий сiткою. Завдяки вакууму, який створюється у порожнинному валi, значна кiлькiсть води вiдсмоктується з макулатурної маси, формуючи таким чином частково зневожений шар целюлозних волокон. Утворений шар пресується пневматичним притиском i з валу передається на сукно, яке рухається синхронно з валом. Завдяки цьому на сукнi формується безперервна стрiчка паперового полотна. За час руху iз сукном iз паперового полотна додатково видаляється деяка кiлькiсть вологи.

Сушіння полотна. Сформоване паперове полотно iз сукна передається на сушильну частину, котра складається iз ковпака та

крепувального циліндра. Циліндр нагрівається із середини парою, надлишок якої та конденсат відводяться ковшиком. За час руху паперового полотна разом з нагрітим циліндром вологість паперової маси доводиться до 5-7%. Тому отримане полотно з циліндра передається на накат, де формується рулон отриманого паперу з розмірами зручними для подальшої обробки.

На сьогодні не існує єдиної оптимальної технології переробки макулатури. Перелік основних технологічних операцій визначається якістю макулатури; видом кінцевої продукції та вимогами до неї, допустимими капітальними експлуатаційними витратами, об'ємами виробництва та ін.

Для виробництва *туалетного паперу* використовують макулатуру марок МС-1, МС-2, МС-3, МС-7, МС-10. При цьому в макулатурі не допускається вміст полімерних плівок, лаків, смол, тканин, паперу та картону із спеціальною обробкою – парафінованого, бітумованого, промасленого та ін. Кількістю у 1% обмежується і вміст сторонніх домішок – скла, кераміки, деревини, металів, пластиків та ін.

Додаючи до макулатури відходи обробки деревини, текстильні відходи із натуральних та штучних волокон і використовуючи в якості компоненти, що зв'язує – рідке скло, гіпс та інші відповідні речовини у кількості до 40%, методом напівмокрого формування можна отримувати теплоізоляційні плити.

Аналогічні вироби можна отримати, використовуючи відходи спеціальних видів паперу (ламінованого, парафінованого та ін.) і

відходи термопластичних полімерів (поліетилен, полістирол, поліпропілен та ін.). Технологічний процес передбачає подрібнення відходів, змішування їх між собою та пресування при нагріванні до відповідної температури. Отримані вироби щільністю 750-1000 кг/м³ можуть бути використані для влаштування перетинок, стель, деталей меблів, тари, опоряджувальних робіт у будівництві та ін.

3. Переробка харчових відходів. Харчові відходи у довкіллі при сприятливих температурах починають інтенсивно загнивати з виділенням горючих газів, газів з неприємним запахом, рідкої фази, різноманітних твердих продуктів. Така ситуація є досить привабливою для птахів, комах, гризунів, тому саме вони можуть стати рознощиками збудників інфекційних захворювань, які також інтенсивно розмножуються у таких умовах та можуть стати причиною гострих епідеміологічних проблем. З цієї точки зору харчові відходи також підлягають утилізації. Суттєвим фактором відбору харчових відходів із загального потоку ТПБВ є також те, що при змішуванні із іншими компонентами, окремі з них (папір, картон) взагалі втрачають придатність до використання в якості вторинної сировини, а використання інших (метал, скло, пластик) значно ускладнюється у зв'язку з необхідністю їх попереднього очищення. Тому збір харчових відходів у окремі контейнери не лише вирішує безпосередні екологічні та санітарно-гігієнічні проблеми, а й сприяє ресурсозбереженню та зменшує об'єми відходів, які підлягають захороненню.

Фракція харчових відходів може бути представлена наступними основними речовинами біологічного походження:

❖ високомолекулярні полісахариди (целюлоза – клітковина) – основна складова вищих рослин; амілоза та амілопектин – складова багатьох харчових відходів рослинного походження;

❖ олігомерні та мономерні природні речовини рослинного походження;

❖ лігнін – складова вищих рослин, органічна сполука ароматичного ряду;

❖ білок – складова харчових відходів тваринного походження.

Зважаючи на біологічне походження харчових відходів, найбільш оптимальними вважаються біологічні методи їх знешкодження. При цьому виділяють кілька основних напрямків знешкодження таких відходів – *подрібнення і скид у каналізаційну систему, згодовування домашнім тваринам та переробка біологічними методами з отриманням компосту, біогазу і інших корисних речовин.*

Перший напрямок реалізується за допомогою диспоузерів (подрібнювач харчових відходів) і передбачає подрібнення харчових відходів та скид їх у каналізаційну систему в місцях їх утворення – помешканнях, закладах громадського харчування, школах, дитячих садках та інш. Особливо ефективний такий напрям утилізації у випадку, коли осади біологічних систем очищення комунальних стоків трансформуються у корисні речовини у вигляді компосту, придатного для використання у сільському господарстві. У мегаполісах, на території яких

розміщені різноманітні промислові підприємства (як, наприклад, Київ), активний мул, особливо у випадку неналежного контролю за скидом стічних вод у каналізаційну систему міста, завжди містить значну кількість важких металів, що перешкоджає застосуванню осадів які утворюються у сільському господарстві. Тому використання диспозерів не завжди можна вважати ефективним, оскільки вони збільшують об'єми осадів на мулових майданчиках очисних споруд із загостренням відповідних екологічних проблем. Оскільки значний вміст важких металів перешкоджає використанню осадів у сільському господарстві, а інші методи утилізації не можуть бути реалізовані через відсутність необхідного обладнання, то осади перекачуються на мулові майданчики для зневоднення та підсушування.

В сільській місцевості, де концентрація населення не така значна, як у містах і де в більшості господарств утримують ту чи іншу кількість домашніх тварин, проблеми харчових відходів взагалі не виникає. Більшість відходів згодовується тваринам, а гній після компостування слугує добривом для підвищення продуктивності садів та городів.

Найбільш поширеним сьогодні методом знешкодження харчових відходів є їх *компостування*. Харчові відходи, зібрані у біоконтейнер, вивозяться на спеціальні заводи, де переробляються у компост. Завдяки роздільному збору харчових відходів, вміст у компості важких металів відповідає суворим екологічним нормам і він може застосовуватись в якості органічного добрива.

Технологічний процес включає, переважно, три стадії – підсушування та розпушування, сепарацію для видалення домішок, компостування. Найбільш тривалим є процес компостування. Спочатку відходи 15-20 діб перебувають у реакторі з підігрівом, потім перевантажуються у інший реактор, де витримуються ще 40 діб. Отриманий компост при необхідності піддають очищенню та відправляють споживачам.

Окрім утилізації харчових відходів, компостування дозволяє разом з ними утилізувати опале листя, скошену траву, осади систем біологічного очищення води.

Все більшого розповсюдження набуває сьогодні метод утилізації харчових відходів з використанням *вермікультури*. Характерною особливістю цього методу порівняно із компостуванням, є значно більша його інтенсивність. Вже протягом 2-х діб маса біогумусу, що продукується черв'яками при сприятливих умовах, дорівнює масі самих черв'яків. Сьогодні промисловістю випускаються спеціальні контейнери для реалізації процесу на присадибних ділянках чи у невеликих фермерських господарствах. Він являє собою ряд спеціальних контейнерів прямокутної форми, встановлюваних один на одній. Заповнення контейнерів відходами починається із самого нижнього, куди заселяються дощові черв'яки. Після заповнення першого контейнера поступово відходами заповнюються інші контейнери. Дно контейнерів, крім самого нижнього, влаштовано у вигляді сітки або решітки, що дозволяє черв'якам при споживанні всіх відходів першого контейнера переміщуватись у наступний, і так до

самого верхнього. По мірі міграції черв'яків у верхні контейнери, нижні з готовим вермікомпостом виймаються, а на їх місце опускаються верхні. Вермікомпост висипається із контейнерів і вони встановлюються на визначене місце та заповнюються відходами. Таким чином, процес вермікомпостування може проводитись тривалий час без перерви.

Для отримання біогазу харчові відходи піддають обробці анаеробними мікроорганізмами. Для цього можна скористатися біогазовою установкою «ИБГУ-1» або біоенергетичним модулем «БІОЕН-1». Вибрані споруди заповнюють харчовими відходами, вкривають спеціальним пластиковим куполом для попередження витоку біогазу, а в товщу відходів закачують воду чи культуру метаногенних бактерій. Через кілька діб у масі відходів починається виділення біогазу, об'єм якого щоденно зростає. Період інтенсивного виділення біогазу залежить від об'єму відходів і може тривати до 2-х років. Після цього пластиковий купол знімають, а вміст реактора використовують в якості органічного добрива.

Останнім часом починає інтенсивно впроваджуватись так звана ЕМ-технологія (ефективні мікроорганізми) знешкодження харчових відходів. Суттєвою перевагою методу ферментації харчових відходів є те, що сам процес проходить без виділення неприємних запахів, тому ЕМ-контейнер може встановлюватись навіть у кухонному приміщенні. Один раз на 3 доби з контейнера зливається рідка фаза, котра після розведення може бути використана для ферментації харчових відходів, підживлення рослин, утилізації

органічних відходів та інш. Один раз на 7-10 діб із контейнера вивантажується і тверда фаза, яка може зразу ж використовуватись в якості органічного добрива при змішуванні із ґрунтом у співвідношенні 1 частина добрива на 20-40 частин ґрунту або складуватися на спеціальному майданчику. Через 40-60 діб ферментовані відходи трансформуються у гумус. Використання ферментованих харчових відходів дозволяє у 1,5-2,0 рази збільшити врожай зернових культур та у 3,0-4,0 рази – врожай овочів.

4. Переробка пластичних мас. Щорічно вміст відходів пластичних мас у ТПБВ зростає і зниження темпів такого зростання в найближчому майбутньому не передбачається. У розвинутих країнах кількість пластикових відходів подвоюється кожні 10 років і вже сьогодні вони складають 60% тари та пакування. Втрата такої величезної кількості вторинної сировини є досить відчутною для людства, а захоронення чи спалювання пластикових відходів завжди пов'язано із значними екологічними проблемами. Тому останнім часом індустрія переробки пластиків розвивається досить інтенсивно, особливо на території країн колишнього СРСР.

За оцінками фахівців у структурі полімерних відходів 34% складає поліетилен (плівка, пивні ящики, відра, піддони та інші вироби), 20,4% – ПЕТФ (пляшки від різноманітних напоїв та інших рідин), 17% – ламінований папір 13,6% – ПВХ (труби, плівка, панелі), 7,6% – полістирол (корпуси електронної апаратури, одноразовий посуд), 7,4% – поліпропілен (побутові вироби, корпуси акумуляторів, різноманітна тара). Більшість виробів, тари та пакування із пластичних мас тривалий час зберігають свої

властивості і придатні до повторного використання. Однак сьогодні збирається та переробляється лише 20% поліетилену, 17% поліпропілену, 12% ПЕТФ, 12% полістиролу 10% ПВХ. Причому, промисловість здатна переробити у кілька разів більше вторинної сировини, ніж її продукується сьогодні з відходів. Вторинна пластикова сировина сьогодні використовується практично в усіх галузях виробництва паралельно з більш якісною первинною сировиною. З вторинних пластиків продукують елементи машин та механізмів, посуд, меблі та предмети інтер'єру, широкий перелік будівельних виробів, значні об'єми пакувальних матеріалів та тари, труби, полімерну черепицю та тротуарну плитку і багато іншого.

У загальному випадку відходи полімерів використовуються у трьох основних напрямках (рис. 3):



Рис. 3. Основні напрямки переробки полімерних відходів

Переробка відходів полімерів з отриманням аналогічної продукції передбачає, перш за все, використання промислових відходів, котрі є достатньо чистими, стабільними за складом та об'ємами, без сторонніх домішок та домішок інших типів полімерів.

Відбір серед ТПБВ значної кількості однотипної, достатньо чистої полімерної продукції є досить проблематичним.

Більшого поширення набула *переробка відходів полімерів з отриманням продукції гіршої якості чи іншої номенклатури*. Цей напрямок сьогодні є найбільш економічно та екологічно доцільним.

У загальному випадку технологічна схема переробки пластмасових відходів з метою отримання вторинної сировини передбачає наступні операції: *сортування за видами, подрібнення, мийка, висушування, агломерація, відділення шматків металів, грануляція, фасування*.

На першій стадії відходи піддають *сортуванню за видами полімерної сировини* та видаленню не полімерних матеріалів (ниток, скріпок, кнопок). Для ПЕТФ-тари додатково проводиться сортування за кольором. На цій же стадії проводиться часткове очищення відходів шляхом струшування, висипання вмісту мішків, видалення етикеток і т.п. Необхідність сортування викликана тим, що різні види пластиків не сумісні між собою і вміст навіть невеликих кількостей, наприклад ПВХ у ПЕВТ (до 5%), суттєво знижує ефективність його переробки та якість отримуваної вторинної продукції

Підготовлені партії відходів *подрібнюються* у валкових, шнекових і інших дробарках, миються, висушуються та, при необхідності, піддаються *агломерації* (спікання дрібнозернистих або пилюватих матеріалів). Після подрібнення в результаті тертя між частками полімеру температура в агломераторі зростає до 100°C і маса підправляється, в цей момент в агломератор подається

так звана «шокова» вода, яка викликає спікання полімерного матеріалу і подрібнення його ножами.

Отриманий продукт пропускається через металодетектор і направляється на *фасування*. В окремих випадках в схему включають стадію *грануляції*, яка дозволяє отримувати вторинну сировину більш однорідної структури або виключають стадію агломерації, коли переробляються шматкові відходи.

Сьогодні розробляється ще один напрямок утилізації ПЕТФ-пляшки. Шляхом зміни форми пляшки забезпечується можливість її подальшого використання для формування водопроводів, каркасів та покрівель для теплих герметичних м'яких покрівель та ін.

Будівельним матеріалом ХХІ ст. вважають полімер-піщану черепицю, яка набуває щороку все більшого поширення. Вироби із полімер-піщаного композиту отримують шляхом прямого пресування силою у 250 т. Для забарвлення виробів у масу додають різноманітні барвники, здатні тривалий час зберігати колір у природних умовах. Весь технологічний процес можна розділити на кілька стадій:

- ❖ підготовка полімерних відходів;
- ❖ підготовка піску;
- ❖ отримання полімер-піщаної композиції;
- ❖ отримання відповідних виробів;
- ❖ контроль якості та пакування отриманої продукції.

Окрім черепиці із полімер-піщаної маси пропонується отримувати тротуарну плитку та інші будівельно-покривні

матеріали.

Переробка полімерних відходів з руйнуванням полімерних структур застосовується, переважно, у випадках, коли отримання з них вторинної сировини чи доведення їх якості до необхідних вимог є економічно недоцільним або диктується умовами технологічного процесу. Такий напрямок переробки відходів включає *гідроліз, піроліз та спалювання*.

Гідроліз передбачає розкладання полімерних відходів при температурах 180-200°C і вище в присутності води та без доступу кисню або в атмосфері інертного з точки зору реакції газу (найчастіше азоту) чи у присутності відповідних каталізаторів. У результаті гідролізу відходи нейлону трансформуються у капролактам, котрий після додаткового очищення може знову використовуватись у технологіях поліконденсації нейлону. ПЕТФ у процесі гідролізу розкладається на етиленгліколь та диглікольтерефталат. Після видалення із суміші деякої кількості етиленгліколю та води, останній компонент може бути використаний в технологіях синтезу ПЕТФ.

Піроліз більше придатний для утилізації суміші полімерних відходів і некритичний до вмісту відходів інших категорій. В результаті піролізу утворюється газ, рідка та тверда фази. Газова фаза являє собою, переважно, горючі гази, тому може бути використана в якості теплоносія для забезпечення потреб самого технологічного процесу або конденсована у рідку фазу. Рідка фаза, представлена олівами та воском, може бути використана для одержання бензолу, толуолу, ксилолу, стиролу, нафталіну та інших

речовин. Твердий залишок може бути використаний в якості активованого вугілля, наповнювача для пластиків, сировини для виготовлення бездимного палива та ін.

Спалювання полімерних відходів передбачає їх подрібнення, сепарацію та додавання у кількості до 15% в спеціальні модифіковані котли і супроводжується викидом у довкілля різноманітних забруднюючих та небезпечних речовин: діоксини та фурани. Тому такий вид переробки у більшості країн заборонений.

5. Переробка металів. Вміст металів у ТПБВ коливається на рівні кількох відсотків і залежить від багатьох факторів. Останнім часом місце лідера серед цієї категорії відходів впевнено займають алюмінієва та жерстяна тара для консервів та напоїв. Відходи, кольорових металів, що збираються від населення, виділяють в окрему категорію і поділяють на 9 груп:

- I - алюміній та сплави на алюмінієвій основі;
- II - магній та сплави на магнієвій основі;
- III - мідь та її сплави;
- IV - нікель та його сплави;
- V - олово, свинець та їх сплави;
- VI - цинк та сплави на його основі;
- VII - брухт свинцевих акумуляторів від легкових автомобілів;
- VIII - брухт алюмінієвої консервної тари;
- IX - брухт консервної тари із білої жерсті.

При зборі відходів металів допускаються домішки жирів, залишків харчових продуктів у кількості не більше 5%, в той час

коли забруднення масляними фарбами, смолою, нафтою, папером та іншими водонерозчинними речовинами не допускається.

У загальному випадку методи утилізації відходів металів, зібраних населенням, мало відрізняються від методів утилізації металевого брухту у промисловості.

Раніше збором брухту металів від населення займалися, як правило, пункти збору вторинної сировини, а його підготовкою, сортуванням, пакетуванням – підприємства Вторкольормету України. Сьогодні ситуація суттєво змінилася. Оскільки збір та продаж брухту кольорових металів є досить прибутковою справою, то до неї долучилася величезна кількість приватних пунктів збору по всій Україні, не дуже розбірливих у джерелах походження брухту металів. В умовах бідності, безробіття та нехтування всіма існуючими законами виник ажіотаж, що призвів до демонтажу та розукомплектуванню діючого обладнання промислових підприємств, зрізування дротів із ліній електропередач, які знаходяться під напругою, викраденню із помешкань та приватних садіб начиння, виготовленого із кольорових металів. Більшість зібраного таким чином брухту металів вивозиться за кордон для продажу та отримання більшого прибутку.

Цивілізованим шляхом збору брухту металів сьогодні залишається задача його в пункти збору вторинної сировини. Особливістю сучасного стану в цій галузі поводження з відходами є наявність досить багатотоннажного потоку використаної металеві тари для пива та прохолоджувальних напоїв. Незважаючи на те, що вага одиниці такої тари сягає, в середньому, біля 14 г, в загальній

масі ТПБВ цей компонент є досить об'ємним, бо займає 330-500 мл, а виготовлення із алюмінію чи жерсті робить цей вид відходів цінною вторинною сировиною. Тому більшість розвинутих країн приділяють збору використаної металевої тари досить багато уваги. Крім збору цього типу відходів спеціалізованими пунктами, у місцях скупчення населення, у місцях проведення різноманітних масових заходів, у закладах торгівельної мережі встановлюють спеціальні автомати, які приймають використану металеву тару, сплачуючи за кожну прийняту одиницю встановлений грошовий еквівалент. Конструкція багатьох апаратів такого типу передбачає можливість одночасного прийому пластикових та жерстяних пляшок.

Належна організація процесів збору та утилізації алюмінієвої тари із-під пива та прохолоджувальних напоїв дозволяє сьогодні окремим країнам досягнути ступеня її утилізації на рівні 75%. Навіть при багаторазовій утилізації властивості вторинної сировини із алюмінієвих банок не знижують якості і можуть без застережень використовуватись для виготовлення такої ж продукції. За приблизними оцінками сьогодні біля 70% нової алюмінієвої тари виготовляється із вторинного алюмінію.

6. Переробка скла. Промисловість України потребує щорічно 300 тис т склобою. Сьогодні об'єми заготівлі не перевищують третини вказаної суми, а з потоку ТПБВ відбирається лише 15-20% скляної вторинної сировини.

В ідеальному варіанті вторинна скляна сировина повинна бути чистою та розділеною за кольором на три категорії – біла,

зелена та коричнева. Тоді вона може бути використана у будь-якому напрямку утилізації.

Скляні відходи достатньої якості подрібнюються і використовуються в технологічному процесі *отримання, різноманітної побутової та промислової тари*, оскільки вимоги до якості такої продукції значно нижчі порівняно з іншими виробами. При цьому важливим фактором є значна економія природної сировини (1,2 т на 1 т відходів), економія електроенергії (5-30%) та суттєве зниження викидів у довкілля в результаті використання очищеної сировини. У цьому випадку скляна вторинна сировина в різній кількості додається у шахту для отримання пляшок та банок відповідного об'єму та форми. Для різних країн та різних заводів вміст використання вторинної сировини у технологічному процесі може складати 20-100% і суттєво залежить від її якості. Досить часто якість вторинної скляної сировини буває низькою у результаті наявності різних домішок у вигляді відходів іншого виду, етикеток, та ін. Крім того, суттєво на умови технологічного процесу при отриманні скляних виробів впливає стабільність гранулометричного складу вихідної сировини. Тому у більшості країн, де організовано збір скляних відходів, перед здачею на переробні заводи передбачається їх очищення та подрібнення.

Основні напрямки утилізації відходів скла: виробництво тари, виробництво облицьовувальної плитки, виробництво піноскла, виробництво асфальту, виробництво в'язучих компонентів.

Із змішаних відходів скла різного кольору виготовляють

облицьовувальні плитки для опоряджувальних робіт у житлових та виробничих приміщеннях. Колір та структура плиток залежить від складу вторинної сировини і може коригуватися шляхом додавання різних компонентів та особливостями технологічного процесу. Для отримання плиток, які схожі на природний граніт чи мармур, скляні відходи подрібнюють, змішують з кварцевим піском та крейдою і варять при температурі в 1500°C. У результаті охолодження маса перетворюється на суміш гранул з розміром до 0,5 см. Отримання плиток передбачає нагрівання отриманої маси та спікання гранул між собою. Схожість плиток на природний камінь досягається у результаті застосування особливого режиму кристалізації. Для отримання напівпрозорих плиток кольору вихідної сировини, скляні відходи піддають спіканню без попередньої варки. Отримані вироби міцні, вологостійкі, можуть використовуватись для укладання на підлоги чи стіни за допомогою звичайного цементного розчину.

Ще у 30-ті роки минулого століття у Росії було вперше отримано *піноскло* – матеріал з унікальним поєднанням таких властивостей як міцність, теплопровідність та екологічність. Блок із піноскла товщиною 120 мм створює такий же захисний екран, як і шар цегли товщиною 950 мм. Пористість піноскла сягає 92-94% при використанні в якості спінювала молотого вапняку чи вугілля. Позитивним фактом використання піноскла є його надзвичайно низька вологоємність та висока вологостійкість, що дозволяє використовувати його у широкому діапазоні зовнішніх умов. Завдяки термічній та хімічній стійкості піноскло допускається

використовувати для ізоляції ємкостей та трубопроводів з кислотою при температурах до 600°C. Суттєвою перевагою піноскла є відсутність у його складі органічних сполук, що виключає споживання його гризунами, заселення мікроорганізмами та комахами. За нормальних умов експлуатації ізоляційні шари з піноскла не руйнуються і можуть виконувати свої функції досить тривалий час. Умови виробництва піноскла дозволяють використовувати у технологічному процесі в якості сировини практично будь-яке скло. Сьогодні піноскло продукує ряд підприємств у монолітно-блочному чи гранульованому вигляді з використанням в якості вихідної сировини відходів віконного скла, бою пляшок, відходів спеціального медичного скла.

Піноскло – являє собою калібровані гранули з захисною поверхнею. Форма гранул близька до форми кулі з розміром в діапазоні 7-40 мм, а на поверхню гранул нанесено захисний шар з кварцевого піску, кристалічного кремнезему чи цементу, що збільшує хімічну та термічну стійкість гранул і покращує їх адгезію до різноманітних будівельних матеріалів.

Склобій може успішно використовуватись для отримання скло-кристалічного щебеню. Для цього склобій спікають при температурі 600-900°C з кварцевим піском при співвідношенні 50:50. Отриманий продукт може використовуватись при будівництві доріг, для приготування асфальто- та цементобетону. Подрібнене скло можна безпосередньо використовувати в якості наповнювача при приготуванні різноманітних марок *бетонів*. Ступінь утилізації скла сягає в цьому випадку 70%. Суттєво

збільшити цей показник дозволяє використання битого скла в якості наповнювача, а скла тонкого помелу – в якості в'язучого матеріалу.

Додавання 40% за масою здрібненого скла в *асфальт* надає йому підвищеного естетичного вигляду (іскристості) та добре помітно в темну пору доби. В даний час таке покриття нанесене на 60% усіх вулиць і тротуарів міста Балтімор (США).

Бій скла використовується у технологіях виробництва абразивних кругів та шліфувальної шкірки. Використання склобою у процесах отримання скловолокна дозволяє на 30% знизити його вартість.

Особливу категорію скляних відходів складають корпуси телевізійних кінескопів та комп'ютерних моніторів. Повторна переробка таких відходів при високих температурах супроводжується викидами значної кількості свинцю, бору та барію, тому намагаються утилізувати такі відходи шляхом приготування бетону з додаванням подрібненого скла кінескопів та моніторів. Використовуються такі бетони для захисту персоналу від іонізуючого випромінювання у відповідних галузях. Причому, отримувані бетони, крім механічних властивостей, мають радіаційно-захисні властивості завдяки вмісту сполук свинцю. Перспективним вважається використання скла кінескопів та моніторів для іммобілізації радіоактивних відходів. При цьому одночасно іммобілізуються у скляній матриці і шкідливі домішки самого скла.

