

Тема 7 Утилізація твердих відходів

1. Утилізація агровідходів.
2. Утилізація гною.
3. Утилізація твердих побутових відходів.

Мета: сформувати знання про методи екобіотехнології для утилізації агровідходів і твердих побутових відходів як альтернативу вирішення проблеми енергозбереження та раціонального природокористування.

Основні терміни і поняття: агровідходи, тверді побутові відходи, компостування, біодеградація, біоконверсія, термофільний режим, мезофільний режим.

Сільське господарство і м'ясопереробна промисловість – базові галузі народного господарства. В даний час у світі тільки зерна виробляється близько 2,0 млрд. т, м'яса – близько 200 млн. т. Значні масштаби випуску продукції обумовлюють досить істотну кількість відходів сільського господарства (рослинництво, тваринництво) і м'ясопереробний. Зокрема, маса післяжнивних пожнивних залишків, коренів зернових (жито, пшениця, овес) і картоплі зазвичай дорівнює 3–6 т/га. Значно більше залишають трави: однорічні (вика, люпин та ін.) – 8–12 т/га, багаторічні (конюшина, люцерна, тимофіївка та ін.) – 12–25 т/га.

Пошук альтернативних методів утилізації відходів є актуальним і сьогодні. Запропоновані наступні способи:

- 1) компостування;
- 2) вивезення на поля нативного посліду, гною або стоків;
- 3) переробка гною й посліду на корм;
- 4) застосування біоенергетичних методів і нових технологій утилізації посліду;
- 5) створення рибоводно-біологічних ставків тощо.

1. Утилізація агровідходів.

Компостування відходів.

Вторинна сировина агропромислового комплексу, яка є відходами агрогосподарств (кукурудзяні качани, лушпиння соняшника, соняшникові та кукурудзяні стебла, рисова та пшенична соломи, біомаса водойм), має органічну природу (крохмаль, целюлоза, білки, жири, пектин, лігнін) і може бути перероблена на нові корисні продукти методами екобіотехнології.

Природні біополімери надходять у довкілля з рослинними матеріалами зеленої біомаси. Потрапляючи в ґрунт, вони беруть участь в утворенні гумусових речовин, потрапляючи у відходи – піддаються гниттю. У розкладанні та мінералізації природних біополімерів беруть участь аеробні та анаеробні мікроорганізми-гідролітики, котрі синтезують ферменти, що можуть піддавати гідролізу біополімери до простих цукрів чи жирних кислот (під час підготовчого метаболізму). Продукти гідролізу можуть надходити до клітин гідролітиків та супутніх мікроорганізмів та метаболізуватися до

CO₂ та H₂O. Мікроорганізми-деструктори природних високомолекулярних сполук здатні розкласти не тільки природні полімери, а й синтетичні полімерні матеріали.

Залежно від якості твердих відходів (тверді побутові та тверді промислові, тверді агротехнічні та відходи тваринницьких ферм), їх кількості та технічних можливостей вони можуть бути утилізовані з використанням *біодеградації* або *біоконверсії* (компостування). Тверді відходи населених пунктів (побутові та промислові) і сільського господарства (рослинні та тваринні) утворюють целюлозовмісні субстрати, придатні для компостування.

У процесі примусової біодеструкції складних компонентів твердих целюлозовмісних відходів з погляду біотехнології проходить твердофазна ферментація.



Рисунок 1 – Компостування відходів агропромислового виробництва.

Біоконверсія целюлозо-лігнінових матеріалів – довготривалий процес, дуже поширений в природі, де переважно відбувається повільне розкладання органічних матеріалів. У природних умовах *біодеградація целюлози* проходить через утворення ароматичних сполук, які утворюються при повільному розкладанні танінів і лігніну, переважно завдяки позаклітинним мікробним ферментам. Оскільки лігніни і таніни становлять значну частину ґрунтового органічного матеріалу, *біометаногенез* цих полімерів – важливий процес у вуглецевому циклі біосфери.

Можливості використання твердих відходів природного походження (біополімерів) із застосуванням екологічної біотехнології шляхом біоконверсії для збагачення ґрунту вивчають ще з 1976 р. Компостування твердих відходів є процесом очищення, що робить низькоактивні тверді відходи менш шкідливими для навколишнього середовища, а також слугує способом отримання стабільного продукту біологічного окиснення. Гуміфіковані продукти швидко урівноважуються з природною екосистемою і не призводять до серйозних порушень у ній, як це буває в разі внесення неперероблених відходів.

Біохімізм процесу компостування агровідходів.

Біокомпостування рослинних відходів – *твердофазний екзотермічний процес* біологічного і біохімічного розкладу високомолекулярних й олігомерних природних речовин з можливим впливом целюлолітичних ферментів мікроорганізмів. Одночасно відбувається синтез деяких низькомолекулярних речовин, зокрема ацетальдегіду, і оцтової кислоти, аж до утворення діоксиду вуглецю і води.

Компостування є процесом синтетичним і деструктивним одночасно. Органічні відходи промислового, сільськогосподарського або комунального походження є сумішшю фракцій цукрів, білків, жирів, геміцелюлози, целюлози, лігніну і неорганічних солей в широкому інтервалі концентрацій:

Склад фракцій рослинних відходів залежить від віку рослини, їх типу і середовища. Свіжа зелена сировина містить багато водорозчинних речовин, білків і солей, при дозріванні компосту солі повертаються в ґрунт, низькомолекулярні сполуки перетворюються на високомолекулярні, особливо на геміцелюлозу, целюлозу і лігнін. Склад відходів тваринництва залежить від виду тварини й від складу кормів.

Фактично всі мікроорганізми, наявні в компості, можуть засвоювати утворені при цьому фрагменти полімерів, але тільки незначна група вищих грибів може здійснювати гідроліз найстійкішого до дії ферментів лігніну і розкласти його.

Двохстадійна технологія біодеградації.

При закладанні твердої біомаси на компостування передбачається **двохстадійний механізм біодеградації** компонентів відходів:

- на першій стадії – переважно анаеробна деградація;
- на другій стадії – переважно аеробна деградація.

Перші стадії компостування проходять дуже швидко, за декілька днів або тижнів, залежно від типу системи компостування.

Так, наприклад, у ході процесу компостування пшеничної соломи в присутності нітриту амонію за рахунок безперервної утилізації полімерів геміцелюлози і целюлози на 50% біохімічні зміни відбуваються за 60 днів. Особливо швидке зменшення частки сухих речовин спостерігається у перші 5 днів, у середньому по 2,7% за добу, тоді як за наступні 30 днів – в середньому 1,3% за добу. Проте біодеградація целюлози сповільнюється у разі зменшення популяції грибів після того, як температура підвищується понад 55°C. Знизити температуру можна за допомогою примусової вентиляції впродовж процесу компостування.

Зміна температури під час компостування – важливий чинник розвитку мікрофлори та проходження біодеградації рослинних відходів. Оптимальна рекомендована температур – 55°C.

Процес компостування за температурним режимом розділяють на чотири стадії:

- 1) мезофільна – ($t = 20 - 40\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\text{pH} = 5 - 6$; $\tau = 1-2$ дні);
- 2) термофільна – ($t = 40 - 60\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\text{pH} = 8 - 9$; $\tau = 2-3$