Американськими фахівцями запропоновано використовувати

новий будівельний матеріал, отриманий на основі бою скла та газетного паперу. Він на 30% дешевший від звичайної цегли, відрізняється водо- та вогнестійкістю, важить на 65% менше.

Тема 4

Термічні методи знешкодження ТПБВ

План:

1. Пряме спалювання.
2. Піроліз.
3. Газифікація.
4. Плазмове знешкодження.

1. Пряме спалювання. На сьогодні використовується три основні методи термічного знешкодження ТПБВ: пряме спалювання; піроліз; газифікація.

Незважаючи на всі відомі недоліки прямого спалювання ТПБВ, воно досить широко використовується для їх знешкодження. З одного боку сміттєспалювання дозволяє майже у 3 рази зменшити об'єм ТПБВ, отримати додаткову енергію, знищити неприємні запахи, попередити розмноження бактерій та вірусів. З іншого – спалювання ТПБВ супроводжується викидами у довкілля надзвичайно небезпечних речовин. Але ще 20 років тому такий метод вважався чи не найперспективнішим методом утилізації ТПБВ.

Добре відомо, що перший ССЗ (сміттєспалюваний завод) було побудовано в Англії ще у 1874 році, але сміття почали спалювати чи не відразу ж після опанування вогню. У подальшому спостерігається інтенсивне поширення ССЗ по території всіх розвинутих країн. Так, до початку ХХ ст. у США 15% міст вже

спалювали свої ТПБВ. Перший ССЗ на території Росії було споруджено у 1914 р. в Санкт-Петербурзі.

Основними факторами, які зумовили швидке впровадження спалювання на значній території, була простота технології та обладнання, можливість зменшення об'єму відходів на 60-70% та отримання «дармової» енергії при відповідному ускладненні обладнання. Досить перспективним свого часу вважався перехід від спалювання ТПБВ до спалювання ТПБВ з отриманням гарячої води чи пари. За рахунок використання ТПБВ в якості палива французька служба прибирання міст, наприклад, компенсувала майже 70% всіх затрат, у британському Едмонтоні спалювання ТПБВ щорічно заощаджувало близько 100 000 т вугілля, а загальна потужність енергоустановок такого типу до кінця 80-х років минулого століття сягала 1200 Вт. Кількість ССЗ які одночасно продукували пару чи виробляли електроенергію, почали швидко зростати. Якщо у 1992 р. таких заводів нараховувалося близько 400 то до 1996 р. їх кількість зросла до 2400.

Інтенсивний розвиток прямого сміттєспалювання відбувався до тих пір, доки людство не замислилось над питанням, у що трансформується у вогні ТПБВ і як в подальшому нові речовини впливають на довкілля та людину. До того часу окремі країни з досить обмеженою територією більше половини відходів піддавали спалюванню. Наведені дані відносяться до початку 90-х років і у зв'язку із негативним ставленням до сміттєспалювання сьогодні ситуація у багатьох країнах суттєво змінилася. Розроблені нові вимоги до викидів у атмосферу забруднюючих речовин з ССЗ,

котрі включають нові сполуки та роблять більш жорсткими вимоги до скиду відомих речовин. У результаті витрати ССЗ на газоочищення складають біля 50% загальних капітальних витрат. Однак, навіть найсучасніші газоочисні установки не здатні запобігти забрудненню довкілля діоксинами та фуранами.

У багатьох штатах Америки та у Канаді будівництво сміттєспалювальних заводів сьогодні взагалі заборонено. Більшість країн Західної Європи також гальмують або взагалі забороняють будівництво нових ССЗ. Індустрія сміттєспалювання сьогодні розвивається, переважно, у Східній Європі та Південній Азії.

Досвід експлуатації ССЗ показує, що так звана «дармова» енергія насправді поки що не є такою. Якщо вартість електроенергії, отриманої традиційними методами, складає 1-3 центи за 1 кВт-год, то вартість електроенергії ССЗ зростає до 11 центів за 1 кВт-год. Та й загальна вартість знешкодження ТПБВ шляхом спалювання в більшості країн інколи в кілька разів дорожча від захоронення. І це ще не межа, оскільки зола після сміттєспалювання містить достатньо значну кількість шкідливих речовин, в т. ч. діоксинів, поліароматичних вуглеводнів та важких металів, що може зумовити віднесення їх до токсичних відходів і, як результат, захоронення на спеціальних полігонах зі збільшенням відповідної вартості такої процедури.

Разом з тим, характеристики ТПБВ та процеси їх утворення не дозволяють однозначно відкидати термічні методи як нераціональний та небезпечний шлях їх утилізації. Більше того, фахівці галузі поводження з ТПБВ вважають термічні методи

ефективною та невід'ємною ланкою у комплексній системі забезпечення санітарного благополуччя населення. При цьому чи не вирішальним фактором виступає можливість використання ТПБВ в якості альтернативного джерела енергії, оскільки вони відповідають трьом обов'язковим вимогам:

❖ широка розповсюдженість та доступність для масового використання. Сьогодні об'єми утворення ТПБВ щорічно зростають, сягаючи астрономічних цифр і спричиняючи гострі екологічні та санітарно-гігієнічні проблеми. Тенденції до зменшення об'ємів ТПБВ у найближчому майбутньому не спостерігається. Тому, незалежно від використання ТПБВ, необхідність їх знешкодження не зникає. Відповідно, найбільш раціональними є методи які дозволяють проводити утилізацію з одночасним отриманням енергії та корисних вторинних ресурсів. Якщо зважити на те, що ТПБВ є відновлювальним ресурсом, котрий доступний для використання без руйнування земних надр, то доцільність їх використання в якості альтернативного джерела енергії при застосуванні прогресивних технологічних процесів рано чи пізно стане економічно вигідним навіть у порівнянні з природними джерелами енергії;

❖ достатня хімічна активність палива для забезпечення необхідної інтенсивності горіння у середовищі кисню. З цієї точки зору властивості ТПБВ мало відрізняються від властивостей природних енергоносіїв;

❖ значна теплотворна здатність палива. Якщо порівнювати елементарний склад та теплотворну здатність ТПБВ з аналогічними

характеристиками інших поширених теплоносіїв, то варто зауважити, що вони не є самими низькими і цілком можуть слугувати джерелом енергії.

Приклад шведського міста Уппсала із населенням 160 тис. жителів підтверджує можливість використання ТПБВ в якості джерела енергії при відповідному підході до збереження довкілля. З початку 90-х років минулого століття місто було переведено на забезпечення теплом з використанням ТПБВ, дров, торфу та інших джерел. У загальному обсягу місто отримувало необхідне тепло на 38% від спалювання ТПБВ, 41% – від спалювання дров та торфу, 11% – у результаті відбору тепла з повітря чи води за допомогою теплових насосів, 5% – від спалювання нафти та використання електрики, біля 0,01% – за рахунок використання сонячної енергії. Причому, спалювання ТПБВ проводиться на заводах, які обладнані найсучаснішими спорудами для очищення газів. Завдяки впровадженню такої системи утилізуються ТПБВ не лише самого міста, а й всіх населених пунктів в радіусі 75 км.

ССЗ «Енергія» в м. Києві введено в експлуатацію у січні 1988 року. Загальна площа території заводу з урахуванням під'їзних доріг становить 7,75 га. Відстань до найближчої житлової забудови – 1200 м. Максимальна проектна потужність заводу становить 350,0 тис т на рік за умови спалювання відходів з калорійністю 2400,0 ккал/кг. При спалюванні відходів з калорійністю 1100,0 ккал/кг (фактично наявна на цей час в м. Києві) потужність заводу знижується до 175,0 тис т на рік. У головному корпусі заводу встановлено 4 сміттєспалювальних котлоагрегати з циліндричними

валковими решітками продуктивністю 8-15 т/год. Проектом передбачено можливість використання природного газу для стабілізації технологічного процесу. Серед газоочисного обладнання на заводі встановлено лише електрофільтри для видалення з димових газів зольного попелу із ефективністю 98-99%, що на сьогодні явно недостатньо, після чого через димову трубу висотою 120 м вони викидаються у повітря. У викидних газах контролюється вміст шкідливих газів. Температура спалювання відходів коливається в межах 700-900°C. Максимально можлива температура у топковому просторі – 1200°C і обмежується виробником котлоагрегатів. Оскільки на території України відсутні лабораторії, здатні проводити аналіз вмісту діоксинів у вихідних газах, то ніякого контролю щодо цього показника на заводі не ведеться. Те ж відноситься і до шлаків, які сьогодні захоронюються на полігонах ТПБВ, а у майбутньому планується їх використання в якості вторинної сировини для різних галузей промисловості. Із золошлакової суміші методом сепарації відділяється металобрухт, котрий пакується та передається на подальшу переробку. Надлишкова частина теплової енергії рекуперується та використовується для власних потреб і передається іншим споживачам.

Таким чином, на сьогодні як в Україні, так і в інших державах, навіть достатньо розвинутих, не вироблено єдиного підходу до термічних методів утилізації ТПБВ. Більше того, піроліз та газифікація, котрі також відносяться до термічних методів, вважаються такими методами, котрі можуть вирішувати проблеми

утилізації ТПБВ при досить низьких або, навіть, відсутності шкідливих викидів у довкілля.

Спалювання ТПБВ. Найбільшого поширення сьогодні набуло пошарове спалювання ТПБВ на колосникових решітках.

На сьогодні відпрацьовані чіткі та конкретні вимоги, які повинні задовільняти ССЗ. Чи не найважливіше серед них так зване «правило 2 секунд». Згідно з ним, гази, що утворюються у процесі спалювання ТПБВ, повинні протягом не менше 2 с. перебувати у зоні, де температура сягає більше 850°C, а концентрація кисню – не нижче 6%. Виконання такої умови дозволяє уникнути утворення діоксинів, однак створює суттєве протиріччя. Достатній рівень кисню може бути забезпечений продуванням у топку повітря, що спричиняє автоматичне зниження температури та сприяє утворенню шкідливих сполук. З метою збільшення ефективності ССЗ більшість з них обладнують системами відбору тепла для отримання пари чи електроенергії. Саме у теплообмінниках таких систем, де починається охолодження газів, спостерігається найбільш інтенсивне утворення діоксинів.

Важливим компонентом ССЗ є обладнання для очищення газових викидів. При будівництві ССЗ вартість очисних споруд складає не менше 50% від загальної вартості заводу. Лише у цьому випадку можна стверджувати про можливість доведення вмісту шкідливих речовин у викидних газах до існуючих норм. У протилежному випадку навіть теоретично це неможливо.

Типова схема очисних споруд ССЗ включає кілька етапів очищення.

На першому етапі за допомогою електростатичних фільтрів з потоку газів видаляють частки золи – виносу. Частина газів повертається у топку, решта потрапляє у розпилювач очищених стічних вод для подальших етапів очищення газів, де кристалізуються та можуть бути відділені від загального потоку присутні у них солі. Для підвищення ефективності видалення часток солей, що кристалізувалися на попередньому етапі, отримані гази пропускають через додатковий блок електростатичних фільтрів.

На наступному етапі викидні гази піддають кислому та лужному промиванню у скруберах і подають на теплообмінник для відбору надлишкової енергії. Стічні води від скрубєрів у реакторі нейтралізують вапном, обробляють коагулянтном у вигляді хлориду заліза (III) та сульфідом натрію для ефективного зв'язування важких металів, додають відповідний поліелектроліт та розподіляють на тверду та рідку фази. Відділений шлам відправляють на подальшу обробку чи захоронення, а очищені води випаровують з метою видалення солей в описаному вище обладнанні. Після теплообмінника викидні гази в реакторі обробляють активованим вугіллям для доочищення від шкідливих складових – діоксинів, оксидів азоту та ін. Частки вугілля, що виносяться з потоком газу за межі реактора, осідають на пилових фільтрах.

На останньому етапі викидні гази нагрівають шляхом спалювання природного газу, обробляють аміаком та пропускають через каталізатор для допалювання оксидів азоту та діоксинів.

Очищений газ продувають через регенеративний теплообмінник та викидають у атмосферу.

Застосування навіть такої складної та затратної схеми очищення відхідних газів не завжди забезпечує дотримання європейських норм на викиди шкідливих сполук, вміст яких сьогодні не повинен перевищувати по діоксинах $0,1 \text{ мг/мм}^3$. Причиною цього є той факт, що навіть кращі вугільні фільтри не дозволяють знизити вміст діоксинів до необхідної норми, а гарячі електростатичні фільтри самі є генераторами діоксинів.

Наступним етапом розвитку методу пошарового спалювання можна вважати спалювання ТПБВ у топках з киплячим шаром. Метод було запропоновано в Японії на початку 80-х років минулого століття і сьогодні більше 25% ССЗ Японії використовують саме такий метод спалювання ТПБВ. Суть методу полягає в тому, що нагріте повітря вдувається у топку знизу вгору під визначеною швидкістю, завдяки чому в топці формується шар із завислих часток дрібнозернистого піску, який виконує роль теплоносія. За своїми властивостями шар нагадує киплячу рідину і його поведінка може бути описана законами гідродинаміки. Пісок киплячого шару нагрівають спеціальними пальниками до $750\text{-}800^\circ\text{C}$ і починають подавати у шар подрібнені ТПБВ. За рахунок постійного руху часток у киплячому шарі шматки ТПБВ ще більше подрібнюються, а за рахунок доброї теплопровідності піску – швидко згорають.

З кожним роком відношення до ССЗ кардинально змінюється. На початку 90-х років в Японії їх нараховувалось біля

1900, США – 168, Німеччині та Нідерландах – 12, а самі заводи вважались мало не панацеєю вирішення проблеми ТПБВ. Зважаючи на гострий негативний вплив на довкілля в більшості країн відношення до ССЗ негативне. Варто також зауважити, що видалення, наприклад, діоксинів із димових газів не вирішує проблему, оскільки вони не руйнуються, а лише переводяться у більш зручну для зберігання форму – абсорбовані на твердих частках чи активованому вугіллі. Якщо зважити на те, що у звичайних умовах період напіврозпаду діоксинів сягає 200 років, то вирішення екологічної проблеми ТПБВ термічними методами породжує іншу, ще більш гостру екологічну проблему. Така ситуація сприяла інтенсивному пошуку більш безпечних методів термічної обробки ТПБВ.

2. Піроліз ТПБВ. Процес піролізу сьогодні досить часто привертає увагу фахівців у галузі поводження з ТПБВ, оскільки дозволяє уникнути багатьох негативних наслідків шарового спалювання.

В загальному випадку під піролізом розуміють високотемпературну обробку ТПБВ без чи з досить обмеженим доступом повітря. Незважаючи на те, що на сьогодні виконано досить багато масштабних досліджень, єдиної думки щодо піролізу, як процесу утилізації ТПБВ, сьогодні ще не сформовано. Ряд фахівців виділяють низько-, середньо- та високотемпературний піроліз. Розрізняють низькотемпературний (до 900 °С) та високотемпературний (вище 900 °С) піроліз, розглядаючи останній як газифікацію. В свою чергу високотемпературний піроліз

поділяють на піроліз із твердим (до 1100 °С) та рідким (вище 1400 °С) шлаковидаленням. Інтервал температур 1100-1400 °С вважається непридатним для піролізу, оскільки в цьому діапазоні спостерігається розм'якшення та плавлення шлаків, що призводить до поломок існуючих систем шлаковидалення. Сьогодні досліджені та розроблені піролізні установки з прямоочною та протитоочною схемою процесу, шахтного та барабанного конструктивного оформлення, повітряного, кисневого та парового дуття, з додатковим використанням електропечей та плазмових пристроїв, зовнішнього та внутрішнього обігріву та інш. Взагалі відомо більше 50 різноманітних систем піролізу.

Класичне обладнання із внутрішнім обігрівом для піролізу ТПБВ являє собою реактор, схожий на шахтну піч у верхню частину якого завантажують ТПБВ. Весь робочий об'єм реактора умовно поділяють на кілька зон: висушування відходів, їх піролізу, спалювання і плавлення шлаків. Завантажені відходи під дією сили тяжіння опускаються вниз реактора.

Оскільки гази мають досить високу температуру, то під її дією випаровується більшість вологи, що міститься у відходах. Підсушені відходи далі переміщуються в зону піролізу де відбувається їх розкладання на горючий газ, вуглець та шлак. Горючий газ піднімається в зону, де змішується з паром і звідки видаляється в конденсатор. В конденсаторі гази охолоджуються та розділяються на рідку смолу та вологу і горючий газ. Вуглець та залишки, що не розкладаються, опускаються в зону горіння та плавлення, де вуглець згорає при температурі біля 1600 °С, що

призводить до переходу шлаку в рідкий стан і забезпечує можливість видалення його за межі реактора. Для підтримання та стабілізації процесів у реакторі в нижню його частину подається повітря, нагріте до температури 600-900 °С. Повітря в деяких установках пропонують замінювати на інертний або горючий газ чи повертати в реактор піролізні газу. Останній варіант вважається найбільш доцільним.

Реактор внутрішнім діаметром 3 м та висотою 15 м дозволяє утилізувати біля 300 т ТПБВ за добу.

Основними компонентами піролізного газу є водень, оксид вуглецю та метан. В залежності від складу ТПБВ та умов піролізу, співвідношення між основними компонентами газової фази може суттєво змінюватись, а теплота згорання коливатися в межах 6680-10450 кДж/м³. Перевагою піролізного газу, порівняно із природним, є відсутність у його складі сполук сірки та азоту. У випадку високотемпературного піролізу газова фаза може складати до 70 % від маси сухої речовини ТПБВ.

Рідка фаза, що конденсується із піролізного газу, містить 20-80 % води, дьоготь, нерозчинні оливи, оцтову кислоту, метанол та інші органічні речовини. Теплотворна здатність такої суміші коливається в межах 2330-4660 кДж/дм³, чим викликає зацікавленість дослідників, як рідке паливо. Рідку фазу піролізу часто називають олівами, смолами, піро- чи біопаливом, оскільки вона являє собою густу смолянисту рідину, вихід якої залежно від вихідної сировини та умов піролізу може сягати до 80 %. Рідка фаза може використовуватись в якості сировини для отримання

дизельного палива, бензину, розчинників, олив, а може безпосередньо використовуватись в якості котельного палива.

Твердий продукт піролізу являє собою суміш залишків вуглецю та мінеральної частини відходів, котрий ще носить назву пірокарбону і вихід якого може сягати 30-35 % від сухої маси ТПБВ. Його теплотворна здатність коливається в межах 25630-27960 кДж/кг беззольної речовини. При обробці в присутності окислювача вуглець газифікується з утворенням газоподібного палива, а тверда фаза перетворюється в шлак, що містить лише мінеральні речовини. Необроблений твердий продукт піролізу або, як його ще називають, напівкокс, може використовуватись в якості замітника вуглець містких природних та синтетичних матеріалів – як паливо для камінів та грилів в побуті чи матеріал для технологічних потреб різних галузей промисловості. Шлак найчастіше рекомендується використовувати в будівництві та промисловості будівельних матеріалів для отримання різноманітних матеріалів.

Недоліками реакторів із внутрішнім обігрівом вважається низька теплота згоряння піролізного газу та висока його запиленість.

Сьогодні високотемпературний піроліз в сукупності із попереднім сортуванням вважається найбільш перспективним методом знешкодження ТПБВ як з екологічної, так і з економічної точок зору. Всі продукти цього процесу, знаходять широке використання в народному господарстві. Якщо зважити на те, що при спалювання 1 т ТПБВ отримується тепло, еквівалентне

спалюванню 250 кг мазуту, то навіть без врахування затрат на добування теплоносіїв та рекультивацію довкілля економічний зиск буде досить значний.

3. Газифікація ТПБВ. Процес газифікації за принципом організації досить нагадує процес піролізу, особливо піролізу із внутрішнім обігрівом. Та й продуктами газифікації є аналогічні речовини – горючі гази, оливи із смолами та шлаки.

газифікація – термічний процес, який передбачає продування через шар відходів нагрітого газифікуючого агента – повітря, кисню, водяної пари, двоокису вуглецю або їх суміші в різних співвідношеннях. В результаті термохімічної взаємодії органічної складової ТПБВ із газифікуючим агентом і утворюються основні продукти газифікації – газ, олива та шлак.

Процес газифікації відноситься до двостадійних процесів утилізації ТПБВ. На першій стадії через газифікатор, завантажений відходами, продувають газифікуючий агент з температурою 60-80 °С. В результаті взаємодії газифікуючого агента із органічними складовими ТПБВ температура в центральній частині газифікатора зростає до 1200 °С, в результаті чого відходи розкладаються на газ (синтез-газ), що містить водень (26-42 %), окис (25-42 %) та двоокис (10-35 %) вуглецю, азот (2-5 %), метан (1%), водяну пару, різноманітні вуглеводні та аерозолі піролізних смол і шлак та золу, що містить мінеральну негорючу складову ТПБВ. Оскільки утворена газова фаза проходить через шар неутилізованих ТПБВ, то його температура на виході з газифікатора знижується до 100-150 °С.

Шлак і зола в кількості 8-15 % від початкової кількості відходів, які утворюються в процесі газифікації, під дією сил тяжіння опускаються в нижню частину газифікатора, де виводяться за межі апарату і можуть бути використані в якості сировини при спорудженні доріг, оскільки практично не містять недопалу та токсичних сполук в значних концентраціях.

На другій стадії отриманий газ спалюють з метою отримання теплової чи електричної енергії. В окремих випадках газ пропускають через конденсатор та транспортують в місця його споживання. В цьому випадку із газу при наступному охолодженні може конденсуватись незначна кількість рідкої фази, яка є сумішшю води та різноманітних олив і смол.

Теплотворність горючого газу, який утворюється в результаті газифікації ТПБВ, в середньому сягає 25 % теплотворності природного газу і суттєво залежить від типу газифікуючого агента. При використанні повітряного чи пароповітряного дуття теплота спалювання газу сягає 3,5-6,0 МДж/м³, а при використанні парокисневого дуття – зростає до 16 МДж/м³.

Виходячи із умов процесу газифікації, цей метод придатний для переробки відходів лише у вигляді окремих шматків різних розмірів, що робить їх проникними для газифікуючого агента. З іншого боку, максимальний розмір шматків відходів з метою стабілізації процесу газифікації обмежують величиною у 200-250 мм. В окремих випадках для стабілізації процесу в газифікатор додатково у відповідному співвідношенні до ТПБВ додають інертний матеріал типу шлаку з розміром шматків 70-120 мм.

Газифікатор діаметром 1,5 м та висотою 7,3 м забезпечує утилізацію 2 т ТПБВ за годину.

Вважається, що порівняно із шаровим спалюванням, газифікація має наступні переваги:

- ❖ проходження горючого газу через шар відходів забезпечує для процесу практично повну відсутність виносу золи та осадження шкідливих речовин на шматках відходів і виведення їх із газифікатора в твердому стані із шлаком;

- ❖ стабільні високі температури запобігають утворенню діоксинів та фуранів;

- ❖ горючий газ та смола можуть бути використані в якості палива чи хімічної сировини;

- ❖ значно менший (в 4-5 разів) об'єм газової фази порівняно із шаровим спалюванням;

- ❖ високий ККД по проміжному енергоносію – 80-90 %;

- ❖ завдяки низькій вихідній температурі газу його значно простіше при необхідності очищувати від шкідливих речовин;

- ❖ невисока температура шлаків і золи та відсутність в них вуглецю значно спрощує їх подальше транспортування та переробку.

Сьогодні фахівцями продовжується покращення процесу газифікації. Запропоновано застосовувати додаткове джерело тепла у вигляді електродугових нагрівачів газу, що дозволяє підвищити температуру в зоні газифікації до 1600 °С. При цьому теплота згоряння газової фази сягає 10-13 Мдж/м³.

Варто зауважити, що процес газифікації досить широко використовується для переробки різних видів низькокалорійного палива. Вперше його було застосовано ще у 1835 р. у Великобританії, а найбільшого розвитку газифікація набула в середині минулого століття. В цей час лише на території Радянського Союзу працювало 350 газогенераторних станцій, які продукували 35 млрд. м³ газу щорічно. Тому процеси газифікації для низькокалорійного палива відпрацьовані сьогодні досить добре і навіть є тривалий досвід експлуатації газифікуючих установок. Сьогодні для цієї мети розроблені газифікатори, що працюють при атмосферному чи підвищеному тиску, газифікатори кускового, дрібнозернистого та пилоподібного палива, газифікатори псевдозрідженого шару та ін. Тому при достатній волі з боку держави питання газифікації ТПБВ та екологічні і економічні аспекти цього процесу для наших умов можуть бути актуальні і вирішені.

4. Плазмове знешкодження ТПБВ. Плазмовий метод знешкодження, зважаючи на його високу енергоємність (500-700 кВт-год/т- ТПБВ) та складність, найчастіше пропонується застосовувати для знешкодження токсичних відходів, коли інші сучасні методи не можуть бути використані, переважно з екологічних причин. Вперше цей метод почали застосовувати ще в кінці ХІХ ст. в якості джерела екстремально високих температур. Однак, останнім часом, зважаючи на негативне відношення до прямого спалювання з боку населення та громадських організацій,

фахівці в галузі знешкодження ТПБВ все частіше звертають свою увагу на цей метод.

Плазмо- термічна технологія базується на використанні плазмотрону для формування за рахунок електричної дуги зони високої температури. При цьому в прилеглій до електричної дуги зоні температура може сягати 4000 °С і вище, а в самій плазмі – 17000 °С. При таких високих температурах практично всі речовини, включаючи шкідливі та токсичні, розкладаються до іонів та радикалів. Ступінь розкладання відходів в зоні існування плазми 99,9 %. Оскільки повітря в реактор не вдувається, то утворення NO₂ знижується до мінімуму, а хлор-, фтор- та сіркомісткі забруднювачі переходять в більш активні форми, ніж при шаровому спалюванні і видаляються з реактора у вигляді сорбованих на твердій фазі сполук. В результаті застосування плазмотермічної технології відходи трансформуються у два основні продукти – синтез-газ та шлак. Синтез-газ являє собою суміш газів, основними з яких є окис вуглецю та водень. Тому синтез-газ найчастіше використовують в якості енергоносія або сировини для органічного синтезу. Шлак, який містить, переважно, метали та силікати, являє собою інертний екологічно безпечний матеріал, придатний для використання в якості матеріалу для будівництва чи в якості абразиву. При розміщенні шлаку в докіль забруднення прилеглих територій та ґрунтових вод шкідливими речовинами не спостерігається.

Технологічна схема передбачає накопичення ТПБВ у спеціальному бункері, куди вони звозяться сміттєвозами із визначеної території. Далі грейфером відходи завантажуються у

спеціальний пристрій, за допомогою якого перемішуються в реактор. Під дією сил тяжіння шматки відходів опускаються в робочу зону реактора. В реакторі, що за конструкцією являє собою шахтну піч, вмонтовано плазмотрон для генерування високих температур, під дією яких органічна складова ТПБВ розкладається до атомів і переходить в газову фазу. В робочій зоні реактора температура сягає 1600 °С і більше. З реактора синтез-газ перекачується в блок очищення газів, де охолоджується до 30 °С, фільтрується та нейтралізується.

На останній стадії газ ще раз фільтрується, з нього видаляють оксиди азоту і він перетворюється на паливо, придатне для отримання тепла чи електроенергії. Калорійність синтез-газу, отриманого із відходів плазмо-термічним методом, сягає 10-13 МДж/м³. Інша частина ТПБВ, що не піддається розкладанню, під дією високих температур плавиться, періодично виводиться за межі реактора і у вигляді скловидної речовини може використовуватись при влаштуванні доріг або для інших будівельних робіт.

Тема 5

Біологічні методи знешкодження ТПБВ

План:

1. Загальні положення.
2. Компостування твердих побутових відходів.
3. Використання вермікультури для знешкодження побутових відходів.

1. Загальні положення. Біологічні методи переробки ТПБВ є найбільш екологічно безпечними їх використання не супроводжується утворенням нових токсичних речовин та забрудненням довкілля шкідливими сполуками. В різних частинах світу в різні пори року в ТПБВ вміст органічної складової, придатної для переробки біологічними методами, сягає 30-60 %. Тому очевидно, що найбільш оптимальним є поєднання сортування та біологічних методів переробки відходів.

Сьогодні найбільш поширеними біологічними методами знешкодження ТПБВ є компостування та вермікультивування. При відповідній організації технологічного процесу кінцевий продукт біологічних методів знешкодження ТПБВ – гумус (біогумус), придатний для використання у сільському господарстві, садівництві, ландшафтному будівництві. У 70-80 рр. минулого століття приймалися спроби використання компостування для отримання енергії шляхом прокладання в буртах відходів спеціальних теплообмінників, по яких прокачувалася вода чи продувалося повітря. В окремих випадках в незначних кількостях компост може використовуватись в якості харчової добавки для

тварин. Фактично біологічні процеси, що використовуються для знешкодження ТПБВ, постійно проходять в живій природі. Роль людини в їх використанні – адаптація процесів до відповідних умов та контроль протікання біологічної переробки відходів у необхідному напрямку.

2. Компостування твердих побутових відходів.

Компостування – процес розкладання органічних компонентів ТПБВ мікроорганізмами в присутності кисню повітря з утворенням вуглекислого газу, води, тепла та компосту. Основною сировиною дія мікроорганізмів слугують високомолекулярні та олігомерні природні речовини. Тому очевидно, що мова йде про залишки фруктів та овочів, відходи переробки м'яса та м'ясопродуктів, залишки після споживання різноманітних харчових продуктів, відходи заварки чаю та кави, «зелені» відходи та всі ТПБВ, що мають біологічне походження. Процес розкладання проходить шляхом утворення ацетальдегіду (CH_3CHO), оцтової кислоти (CH_3COOH) і, в кінцевому результаті, утворення вуглекислого газу та води.

Компостування поділяють на аеробне (в присутності окислювачів) та анаеробне (без доступу повітря). Останній тип компостування передбачає переробку відходів в тілі звалища чи у спеціальних герметичних метантенках, які частіше використовуються для знешкодження твердих відходів сільського господарства та відсортованої органічної складової ТПБВ.

Аеробне компостування поділяють на дворове (місцеве) та централізоване. В свою чергу централізоване компостування поділяють на компостування у валках та тунельне компостування.

Компостування найбільш придатне для знешкодження відходів сільського господарства, харчової фракції ТПБВ, деревини, листя, обпилювань та ін. В результаті компостування таких відходів отримують якісний гумус, придатний до використання в якості добрива у сільському господарстві. В процесі компостування в органічній фракції збільшується вміст азоту та фосфору у формах, придатних для засвоєння рослинами. Відповідно, такий гумус не справляє негативного впливу на довкілля і може без застережень використовуватись у людській діяльності. При компостуванні термін знешкодження ТПБВ триває 4-18 місяців замість 50-100 років при їх захороненні на полігонах.

Дворове компостування передбачає проведення процесу переробки органічної складової ТПБВ, харчових та зелених відходів окремими домовласниками на своєму подвір'ї. Сам процес компостування включає періодичне перевертання відходів та їх зволоження в засушливий період року. При цьому процес компостування може тривати від кількох місяців до року, а компост передбачається використовувати на присадибній ділянці домовласника.

Для централізованого компостування ТПБВ у валках вибирають рівну ділянку території, яка не затоплюється талими та дощовими водами, а максимальний рівень ґрунтових вод розміщується на глибині не менше 1 м від поверхні, на якій

розміщуються відходи. При виборі ділянки необхідно виключити можливість надходження поверхневого стоку з прилеглих територій. При необхідності влаштовують спеціальні водовідвідні канали. ТПБВ викладають на ділянці штабелями у вигляді трапецій. Для районів з низькими температурами висота штабелів збільшується до 2,5 м.

Штабелі насипаються паралельними рядами довжиною 10-25 м, а між ними влаштовуються проїзди шириною 3 м. Для попередження розповсюдження запахів, розмноження мух та збереження тепла сформовані штабелі відходів вкривають шаром ґрунту чи торфу товщиною 15-20 см. Для забезпечення доступу повітря в товщу відходів в штабелях влаштовують вертикальні або горизонтальні канали, по яких в окремих випадках продувають повітря. При влаштуванні ділянки для компостування необхідно передбачати санітарно-захисну зону в 300 м від житлових будівель, стадіонів, парків, підприємств культурно-побутового призначення та харчових підприємств. При необхідності величина санітарно-захисної зони може бути збільшена до 500 м.

Після влаштування штабелів через 3-5 днів в результаті життєдіяльності бактерій, які харчуються органічними залишками, і виділенням тепла температура компостної маси зростає до 60-70 °С і підтримується на такому рівні 15-20 днів. Далі температура знижується до 40-45 °С і підтримується на такому рівні ще протягом 60-120 днів. В подальшому температура падає до 30-35 °С і може зберігатися на такому рівні протягом 10 місяців, знижуючись в кінці процесу компостування до 14-18 °С. Загальна тривалість

процесу компостування сягає близько 1,5 року. Необхідна площа ділянки компостування складає близько 2 га на кожні 10 тис. жителів.

Для попередження виносу шматків паперу, картону та пластиків на прилеглі території, поля компостування відділяють від сільськогосподарських угідь двома вітрозахисними лісополосами.

Основними лімітуючими факторами компостування є чисельність мікробної популяції та умови в навколишньому середовищі. Загальний термін компостування може бути суттєво знижений шляхом подрібнення ТПБВ, попереднього їх розділення на фракцію, що піддається компостуванню та баласт, перелопачування та зволоження або додаванням сирого каналізаційного осаду. В окремих випадках до компосту додають азотовмісні речовини. Значно прискорити процес компостування дозволяє зрошування відходів спеціально вирощеними штамми мікроорганізмів.

При компостуванні у валках виділяють кілька рівнів:

- ❖ мінімальний рівень – влаштовують штабелі 6 м у ширину та довжину при висоті 4 м. Перелопачування компосту проводять 1 раз/рік і через 1-3 роки отримують готовий компост;

- ❖ низький рівень – влаштовують штабелі 3-4 м у ширину та довжину при висоті 2 м. Перелопачування компосту проводять через 1 та через 10-11 місяців після початку компостування і через 16-18 місяців отримують готовий компост;

❖ середній рівень – штабелі наведених вище розмірів перелопачують щоденно. Тривалість приготування компосту – 4-6 місяців;

❖ високий рівень – використання спеціальної аерації компостних штабелів. Тривалість приготування компосту – 2-10 тижнів.

Тунельний метод компостування передбачає розміщення відходів у камері тунельного типу, куди вентиляторами подається повітря. В окремих випадках для підвищення швидкості компостування повітря попередньо нагрівають до відповідної температури. Сьогодні розроблено та використовуються камери для компостування у вигляді циліндрів, що обертаються, статичні камери з пристроями завантаження та розвантаження, напірні камери та камери з вакуумною аерацією. З одного боку, тунельне компостування дозволяє прискорити процес компостування, спростити керування його інтенсивністю та якістю компосту, а з іншого – потребує спеціальних споруд та значних енерго- витрат. Сьогодні цей метод під назвою біотермічного компостування набув найбільшого поширення. Більшість сміттєпереробних заводів цієї галузі, особливо на території країн СНД, застосовують саме такий метод. Застосовується біотермічне компостування у Франції, Італії, Німеччині та інших країнах. Однак у зв'язку із зниженням вмісту харчових відходів та збільшенням вмісту баластних фракцій у ТПБВ, останнім часом в цій галузі спостерігаються деякі труднощі. Сучасний склад ТПБВ вимагає як попереднього відбору цінних фракцій до компостування, так і відбору баластних фракцій після

компостування відходів, що суттєво ускладнює технологію та підвищує витрати на утилізацію відходів. Однією з умов успішного використання біотермічного компостування для утилізації ТПБВ є наявність постійних споживачів компосту. Сьогодні сміттєпереробні заводи цього типу завалені продукцією – компостом, котрий не знаходить застосування і використовується в досить обмежених об'ємах. Найчастіше компост застосовують для озеленення у містах або в якості біопалива для парників.

Найбільш продуктивним та досконалим сьогодні вважається компостування у похилих барабанах. Барабан постійно обертається із визначеною швидкістю. Додатково у барабан подається гаряче повітря. Такі умови інтенсифікують процеси окислення та біодеструкції ТПБВ, тому вже через 3 доби компост піддають сепарації для видалення шкідливих та баластних фракцій і використовують у сільському господарстві. За такою схемою в СНД було споруджено близько десятка заводів – у Санкт-Петербурзі, Мінську, Баку, Тбілісі та ін. Технологічна схема таких заводів включала три основні технологічні процеси – підготовка ТПБВ, компостування та очищення отриманого компосту від домішок.

ТПБВ містять значну кількість речовин, які досить важко піддаються біодеструкції. Тому в процесі компостування вони не змінюються і формують так звану баластну фракцію. Інші речовини, навпаки, суттєво змінюються в процесі компостування. За приблизними оцінками, вміст баластних фракцій може сягати 10 % загальної маси компосту.

Для видалення із компосту баластних фракцій сьогодні розроблено досить багато методів. До баластних фракцій відносяться шматки скла, пластиків, гуми, каміння, кісток, кераміки та ін. Зважаючи на особливі властивості, переважна більшість металів видаляється з потоку ТПБВ в процесі підготовки до компостування. В середньому при компостуванні вміст баластних фракцій коливається в межах 2-9 % і суттєво залежить від морфологічного складу ТПБВ, пори року, кліматичної зони та інших факторів. Якщо зважити на те, що в процесі компостування вміст органічної фази в результаті аеробної біотермічної переробки знижується, то вміст баластних фракцій порівняно із початковим складом ТПБВ зростає. Найбільш шкідливим компонентом баластної фракції компосту є скло, котре складає до 80-90 % від загальної маси баласту, оскільки при удобренні газонів може призводити до травматизму людей та тварин, погіршує зовнішній вигляд газонів, знижує вміст корисної речовини у компості. Тому вміст скла в компості обмежується 1 % від загальної маси при максимальному розмірі часток не більше 10 мм, а виробники сільськогосподарської продукції вимагають компост із вмістом скла не більше 0,1-0,2 %.

Найбільшого застосування в процесах переробки компосту отримали вібраційні просіювачі, нерухомі відбиваючі плити, похило-пластинчасті сепаратори, вертикальні балістичні сепаратори, дискові металіники, пневмо-вібраційні сепаратори.

Вібраційні просіювачі застосовують плоскі чи барабанного типу. При цьому розмір отворів просіювача визначає якість

компосту. Чим менше отвори, тим якість отриманого компосту вища. Досить часто застосовують кілька етапів просіювання, отримуючи високоякісний чи грубий компост та відходи. Використання просіювачів не завжди забезпечує достатню якість компосту, тому інколи вводять етап попереднього ручного відбору із потоку ТПБВ скла та інших інертних фракцій. Вміст у компості текстильного матеріалу порушує роботу просіювачів і вимагає періодичного ручного очищення отворів сит від шматків тканин.

Робота нерухомих відбиваючих плит базується на здатності часток з різною пружністю відскакувати на різну відстань при ударі об тверду поверхню. Робочим елементом такого устаткування є відбиваюча плита, на котру з визначеної висоти скидається компост, що підлягає сепарації.

Тверді частки з пружними властивостями у вигляді шматків скла, металів, камінців відскакують від плити значно далі, ніж частки компосту. Ця властивість і дозволяє розділяти їх між собою.

Останнім часом розробляється механіко-біологічний метод переробки ТПБВ. Його впровадження викликано двома основними факторами. Перший фактор зумовлений глобальними екологічними проблемами, що виникають при викиді в атмосферу парникових газів. Оскільки анаеробне зброджування ТПБВ супроводжується інтенсивним викидом в атмосферу метану та вуглекислого газу, то необхідно або зменшити вміст в ТПБВ органічних речовин, або проводити процес в аеробних умовах, що дозволить уникнути утворення метану. Другим фактором, навіть більш дієвим, є Директива ЄС про розміщення відходів на полігонах ТПБВ.

Механіко-біологічний метод дозволяє знизити вміст органічних речовин у ТПБВ та виконати всі вимоги екологічного законодавства. Механіко-біологічний спосіб обробки ТПБВ включає кілька стадій і полягає в наступному. На першій стадії механічною обробкою ТПБВ з них видаляють фракції, котрі можуть бути використані в якості вторинної сировини, в якості вторинного палива або можуть призводити до поломок обладнання. На другій стадії залишок від механічної обробки піддається біологічній обробці. Для цього влаштовують спеціальні майданчики чи траншеї, де відходи піддають інтенсивній аерації. Аерація може бути як пасивною і проводитись шляхом періодичного переміщення відходів з місця на місце, так і активною, коли через шар відходів компресорами продувається повітря. Практикується проведення так званої купольної аерації, коли над шаром відходів влаштовують купол із полімерних чи інших матеріалів. Така конструкція дозволяє контролювати викиди в атмосферу і при необхідності піддавати гази, що утворюються, додатковому очищенню. Термін обробки ТПБВ залежить від способу аерації і коливається в межах 6-20 тижнів при вартості обробки 10-60 євро за 1 т відходів.

При якісній підготовці сировини для компостування та дотримання вимог технологічного регламенту отримують корисний продукт, здатний підвищити врожайність більшості сільськогосподарських культур. При цьому одночасно вирішується проблема знешкодження ТПБВ. Разом з тим, сьогодні на території України компостування використовується лише в окремих,

переважно приватних, господарствах і то, в більшості випадків, в комплексі з утилізацією відходів тваринництва та птахівництва.

Найбільш об'єктивним показником повноти протікання процесу компостування вважається ступінь розкладання органічної складової. Опосередкованим показником може бути температура в компостній купі, однак, вона суттєво залежить від зовнішніх умов, тому в окремих випадках не відповідає дійсному стану справ.

Як і звичайне, біотермічне компостування базується на природних, але значно прискорених реакціях розкладання органічної фракції ТПБВ аеробними мікроорганізмами (гриби, актиноміцети, бактерії) з утворенням твердої фази у вигляді гумусу та газової фази у вигляді, переважно, вуглекислого газу та води із різноманітними незначними домішками. Прискорення реакцій компостування проводиться шляхом аерації відходів нагрітим (при необхідності) до 60 °С повітрям з постійним перемішуванням компостної маси. В результаті такої обробки термін компостування знижується до 2-3 діб. При цьому оптимальною вважається вологість відходів у діапазоні 45-55 %. Варто відмітити, що при компостуванні крім розкладання складних органічних сполук відбувається утворення нових, в т.ч. і антибіотичних речовин, які мають лікувальні та бактерицидні властивості і сприяють знищенню патогенної мікрофлори. Разом з тим, для біотермічного компостування необхідно споруджувати цілий комплекс різноманітних, інколи досить складних споруд. Найчастіше на таких заводах застосовують масштабні барабани по типу цементних печей, здатні обертатися. Морфологічний склад ТПБВ

вимагає як попереднього сортування відходів, так і додаткової обробки отриманого компосту.

Біотермічні барабани, на відміну від компостування у валках, забезпечують:

- ❖ інтенсивну примусову аерацію ТПБВ, руйнування скупчень анаеробів;
- ❖ подрібнення та перемішування відходів, що збільшує їх питому поверхню;
- ❖ покращує водний та повітряний режим термофільної мікрофлори;
- ❖ природну інокуляцію свіжих ТПБВ термофільною та термотолерантною мікрофлорою;
- ❖ пасивне початкове розігрівання свіжих ТПБВ.

В загальному випадку біотермічне компостування включає дві стадії – власне, біотермічне компостування в горизонтальних барабанах та дозрівання в штабелях на спеціальних майданчиках. В свою чергу процес біотермічного компостування умовно поділяють на три фази.

Перша фаза відповідає періоду інтенсивного розмноження мезофільних мікроорганізмів з оптимальною температурою життєдіяльності 20-35 °С. Протягом цієї фази мікроорганізмами споживають лише ті білки, органічні кислоти та вуглеводні, що можуть бути легко трансформовані в цих умовах. Переважно, це складові харчових відходів. В результаті життєдіяльності мезофільних мікроорганізмів виділяється теплова енергія, що призводить до підвищення температури в біотермічному барабані

до 50 °С. В залежності від зовнішніх умов, перша фаза може тривати від однієї до кількох діб.

Друга фаза характеризується інтенсивним розвитком термофільних мікроорганізмів, чому сприяє досить висока температура в барабані. В результаті процесів життєдіяльності цього виду мікроорганізмів температура в барабані зростає до 55-60 °С. Оскільки ця фаза триває 2-3 місяці, то в біотермічному барабані вона лише розпочинається. Саме для закінчення цієї фази необхідне дозрівання компосту в штабелях після вивантаження із барабану. У випадку застосування компосту в якості біопалива для теплиць процес дозрівання проводять у закритому ґрунті безпосередньо в місцях використання.

Третя фаза характеризується частковим відмиранням термофільних мікроорганізмів та переходом їх в стан спор. До початку цієї фази більшість органічних сполук, що можуть бути легко розкладені, вже спожиті мікроорганізмами і знову починають розвиватися мезофільні мікроорганізми, які мають потужну ферментативну систему, здатну розкласти стійкі органічні сполуки типу клітковини та лігніну. При цьому температура в масі відходів поступово знижується.

За період перебування в біотермічному барабані мікроорганізмами споживається та розкладається лише 1,8-3,0 % від загального вмісту органічної речовини. При дозріванні у штабелях переробляється ще 12-17 % органічних сполук.

Компост являє собою вологу розсипчасту масу темно-сірого кольору, що містить не менше 50 % органічних речовин і за своїми

агрохімічними властивостями не поступається традиційним органічним добривам – торфу та гною. Санітарно-епідеміологічний висновок дозволяє використовувати компост в сільському та парково-садовому господарствах, в якості біопалива в парниках, для рекультивації порушених земель та заповнених звалищ.

3. Використання вермікультури для знешкодження ТПБВ. Останнім часом проводяться дослідження можливості використання для знешкодження ТПБВ вермікультури. Серед всіх компонентів ТПБВ черв'яки не в змозі переробити скло, пластик, метал але із задоволенням споживають відходи біологічного походження – харчові відходи, папір, картон, обпилювання та тирсу деревини та ін. Вже більше 20 років вермікультивування використовується у Німеччині, Данії, Італії, Франції, Угорщині, останнім часом починає впроваджуватись в Росії та викликає зацікавленість дослідників в Україні. При цьому основною сировиною для харчування черв'яків є, переважно, харчові відходи чи відходи відповідних галузей промисловості – харчової, целюлозно-паперової, деревообробної. Якщо зважити на те, що вказані речовини складають близько 80 % загальної маси ТПБВ, то використання вермікультури для знешкодження таких відходів може бути досить ефективним, особливо у випадку попереднього сортування та відбору фракцій, які не підлягають переробці вказаним методом. Очевидно, що найбільш перспективним можна вважати використання вермікультури для знешкодження ТПБВ на приватних господарствах, де одночасно можливе ретельне сортування відходів.

В США останнім часом набувають значного поширення так звані «черв'ячні фабрики». За конструкцією вони аналогічні контейнерам для вермікультивування харчових відходів і можуть вміщувати 15-20 тис. особин. Суть процесу знешкодження полягає в періодичному додаванні у верхню ємкість різноманітних відходів біологічного походження. Для побуту суттєвою перевагою є можливість знешкодження таким методом газет, журналів, паперового та картонного пакування та ін. Причому, черв'яки із задоволенням споживають глянцеві обкладинки популярних кольорових журналів. Українськими вченими досліджено використання вермікультури для утилізації відходів картонно-тарних комбінатів. Тверді відходи підприємств цієї галузі являють собою осад очисних споруд, що складається із окремих волокон целюлози з домішками інших компонентів макулатури. Вологість відходів близько 70 %, зольність – 48 %. Для утилізації використовували особин каліфорнійського черв'яка *Eisenia apsicęi* лінії БК-94, отриманого в біотехнологічному комплексі Інституту гідробіології НААН України. Середня маса кожної особини складала 300-350 мг при довжині 40-60 мм. Оптимальними умовами існування вермікультури при утилізації вважається вологість в межах 65-80 % та температура в діапазоні 14-27 °С. При цьому протягом місяця 50 особин переробляють у біогумус 4500-5000 г відходів. Очевидно, що при створенні відповідних умов вермікультуру можна успішно використовувати для переробки відходів макулатури, непридатної для повторного використання.

У випадку додавання відходів лише у верхню ємкість, особини черв'яків з'їдають вміст нижніх ємкостей і в пошуках корму піднімаються вгору. Нижні ємкості вилучаються із «фабрики» і їх вміст використовують в якості добрива для саду, городу чи кімнатних рослин.

При знешкодженні ТПБВ методом вермікультивування важливо пам'ятати про те, що при сприятливих умовах кожні чотири місяці кількість особин черв'яків подвоюється, тому виникає необхідність їх «розселення». Для вирішення проблеми можна перемістити частину особин в інші контейнери, використати з іншою метою, наприклад, для риболовлі або просто перемістити в ґрунт саду чи парку. Ще одна умова, якої необхідно дотримуватись при «експлуатації» черв'яків – швидкість надходження відходів не повинна перевищувати можливостей вермікультивування. Оптимальним вважається масове співвідношення відходи-черв'яки рівним 0,5. В протилежному випадку контейнер для вермікультивування перетвориться на звичайний сміттєзбірник із відповідним запахом та хмарами комах.

Для масового розповсюдження вермікультивування фахівці проекту рекомендують використовувати для розміщення черв'яків будь-яку придатну ємкість – пластиковий сміттєвий бак чи контейнер з краном. При відсутності крану в днищі ємкості свердлять отвори невеликого діаметру. В бак насипають шар щебеню товщиною біля 7,5 см і встановлюють на дві цеглини. Під днище ємкості встановлюють посудину для збору фільтрату. На шар щебеню викладають приблизно такий же шар органічних

відходів і заселяють біля 100 особин черв'яків. Ємкість закривають кришкою та встановлюють в місцях, недосяжних для прямих сонячних променів. Через кілька тижнів в контейнер викладають наступний шар відходів, і так до заповнення ємкості.

Через 9-12 місяців ємкість буде заповнена якісним компостом. Рідина, що стікає з баку, також є надзвичайно поживним розчином, тому її розводять водою у співвідношенні 1:10 та застосовують для підживлення рослин.

Тема 6

Перспективи розвитку технологій знешкодження ТПБВ

План

1. Перспективи знешкодження ТПБВ у світі
2. Перспективи знешкодження ТПБВ в Україні

1. Перспективи знешкодження ТПБВ у світі. Досвід розвинутих країн світу в галузі знешкодження ТПБВ свідчить про те, що найбільш ймовірним шляхом виходу із смітцевої кризи є впровадження системи комплексного використання та знешкодження відходів. При цьому основними принципами розробки такої системи вважається:

- ❖ поетапне впровадження маловідходних та безвідходних технологічних процесів та виробництв для суттєвого зменшення об'ємів утворення відходів;
- ❖ вибір оптимального комплексу методів переробки та подальшого використання ТПБВ;
- ❖ централізована переробка та знешкодження ТПБВ на спеціалізованих підприємствах;
- ❖ розділення підприємств обробки та знешкодження відходів на групи: з точки зору стану довкілля та оптимізації транспортних завдань.

Перспективною сьогодні вважається технологія глибокого пресування ТПБВ з попереднім сортуванням. Технологія передбачає видалення з потоку ТПБВ компонентів, придатних для повторного використання. Залишки ТПБВ після сортування пресують в тюки розміром 1,0x1,0x1,5 м з обв'язкою дротом. Отримані тюки вивозяться на полігон та викладаються шарами

товщиною: приблизно в 5 м, після чого пласт вкривається шаром ґрунту товщиною більше 0,2 м. Завдяки пресуванню на полігоні тюкованих відходів суттєво гальмуються процеси біорозкладання, утворення біогазу скорочується на 95 %. Термін експлуатації полігону подовжується у 2-3 рази, а для високонавантажених полігонів – у 4-10 разів. Значно спрощується складування відходів та скорочується кількість необхідної техніки і обслуговуючого персоналу. Суттєво зменшується об'єм фільтратів, зникають пожежі від загоряння біогазу, рознесення легкого сміття на прилеглі території. Як в процесі експлуатації, так і після рекультивації на території полігону не виникають провали ґрунту, що дозволяє застосовувати їх для широкого використання в різних галузях. Глибоке пресування дозволяє влаштовувати сортувальні станції в межах міста, суттєво знижуючи необхідну кількість сміттєвозів, оскільки об'єм ТПБВ, які підлягають вивозу на віддалений полігон, значно зменшується. Як показали розрахунки, впровадження системи дозволяє перетворити утилізацію сміття із збиткового в прибуткове. При продуктивності 200 тис. тон ТПБВ на рік чистий прибуток за 5 років складе \$14 млн., буде створено 70 робочих місць. Основним фактором такої економії є низька собівартість відсортованої вторинної сировини та ріст цін на неї останнім часом. Разом з тим необхідно зауважити, що якщо в Іспанії пресування ТПБВ отримало широке розповсюдження при зазначених вище перевагах, то експеримент на двох заводах московського регіону мав негативні наслідки в результаті більш жорсткого клімату та інших властивостей відходів.

В Швеції розроблено та починає широко впроваджуватись метод утилізації ТПБВ під назвою «*reCulture*». Суть методу полягає в наступному. Після видалення із потоку ТПБВ корисних компонентів, залишок подрібнюють та скидають у резервуар з водою. При цьому відходи розділяються на три фракції: важкі частки, представлені металами, камінцями, склом та інше – опускаються на дно; легкі частки у вигляді шматків пластиків, деревини тощо – спливають на поверхню; матеріали, здатні набухати, змочуватись чи розчинятися у вигляді паперу, картону, текстилю – формують в розчині суспензію. Легка та важка фракції відділяються від розчину та обробляються за відомими технологіями, після чого повертаються у виробництво чи захоронюються. Із утвореної суспензії, основним компонентом котрої є целюлоза, видаляють тверду фазу, сушать її та пресують в паливні брикети. Теплотворна здатність таких брикетів близька до теплотворної здатності кам'яного вугілля, тому вони можуть широко використовуватись як в побуті, так і в промисловості. Рідка фаза після обробки пульпи при необхідності доочищується та повертається у технологічний процес. За оцінками фахівців вартість такого заводу у 2-3 рази нижча від вартості сміттєпереробних заводів, що працюють за традиційною технологією.

Суттєву проблему для утилізації представляють сьогодні відходи, які включають одночасно різні матеріали. Чи не найбільш масовим представником таких відходів є пакування фірми «Тетра Пак», яке містить 75 % картону та 25 % поліетилену і алюмінієвої фольги. У 2004 р. лише в країнах ЄС було використано більше 1

млн тон такого пакування, 29 % з яких було утилізовано. Існуючі на сьогодні технології не дозволяють відділяти целюлозу від алюміній-полімерної суміші. В Бразилії запущено в експлуатацію установку «Плазма», призначену для розділення алюмінію та поліетилену. Технологічний процес проводиться при температурі 12000 °С, що призводить до відділення чистого алюмінію та трансформації поліетилену у парафін. Отримані матеріали можуть повторно використовуватись в якості вторинної сировини для отримання різноманітних виробів.

2. Перспективи знешкодження ТПБВ в Україні. За оцінками фахівців, в найближчі роки ситуація із вирішенням проблем ТПБВ в Україні навряд чи суттєво зміниться, тому сподівання на швидке та ефективне впровадження перспективних зарубіжних технологій їх термічного знезараження є передчасним. Ситуація ускладнюється ще й тим фактором, що ефективні на Заході технології переробки та знешкодження сміття в умовах України малоефективні і шкідливі. Тому в ДніпроНТУ запропоновано утилізувати ТПБВ разом із вуглецьмісткими відходами коксохімічної галузі. Як основний процес технології запропоновано використати термоліз органічної частини відходів у герметичних термолізних печах з отриманням твердого термолізного палива та суміші летких сполук. Процес передбачає наступні етапи обробки відходів. ТПБВ піддають сортуванню для видалення із них металів, скла, кераміки, полімерів. Залишок від сортування подрібнюють та змішують із вуглецьмісткими відходами у необхідному співвідношенні, яке визначається складом

обох видів відходів. Після ретельного змішування отримана композиція завантажується в термолізний агрегат, де пресується та переміщується у зону термолізу. Газова фаза, що при цьому утворюється, може бути просто та безпечно утилізована методами, які сьогодні добре відпрацьовані та широко використовуються у коксохімічному виробництві. Тверда фаза спалюється в топках з киплячим шаром з метою отримання електроенергії. Утворені золошлакові відходи використовують в технологіях виробництва будівельних матеріалів. Умови термолізу попереджають утворення токсичних сполук і призводять до руйнування тих, що містяться у вихідній сировині. Таким чином можна утилізувати не лише ТПБВ, а й значну частину промислових вуглецьмістких відходів, яких сьогодні на території України накопичилось досить багато.

Подібний принцип переробки ТПБВ реалізовано в окремих департаментах Франції. Там організована мережа спеціальних центрів, котрі накопичують відходи, проводять їх попереднє сортування, а потім змішують із іншими відходами (пакувальні матеріали, тара, деревина, інші горючі відходи) з метою підвищення ефективності їх подальшого спалювання. Для спрощення транспортування оброблені таким чином відходи упаковують у спеціальні мішки.

Фахівцями ВАТ «ВНДІ» запропоновано метод знешкодження ТПБВ під назвою «Екоцемент». Суть його полягає у використанні для знешкодження ТПБВ цементних печей для виробництва клінкеру. Використання цементних печей та його негативні наслідки для довкілля при утилізації спрацьованих шин вже

розглядали раніше. Тому було запропоновано використовувати для знешкодження ТПБВ лише печі, в яких сушка сировини та декарбонізація проводиться в окремих апаратах, що стабілізує та підвищує температуру по всій довжині печі, що обертається. Температура на вході печі сягає 1500-1600 °С, на виході – 1000 °С. Це забезпечує перебування вихідних газів при температурах 1200-1300 °С довше 7 секунд і, відповідно, руйнування більшості токсичних сполук. Перед знешкодженням ТПБВ подрібнюють до розмірів шматків менше 70 мм і завантажують у термічний реактор, де піддаються високотемпературній вогневій переробці. З метою зменшення енергозатрат, частина нагрітого газу забирається безпосередньо із цементної печі. Продукти згоряння ТПБВ, включаючи мінеральні частки, подаються в головну зону барабанної печі, де змішуються із іншими компонентами технологічного циклу. При цьому якість цементного клінкеру та технологічний процес його отримання залишаються без змін.

Впровадження технології забезпечує як економічний, так і екологічний ефект. Вміст шкідливих речовин у димових газах не перевищує існуючих норм і складає для оксиду вуглецю 50 мг/м³, оксидів азоту – 200 мг/м³, двоокису сірки – 50 мг/м³, хлористого водню – 10 мг/м³, органічного вуглецю – 10 мг/м³, мінерального пилу – 10 мг/м³, діоксинів – 0,1 мг/м³. Зважаючи на лужну реакцію цементного клінкеру, відпадає необхідність у нейтралізації кислотних газів. В клінкері акумулюються також і важкі метали, що утворюються під час спалювання ТПБВ. Якщо виходити із теплоти згоряння ТПБВ в 2600 ккал/кг при вологості 30 %, то спалювання в

цементній печі 10 тис тон відходів забезпечує економію 3 тис тони палива.

Економічний фактор суттєво впливає на впровадження тих чи інших технологій знешкодження ТПБВ. Різні технології суттєво відрізняються за техніко-економічними показниками.

Найбільш економічно виправданими є сортування в поєднанні із компактуванням та комплексна переробка. Очевидно, що для ТПБВ найбільш ймовірним напрямком розвитку є останній. Тому в галузі поводження з ТПБВ пропонується впроваджувати принципи «Чистого виробництва»:

Принцип обережності – вимагає настороженого відношення до постулатів та тверджень, не підтверджених чіткими науковими викладками;

Принцип попередження – переконує, що значно простіше попередити утворення відходів, ніж потім їх знешкоджувати;

Принцип демократії – закріплює право участі в питаннях вирішення проблеми відходів всіх, на кого таке рішення може мати хоч незначний вплив;

Принцип цілісності – передбачає використання теорії замкнутих життєвих циклів при вирішенні проблем відходів.

Очевидним є також той факт, що сміттєпереробні комплекси повинні будуватися за принципом комбінування окремих процесів, об'єднуючим для них фактором є сортування або роздільний збір ТПБВ. При цьому конкретна схема переробки відходів визначається їх морфологічним складом, вмістом компонентів, придатних для повторного використання, необхідною

продуктивністю комплексу, бажаним вихідним продуктом в результаті переробки (енергія, компост тощо), наявністю токсичних сполук та допустимим вмістом їх у вихідних матеріалах, кліматичними умовами та інше. Більшість вчених вважають, що комбінація різноманітних процесів у єдиному комплексі нівелює недоліки окремо взятого методу.

Тема 7

Проблема утилізації відходів сільського господарства Основи мікробіологічної трансформації природних органічних субстратів

План:

1. Проблема утилізації відходів сільського господарства.
2. Сутність мікробної деструкції органічних субстратів.
3. Склад мікроорганізмів та їх трансформуюча активність при переробці гною та відходів.
4. Органічні субстрати у травному тракті тварин.

1. Проблема утилізації відходів сільського господарства.

Проблема їх ефективного використання – трансконтинентальна проблема. Повторна переробка гною, пташиного посліду, комунальних відходів – це циклічний процес, цілком порівнянний з системою кровообігу організму

Гній і пташиний послід – це не відходи, це субстанції, енергоносії, які можна повторно і цілеспрямовано використати в землеробстві, тваринництві, квітникарстві, озелененні і інших галузях. Завдяки біотехнології відходи сільського господарства можуть прискорено перероблятися для вторинного використання, не завдаючи шкоди природі. Одним з основних чинників, що визначають шлях і ефективність переробки відходів тваринництва, є природа мікроорганізмів, які виконують в кожній технології специфічні функції і, відповідно, розрізняються за видовим складом.

Проблема переробки і утилізації відходів тваринництва виключно актуальна у багатьох країнах світу.

Вирішення проблеми забруднення довкілля відходами тваринництва має бути спрямоване на виконання двох основних завдань: попередження і виключення забруднення довкілля; ефективне використання повторно перероблених відходів в сільському господарстві (землеробстві, тваринництві).

Тоді як довкілля страждає від тваринницьких комплексів і створюються великі вогнища забруднення, орні землі не отримують традиційно цінного для країни органічного добрива – гною. За усередненими даними втрати органічної речовини орних земель в країні складають 0,5-0,7 т/га.

На сьогодні детально вивчені відходи промисловості багатьох видів, розроблені способи і технології їх утилізації шляхом переробки в корисні продукти. Відходи ж сільського господарства не знайшли достатньої уваги технологів. До того ж спроби використати відходи сільського господарства, накопичені в різного роду сховищах, натрапляють на великі складнощі, пов'язані з цілим рядом технологічних, технічних і економічних причин. Окрім основного способу переробки відходів тваринництва – компостування, боязко впроваджуються технології біокомпостування, висушування і високотемпературної ферментації. На жаль, вони високовитратні, енергоємні, неекологічні і часто не відповідають вимогам землеробства і тваринництва.

Майже не впроваджується сучасна технологія – мікробна конверсія відходів тваринництва в аеробних і анаеробних режимах, яка передбачає не лише санітарний стан території навколо тваринницьких приміщень і птахофабрик, але і отримання органічного продукту високої біологічної активності, санованого, гуміфікованого, без специфічного запаху.

Мікробна біотехнологія здатна залучити у виробництво кормових препаратів і добавок, величезні маси рідких і щільних відходів АПК рослинного і тваринного походження. Існує широке коло мікроорганізмів, здатних рідкі і тверді відходи трансформувати в кормові препарати з утворенням мікробної біомаси. Найперспективнішими продуцентами є швидкорослі мікроорганізми.

2. Суть мікробної деструкції органічних субстратів.

Винятковість світу мікроорганізмів полягає в тому, що незважаючи на малі розміри, їх клітини мають величезну поверхню порівнянно з об'ємом і вагою, і це визначає найтісніший зв'язок мікроорганізмів з місцем існування. У 1 кг живої біомаси кишкової палички містяться бактерії, загальна площа поверхні яких складає 5000 м^2 . Активність дихання у бактерій і особливо у плісневих грибів значно вище, ніж у вищих організмів. Наприклад, триденна культура гриба Аспергіллус при 34°C виділяє за 24 години 682 см^3 CO_2 , а бруньки бузку при 15°C – всього 35 см^3 .

Мікробна клітина може розглядатися як біологічна машина широкого спектру дії, поки недоступна для повного розуміння усіх механізмів її функціонування, але за своїми можливостями далеко

перевершує усі технологічні системи, сконструйовані людиною в ХХ столітті. Практичне використання цих створених природою «біологічних машин» надзвичайно різноманітне.

Мікробіологічна трансформація не йде в порівняння з іншими способами біотрансформації органічних сполук. Сфера можливого використання ферментативної активності мікроорганізмів для перетворення екзогенних речовин практично безмежна. Мікроорганізми здатні атакувати якщо не будь-яку, то переважну більшість органічних сполук.

Активне відношення мікроорганізмів до хімічних компонентів субстрату дозволяє використати неосвоєні елементи середовища, включати їх в сферу своєї життєдіяльності. Мікробна клітина атакує незвичайні для її метаболічних систем речовини. Результатом атаки може бути подальша асиміляція речовини (якщо в наборі є ферментна система) або накопичення трансформованого продукту, який, у свою чергу, може бути надалі з успіхом освоєний. У будь-якому разі, ця активність спрямована на освоєння середовища і має переваги перед макроорганізмами, що використовуються в переробці відходів.

Особливість мікробіологічних трансформацій відходів полягає в тому, що велика частина органічних субстратів розщеплюється під дією декількох ферментів (існує більше 20 мікробіологічних процесів перетворення органічних сполук). Результат – зміна молекулярної структури трансформованого субстрату, синтез метаболитів з попередників, перебудова складних молекул. Найголовніше при цьому – зручність і економічність технологічних

процесів, для яких не потрібно дорогої апаратури, оскільки мікроорганізми функціонують в неагресивних середовищах при звичайних температурах і тисках.

3. Склад мікроорганізмів і їх трансформуюча активність при переробці гною і відходів. Природна екосистема є основним постачальником рослинності, органічна речовина якої за хімічними характеристиками дуже різноманітна і схильна до постійних змін при використанні на корм твариною. У травному тракті тварин, під впливом мікробної мінералізації і спонтанних хімічних реакцій, склад органічних фракцій постійно змінюється. Причому корм, що поїдається жуйними тваринами, перетравлюється інакше, ніж тваринами з однокамерним шлунком. Бактерії, що населяють шлунок жуйних тварин (велика рогата худоба і коні), дозволяють їм засвоювати корми, що містять целюлозу. У ці корми входить компонент лігнін, який супроводить целюлозу в рослинах і який погано перетравлюється в рубці тварини.

В цілому, корм, що містить епіфітну мікрофлору, в травному тракті тварини додатково збагачується різноманітними групами мікроорганізмів – аеробами і анаеробами, серед яких присутні патогенні бактерії. Мікроорганізми, завдяки ферментативним процесам, перетворюють вуглеводи, як правило, в кислі продукти (оцтову, лимонну і інші кислоти), спирти і газу.

У рубці шлунку жуйних тварин містяться анаеробні целлюлозоруйні бактерії ($10^9 \dots 10^{10}$ клітин в 1 мл рубцевої рідини), що здійснюють розпад полімерних вуглеводів до ацетату (50...70 %), пропіонату (17...21 %), бутирату (14...20 %)

молекулярного водню і метану (усіх газів до 700 л за добу), і невеликої кількості валеріаната і форміату. З цими продуктами в гній потрапляють також мікроорганізми, здатні зберігати тривалий час патогенність, яка означає потенційну здатність мікроорганізму викликати захворювання.

Токсинотворні мікроби (дифтерійна паличка, збудники правця, газової гангрени та ін.) проявляють агресивність завдяки збереженню токсичних білків. Різні патогенні мікроорганізми утворюють один, два або більше токсинів, які викликають летальний кінець, дермонекроз (омертвіння шкіри), гемоліз (розчинення крові) та ін. Збудниками захворювань можуть бути гельмінти – багатоклітинні організми, що в великій кількості зустрічаються у тварин.

Останніми роками в інфекційній патології істотно зросла роль умовно патогенних мікроорганізмів, що проявляють виражену стійкість до більшості відомих хіміотерапевтичних агентів. Особливо це проявляється у тварин, що поїдають корм при додаванні антибіотиків.

У гної здорових тварин є присутнім різноманіття «нормальної» мікрофлори, що бере участь в анаеробному гідролізі корму: міксобактерії, мезофільні і термофільні клостридії та ін.

Стабільність хімічної активності мікроорганізмів залежить від умов їх перебування в субстратах. У гноєсховищах або у біоферментерах утворюються речовини, часто токсичніші для клітини мікроба, чим початковий субстрат. Змішана ж мікрофлора початкового періоду компостування поступово селектується

технологічними умовами переробки органічних сполук і до завершення процесу залишаються найбільш активні і стійкі мікроорганізми, що мають захисну реакцію.

Фізіологічний сенс мікробіологічної трансформації відходів може бути різним залежно від виду мікроорганізмів і використовуваного субстрату. Різноманіття і поліфункціональність ферментних систем мікроорганізмів, що атакують незвичайні для мікробної клітини речовини середовища, складають функціональну основу мікробіологічних перетворень різноманітних за хімічним складом відходів.

Продукти біотермічних перетворень відходів можуть вступати в подальший метаболізм. В результаті токсичні з'єднання, обов'язково синтезовані у ферментерах, або інактивуються, або, перетворюючись на токсичніші з'єднання, є селективним засобом для певних таксономічних груп мікроорганізмів.

Багаторічні дослідження з широким набором субстратів (гною, посліду, торфу, тирси та ін.), показали, що багато мікроорганізмів демонструють високу адаптивність і трансформуючу активність при окисленні субстратів. Це є для них природною функцією. Проте до завершення ферментації відходів спектр мікроорганізмів звужується, деякі знову синтезовані з'єднання, не здатні використовуватися широким колом мікроорганізмів в якості поживного субстрату.

Крім того, мікроорганізми здатні модифікувати субстрат і накопичувати певні продукти. Саме для мікробіологічної біоконверсії відходів характерне накопичення в середовищі

своєрідних з'єднань, широка субстратна специфічність ферментів і різного роду побічні реакції.

Іншими словами, біологічний сенс мікробної трансформації відходів полягає в здатності мікроорганізмів атакувати найрізноманітніші органічні речовини, виділяти теплову енергію і синтезувати великий набір своєрідних з'єднань. Серед них маловірогідна наявність високотоксичних речовин, оскільки незначні перебудови молекул під дією мікроорганізмів повністю знімають токсичність з'єднань для живих мікроорганізмів.

Біохімічною основою трансформації природних субстратів мікроорганізмами є широкий спектр субстратної специфічності ферментів, які не дозволяють з'єднанням накопичуватися в середовищі.

Вважається, що мікроорганізми здатні окислювати усі органічні речовини, за винятком штучно синтезованих, аналогів яких немає в природі. Токсичними для мікроорганізмів гною або відходів тваринницьких комплексів можуть виявитися іони важких металів і деякі органічні речовини в концентраціях вище гранично допустимих (метанол, форміат, пропіонат та ін.)

Управління мікробною ферментацією відходів може інтенсифікувати мінералізацію початкового субстрату і активізувати біосинтез нових з'єднань, призначених для використання як органічного добрива, кормової добавки, бактерицидних препаратів.

Газовий режим компостованої маси відходів тваринництва непостійний. При регульованому режимі мікробної ферментації

аналіз повітряного потоку, що виходить, виявляє високий вміст метану, аміаку, діоксиду вуглецю, сірководня та ін. Причому динаміка їх утворення пов'язана з температурою маси, що ферментується, швидкістю проходження аеробно-анаеробних фаз і ферментативною активністю. Остання визначається мірою гідролізованості субстрату і участю певних груп мікроорганізмів (мезофілів і термофілів, аеробів і анаеробів).

Біоценоз маси, що ферментується – високоспеціалізоване співтовариство гетеротрофних організмів, що мають стійкі і термостабільні целюлази. Особливо високий рівень мінералізаційної активності мають мікроорганізми в другій фазі – термофільній.

Отже, в контрольованих умовах мікробної ферментації відходів біохімічні процеси трансформації органічних речовин тісно пов'язані з температурою, вологістю і ферментативною активністю початкової сировини. Мікроорганізми, що залучаються до процесу ферментації, дуже різноманітні в початковій фазі; спектр їх в другій фазі – значно звужується.

4. Органічні субстрати в травному тракті тварин.

Вторинну сировину сільського господарства – солону, часто компостують і готують з неї штучний гній з додаванням рідкого гною, стоків тваринництва. Для швидкості розкладання гною вирішальним є не стільки відношення вуглецю до азоту, скільки мобільні кількості цих елементів. Це основна якісна характеристика гною.

Солома характеризується невисоким вмістом протеїну як сирого (3...8 %), так і перетравного (0,5...1,0 %), часто обумовлено особливо міцною будовою клітин соломи. Вона, також, бідна жиром (0,5...1,3 %). Вміст мінеральних елементів коливається від 4 до 12 % і в них переважає окисел кремнію, тоді як основні макроелементи (Ca, P, Na та ін.) містяться в невеликих кількостях. Вітаміни в соломі практично відсутні, каротин складає тільки 1...7 мг/кг. Поживних речовин, що розчиняються у воді, слабкій соляній кислоті, в солодовому екстракті, небагато і в середньому складає близько 10 %, з яких третя частина припадає на частку мінеральних елементів.

Слабка розчинність поживних речовин, сильна інкрустація целюлози, геміцелюлози лігніном обумовлюють низьку перетравлюваність органічної речовини соломи.

Наприклад в соломі пшеничній, озимій і яровій перетравлюваність органічної речовини коливається від 42 до 46 %, в житній – від 43 до 48 %, у вівсяній – від 48 до 55 %. Отже кормову цінність соломи знижує целюлоза (клітковина), на долю якої доводиться до 50 % сухої речовини. Целюлоза – простий і найбільш поширений моносахарид. Вона є головним структурним компонентом рослинних клітин (клітинних стінок рослин). Є лінійним нерозгалуженим полісахаридом, елементарні ланки якого є залишками глюкози. При повному гідролізі целюлози, який відбувається в концентрованих кислотах, утворюється *D*-глюкоза.

Особливістю целюлози є наявність довгих і жорстких прямоланцюгових молекул. Рентгеноструктурний аналіз показав,

що молекули целюлози сполучені в пучки або волокна, що складаються з паралельних ланцюгів, що мають поперечні водневі зв'язки. Ці волокна абсолютно не розчинні у воді і мають правильну, майже кристалічну упаковку. Вони цементуються матриксом, що складається з трьох інших полімерів: геміцелюлози, пектину і екстенсину (білок з високим вмістом оксипроліну, ковалентно пов'язаний з целюлозними волокнами).

Клітинні стінки вищих рослин можна порівняти із залізобетоном, де роль арматури грають целюлозні волокна, а роль бетону – матрикс. Окрім міцного розташування, целюлозні волокна у міру дозрівання рослин просочуються складною хімічною сполукою – лігніном, який практично не засвоюється в організмі тварин. Лігнін соломи, діючи як фізичний бар'єр між клітинною оболонкою і ферментом, значною мірою знижує дію ферментів, що впливають на розщеплювання целюлози.

У природних умовах розщеплювання целюлози відбувається під впливом численних співтовариств мікроорганізмів, одні з яких виробляють ферменти, що розщеплюють переважно лігнін, інші – целюлозу і геміцелюлозу. При ферментному гідролізі соломи (у контрольованих умовах) основними отримуваними продуктами є глюкоза і ксилоза. Їх утворюється значно більше при поєднанні ферментного і хімічного гідролізу. Доступ целюлозолітичних ферментів до целюлози посилюється при послабленні зв'язку між лігніном і полісахаридами. Тому будь-яка підготовка соломи до згодовування передбачає послаблення або розрив зв'язків між

інкрустуючими речовинами і позаклітинними полісахаридами, і сприяє проникненню ферментів углиб клітини.

Еволюційний розвиток травної системи жуйних визначило розвиток рубця як органу, необхідного для попередньої переробки целюлози, гемицеллюлоз грубих волокнистих кормів за рахунок симбіозу з мікроорганізмами, що населяють його. Основними представниками рубцевої мікрофлори є простіші (інфузорії), бактерії і дріжджі. Бактерії населяють рубець, виробляють фермент целюлазу (єдиний в природі), який здійснює перетворення целюлози на *D*-глюкозу.

У 1 г вмісту рубця встановлений вміст бактерій на рівні 10^{10} , найпростіші – 10^6 . Клітковина, що міститься в соломі, виконує роль структурної речовини-субстрату, наявність якої сприяє нормальному розвитку бактерій, що мають целлюлазну активність.

Тема 8

Відходи тваринництва

План:

1. Загальні положення
2. Запахи.
3. Тверді відходи.
4. Стічні води

1. Загальні положення. У багатьох країнах об'єм відходів в тваринництві у 5 разів більше об'єму усіх побутових відходів. Тваринницькі відходи характеризуються високим вмістом органічних речовин, мінеральних з'єднань азоту, фосфору, калію та інше. Розрахунки фахівців показують, що в США в 1,72 млрд. тонни гною міститься близько 20% неперероблених поживних речовин. Лише одна третина цієї кількості гною містить стільки білку, скільки його дає щорічний урожай соєвих бобів. У безпідстилковому гної від 50 до 70% азоту знаходиться в розчинній формі, органічна речовина складає 70-80% сухої маси. В основному співвідношення вуглецю до азоту в калі тварин досить високе (1:18-20), в суміші ж екскрементів воно знижується за рахунок азоту сечі до 5-9.

Термін «відходи тваринництва» означає будь-який з нижчеприведених різновидів стану органічної сировини:

- свіжі екскременти, включаючи тверду і рідку фракції;
- тверді залишки після просочування в ґрунт рідини, випару води або вилуговування розчинних поживних речовин;
- рідка фракція, що виділяється із загальної маси відходів;

- тверді залишки, що утворилися після аераційного або анаеробного зберігання гною.

Беспідстилковий гній, що складається з суміші калу і сечі тварин з водою і сторонніми домішками, підрозділяється на напіврідкий, рідкий гній і гнойові стоки. Напіврідкий гній містить 8...14% сухої речовини (суміш екскрементів і сторонньої домішки), рідкий гній – від 3 до 8%, гнойові стоки значно розбавлені водою і містять менше 3% сухої речовини.

Для вирішення проблеми охорони природи і людини, зокрема, від специфічного забруднення поверхневих і ґрунтових вод і перетворення небезпечних джерел забруднення в цінну сировину для отримання добрив, кормових добавок, горючих матеріалів і сировини для хімічної і мікробіологічної промисловості потрібні характеристики основних складових відходів тваринництва.

2. Запахи. Сільське господарство в окремих випадках забруднює повітря речовинами, що шкідливо впливають на рослини, тварин і людину. Запахи створюють перешкоди у буденному житті. Проте при утриманні тварин у великих кількостях запахи відходів переростають в проблему. Особливо гостро подібна проблема має місце там, де практикується розкидання гною і не утилізується більшість відходів. Значна частина запахів виходить від гною.

При цьому в атмосферному повітрі виявляється аміак і інші смердючі гази в концентраціях тих, що перевищують ГДК в 5-6 разів, мікробне і загальне органічне забруднення в 8-10 разів

перевищує фон, реєструється також інтенсивне бактерійне забруднення ґрунту.

Більшість запахів є складною сумішшю хімічних сполук. У деяких запахах може переважати один конкретний компонент, його концентрацію можна визначити приладами. Наприклад, аміак або сірководень, тиогликолева або масляна кислоти. Тому для контролю запахів необхідно знати причини їх виникнення і які конкретно з'єднання викликають запахи. Умови ж, при яких утворюються з'єднання з неприємним запахом, підказують методи боротьби з ними. Більшість сільськогосподарських відходів перед їх використанням зберігаються в купах, буртах або, у кращому разі, накопичувальних місткостях, ямах. Впродовж зберігання відходів утворюються продукти анаеробного розкладання: аміак, сульфіді, меркаптани, аміни, метан, органічні кислоти та ін. Багато з цих з'єднань не окислюються і мають свій унікальний і неприємний запах навіть при низьких концентраціях.

Збір і видалення відходів (гною, рідкого гною) за допомогою рідинних систем супроводжуються неприємнішим запахом, ніж «сухі» відходи, за рахунок утворення нових пахнучих з'єднань. Запахи від пташиного посліду, що зберігається в анаеробних умовах, включає аміак, кислий сульфат, двух- і п'ятивуглецеві органічні кислоти, індол, скатол, дикетони, меркаптани і сульфіді. Таким чином, матеріали, що мають запах, є відновленими органічними сполуками і цим фактом підказує можливість використання окислювального процесу для боротьби із запахом. Якщо відходи, що зберігаються, піддати аерації і ввести кисень, то

основним пахнучим з'єднанням залишиться аміак, а при додаванні достатньої кількості кисню, аміак може бути окислений мікробами до нітриту і нітратів.

Неприємні запахи від тваринницьких відходів викликані передусім анаеробними умовами їх зберігання і активною мікробіологічною життєдіяльністю анаеробів. Для пригнічення бактерій і (чи) для окислення органічних речовин випробувана велика кількість хімічних засобів. Як правило, застосовують великі кількості цих хімікатів, що негативно позначається на подальшій утилізації відходів. До того ж не усі промислові хімікати були однаково ефективними в усуненні запахів. Об'єктивна оцінка 44 промислових маскуючих, нейтралізуючих і таких, що дезодорують препаратів виявила їх нерівнозначну ефективність. Менш ефективними виявилися порошкоподібні препарати травних ферментів.

Свіжі відходи від тварин рідко мають нестерпний запах. Висушування їх до стану, що виключає діяльність мікроорганізмів, може бути ефективним методом боротьби із запахом. У систему знешкодження тваринницьких відходів можна включити висушування і аерацію. Природний рух повітря без додаткового підігрівання, посилення руху повітря за допомогою вентиляторів і повітродувок цілком усувають запахи. Використовувалися також і промислові сушарки для обробки відходів тварин і птахів. При вмісті вологи приблизно 30% відходи пахли слабкіше, ніж невисушені. Інтенсивність запаху значною мірою залежить від умов зберігання відходів.

Аерацію можна використати для попередження виникнення запахів при видаленні відходів в рідкому стані, які вже частково окислені і забруднюючий потенціал отриманої суспензії у них понижений. У цих системах можливе зниження вмісту азоту за рахунок нітрифікації-денітрифікації. Можлива механічна поверхнева аерація з використанням поверхневих роторів, плавучих аераторів в лагунах, що аеруються. Успіх аераційної системи лежить в ретельності розрахунків потреби в кисні конкретних відходів великої рогатої худоби і птахівництва.

На жаль, про мінімальну кількість кисню на одиницю тваринницьких відходів, яке запобігло б виникненню запахів, даних немає. Традиційно підкреслюють необхідність підтримки залишкової концентрації кисню рівною 1...2 мг/л. Такі представлення встановилися при отриманні рідинного стоку, що відповідає санітарним нормам для скидання в поверхневі води. Ці норми, безумовно, неприйнятні для насичених або концентрованих відходів, що використовуються надалі при отриманні цільового продукту, органічних добрив, експрес-компостів та інш.

Аерація як метод боротьби із запахами дуже ефективна, якщо вона застосовується з початку зберігання відходів тваринництва. Достатня аерація запобігає виникненню запахів.

Аерація ж відходів, що зберігаються в анаеробних умовах, веде до виділення з субстрату смердючих з'єднань. Тому необхідно передбачити подання кисню в кількості, що знищує запахи. Якщо кількість кисню, що підводиться, менше потреби в нім, неприємні запахи можуть все ж мати місце.

З'єднання, що мають запах, існують не лише у вигляді газів, але і як леткі тверді речовини. Пил в пташнику є послідом, частками корму, фрагментами пір'я і епідермісу, які в сукупності дають запах курника. Їх концентрація в середньому складає 2,6 мг/м³. При достатній вентиляції ці гази не досягають концентрацій, небезпечних для людини або птаха. Кількість пилу, що утворився, обернено пропорційно до відносної вологості пташника.

Вміст запахів не може строго впливати на санітарно-гігієнічний стан повітря. Повітря не є середовищем для розмноження мікроорганізмів. Мікрофлора повітря в основному залежить від мікрофлори пилу, крапельок вологи, волосся тварин і пір'я птахів, які захоплюються з потоком повітря. Фізична система з дрібних твердих або рідких часток, зважених в газовому середовищі, або аерозоль переміщається в повітрі у горизонтальному і вертикальному напрямках. Чим більше в повітрі аерозоля, тим більше він містить мікроорганізмів. Кожна частка пилу має здатність адсорбувати на своїй поверхні безліч мікроорганізмів. Для санітарної характеристики забрудненого повітря (у тому числі і що містить неприємні запахи) визначають загальну кількість мікроорганізмів в 1 м³ і наявність окремих бактерій, які є показником забрудненості повітря. Для цього, як правило, використовують седиментаційні і аспіраційні методи.

Проте серед неприємних запахів можуть накопичуватися отруйні гази, особливо при слабкому провітрюванні приміщень і анаеробних відходів, що зберігаються.

Таким чином, суб'єктивний характер запахів ускладнює оцінку їх дії. Більшість запахів є складною сумішшю хімічних сполук, які необхідно видаляти, нейтралізувати або руйнувати. Індол, скатол, меркаптани, метиламін і інші з'єднання, що мають стійкий запах, сорбують, дезодорують, знищують фізичними, хімічними і біологічними методами. Після звільнення відходів від смердючих з'єднань гній і послід можуть бути широко використані при отриманні вторинних продуктів, необхідних сільському господарству для підвищення продуктивності ріллі (збільшення врожайності сільськогосподарських культур), тваринництва (отримання кормових добавок і для відгодівлі молодняка тварин, птахів, риби та ін.).

3. Тверді відходи. Аналіз гною великої рогатої худоби свідчить про наявність великої кількості вуглецю; у посліді ж птахів його вміст значно менше. Цей показник важливий при біоконверсії для розрахунку забезпечення енергетичним матеріалом мікробного ценозу, що мінералізує відходи тваринництва.

На різних фермах тверді відходи тваринництва складають неоднакову кількість і якість. На молочній фермі щоденна кількість гною на одну тварину 33...65 кг, в середньому 39 кг, що складає 7...8% маси тварини щодня. Свіжий гній містить 80...85% органічної твердої речовини при середній вологості 80...88%.

Щоденна кількість відходів від однієї свині залежить від породи і розмірів тварини, корму і умов утримання. Режим годування впливає на властивості свинячого гною. Приблизно 30% з'їденого корму перетворюється на тканини організму тварини, а

решта випорожнюється у вигляді сечі і калу. Кількість випорожненого калу складає в день 6...8% живої маси свині. Вологий кал містить 5...9% загальних сухих речовин, у тому числі 83% органічних речовин. Це нестабільна субстанція, тобто при звичайному зберіганні він піддається швидкому руйнуванню в результаті життєдіяльності власного мікробіоценозу.

У екскрементах одних і тих же тварин міститься більше поживних речовин при згодовуванні їм більшої кількості концентратів тільки тому, що цей корм містить більше поживних речовин. Коли рівень вмісту протеїну в кормі перевищує межу, протеїн засвоюється менш ефективно і більшою мірою переходить в кал.

Дослідження фізичного складу свіжого пташиного посліду показали, що він містить 75...80% вологи, 15...18% органічних речовин і 5...7% золи. При вологості 75% в посліді міститься 765 ккал на 1 кг сирого посліду. Детальніші характеристики гною і посліду представлені в спеціальній довідковій літературі.

Для розробки прийнятних систем переробки і використання відходів тваринництва необхідно знати їх характеристики. Відходи тваринництва більше концентровані: тверді відходи містять 75...85% органічних і 15...25% неорганічних речовин, причому екскременти свиней за змістом основних біогенних елементів перевершують екскременти великої рогатої худоби.

Відношення C:N в калі свиней менше, ніж в калі великої рогатої худоби, а в сечі міститься близько 50% усього азоту, що виділяється з екскрементами, і співвідношення C:N у великої

рогатої худоби 1:2, у свиней 0,8:0,9. Суміш ж екскрементів має відношення 5:8 за рахунок азоту сечі. Пташиний послід перевершує за багатьма показниками якість гною ВРХ і свиней. Отже, в землеробство з 250 млн. тони відходів тваринництва можна повернути 5 млн. тони азоту, 2,5 млн. тони фосфору і 10 млн. тони калію.

У твердих відходах, багатих вуглецем рослинного походження, міститься значна кількість важкогідролізуємих компонентів. В якості підстилки для тварин найширше застосовують вуглецьвмісні матеріали: солому, торф, тирсу.

Торф має високу вологоємність, добру газобирну здатність, гігроскопічність, бактерицидні властивості і малу теплопровідність. Його можна розглядати також як двокомпонентну систему з органічної і мінеральної частин. Причому цінність торфу визначається органічною частиною, до складу якої входять слабо змінені рослинні залишки і продукти їх гуміфікації. Мінеральна ж частина схильна більшою мірою до зміни якісного складу.

Важливою характеристикою твердих відходів тваринництва є співвідношення C:N. Використовувані вуглецьвмісні компоненти при утриманні худоби впливають на якість гною. У тирсі це співвідношення знаходиться на рівні 35...40, а при використанні соломи злакових культур досягає ще більших значень. Нижчий вміст вуглецю в торфі. При цьому вирішальною оцінкою гною є не загальна кількість вуглецю і азоту, а наявність вуглець- і азотвмісних речовин, що легко розкладаються і використовуються мікроорганізмами.

Переважаючими групами мікроорганізмів у гної великої рогатої худоби і посліді птахів є амоніфікуючі і автотрофні мікроорганізми. Кількість їх значно знижується зі збільшенням вологості субстрату.

4. Стічні води. Фізико-хімічний стан стічних вод залежить від якості твердих відходів тваринництва. Специфіка рідких відходів полягає у високій концентрації в стічних водах механічних включень і органо-мінеральних інгредієнтів, різноманітності їх складу і виду тварини.

Рідкий свинячий гній, якого щорічно утворюється в кількості декілька млн. тон – справжня екологічна проблема. Використати його в якості добрива або скидати у водойми неможливо через забруднення хвороботворними мікроорганізмами, гельмінтами, біогенними елементами і відсутності ефективних систем з очищення і переробки. Приміром, на свинарському комплексі в 108 тис. голів добовий вихід рідкого гною складає близько 3500 тони.

Стічні води птахофабрик мають певні фізичні характеристики, що свідчать про наявність розчинених і зважених домішок (у тому числі і гумусових). За хімічним складом стічна вода містить органічні і мінеральні сполуки в зваженому, колоїдному і розчиненому станах. Близько 60% загальної кількості забруднень припадає на частку органічних речовин. В цілому ж біохімічний склад стічних вод птахофабрик одноманітний, що пов'язано з виконанням технологічних операцій утримання птиці і обумовлено більш менш постійною середньою кількістю

забруднень на одну голову птиці, що поступають в стічні води протягом доби.

Вміст органічних речовин у стічних водах оцінюється в основному двома показниками: біохімічною потребою в кисні (БПК) і окислюваністю, або хімічною потребою в кисні (ХПК). Основні показники стічної води: органолептичні властивості, зважені речовини, окислюваність і біохімічна потреба в кисні – відбивають вміст органічних речовин. Вміст азоту (амонійного, нітратного і нітритного) дозволяє судити про хід перетворення речовин білкового походження. Особливе значення має небезпека стічних вод в поширенні заразних хвороб.

Використання відходів для поливів кормових культур (наприклад, кукурудзи), підвищує в силосі концентрацію небезпечних забруднюючих речовин в 150 разів. Так, 500 тон силосу з вмістом сухої речовини 20% містить 4500 л розчину, що має летальний вплив на водну фауну при разовому скиданні у водойми.

Проте, за даними Фишера, БПК відходів свині була 0,32, курки 0,03, а ХПК в 1,3 ... 1,5 рази більша. Такі параметри, як відношення БПК:ХПК і відношення БПК:всі або зважені тверді речовини, використовуються для визначення можливості застосування процесів біохімічного очищення для конкретних відходів. Малі значення цих співвідношень вказують на наявність значної фракції, невіддатливої біохімічному розкладанню.

Відходи тваринництва, як правило, містять велику кількість твердих речовин, які не піддаються подальшому біохімічному розкладанню.

У стічних водах свинарських ферм фракція, невіддатлива біохімічному розкладанню або в якій це розкладання протікає повільно, може складати приблизно 60...70% усіх твердих речовин. Видалення цих твердих речовин перед процесом біохімічного очищення поліпшить кінетику очищення і благотворно впливатиме на процес трансформації органічних сполук. Залежно від вживаних технологій відходи тваринництва в рідкому вигляді піддаються специфічним системам переробки, зберігання і видалення. Широкий вибір можливих методів їх переробки залежить від умов виробництва, наявності механічного устаткування, транспортних засобів та інше.

Тема 9

Біоконверсія органічних продуктів, отримання цільових продуктів та їх застосування

План:

1. Утилізація гною.
2. Переробка пташиного посліду.
3. Утилізація гною свинарських підприємств.
4. Традиційне компостування природної органічної сировини.
5. Вермікомпостування
6. Вирощування личинок синантропних мух (опаришів).

1. Утилізація гною. Зберігання гною – найвідповідальніший момент в ланцюжку утилізації відходів тваринництва. Під час зберігання рідкий гній може просочуватися і забруднювати поверхневі води. Частина органічних речовин гною при зберіганні стабілізується діяльністю бактерій, а частина азоту, що міститься в гної і сечі, може випаруватися в атмосферу. Приблизно 50% органічних речовин розкладається на CO_2 і H_2O . Втрати вуглецю і азоту в результаті діяльності бактерій збільшують вміст у гної мінеральних солей і зменшують вміст органічних речовин. Залишковий матеріал слабо схильний до обробки біологічними методами. Чим довше гній залишається вологим, тим більше можливості дії на нього бактерій і розчинення твердих речовин. Вологостримна здатність гною тварин залежить від раціону їх харчування.

Міра розкладання гною залежить від температури і вологості. Чим значніше діяльність бактерій і чим вище зміст вологи в гної, тим більше міри розчинення і тим вище зміст розчинних

компонентів у стоці сховища гною. Виникають передумови розвитку умовно патогенних і патогенних мікроорганізмів.

Описані процеси при зберіганні гною створюють проблему утилізації відходів тваринництва, яка придбала виняткову гостроту.

Список мікроорганізмів, що викликають інфекційні захворювання, загальні для людини і тварин, дуже великий і включає багато представників, які можуть переноситися водою. Коли дренаж або стік з тваринницьких підприємств досягне потоку, цим дається початок потенційному ланцюжку поширення хвороби. Найбільш небезпечні для людини мікроорганізми: стафілококи, стрептококи, гонококи, менінгококи, кишкова паличка, протей, клебсієли, псевдомонади, а також гнильні анаеробні клостридії, сальмонели, шигели, бруцели, пневмококи, мікобактерії та грибки – кандиди, актиноміцети та ін.

Гній знезаражують на спеціальній ділянці біотермічним способом. Гинуть збудники сальмонельозів, ешерихиоза, бешихи свиней, бруцельозу, ящура і інших інфекцій. Гній від тварин, хворих або підозрюваних в захворюванні сибірською виразкою, сапом, інфекційною анемією, туберкульозом, чумою, заздалегідь зволожують дезінфікуючим розчином, а потім спалюють.

Окрім патогенів, в гної міститься велика кількість корисних мікроорганізмів. Їх чисельність велика – в 1 тонні гною може міститися до 10 кг мікробної маси, а в 1 г – до 90 млрд. живих мікробних клітин. Мікроби не лише використовують поживні речовини гною, але і формують його якість. Завдяки життєдіяльності мікробів гній набуває властивість високоякісного

органічного добрива. Амоніфікатори, нітрифікатори, денітрифікатори, збудники бродіння, плісневі гриби і актиноміцети – далеко не повний перелік мікроорганізмів, що беруть участь в трансформації гною.

Натуральний гній утворюється в результаті сукупності складних процесів бродіння, тварин, що відбуваються в підстилці. Штучний гній виходить з рослинних залишків і інших вуглецевмісних компонентів, до яких додаються азотвмісні інгредієнти.

У обох випадках за рахунок складних субстратів і їх біологічної трансформації утворюються нові з'єднання, яким гній значною мірою і зобов'язаний своїми цінними якостями.

На склад натурального гною впливають добавки неорганічних речовин, які включають в корм з метою збільшення приросту тварин: антибіотики, ферменти, мікроелементи та інш. Деякі з цих добавок пригноблюють розвиток мікроорганізмів шлунково-кишкового тракту і тим самим змінюють хімічний склад гною і ефективність біохімічної переробки відходів тваринництва. В той же час органічні речовини можуть утворювати комплексні з'єднання з деякими мікроелементами, металами, внаслідок чого також змінюватиметься біохімічна активність мікроорганізмів у гної. У зв'язку з цим методи біоконверсії відходів одного виду тварин не завжди можуть бути застосовані до відходів інших видів тварин. Крім того, відходи тваринництва знаходяться в різному фізичному стані: твердому, напівтвердому або рідкому і, відповідно, має бути підібрана певна технологія їх переробки.

Отже, склад натурального гною непостійний, він залежить від співвідношення в нім щільних і рідких виділень, кількості і якості корму, підстилки, виду тварин і інших чинників.

Характеристики гною тварин залежать від засвоюваності і складу кормового раціону. Гній складається з неперетравленого корму, який не піддався бактерійній дії в шлунково-кишковому тракті, це, головним чином, волокна целюлози. Неперетравлені протеїни виділяються з калом, а обмінний азот – з сечею у вигляді сечової кислоти у птахів і у вигляді сечовини – у худоби. У гної містяться також залишки травних соків, мінеральних речовин, кальцію, магнію, заліза; фосфору.

При приготуванні штучного гною існують дві основні особливості: зменшення клітковини і гемицеллюлоз; збільшення кількості лігнінів і білків. Під час зберігання підстилок різні складові частини їх використовуються мікроорганізмами в обміні речовин, що призводить одночасно до мінералізації і синтезу органічних сполук типу гумусу. Гуміфікація компонентів гною визначається вологістю, аерацією, температурою. Попередити втрати цінних речовин у гної, синтез небажаних з'єднань можна шляхом правильного його зберігання.

Інтенсивність екзотермічних реакцій, що протікають в аеробних умовах (рихле зберігання гною), призводить до підвищення температури в купі гною і різкої активності термофільних бактерій.

При цьому мезофільна мікрофлора гине і її дія на цукру і гемицелюлози підстилки припиняється, тоді як термофільна флора

рясно розмножується і активно бере участь в процесі гуміфікації. Потім температура поступово знижується, і у цей момент мезофіли знову починають проявляти велику активність.

Свіжий гній дуже бідний термофільними мікроорганізмами; найбільша кількість термотолерантних і термофільних бактерій знаходиться в гної в період його розігрівання. Після зниження температури вміст бактерій, схильних до термогенезу, різко зменшується. Тому титр термофілів може служити показником готовності і дозрівання маси гною або компосту, що розігрівається.

В процесі дозрівання гною окремі види мікроорганізмів розподіляються по-різному:

- ❖ при 25...28°C спостерігається розвиток неоднорідної популяції мезофілів, в якій переважають бактерії (*Cytophaga*, *Cellvibrio*), мезофільні гриби (*Alternaria*, *Trichothecium*); чисельність актиноміцетів невелика;

- ❖ при 50°C чисельність бактерій зменшується; спостерігається розмноження термофільних грибів і актиноміцетів;

- ❖ при 55...65°C спостерігається інтенсивний розвиток термофільних спорових целлюлозоруйнівних бактерій. Чисельність грибів зменшується, актиноміцети, як і раніше залишаються активними;

- ❖ при 75°C гриби і актиноміцети відсутні. Зберігають свою активність лише термофільні бактерії, що розщеплюють клітковину.

Таким чином, велике значення в процесі дозрівання гною має температура, від якої залежить склад гною і його якості

удобрювачів. Підтримка температури на рівні 50...60°C забезпечує найбільш швидке дозрівання гною.

При щільному (анаеробному) зберіганні створюються анаеробні умови, повільно розвиваються мікробіологічні процеси і трохи підвищується температура (до 25...35°C). Основну роль в трансформації органічних сполук грають неспоротворні мікроби: коки, псевдомонади, протеї, ешерихії. Бацил і актиноміцетів в такому гної зовсім мало.

Аеробно-анаеробне зберігання гною в штабелі характеризується підвищеною температурою (до 50...60°C) і загибеллю неспоротворних форм бактерій. Таке зберігання гною є пошаровим укладанням гною без ущільнення, потім через 4...5 днів гній, що розігрівся, ущільнюють – до утворення штабелю розміром 5x2 м. Чим інтенсивніше протікають мікробіологічні процеси, тим більше втрачається цінних і важливих для рослин речовин – азоту і фосфору.

Розрізняють чотири стадії розкладання гною, приготованого на солом'яній підстилці: свіжий, напівперепрілий, такий, що перепрів і перегній. Напівперепрілий гній втрачає 10...30% первинної маси і така ж кількість органічної речовини; гній, що перепрів, втрачає близько 50% маси і сухої органічної речовини; перегній втрачає 75% маси, сухої органічної речовини і значна кількість азоту.

2. Переробка пташиного посліду. Історія експлуатації гуано схожа на історію використання людиною багатьох інших земних багатств. Колись інки користувалися ним розсудливо і

торгівля гуано підтримувала державний бюджет, складаючи половину усіх доходів держави. Гуано мало твердо встановлену ціну, здобич його велася планомірно, запаси перуанського гуано оцінювалися більш ніж в 23 млн. т. Проте вже в перші роки ХІХ століття багато що змінилося: поклади почали вичерпуватися із-за активної торгівлі. І тільки останнім часом завдяки охороні птахів і впорядкуванню вивезення гуано, товщина шару добрив збільшилася у декілька разів.

У нас пташиний послід накопичується поблизу птахофабрик, втрачає свої цінні якості і представляє постійну загрозу довкіллю. Об'єм відходів, що доводяться на одного птаха за добу, знаходиться в діапазоні 0,19...0,23 л. Загальне енергетичне значення курячого посліду складає від 3,2 до 4,5 кал на 1 г сухої речовини, а вміст азоту складає від 0,03 до 0,07 г азоту на 1 г сухої речовини, залежно від згодовуваного раціону. За іншими даними, енергетичне значення пташиного посліду складає 1,37 кал/сут. на одного птаха.

Суміш підстилки і посліду бройлерів містить в середньому 25% вологи, 1,7% азоту, 0,81% фосфору і 1,25% калію. В середньому пташиний послід містить 40% вологи, 1,3% азоту, 1,2% фосфору і 1,1% калію. Об'єми пташиного посліду і його склад залежать від виду птаха і технології її утримання.

При впровадженні на птахофабриках клітинних батарей для утримання птиці стали виникати серйозні проблеми з видаленням і переробкою посліду, очищенням і знезараженням стічних вод. В цілому системи прибирання посліду недосконалі.

Для загальної якісної оцінки пташиного посліду використовують в основному такі показники, як відносна вологість, насипна маса. Їх значення зумовлюють фазові стани посліду (рідке, в'язке, сипке). Вміст хімічних елементів характеризує якість посліду як сировини для отримання концентрованих органічних добрив або кормових добавок.

Кількісний і якісний склад мікрофлори посліду дуже специфічний і залежить від виду птаха. У масі позначки залежно від умов її зберігання число мікроорганізмів обчислюється мільярдами клітин в 1 г і представлені вони різноманітними групами: грибами, актиноміцетами, дріжджами, бактеріями та ін. Крім того, є присутніми бактеріофаги, черв'яки, личинки комах.

При зберіганні в посліді відбуваються складні біохімічні процеси: органічна речовина посліду руйнується, особливо при рихлому (аеробному) зберіганні, накопичуються органічні кислоти (при щільному укладанні), газоподібні продукти (діоксид вуглецю, аміак, метан, водень, молекулярний азот, сірководень та інш.) і інші хімічні сполуки. У цих процесах основну роль грає комплекс мікроорганізмів, здібних трансформувати органічні і мінеральні відходи птахів.

Мікроорганізми у відомих межах можуть адаптуватися до різних концентрацій органічної речовини, температур, рН. Екстремальні температури, високі концентрації іонів металів або токсичних хімікатів можуть понизити або припинити діяльність мікроорганізмів. Проте мікроорганізм – складно організована

біологічна система. Склад бактерій непостійний і коливається залежно від конкретно використовуваного ними субстрату.

У фазі зростання можливе депонування поживних речовин, внаслідок чого хімічний склад бактерійної протоплазми змінюється. Мікроорганізми з найбільшою швидкістю зростання, здатні використати велику частину наявної органічної речовини будуть переважаючими.

Склад мікроорганізмів в пташиному посліді регулюється, при необхідності управляється, особливо при його переробці. Переважання тих або інших форм мікроорганізмів у біологічних системах є іноді показником ефективності процесу біоконверсії посліду або стічних вод і умов середовища в системах. Велика міжвидова різноманітність в посліді бактерій або інтродукція у ньому спеціальних штамів дозволяє технологам переробляти послід з отриманням нової продукції заданого фізико-хімічного складу і біохімічних характеристик.

Необхідно тільки завжди пам'ятати про бактерійні забруднення посліду і стічних вод патогенними мікроорганізмами, що викликають інфекційні захворювання: черевний тиф, паратиф А і Б, дизентерію, інфекційний гепатит та ін.

3. Утилізація гною свинарських підприємств. Як відомо, відходи свинарських комплексів видаляються гідрозмивом і є стічними водами, що містять 1...2% зважених речовин. На одному комплексі в 100 тис. голів щорічно виходить до 1 млн. м³ стоків або 4 тис. тонни сухої біомаси. Вологий кал містить 5...9% загальних сухих речовин, у тому числі 83% органічних речовин. Основна маса

твердої фракції представлена целюлозою, а азот, фосфор і калій віддаляються з рідкою фракцією. Вологість твердої фракції висока – 70%, вуглецю – 48...50%, азоту – 0,9...1,1%, фосфору – 2,5...3,8%.

Мікробіологічна характеристика відходів свинарських комплексів дуже складна. Особливу увагу слід звернути на гельмінтологічну характеристику: на свинарських комплексах циркулюють до 50 різновидів гельмінтів. Максимальне накопичення макро- і мікропаразитів і їх різноманітність відзначається в осінній період. Є присутніми також патогенні бактерії, віруси, гриби, простіші та ін. Тому знезараження відходів свинарських комплексів має дуже важливе значення.

Утилізація стічних вод свинарських комплексів досі організована погано, і перш ніж розробляти способи утилізації, необхідно підібрати методи знезараження і дезодорації. Існують біотехнологічні підходи, сприяючі знищенню небажаної біоти (макро- і мікрофлори), але потрібно вдосконалювати дезодорацію твердої фракції відходів шляхом додаткової ферментації з термофільними целлюлозоруйнівними бактеріями. Технологія повинна перетворювати стоки на ті або інші корисні продукти (біокомпости, органічні добрива, кормові добавки та ін.) з одночасним видаленням поллютантів.

Активний мул очисних споруд при аеробній переробці свинарських стоків представлений в основному бактерійною флорою. У біоценозі переважають (до 70%) коринеподібні бактерії (*Phodococcus*, *Arthrobacter*, *Mycobacterium* та ін.), тобто мікроорганізми, здатні здійснювати біологічні трансформації

широкого кола речовин, у тому числі важкоокисні органічні субстрати.

Відходи свинарства, які зберігаються в анаеробних умовах, після тривалого часу зберігають дуже неприємний запах, особливо при видаленні зі свинарника або заорюванні в ґрунт. Це пов'язано з хімічним складом свинячого гною

У безпідстилковому гної від 50 до 70% азоту знаходиться в розчиненій формі, органічна речовина складає 70...80% сухої маси. Органічна речовина калу представлена в основному структурними речовинами з високим вмістом вуглецю – целюлози, лігніну, пентозанов. Склад гною істотно міняється в процесі зберігання і залежить від системи їх видалення і способів зберігання. Свинячий гній окрім целюлозних компонентів містить у великій кількості пентозани, крохмаль, велику кількість азоту, фосфору, калію і інших мінеральних елементів і мікроелементів.

4. Традиційне компостування природної органічної сировини. Компостування – це екзотермічний процес біологічного окислення органічних субстратів змішаною популяцією мікроорганізмів. В результаті біодеградації початкових компонентів утворюється стабільний гуміфікований кінцевий продукт – цінне органічне добриво. В процесі компостування органічні речовини переходять в стабільнішу форму, виділяється діоксид вуглецю, вода і підвищується температура. Стабілізується також відношення вуглецю до азоту C:N в значеннях 25...30:1. Компостування загальноприйнято вважати найбільш екологічною і економічною технологією отримання органічного добрива.

Природна органічна речовина (сировина) – торф, сапропель, екскременти тварин і людини, побутові і промислові відходи – для повнішого і ефективнішого використання в землеробстві вимагають компостування. Компостування біологічним, біотермічним або хімічним способами, а іноді і просто змішуванням окремих видів і форм добрив перспективно з багатьох причин, оскільки дозволяє:

- ❖ включити в промислово-біологічний кругообіг додаткові ресурси органічної сировини;
- ❖ збільшити вихід органічних добрив;
- ❖ підвищити агроекономічну ефективність гною;
- ❖ поліпшити якість основного органічного добрива – гною, отримуючи найбільш стабільні органічні сполуки, продукти розпаду, біомасу мікроорганізмів і продукти хімічної взаємодії цих компонентів;
- ❖ запобігти забрудненню довкілля (полів, водойм, прилеглих до тваринницьких об'єктів територій) від збудників хвороб тварин, людини і рослин.

Найбільш широке поширення отримали компости на торф'яній основі з використанням гною, пташиного посліду, а також твердих побутових і промислових відходів. Для мобілізації азоту торфу потрібне приготування біологічних компостів з додаванням не менше 10% гною, пташиного посліду або фекальних мас.

Види компостів: торфогнійний, торфожижевий, торфофекальний, торфопослідний і змішані.

Основний принцип процесу компостування – взаємодія між органічними відходами, мікроорганізмами, вологою і киснем. Мікробіологічна активність зростає, коли вміст вологи і концентрація кисню досягають необхідного рівня. Споживаючи органічні відходи як джерело живлення, мікроорганізми активно розмножуються, виділяючи певні метаболіти і енергію. Частина енергії, що утворюється при біологічному окисненні вуглецю, витрачається в метаболічних процесах, інша виділяється у вигляді тепла.

Компостування здійснюють співтовариства мікроорганізмів різних груп: мікрофлора – бактерії, актиноміцети, гриби, дріжджі (найбільше значення мають термофіли), водорості, віруси (живуть на організмах-господарях: бактеріях або актиноміцетах); мікрофауна – простіші; макрофлора – вищі гриби (ростуть на купках компосту, утворюючи плодові тіла); макрофауна – двопароногі, багатоніжки (рослиноїдні, хижаки), кліщі, ногохвостики (серед них хижі і рослиноїдні), черв'яки (дощовий черв'як *Eisenia foetida* – дуже важливий для переробки і компостування гною), а також мурашки, терміти, павуки, жуки.

В процесі компостування беруть участь безліч видів бактерій, (більше 2000) і не менше 50 видів грибів. Ці види можна підрозділити на групи за температурними інтервалами:

- психрофіли – температура розвитку нижче 20°C,
- мезофіли – від 20 до 40°C.

Кількість бактерій в компості може доходити до 10⁸...10⁹ клітин на грам вологого компосту, чисельність актиноміцетів –

105...107. Компости також багаті термофільними і термотолерантними мікроорганізмами (бактерії, бацили, актиноміцети).

Вміст мікроорганізмів в компостах залежить від хімічного складу початкових компонентів, їх фізичного стану і властивості гною. Кращий гній, як відомо, виходить при годуванні тварин грубими кормами, травою на пасовищі, сіном, висівками, соломною від бобових культур та ін.

Правильне компостування рослинних залишків і гною передбачає ферментацію початкових компонентів у купах, буртах, траншеях і таке інше. Компост може бути з ґрунтом і без нього – суміш різного виду органічних відходів, здатних перегнивати, трансформуватися і перетворюватися на доступні рослинам елементи живлення. Іноді для прискорення процесу ферментації додають «закваску» з готового компосту, рясно насиченого макро- і мікроорганізмами.

Технологія отримання компостів, що традиційно використовується, неінтенсивна; вона займає багато часу і дає продукт невисокої якості. Таке компостування – природний біологічний процес, що вимагає обов'язкових умов аерації і вологості, певного вмісту в компостованій масі азоту і вуглецю і збереження в ній певного температурного режиму. При 60°C компостування протікає ефективніше.

У промислових масштабах закладаються бурти завдовжки до декількох десятків метрів, шириною в декілька метрів, заввишки в 1,5...2 м. Якщо відбувається закладка відходів в контейнер і

траншею, то висота може бути від 1 до 1,2 м. За температурою необхідно стежити і регулювати. За добу температура в купі піднімається до 50° і вище. Компостований матеріал розігрівається швидко – це залежить від його складу, консистенції і погодних умов.

Для доброї аерації компостної купи знизу укладають аератори: гілки, товсті стебла соняшнику або кукурудзи та ін. Оптимальна вологість підтримується в межах 60...70%.

Таким чином, традиційні способи переробки гною і посліду – використання їх в якості тільки добрива – нераціональні: втрачається багато енергії, споживаної в тваринництві. Крім того, внесення високих (більше 50 тони/га) доз гною знижує фізичні властивості ґрунту і її родючість і, найголовніше, погіршує умови довкілля в цілому. Тому потрібне застосування біотехнології для прискореного компостування і утилізації відходів тваринництва, збереження поживних речовин в них і біологічної активності.

5. Вермікомпостування. Утилізація відходів тваринництва здійснюється за допомогою черв'яків. Переробляють стічні води, мул стічних вод, харчові відходи і отримують органічні добрива, або біогумус.

При утилізації рідкого гною додають солому, деревну тирсу, кору і інші тверді рослинні відходи. Черв'яки «переробляють» вуглецьвмісні продукти, перетворюючи їх на високоцінне добриво. Заздалегідь відходи піддають механічній сепарації і з твердої фракції формують невисокі бурти; гній же використовують тільки після бродіння, в процесі якого виділяється аміак і метан. Після

такої підготовки субстрат заселяють черв'яками. Органічні відходи, проходячи через кишечник черв'яка, піддаються біохімічним змінам, збагачуються макро- і мікроелементами, мікрофлорою і ферментами.

Вермікомпостування – переробка різних органічних субстратів червоними дощовими черв'яками (*Eisenia foetida*, *Lombricus rubellus*, *Червоний гібридний*). Відходи тваринництва заздалегідь ферментують, а для прискорення процесів ферментації і звільнення від аміаку бурти з початковим субстратом рясно поливають водою і періодично аерують. Після закінчення 1...1,5 міс на поверхню бурту вноситься маткова культура черв'яків з розрахунку 10...12 тис. на 1 м² поверхні. З усіх видів дощових черв'яків, існуючих у світі, лише небагато піддаються розведенню в штучних умовах. Найбільш універсальними за своїми характеристиками, економічно вигідними є гнойові черв'яки. Вони невимогливі до їжі, практично всеїдні.

Червоний дощовий черв'як має довжину 6...100 мм, колір темно-червоний, щотижня дає 1...2 кокона, з яких приблизно через 3 тижні виводиться від 2 до 20 черв'ячків (з них в живих залишається приблизно 4). У оптимальних умовах при вирощуванні на відходах черв'як може щотижня відкладати по 3...4 кокони. Через 3 міс з'являються з кокона черв'ячки, стають статевозрілими і можуть самі породжувати потомство. В середньому один черв'як дає потомство 200...400 особин в рік.

Найбільш активний каліфорнійський черв'як, він має велику плодючість. Статевої зрілості вони досягають у віці 3-х міс. За

оптимальних умов вони дають потомство около 1500 особин в рік. У кожному кокони налічується 2...20 яєць. Тривалість життя черв'яка 16 років.

Черв'яки надзвичайно чутливі до аміаку, який виділяється у відходах, що розкладаються. Тому для використання як джерела живлення придатні тільки відходи, що частково розклалися. Допустимий рівень вмісту в них аміаку 0,5 мг/кг субстрату. При більш високому вмісті аміаку черв'яки гинуть, ось чому не застосовують в якості поживного субстрату свіжий гній або гній з сечею тварин. У кишечнику черв'яків відбувається масове розмноження деяких груп мікроорганізмів, склад яких залежить від складу субстрату.

Внаслідок цього в копролітах черв'яків стимулюється розвиток грибів і бактерій. У вермікомпості порівняно з початковим органічним субстратом збільшується чисельність агрономічно корисних мікроорганізмів: амоніфікуючих, нітрифікуючих і целлюлозоруйнівних.

Субстрат для утримання черв'яків може бути найрізноманітніший. Можна використати різні органічні відходи сільського господарства і промисловості. Основою будь-якого раціону черв'яків має бути гній, до якого додаються в тій або іншій пропорції інші органічні компоненти. Проте кожен компонент корму необхідно піддавати дробленню, помелу, розмочуванню і зрештою процесам гниття і ферментації.

Кінський гній містить значну кількість целюлози і тому зручний для стратифікації і живлення черв'яків. Тривалість процесу

ферментації його 5...6 міс. Гній великої рогатої худоби відрізняється високою лужністю і в суміші з 20...25% подрібненої соломи після 6...8 міс ферментації представляє цінний субстрат для стратифікації і живлення черв'яків. Гній бигаїв за фізико-хімічними і поживними характеристиками аналогічний гною корів. Проте при відгодівлі бигаїв часто використовують білкову їжу, а при вмісті в гної 40% протеїну черв'яки гинуть. Гній овець також використовують як субстрат для утримання черв'яків, попри те, що він має високу лужність.

Свинячий гній широко використовують для вермикультивирования, але він має високий рівень кислотності і містить велику кількість протеїну. Тому до нього додають 30...40% соломи або картону, збільшуючи тривалість ферментації до 9...10 міс, і постійно контролюють рН.

Курячий послід відноситься до висококислотних субстратів, тому до нього необхідно додавати солону або картон у співвідношенні 1:1, ферментацію здійснюють 15...16 міс. Закладати в ложі не рекомендується гній, не пройшов до кінця процес ферментації, а також – змішаний з сечею тварин і такий, що зберігався в гноєсховищі більше 2 років після ферментації. Крім того у буртах необхідно підтримувати вологість 75...80 % і стежити за коливаннями температури. Стабільна температура (температура довкілля) є показником закінчення ферментації і придатності субстрату для годування черв'яків.

Щоб уникнути зайвого перегрівання компостованої маси і виділення токсичних газів гній рекомендується укладати шарами і з

інтервалом в два тижні Щільність заселення черв'яками – 40...50 екземплярів і при оптимальній вологості. В цілях підтримки сприятливої для життєдіяльності черв'яків температури (20...25°C) компост укривають соломою; а в деяких випадках – плівкою.

При проектуванні вермікомпосного господарства розраховується кількість лож, на яких черв'яки розмножуватимуться; необхідний об'єм їжі для черв'яків, наявність джерел водопостачання. Вода для зволоження субстрату повинна відповідати певним вимогам.

Ложа краще всього встановлювати на ділянках з певним ухилом для забезпечення доброго стоку води під час дощів і виключення утворення калюж. Підстилаючий ґрунт має бути піщаним або кам'янистим, не повинно бути слідів крота. Слід вибирати місця, захищені від вітру.

Ложа виготовляються з металевої оцинкованої сітки з окулярами-осередками 15x15 мм. Площа ложа 2x2 (2x1), висота 15...30 см. У такому ложі можуть знаходитися 50...100 тис. особин різного віку і кокони з яйцями. Ложа розміщуються секціями завдовжки до 50 м з відстанню між ними 0,4...0,8 м. Дві секції утворюють сектор. Відстань між секторами 2,5...3м. Не виключається застосування оригінальних конструкцій, розроблених для конкретних умов.

У закритих приміщеннях черв'яків можна культивувати на бетонній підлозі (з облаштуванням лож) і на стелажах дерев'яних, металевих або пластикових ящиках, розташовуючи їх поверхами. У закритих приміщеннях 1...2 м площі дає в два рази більше товарної

біомаси, чим на відкритому повітрі. Значно вище також вихід органічного добрива.

5. Вирощування личинок синантропних мух (опаришів).

Переробка відходів з використанням личинок деяких видів синантропних мух дозволяє запобігти забрудненню середовища і трансформувати гній, пташиний послід в корисні для людини продукти в 20 разів швидше, ніж це відбувається в природі. Мухи високоплідні, мають швидкий темп зростання, розвиваються в органічних відходах вологістю від 20 до 95% і при рН від 4,5 до 9,0. У нашій країні створена спеціальна популяція мух для утилізації органічних відходів людини і тварин. З кожної тони відходів можна отримувати не менше 500 кг біоперегною і до 200 кг біомаси личинок.

В результаті життєдіяльності личинок значно знижується бактерійна обсеменінність утилізованих відходів. У процесі живлення личинок мух початковий субстрат перетворюється на сипку дезодоровану масу – «біоперегній». Це ефективне добриво з високим вмістом гуміфікованої органічної речовини, збалансованої за вмістом азоту, фосфору і калію. Внесення його в ґрунт збільшує урожай сільськогосподарських культур у відкритому і захищеному ґрунті, підвищує імунітет рослин, прискорює їх зростання і розвиток, знижує інфекційний фон ґрунту і ґрунтів. Використовується також як основний компонент в компості для вирощування шампінйонів.

За 5 днів з 1 тони органічних відходів тваринництва, рН, що мають, від 4,5 до 9,0 і вологість від 20 до 90%, отримують до 50%

«біоперегною» і до 20% біомаси комах. Біомаса личинок використовується як кормова добавка у вигляді пасти, борошна або грануляту натомість мясокостного і рибного борошна. Містить до 60% білку з повним набором амінокислот, у тому числі і незамінних амінокислот, до 30% легкозасвоюваного жиру, до 20% вуглеводів, біологічно активних з'єднань, вітамінів групи В, стимуляторів росту. Включення біомаси личинок в раціон курчат у кількості 11,5% дозволяє замінити до 40% харчових продуктів (пшона, яєць). Біомаса використовується також при відгодівлі свиней, хутрових звірів.

Окрім перерахованих продуктів, технологія переробки гною і пташиного посліду личинками мух дозволяє отримувати хітозан – біополімер з хітинових оболонок личинок мух. Він може бути використаний як сировина для фармацевтичної промисловості, оскільки має здатність виведення радіонуклідів з організму людини і тварин, з води і ґрунту. У медицині може використовуватися як засіб лікування деяких видів лейкемії, як матеріал для ниток хірургічних швів, контактних лінз, а також медичних препаратів загоєння ран, у тому числі виразки шлунку. Хітозан застосовується при виготовленні особливо цінних сортів паперу для Держказначейств і картографії.

Технологія утилізації відходів тваринництва за допомогою личинок синантропних мух була відома з 1937 року. Технологія утилізації нативного безпідстилкового гною свиней за допомогою кімнатної мухи розроблена під керівництвом академіка Л. К. Ернста. Проте, незважаючи на її високу ефективність і

цінність, широкого застосування вона не знайшла ні в Росії, ні за її межами.

Конструкція модуля з переробки відходів за допомогою личинок мух досить проста, складається з транспортної системи для перемішування піддонів з гноєм або послідом, поєднаною з системою термостатування. Лотки розташовуються в декілька поверхів з максимальним використанням об'єму приміщення; переміщення піддонів в лотку забезпечує раціональне використання тепла для підігрівання гною або посліду на перших етапах переробки. Установка забезпечується блоком екологічного контролю, що гарантує екологічність виробництва.

Будівельний майданчик цехів для утилізації за цією технологією, навіть на експериментальних установках, не перевищуватиме 10...15% від площі тваринницької ферми.

Окрім вищеперелічених біотрансформацій відходів існують технології переробки органічних відходів тваринницьких комплексів безхребетними тваринами, простішими і іншими організмами.

Простіші – це одноклітинні організми, здатні засвоювати розчинні і нерозчинні поживні речовини в системах аеробної обробки стічних вод. Серед них зустрічаються джгутикові, війчаті і стеблові війчаті.

Спори з активним мулом, вільні від простих, дають вкрай каламутний стік. Ця каламутність створюється присутністю великого числа бактерій, що диспергують. При додаванні в ці

установки війчатих простіших підвищується якість стоку і знижується чисельність бактерій.

Простіші (джгутикові і інфузорії) є активними учасниками процесу розкладання органічних сполук стічних вод. Джгутикові, подібно до бактерій, всмоктують і переробляють органічні сполуки. Крім того, вони живляться бактеріями, заковтуючи їх через ротовий отвір.

Інфузорії – активні фільтратори, також поглинаючи бактерії. Цим вони розріджують щільність бактерійної маси, стимулюють безперервний процес розмноження бактерій і, омолоджуючи бактерійну флору активного мулу очисних споруд свиновідгодівельних комплексів, активізують її діяльність.

Подальша дезодорація і знешкодження твердого відходу шляхом ферментації із застосуванням термофільних мікроорганізмів при температурі 60...80°C впродовж 3...4 діб дозволяє отримувати високоактивне органічне добриво. Утилізація твердої фракції відходів свинарських комплексів може мати наступні рішення:

- ❖ ґрунт для вирощування овочів в теплицях;
- ❖ компости або біоорганічні добрива;
- ❖ субстрат для отримання мікробного кормового білку;
- ❖ субстрат для вирощування харчових грибів *Pleurotus florida* (біомаса плодових тіл вешенки або білкова добавка для худоби).

Тема 10

Мікробіологічні способи утилізації відходів

План

1. Переробка твердих та рідких відходів мікроорганізмами.
2. Особливості вирощування дріжджів на відходах тваринництва.
3. Очистка стічних вод мікроскопічними водоростями.
4. Конверсія відходів метаноутворюючими мікроорганізмами.

1. Переробка твердих та рідких відходів мікроорганізмами. Особливу небезпеку представляють відходи промислового виробництва. Гнойові стоки при відповідній переробці не втратили свою значущість як цінне органічне добриво. До того ж, мікробна біотехнологія здатна залучити у виробництво кормових препаратів і добавок величезні маси рідких і щільних відходів АПК рослинного і тваринного походження, які нині не використовуються. Найперспективнішими є швидкорослі мікроорганізми, здатні засвоювати негідролізовані сільськогосподарські відходи у відносно стерильних або повністю нестабільних умовах, в глибинних і поверхневих структурах.

Провідна роль в процесі переробки органічних відходів належить мікроорганізмам. Залежно від виду і якості відходів у них є присутніми певні домінуючі групи бактерій, які і визначають вибір технології утилізації. Одним з можливих способів утилізації рідких гнойових стоків є їх біологічна переробка, що включає отримання технічних і кормових мікробних препаратів. Це дозволяє швидко і ефективно переробляти значні кількості

відходів. Біологічна утилізація може здійснюватися по наступних напрямках:

- ❖ культивування мікроорганізмів на заздалегідь обробленому гної (обробка кислотами, лугами, термообробка та інш);
- ❖ культивування на рідкій фракції гною після розділення у відстійниках, цистернах;
- ❖ вирощування міцеліальних грибів на щільній фракції гною;
- ❖ культивування мікроорганізмів на стічних водах без попередньої обробки.

Для ферментації гною використовують, як правило, міцеліальні гриби роду *Aspergillces*, *Mucor*, *Trichoderma*, *Rhizopus*, *Geotrichum*, *Micromyces*. На рідких фракціях вирощують бактерії термофільні (*Lactobacillus*, *Strepto-bacterium*) і мезофільні (*Streptococcus*, *Azotobacterium*, *Pseudomonas*). Ферментацію проводять при 30...38°C впродовж 7...14 діб. Подібні способи отримання кормових препаратів із гною розроблені в Японії, Великобританії, США і інших країнах. На стічних водах тваринницьких комплексів вирощують також дріжджі (роду *Pichia*, *Hansenula*, *Saccharomyces*, *Candida*) для отримання кормового білку.

Наприклад, з 20 тон свинячого гною вологістю 80% можна отримати 1 тону кормових дріжджів і значну кількість добрив.

Застосовують твердофазне культивування грибів на твердому гної, з додаванням до свіжих свинячих фекалій висівок пшениці,

рису та ін. Відомий спосіб отримання кормового білку на целюлозному субстраті з додаванням гною в якості джерела мінеральних елементів. Поживна цінність цього препарату порівнянна із стандартами ФАО. Проте твердофазне культивування непридатне для гнойових стоків.

Целюозна, і особливо целюлозно-лігнінова, активність мікроскопічних грибів забезпечує можливість їх використання для прямої біоконверсії лігноцелюлозних відходів агропромислового комплексу. Гриби можуть культивуватися і на рідких середовищах, що містять лігно-целюлозний компонент. Твердофазна ферментація відходів з використанням грибів широко поширена в Європі і США. Гриби вирощують на гідролізованому твердому осаді гною, змішаному з різаною соломою, будь-якому твердому целюлозовмісному середовищі з додаванням гною або мінеральних добрив, а швидкорослі штами фузаріїв – на різних целюлозо-лігніномістких відходах.

При прямій біоконверсії щільних відходів АПК більша перевага віддається термофільним міксоміцетам. Вони відрізняються множинністю форм ферментів порівняно з мезофілами, що робить їх більше адаптивними до зовнішніх термічних умов. Найбільш перспективними продуцентами біомаси і білку можуть виявитися термофільні міксоміцети, що мають до того ж здатність рости в незвичайних умовах кислотності середовища, наприклад, у сильно лужному середовищі. При цьому створюються виключні умови для зростання грибка, інгібуються

бактерії і інша мікрофлора, що дозволяє зростання грибних культур.

Біотрансформація рослинної сировини дріжджоподібними грибами, що мають коротку лаг-фазу, мають комплекс гідролітичних ферментів і стабільніше зростання в умовах мікробних співтовариств, перспективна у відносно стерильних або навіть нестерильних умовах. Відома можливість вирощування дріжджів роду *Candida* і на негідролізованому гної. В результаті процесу ферментації утворюється продукт, який можна використати в якості добавки до корму. Підвищена ефективність у біосинтезі білку відрізняється у асоціацій дріжджів з міцеліальними грибами і бактеріями, в яких, як правило, гриби і бактерії грають головну роль в підготовці субстрату, а дріжджі є основними продуктами мікробної біомаси. Скоротити собівартість виробництва білкових препаратів з відходів можна виключивши дорогий кислотний гідроліз.

Для глибинного культивування бактерій основою поживного середовища служать фекалії тварин. Вони проходять попередню обробку (розбавлення, дезодорацію, теплову дію). Далі до гною додають органічні поживні речовини (глюкозу, мелясу, метанол), солі і вітаміни і отримують середовища, на яких вирощують термофільні і мезофільні бактерії впродовж 7...14 діб.

На відходах свиноферм вирощують дріжджі, які здатні знижувати органічні забруднення в середньому по ГДК на 90%. Рекомендується також культивувати бактерії і мікроводорості, здатні до швидкої мінералізації субстрату. Для обробки стічних

вод, що містять свинячий гній, пропонується використати фототрофні бактерії роду *Rhodopseudomonas capsulata*, пропіоновокислі бактерії та інші. При цьому істотно скорочується вуглець в субстраті, зменшується неприємний запах і знижуються сірковмісні речовини.

Практично усі групи мікроорганізмів (бактерії, гриби, актиноміцети, дріжджі) можуть бути використані більшою або меншою ефективністю у біотрансформації так званої вторинної сільськогосподарської сировини. Встановлена висока ефективність використання целюлозолітичних бактерій (*Cellulomonas*) при введенні до складу рослинних силосів спільно з соломою. Перспективна біотрансформація коричневого соку зелених рослин молочнокислими бактеріями (*Lactobacillus*) з метою стабілізації білкових речовин соку, збагачення його органічними кислотами і пробіотичними властивостями. Ацидофільні бактерії вирощуються на рідкому гної з додаванням деяких легкозасвоюваних джерел вуглецю (меляса, метанол, глюкоза). Отримувана при цьому біомаса містить до 71,1% сирого білку. Культивування пропіоновокислих бактерій на розбавленому свинячому гної дозволяє отримати білковий препарат з вмістом сирого протеїну 29,6-36,5%. При додаванні до розбавленого свинячого гною молочної сироватки після ферментації пропіоновокислих бактерій при температурі 20-30°C впродовж 42-48 годин можна отримати препарат, що збагачений білком і містить значну кількість вітаміну B₁₂.

Слід зазначити, що найбільш інтенсивно процес протеїнізації вторинної сільськогосподарської сировини йде при активному перемішуванні, аерації, підвищеній температурі і використанні термофільних бактерій в якості продуктів і збагачувачів кінцевого продукту. Проте така інтенсифікація процесу біотрансформації сировини супроводжується активною аерацією, перемішуванням, які неминуче вимагають значних витрат на його реалізацію.

Існує ще один спосіб утилізації сільськогосподарських відходів шляхом вирощування бактерій в анаеробних умовах з отриманням біогазу і щільного залишку як цінного органічного добрива.

Обробка розріджених відходів (1-4% сухого залишку) анаеробною ферментацією з виробництвом біогазу стає реальною тільки при згущуванні рідких екскрементів седиментацією. Висока міра згущування початкового гною дозволяє підвищити енергетичний коефіцієнт анаеробної переробки.

Мікробіологічні трансформації прийнятніше хімічних або фізичних процесів в силу здійснення одночасно сукупності реакцій в природних умовах. Крім того, мікроорганізми здатні модифікувати субстрат і використати неосвоєні елементи середовища. В результаті широкого спектру субстратної специфічності їх ферментів мікроорганізми мають переваги перед макроорганізмами і технічними способами переробки органічних субстратів. Не можна забувати також, що мікробіологічна трансформація субстратів, що переробляються, вирішує

найважливішу задачу перетворення енергії мікроорганізмів і «відходів» в необхідні людині продукти.

2. Особливості вирощування дріжджів на відходах тваринництва. Біоконверсія комплексних відходів сільського господарства представляє реальну можливість отримання значних кількостей білкових продуктів кормового призначення. Дріжджі є найбільш перспективними в такій біоконверсії. Вони ростуть значно інтенсивніше на середовищах, що містять щільні включення. На відходах свиноферм вирощують дріжджі здатні знижувати органічні забруднення в середньому по БПК на 90%. Рідинні гнойові стоки свинокомплексів містять 0,5-2,0% сухих речовин, близько 1% розчинених і 3,0-3,5% зважених речовин. Для щільності додають відходи інших виробництв, що підвищує питому швидкість зростання дріжджів і збільшує їх продуктивність. Отримання дріжджової біомаси на рідких сільськогосподарських відходах супроводжується вилученням з цих субстратів основної маси органічних речовин, здатних забруднювати довкілля, і є ефективним етапом підготовки таких важкопереробних відходів як рідкий гній, до переробки в спорудженнях біологічного очищення.

В ході переробки низьких відходів шляхом глибокого культивування дріжджів відбувається значне зниження числа живих мікроорганізмів, що скидаються в довкілля, серед яких можливо присутність і умовно-патогенних мікроорганізмів, що грають значну роль в інфекційній патології тварин і людини.

Можливе вирощування дріжджів і без дотримання умов суворої асептики. На гнойових стоках краще всього вирощувати

дріжджі роду *Candida*. Власна бактерійна флора гнойових стоків не пригнічує зростання дріжджів.

У дріжджових культурах на нестерильних стоках відзначається більш високий вихід сирого протеїну в отримуваних дріжджових препаратах. При цьому відзначається можливість формування метаболітів мікроорганізмів гною, які можуть, у свою чергу чинити сприятливу дію на зростання дріжджів. Не унеможливлено зміни хімічного складу гнойових стоків в процесі їх стерилізації. Вирощування дріжджів на нестерильних стоках майже повністю знімає специфічний запах гнойових стоків, тоді як при стерильному культивуванні цей запах зберігається.

Максимальний синтез білку дріжджами роду *Candida* відзначається на рідинних гнойових стоках при підборі оптимальних умов їх живлення.

У практиці переробки відходів нерідко створюються умови що ускладнюють хід процесу, особливо нестандартність початкової сировини. Рідинні гнойові стоки, залежно від методу прибирання екскрементів тварин (гідрозмив, самосплав, комбіновані методи), по хімічному складу можуть надзвичайно варіювати. Вміст сухих речовин обумовлює різну активність і продуктивність дріжджів, що пов'язано з якістю кормів, системою прибирання і зберігання тваринницьких відходів, застосуванням різних хімічних антисептиків при годуванні і дезодорації тваринницьких приміщень.

Крім того, гнойові стоки можуть переутримуватися в комунікаціях і резервних місткостях тваринницьких комплексів від

декількох годин до багатьох діб, що супроводжується розвитком у такому матеріалі специфічної мікрофлори, здатної змінити біохімічні характеристики початкової сировини. Ці зміни можуть робити негативний і позитивний вплив на зростання дріжджів, що культивуються на рідинних гнойових стоках. Має бути процес «дозрівання» відходів і рН 4,5-5,5.

Таким чином, доведена можливість комплексної переробки за допомогою дріжджів, твердих відходів тваринництва і рідинних гнойових стоків.

Разом з отриманням препаратів, збагачених мікробним білком, досягаються супутні позитивні ефекти:

- ❖ нейтралізуються несприятливі домішки в початковій сировині;
- ❖ запобігається забруднення довкілля;
- ❖ забезпечується велика стабільність екологічної рівноваги.

Із стоків витягається до 90% органічних забруднень і мікроорганізмів, що містяться в них. Попередня обробка дріжджами сприяє доведенню тваринницьких стоків до санітарних норм при подальшій їх переробці в спорудженнях біологічного очищення.

3. Очистка стічних вод мікроскопічними водоростями.

Утворення величезних мас малоконцентрованих рідких відходів значною мірою зумовило інтерес до мікроводоростей, як до можливого чинника біотрансформації подібних відходів. Біомасу водоростей передбачається використати не лише як компонент

кормів, але і як початкову сировину для виробництва харчових продуктів, вітамінів і інших цінних речовин.

Недоліком мікрководоростей і більшості фотобактерій є їх нездатність або дуже низька здатність споживати такі полімери як целюлоза, геміцелюлоза, лігнін, які складають основну масу сухого залишку сільськогосподарських відходів. У цьому плані особливо виділяються мікроскопічні гриби, серед яких досить широко поширена здатність гідролізувати і споживати ці високомолекулярні речовини. Вони мають потужні комплекси целюлітичних і лігнолітичних ферментів, синтезують як повний набір целюлаз, так і окремі ферменти, наприклад ксіланази, що руйнують доступнішу аморфну целюлозу або геміцелюлозу.

Виробництво мікрководоростей – безвідмовний, екологічно чистий, енерго- і ресурсозберігаючий процес. Як основне джерело сировини використовуються мінеральні форми вуглецю (CO_2 , карбонатів), запаси яких практично не обмежені. Найбільш перспективними є зелена водорість хлорела, синьо-зелена водорість спіруліна, а також мікрководорість дуналієлла. Біологічна і поживна цінність білків їх складає 48...62%. У 1 кг біомаси водоростей міститься до 30 г каротину, 400 г гліцерину і білок. В порівнянні з традиційним рослинництвом питомі витрати енергії на отримання біомаси мікрководоростей нижче в 3...4 рази. При виробництві мікрководоростей виключається забруднення довкілля мінеральними добривами і пестицидами.

Вирощують водорості в автотрофних і гетеротрофних умовах відкритих водойм, відстійників, на стічних водах або на установках

безперервної дії. У різних країнах світу культивування синьо-зелених і зелених мікроводоростей знаходиться на різних рівнях: в Європі (Чехія, Німеччина) – на стадії теоретичних розробок і невеликих експериментів, в Японії, Індії і на Тайвані воно набуло промислового характеру.

Водорості мають значення там, де у водойми проникає досить сонячного світла. Водорості майже не ростуть в дуже каламутній воді, наприклад в установках з активним мулом і в лагунах, що аеруються, куди сонячне світло не проникає або де рідина має темне забарвлення. Конструкція окислювальних ставків і їх експлуатація розраховуються на рівновагу між водоростями і бактеріями. Перші використовують двоокис вуглецю, солі амонія або нітрати і фосфати і при фотосинтезі звільняють молекулярний кисень, який використовується бактеріями в процесі обмінного перетворення наявних органічних речовин. За відсутності сонячного світла фотосинтез припиняється, а ендогенне дихання водоростей триває так само, як і у бактерій. Отже, водоростям потрібна додаткова кількість кисню в тих спорудах, де вони є.

Водний гіацинт (ейхорнія) здатний рости в сильнозасмічених водоймах, поглинаючи різноманітні водорозчинні органічні і мінеральні відходи, у великих концентраціях. Це повна протилежність водоростям, карантинний бур'ян тропічної зони. Потужна коренева система рослини спільно з великою різноманітністю мікроорганізмів ризосфери, сорбованих в слизі коренів, беруть активну участь у трансформації і утилізації забруднень водних стоків. За допомогою водного гіацинта можна

створити енергозберігаючий естетичний біологічний фільтр для скидних систем.

4. Конверсія відходів метаноутворюючими мікроорганізмами. Перетворення органічної речовини на біогаз – спонтанний природний процес, що протікає у болотах, що погано аеруються, мулких ґрунтах, сховищах гною і сміття, а також в травному тракті тварин. Виробництво біогазу – багатоступінчастий процес, здійснюваний мікроорганізмами.

У першій фазі з'єднання органічної сировини (целюлоза, білки, жири) в результаті гідролізу складові компоненти стають розчинними, тобто утворюються олігосахариди, пептиди і жирні кислоти. У другій фазі (кислотній) ці з'єднання руйнуються до органічних кислот (оцтової, мурашиної, молочної, масляної, пропіонової та ін.), спиртів (етилового, пропілового та ін.), газів (діоксиду вуглецю, водню, сірководню, аміаку), амінокислот, гліцерину та ін. Процес здійснюють звичайні сапротрофні анаеробні мікроорганізми (масляно-кислі, молочно-кислі, пропіоновокислі бактерії і дріжджі) при рН середовища 4,5...7.

На третій фазі (лужній) відбувається подальше розкладання речовин, що утворилися в другій фазі, з отриманням газу, що складається з метану, вуглекислоти, азоту і водню. Процес здійснюється метаноутворюючими бактеріями – суворими анаеробами.

Оптимальною температурою для метаноутворюючих бактерій є 35...40°C або 65...70°C при рН 6...8. У природі існують асоціації між водневидільними і метаноутворюючими

мікроорганізмами. Це природна асоціація мікроорганізмів в рубці жуйних тварин.

Нижче наведена характеристика мікроорганізмів, що здійснюють анаеробне зброджування органічних залишків (метаногенів) за Берджи.

Суворі анаероби, хемоавтотрофи або хемогетеротрофи завжди утворюють метан як продукт метаболізму. Джерелом вуглецю і енергії є H_2+CO_2 , форміат, ацетат, з'єднання, що містять метильну групу – метанол, метиламіни, метилсульфіди, метанол+ H_2 , або спирти+ CO_2 .

Облігатні або факультативні автотрофи. Джерелом азоту є аміак, хоча деякі штами можуть також використати амінокислоти або фіксувати молекулярний азот.

Вільноживучі організми використовують як основний акцептор електронів CO_2 і відновлюють при цьому CO_2 до метану, розщеплюючи ацетат на CH_4 і CO_2 .

Існують дві фази: кислотогенна, при якій виділяється водень, і метаногенна. У першу фазу мікроорганізми споживають кисень і інші окисники ($NaNO_3$) і створюють суворо анаеробні умови, потім починається гідроліз і розкладання целюлози.

Отримання біогазу ґрунтується на анаеробному розкладанні гною. Під час зброджування органічної маси накопичується водень і органічні кислоти: молочна, пропіонова, оцтова, спирти, альдегіди та ін. Далі водень трансформується в метан і воду водневими бактеріями; отриману у великій кількості оцтову кислоту метанобактерії перетворюють на метан.

Кращим джерелом азоту для метанових бактерій є мінеральний азот (вуглекислий і хлористий амоній). Оптимальне співвідношення в середовищі азоту і вуглецю має бути від 1:12 до 1:20. Бродіння в метантенках найактивніше проходить при рН 6,4...7,2 до 7,8. Оптимальна температура для мезофільних бактерій 32...33°C, для термофільних – 52...53°C. Зміна температури на 3...4°C може гальмувати бродіння.

Тривалість зброджування органічних речовин у термофільних умовах менша, ніж у мезофільних, що дозволяє скоротити корисний об'єм метантенків. Крім того, при термофільному процесі відбувається глибше зброджування органічних речовин і продуктивність метантенків удвічі вище працюючих в мезофільному режимі. Недоліком термофільного процесу зброджування є велика витрата теплоти на підігрівання середовища, велика чутливість термофільної мікрофлори до коливань температури, а осад зброженої маси піддається обезводненню.

Перемішування зброджуваної маси забезпечує добрий контакт мікрофлори з поживним середовищем, рівномірний розподіл мікроорганізмів в об'ємі, усунення токсичних і інгібірувальних продуктів метаболізму. Крім того, перемішування запобігає утворенню осаду на дні метантенка і кірки на поверхні, покращує газоутворення, інтенсифікує процес зброджування органічних речовин.

Поверхнево-активні речовини негативно впливають на метанове бродіння, що проявляється в зменшенні газовиділення,

зниженні і розкладанні органічних речовин; вони інгібують дію гідролітичних ферментів і обмінні процеси бактерій.

Позитивно впливає на кількість мікрофлори наявність в метантенку твердої фази.

При утворенні метану з целюлози субстрат зазнає ряд змін: целюлоза під дією гідролітичних ферментів розщеплюється до глюкози, яка зброджується до органічних кислот і газоподібних продуктів – H_2 і CO_2 . Утворення метану з водню і діоксиду вуглецю протікає з більшою швидкістю, ніж з органічних кислот. Таким чином, органічні кислоти є чинником, лімітуючим швидкість метаногенеза. Усунення їх з культурального середовища підвищує швидкість метаногенеза і збільшує вихід CH_4 . Збільшення CO_2 призводить до зменшення швидкості утворення метану і, навпаки, його різке зменшення збільшує утворення метану.

Скорочення утворення метану супроводжується накопиченням в середовищі до 4 г/л оцтової кислоти, тоді як концентрація пропіонової і масляної кислот мало змінюється і складає відповідно до 0,6 і 0,2 г/л. Причому незалежно від складу газової атмосфери бактерії повністю використовують глюкозу. Високий парціальний тиск метану не пригнічує метаногенез.

Ефективність швидкості виходу CH_4 при прискореному розкладанні залежить або від циркуляції CO_2 , або від ефективного механічного перемішування середовища в метантенку. З метою підвищення вмісту у біогазі метану розроблені методи очищення його від домішок моноетаноламіном (США) і концентрація метану підвищується до 95%.

В якості косубстрата при анаеробній ферментації свинячого гною у біогаз доцільно вносити целюлозовмісні матеріали (солому). Використовують також побутові відходи і торф. Наприклад, при анаеробному зброджуванні суміші, що складається з 5 частин рідких відходів тваринництва з вмістом 4,38% органічної речовини, 2 частини міських відходів з 5% органічної речовини, 1 частина побутових відходів із вмістом 21% органічної речовини, отримують 412 л газу з 1 кг органічної речовини.

У нашій країні метанове бродіння гною для отримання біогазу і добрив в невеликих масштабах застосовували вже в 60-і роки шляхом метанового зброджування відходів тваринництва і рослинництва.

Тема 11

Сучасні технології переробки відходів сільського господарства

План:

1. Утилізація відходів тваринницьких підприємств.
2. Одержання кормів та продуктів харчування підвищеної засвоюваності.
3. Біотехнології XXI століття.

Для розробки систем утилізації відходів необхідно знати їх характеристики. Для більш концентрованих тваринницьких відходів придатне біохімічне очищення (рідкі відходи), промислова переробка, компостування, внесення в ґрунт, висушування (тверді відходи).

1. Утилізація відходів тваринницьких підприємств. Запах калу свиней обумовлений в основному кінцевими продуктами бактеріального гниття білків. З органічних компонентів до складу калу входять амінокислоти, ліпоїди, вищі і нижчі жирні кислоти, скатол, індол, феноли, меркаптани, ферменти та ін. При цьому міститься: вода 55-75%, гази (CO_2 , H_2S , CH_4), макро- і мікроелементи.

На одному комплексі (108 тис. голів) щорічно отримують 1 млн. м^3 стоків. Професором І. А. Архипченко розроблена технологія переробки відходів свинокомплексів у біодобрива Баміл (біомаса мікроорганізмів мулу). Баміл отримують, вирощуючи аеробні мікроорганізми на стоках. Це добриво має стимулюючу дію на рослини і не містить шкідливих домішок (сірководня, меркаптани, жирних кислот). Воно не має аналогів і ефективніше,

ніж біодобрива, отримані на основі анаеробних мікроорганізмів (зброджування в метантенках).

Технологія отримання Баміла. Стічні води з приймального резервуару спрямовуються на віброгуркіт, де розділяються на рідку і тверду фракції. Рідка фракція проходить через систему аеротенків; активний мул, що утворився, використовується для виготовлення добрива Баміл. Тверда фракція, що пройшла санацію, вивозиться на поля в якості органічних добрив. У іншому варіанті тверда фракція вологістю 70...80% змішується з мінеральними і біологічно активними добавками і спрямовується у біореактор, де впродовж 6...8 діб при температурі 60...70°C і вище відбувається перетворення суміші на стабілізований продукт вологістю 45...50%.

У Голландії отримала розвиток інтегрована аеробно-анаеробна обробка рідкої фракції гнойових стоків, з попередньою фільтрацією і розділенням рідкої і твердої фракцій. Профільтрований і потім зброджений рідинний гнойовий стік свиноферм, що містить значні кількості азоту (3 кг/м³) і фосфору, піддається двустадійній системі очищення (нітрифікації – денітрифікації – дефосфотації). Застосування двустадійної схеми дозволяє практично на 100% видалити як азот, так і фосфор.

Біологічна переробка збродженого свинячого гною постійно удосконалюється і модифікується. Для видалення NH₄+N використовують цеоліти, керамзит, біофільтри або створюють важкорозчинний осад струвіт. Після цього свинячий гній набуває інших агрохімічних і мікробіологічних характеристик. Мікробний

склад його багатий агрономічно корисними групами мікроорганізмів.

Пропонується використання біореактора у вигляді барабана, що повільно обертається, для біотермічної переробки відходів.

Застосовується технологія активної ферментації компостної суміші на майданчиках. Перспективною машиною для цих цілей є двушнековий змішувач-аератор, що забезпечує змішування компонентів, укладання суміші у бургт і її періодичне перемішування. Така технологія прискорює хід біотермічних процесів, на 30...40% знижує втрати поживних речовин.

Розроблені модульні установки для експрес-компостування відходів тваринництва. Потужність комплексу може складати до 50 м³/добу. Приготування компостної суміші з гною або посліду з органічним сорбентом (торф, солома, тирса та ін.) обумовлює активну мікробіологічну ферментацію суміші вже в пусковий період розігрівання. Ефективність біохімічного процесу, що протікає в установці, в основному залежить від швидкості зростання аеробних мікроорганізмів.

Пташиний послід – цінне, порівняно концентроване і швидкодіюче органічне добриво. Середній вміст поживних речовин в посліді курей (у % від ваги сирі маси посліду) складає: азоту – 1,5; фосфору – 1,8, калію – 0,9, кальцію – 2,4, магнію – 0,7. Впродовж року від кожної курки накопичується 5...6 кг посліду, а від однієї середньої птахофабрики – до 40,0 тис. тони. Проте застосування пташиного посліду в якості органічного добрива

обмежене санітарно-гігієнічними нормами, незважаючи на високий вміст хімічних елементів.

У практиці промислового виробництва все частіше звертаються до нових технологій переробки посліду і отримання вторинних продуктів. При цьому враховують вміст хімічних елементів у посліді і використання його в якості сировини для отримання концентрованих органічних добрив або кормових добавок. У останньому випадку передбачається обов'язкова термічна обробка для знищення хвороботворної мікрофлори.

Розроблені способи обробки пташиного посліду методами розділення зброженої маси, обезводнення, висушування та ін. Як правило, пташиний послід термофільний зброжує з подальшим розділенням зброженої маси на тверду і рідку фракції. Тверду фракцію висушують і використовують як добриво, а рідку повертають на добродіння. Іноді зневоднюють осад, що утворюється, за рахунок додавання гідролізного лігніну. Лігнін в процесі фільтрування сприяє збільшенню пористості осаду і більш повно видаляє з нього вологу. Проте ці прийоми трудомісткі. Необхідно видаляти послід в послідосховищі, розріджувати його значною кількістю води, потім зневоднювати методом фільтрування. При цьому виникає проблема утилізації великої кількості відходів у вигляді осаду з суміші посліду і допоміжної речовини, яка не має цінності удобрювача і погано розкладається в ґрунті.

Е. О. Цеханович та ін. пропонує свіжий послід очищати від грубих сторонніх включень і розмелювати до розміру часток

дисперсної фази 20...300 мкм. Потім крихту курячого посліду (пульпу) вологістю 75...77% насосом подають в пневматичну форсунку і диспергують стислим повітрям в апарат для отримання гранул. В процесі грануляції відбувається сушка. В результаті підвищується цінність удобрювача гранул і збільшується їх насипна щільність. Товарну фракцію виводять в приймальну ємність, дрібну фракцію повертають по лінії пневмотранспорту в апарат, в зону факела форсунки.

Для прискорення переробки відходів птахівницьких господарств і поліпшення якості готового продукту Р. Г. Сафін пропонує анаеробне зброджування пташиного посліду, відведення біогазу і обезводнення зброженої маси шляхом вакуумування і термообробки при 200...220°C.

В. П. Лисенко дає огляд способів переробки пташиного посліду і отримання органічного добрива. У більшості технологій промислової переробки відходів птахівництва відзначається тривалість процесу, великі енерговитрати і недостатньо висока якість кінцевого продукту.

З 80-х років у вітчизняній практиці промислового птахівництва були поширені технології високотемпературної сушки пташиного посліду. В результаті отримували з 100 тон рідкого посліду 17,5 тони сухого гранульованого органічного добрива і 82,5 тони гарячої (65°C) води. Виробництво сухого посліду при 700...900°C разом з високою вартістю устаткування вимагає великої витрати вуглеводневого палива (на 1 кг

випарованої вологи потрібно 3745...4140 кДж). До того ж в продуктах сушки посліду виявлені канцероген.

У 90-і роки було запропоновано низькотемпературне обезводнення посліду у вакуумі. Сухий послід, що отримується на установках низькотемпературного обезводнення у вакуумі, повністю зберігає усі корисні хімічні речовини початкової сировини. Проте енерговитрати високі, дороге устаткування підвищує вартість подібного підприємства.

Найпривабливішими є біологічні і, зокрема, мікробіологічні способи переробки посліду. Вони не лише екологічно безпечні і економічно вигідні, але і дозволяють з досить високою продуктивністю вести переробку пташиного посліду на добрива.

О. Д. Сидоренко розроблена біологічна технологія термопереробки пташиного посліду, що дозволяє отримувати високоякісне органічне добриво. При цьому гарантується загибель умовно патогенних і хвороботворних мікроорганізмів, насіння бур'янів і гельмінтів. Технологія може бути використана для переробки в цілому відходів сільського господарства, харчової промисловості і міських відходів.

Технологія отримання компосту. Процес переробки пташиного посліду відбувається у біоферментері – цегляній або залізобетонній будівлі або ангарі. До 100 тон спеціально приготованої суміші з пташиного посліду і наповнювачів (торфу, тирси, соломи) поступає у бункер-наповнювача і потім подається у ферментер, обладнаний аеруючою установкою.

Процес біоферментації триває 5...6 днів при поступовому підвищенні температури до 80...85°C, що є цілком достатнім для знищення насіння смітних рослин, патогенних мікроорганізмів і гельмінтів.

Умови ферментації дозволяють контролювати швидкість мінералізації органічних компонентів, склад газів, температуру і вологість. Готовий продукт – компост високого нагріву (КВН) – має сипучість, без запаху, темно-коричневого або чорного кольору з високим вмістом елементів живлення рослин. У 1 кг міститься, г/кг: азоту – 7, фосфору – 7, калію – 7, кальцію – 8;

Останнім часом однією з основних вимог при виробництві органічного добрива з відходів тваринництва є збереження його біологічного потенціалу і унеможливлення присутності патогенних мікроорганізмів. Важливим моментом технологічного процесу є також конструктивне забезпечення і надійний контроль поглинання амоніа, сірководня, використання тепла та ін. Реалізація таких технологій дозволить отримувати не лише екологічно чисте добриво, але і зберігати природу від забруднення відходами тваринництва. Вирішуються також проблеми збагачення ґрунту органічною речовиною.

Перероблені відходи, внесені в ґрунт, створюють ґрунтову органіку і зупиняють ерозію, зменшують потребу в хімічних добривах. Більше того, рециркуляція органічної частини відходів дає сировину для тих, що мають великий попит ґрунтопокрощувальних речовин, добрив і продуктів для боротьби з хворобами рослин.

2. Одержання кормів та продуктів харчування підвищеної засвоюваності. З соняшникового лушпиння, ферментуючи її 1-2 доби, отримують гранульований продукт, що містить біомасу клітин, целюлозу, геміцелюлозу, розчинні гексозани і пентозани, комплекс целюлаз.

Солому подрібнену, також ферментують 1-2 доби при періодичному помішуванні і отримують готовий продукт аналогічний вищеописаному.

Лушпиння заздалегідь змізерніють, подають у ферменстер у кількості 30% СР від робочого об'єму і додають поживні солі у воду. Автоклавування дозволяє одночасно запарити сировину і деаерувати поживне середовище. Потім знижують температуру до 60°C і подають біозакваску з інокулятора у кількості 15-20% від робочого об'єму. Ферментацію проводять 48 годин при періодичному перемішуванні і рН=7,0. Після закінчення ферментації розділяють культуральну рідину і переробляють лушпиння: рідину відправляють в інокулятор для подальшого нарощування біомаси бактерій, осідань гранулюють, підсушують і фасують готовий продукт. Аналогічно отримують корм з соломи.

Отримання ферменту целюлази проводять за технологією близькою до вищеописаної. Ферментацію продовжують не 1-2 доби, а впродовж 7-10 діб при періодичному перемішуванні і рН=7,0. Культуральну рідину відділяють кожні 2-3 дні, ферментативний об'єм (15-20% від об'єму) заливають свіжим середовищем. Після закінчення ферментації твердий осад (лігніновий адсорбент) відділяють від рідини, промивають водою і

підсушують. З відокремленої культуральної рідини (і промивної води) виділяють фермент.

З відходів рослинництва без попереднього дорогого кислотного гідролізу можна отримувати білкові препарати – кормові добавки, значно понизивши собівартість виробництва. Сировиною для цього виробництва можуть служити також комунальні і промислові стоки, що містять целюлозу, гідроліз яких економічно недоцільний.

Для кращого засвоєння мікроорганізмами целюлозовмісної сировини рекомендується попередня м'яка обробка його 4%-вим розчином лугу (NaOH) при 100°C впродовж 15 хвилин. У цих умовах засвоюваність целюлози підвищується до 70-75%. Добрий ефект дають змішане культивування бактерій і дріжджів. Вихід біомаси на середовищі з 2% целюлози складає 10-12 г/л, що містить до 45-55% протеїну.

В якості субстрату для біоконверсії представляють інтерес стержні качанів кукурудзи. Продуцентами білку на них можуть служити гриби (*Trichoderma*, *Chaetomium*, *Aspergillus* та ін.). Субстрати використовують безпосередньо або після легкого гідролізу. Після зростання мікроорганізмів зменшується кількість целюлози, геміцелюлози, лігніну, збільшується вміст білку, вітамінів, органічних кислот, спостерігається детоксикація початкових субстратів. Отриманий вторинний продукт набуває високої поживної цінності.

У країнах Південно-східної Азії і Океанії традиційно і дуже широко використовується біотехнологія виробництва білкових

продуктів за допомогою міцеліальних грибів, дріжджів, бактерій з їстівної сировини рослинного походження шляхом твердофазного культивування. Такі продукти є найважливішою харчовою добавкою до раціону жителів цих країн. Найвища у світі середня тривалість життя населення в Японії (на 20-30 років більше, ніж в Україні) очевидно значною мірою залежить від найвищого у світі споживання ферментативних продуктів.

Останнім часом за кордоном і в Україні формується новий напрям у вирішенні проблеми харчування і боротьби з шлунково-кишковими захворюваннями тварин і людини. Це є використанням дріжджових культур, з одного боку, як джерела цілісних компонентів їжі і корму, тобто нутріцевтика, а з іншого боку, як пребіотика, стимулятора власної захисної флори макроорганізму, тобто парафармацевтика.

Відомо, що під час другої світової війни в Німеччині важливим компонентом харчування була біомаса харчових дріжджів *Candida arborea* і *Candida utilis*. Пізніше використовувалася як білкова добавка в продуктах харчування. Безумовно усі високопродуктивні по біомасі штами дріжджів і дріжджоподібних грибів, пропоновані для виробництва ферментованих продуктів, повинні проходити регламентовані контрольні тести. Якщо не фіксуються протипоказання для їх використання, ніякі психологічні бар'єри не повинні заважати виходу цих нових збагачувачів їжі і корму на ринок біологічно активних продуктів. З їх допомогою можна вирішувати багато питань, важко або зовсім не вирішуваних за допомогою антибіотиків

і бактерійних пробіотиків і балансувати раціони харчування людини і тварин по білку і вітамінам.

Нині не більше 3% складають пробіотики і продукти функціонального харчування серед усіх відомих харчових продуктів, але прогнозується в найближчі 10-15 років підвищення використання їх до 30% усього продуктового ринку. При цьому вони на 30-50% витіснять з сфери реалізації багато традиційних лікарських препаратів.

3. Біотехнології XXI століття. Отримання водню мікробіологічним шляхом – біотехнологічне рішення XXI століття. Водень є ідеальним хімічним носієм енергії. Спалювання його при високих температурах дає велику кількість корисної енергії з високим ККД.

Мікробіологічне отримання водню нині розвивається, хоча пряме біотехнологічне отримання водню на основі процесу, аналогічного фотосинтезу, або анаеробного зброджування, дискутується. Вже зараз здається принципово можливим шляхом комбінації техніки фіксованих біокаталізаторів і генної технології на основі фотосинтезуючих біосистем досягти результатів, аналогічних результатам з фотоклітинами. Для отримання водню з органічних відходів шляхом анаеробної ферментації селекціонуються нові види мікроорганізмів, здатні робити водень замість метану.

У Японії досліджений процес утворення водню з метану при зброджуванні рисової соломи, кухонних відходів, кінського гною і метанового мулу. Англійські дослідники вивчили процес утворення

водню за допомогою тих, що використовують метан бактерій *Methylomonas albus*, *Methylosinus trichosporium*.

У Німеччині отримують етанол з рослинних, сільськогосподарських і харчових відходів за допомогою каталізаторів, споживаючи менше 1% енергії. Мікроорганізми повністю переробляють початкову сировину, побічні продукти (вітаміни, білки, біологічні добрива) розділяють на іонообмінниках. При переробці домашніх відходів отримують лігнін і метан, що використовуються як енергоносії.

Виробництво біогазу в процесі метанового бродіння широко поширене у світі. Переробка відходів метановим бродінням – найбільш економічний і ефективний метод очищення стічних вод, твердих відходів промисловості, сільського господарства, комунально-побутових відходів. Більше 30 років працюють біореактори на отримання очищеного метану. Розробляються в основному методи очищення біогазу від домішок.

Для отримання газу у Франції міські відходи піддають ферментації в суміші з водоростями. Продуктивність таких установок складає 421 л газу на 1 кг органічної речовини. Газ містить 60% CH_4 і 40% CO_2 .

У Санкт-петербурзькому держуніверситеті розробляється технологія отримання молочної кислоти з відходів. Використовуються нетрадиційні джерела вуглецю або відходи і побічні продукти харчової і переробної промисловості і сільського господарства. Ефективні штами бактерій рубця тварини ферментують різні крохмальвмісні субстрати з виходом молочної

кислоти. Проте при використанні цієї технології потрібно витратну стадію попередньої обробки і гідролізу полісахаридів, що призводить до значного дорожчання отримуваної молочної кислоти.

Головне достоїнство перспективної біотехнології переробки відходів – економічність і екологічність. Зниження кількості забруднень при впровадженні нових технологічних прийомів і процесів повинне досягатися за рахунок використання відпрацьованих продуктів, автоматизованого управління процесами, використання швидкорослих суперактивних штамів мікроорганізмів, адаптованих до деградації певних субстратів, або отриманих методом генної інженерії нових мікроорганізмів або їх співтовариств.

У будь-якому разі, по теорії стабільного розвитку, органічні відходи повинні розглядатися як джерело поживних речовин, як носій енергії. Існуючі відходи повинні утилізуватися, коли це технічно можливо і коли вартість цього є розумною. Тільки у виняткових випадках відходи вирушають на звалище або тривале зберігання.

Отримання спирту сирцю з муніципальних відходів. Відходи, що просіюють і подрібнені, у кількості 6-8% сухої речовини від робочого об'єму разом з поживними солями і водою стерилізують, що дозволяє одночасно запарити сировину і денатурувати поживне середовище. Подають посівний матеріал з інокулятора у кількості 15-20% від робочого об'єму. Ферментацію продовжують сім діб при періодичному перемішуванні і $\text{pH}=5,0$. В ході ферментації

періодично створюють вакуум (46,1 кПа) для відділення і конденсації пари етанолу (спирту-сирцю). Залежно від міри конверсії вуглеводних фракцій субстрату передбачається замкнутий цикл непереробленої сировини. Після закінчення ферментації твердий осад відділяють від рідини і використовують як добриво або структуратора ґрунт. Культуральну рідину направляють в інокулятор для подальшого нарощування біомаси бактерій. Спирт-сирець відправляють на подальше очищення ректифікацією.

Біоконверсія теоретично дозволяє отримувати спирт при рентабельності 65-70%. При ферментації деревної тирси з вмістом лігніну 22% з урахуванням 86%-вою (мінімальною) міри конверсії вуглеводної частини сировини складає 28,7% від початкової кількості сировини. Для ферментації соломи теоретичний вихід етанолу – 32,6% від початкової сировини; для пшеничних висівок – 15,2%. Тривалість ферментації при цьому 7-10 діб (для тирси і деревних відходів).

Головною перевагою біоконверсії є екологічна чистота, пов'язана із скороченням або повною відсутністю фенолу, фурфуролу, формальдегіду, неорганічних кислот та інших токсичних речовин, що накопичуються в місцях розміщення целюлозно-паперових комбінатів і сміттєвих звалищ. Технологія переробки є безвідходною, оскільки усі продукти можуть реалізуватися (етанол, етанол-ацетатна суміш, лігнін для адсорбуючих препаратів, діоксид вуглецю, що не закислює). При цьому використовується широкий список споживаних (що

переробляються) субстратів і змішані і монокультури бактерій, здатні конвертувати целюлозовмісні матеріали.

Для забезпечення стабільності асоціацій мікроорганізмів розроблені різні комбінації (наприклад, одна з них: *Clostridium*, *Thermoanaerobium* і *Thermoanaerobakter*) і методи їх зберігання, вибір робочої змішаної культури бактерій залежно від виду целюлозовмісної сировини і типу цільового продукту.

Крім того, для ферментації відпрацьовані режими аерації, сприяючі суспендуванню твердої фази і активності процесу, а дробове подання початкового субстрату у ферментативний об'єм підвищує міру конверсії сировини на 50%. Пропонуються можливі схеми процесів утилізації різних промислових, сільськогосподарських і муніципальних целюлозовмісних відходів.

Використання продуктів біоконверсії відходів тваринництва. **Продукти вермикультивіровання.** У тваринництві біомаса черв'яків – ефективний корм для курей, качок, індиків, морської прісноводної риби. Вона містить 60...80% протеїну, 9% ліпідів і 7...16% азотистих речовин. Високий вміст збалансованих амінокислот, у тому числі і незамінних, провітамінів D, водорозчинних вітамінів свідчить про те, що біомаса черв'яків є цінною кормовою добавкою. Черв'яки придатні для згодовування свиням, бугаям в сирому і вареному вигляді. Біомасу червоного черв'яка можна використати у вигляді пасти для годування акваріумних риб. Зневоднена біомаса черв'яків також є дуже цінним матеріалом, що містить корисні мінеральні речовини. До їх складу входять макро- і мікроелементи.

У фармакології можуть використовуватися екстракти з біомаси черв'яків для обробки лишайів, як протиракові препарати, як лікувальний засіб при захворюваннях очей, в косметичній промисловості – як біодобавки в шампуні, захисні креми, лосьйони та ін. Дощові черв'яки в китайській медицині використовуються близько двох тисячоліть. Нині в Китаї виготовлена антивірусна і антипухлинна сироватка E76.

У живленні людини використовуються черв'яки, вирощені певним способом. При підборі способу розведення черв'яків для приготування блюд важливим є не лише розмір особин, але і субстрат, на якому їх розводять оскільки він визначає забарвлення і смак дощових черв'яків. Не можна використати для харчових цілей дощових черв'яків, що жилися гнойовими компостами. Дощові черв'яки містять 60...70% білку, дешевого і корисного. Приготування блюд з дощових черв'яків вимагає спеціальних знань по відборі, чищенню, зберіганню і використанню початкового матеріалу. Готують черв'яків з крабами, омлет з черв'яками, паштети та ін. Залежно від вживаних спецій рецептура блюд міняється.

У землеробстві вермикультура і «біогумус» позитивно впливають на родючість ґрунту. В процесі переварювання органічної речовини в кишечнику черв'яків формуються гумусові речовини, у тому числі високомолекулярні органічні кислоти. Концентрація їх в копролітах черв'яків, що живляться гноєм, в кілька разів вище, чим в початковому субстраті. При переробці дощовими черв'яками 1 тона гною в перерахунку на суху речовину

виходить 600 кг сухого добрива з вмістом органічної речовини 25...40% і більше. У цьому добриві міститься по 1% азоту, фосфору, калію, а також багато мікроелементів. При добриві ґрунту біогумусом підвищується біологічна активність її, а вирощена продукція практично не містить нітратів і важких металів.

З мікрофлори, вирощеної на стоках свинокомплексів, отримують нові види мікробних добрив. Мікробна асоціація їх на ґрунтах усіх типів проявляє фосфатмобілізуєчу активність. Вміст доступного фосфору збільшується на 15...29% при внесенні однієї дози. Введення в компостовану масу муніципальних відходів мікробних добрив (БАМИЛ) позитивно впливає на інтенсивність процесу компостування, головним чином за рахунок змін в мікробному співтоваристві, відповідальному за біоферментацію.

Продукти утилізації відходів синантропними мухами. Разом з біоперегноєм і біомасою комах, технологія вирощування опаришів дозволяє отримати з органічних відходів вітамін В₁₂, незамінні амінокислоти, високоцінний жир, біостимулятори росту та розвитку рослин і тварин, біологічно активні і екологічно нешкідливі дезинфіканти, антисептики і ряд інших високоцінних речовин і з'єднань.

Продукти термофільної переробки відходів тваринництва, окрім біокомпосту або органічного добрива, можуть бути використані як бактерійні препарати захисної дії від фітопатогенів; кормові добавки (премікси) для хутрових звірів, птаха, риби та ін.; структуроутворювачі для деградованих ґрунтів.

Вирощені дріжджі на гнойових стоках, заздалегідь оброблених методом аеробної ферментації, дають цінні продукти. Леткі жирні кислоти, що утворюються на першому етапі переробки стоків – є джерелом живлення дріжджів, а кінцеві продукти – дріжджова біомаса, очищена рідка фракція, використовується для поливу сільськогосподарських угідь і стабілізований лігноцелюлозний залишок, застосовуються як добриво.

Використання відходів виробництва кормових дріжджів зі свинячого гною в якості добрива здатне підвищити сумарний урожай кукурудзи на 160-211%. Гній з подрібненою соломою, що пройшли процес мікробної ферментації, інтенсивно збільшують приріст маси зеленого корму, вміст пігментів, вітамінів і протеїну в надземних частинах рослин. Продукти біоконверсії сільськогосподарських відходів можуть успішно замінювати мінеральні добрива.

Продукти переробки свинячого гною (біодобриво БАМІЛ), що складаються з висушеної мікробної біомаси і позаклітинних метаболітів, дуже ефективні за рахунок прямої дії фізіологічно активних і поживних речовин на рослини. Крім того, біодобрива активізують корисну мікробну популяцію ґрунту: мікробна біомаса збільшується в 1,5...4,0 рази, особливо впродовж першого місяця після внесення.

Продукти метанового бродіння відходів тваринництва можуть ефективно застосовуватися не лише в якості добрива. Використовуючи метан, що утворився, в анаеробних умовах бактерії утворюють водень, як енергоносіє, а біомаса прототрофних

бактерій, вирощених в атмосфері біогазу, служить кормовою добавкою (білково-вітамінний корм), збагаченою лізином, метіоніном і іншими незамінними амінокислотами. Крім того, на освітлених стоках виробництва біогазу культивують одноклітинні фотосинтезуючі бактерії, білок яких відрізняється високим вмістом незамінних і сірковмісних амінокислот, а також вітамінів групи В. Вихід біомаси складає 4,59 г/л (по сирій масі), вміст білку – 61,25% сухої речовини клітин.

Таким чином, актуальність проблеми біоконверсії відходів сільського господарства, а також результати наукових досліджень, дають основу вважати, що в недалекому майбутньому проблема охорони природи буде розв'язана. Відходи сільського господарства, і особливо тваринництва, за допомогою нової біотехнології перетворюються на цінну сировину для кормів, горючих матеріалів, добрив і сировини для хімічної промисловості.

Проте необхідно підкреслити, що потенційні можливості отримання ефективних біологічних добрив ще не реалізовані через недостатню технологічну і мікробіологічну обґрунтованість процесів. Необхідно забезпечити сувору наукову основу, системний підхід при створенні біотехнологічних ліній, що дозволить удосконалювати існуючі технології утилізації відходів тваринництва. Необхідно визнати також, що біоконверсія відходів сільського господарства є новим науковим напрямом в сільськогосподарській галузі і вимагає ефективної співпраці фахівців і вдосконалення технологій.

У всьому світі біотехнологічна індустрія активно розвивається, її прибутки обчислюються мільярдами доларів. Корпорації готові терпіти збитки протягом декількох років, знаючи, що кінець кінцем вони отримають надприбутки з досліджень спрямованих на створення штамів і технологій, які при впровадженні дадуть найкращі результати.

ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Радовенчик В. М. Тведі відходи: збір, переробка, складування : навч. посіб. / В. М. Радовенчик, М. Д. Гомеля. – К. : Кондор, 2010. – 552 с.
2. Сидоренко О. Д. Биологические технологии утилизации отходов животноводства / О. Д. Сидоренко. – М., 2003. – 40 с.
3. Шевелуха В. С. Сельскохозяйственная биотехнология / В. С. Шевелуха. – М. : Высшая школа, 2003. – 412 с.

Додаткова

1. Смирнов В. В. Биология метанобразующих и метаноокисляющих микроорганизмов / В. В. Смирнов. – К. : Наукова думка, 1993. – 255 с.
2. Білявський Г. О. Основи екології: теорія та практикум: навч. посіб. / Г. О. Білявський, Л. І. Бутченко, В. М. Навроцький. – К. : Лібра, 2002. – 352 с.
3. Богдановская Ж. Н. Микробиологическая трансформация целлюлозосодержащих материалов / Ж. Н. Богдановская // Наука и техника. – М., 1986. – С.13–47.
4. Калетнік Г. М. Біопаливо: ефективність його виробництва та споживання в АПК України / Г. М. Калетнік. – К. : Хай-Тек Прес, 2010. – 312 с.
5. Лер. Р. Переработка и использование сельскохозяйственных отходов / Р. Лер. – М. : Колос, 1979. – 411 с.
6. Лысенко В. П. Переработка отходов птицеводства / В. П. Лысенко. – Сергиев Посад, 1998. – 149 с.

7. Прокопов Г. А. Управление отходами / Г. А. Прокопов. – Симферополь : Таврия, 2004. – 510 с.

8. Ротмистров М. Н. Микробная деструкция синтетических органических веществ / М. Н. Ротмистров – К. : Наукова думка, 1975. – 186 с.

Навчальне видання

Каратєєва Олена Іванівна
Коваль Ольга Анатоліївна
Гроза Варвара Ігорівна

**Технологія переробки побутових відходів
та відходів сільського господарства**
курс лекцій

Технічний редактор: О. І. Каратєєва

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 6,81
Тираж 15 прим.

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного аграрного університету
54020, м. Миколаїв,
вул. Гергія Гонгадзе,9
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 4490 від 20.02.2013 р.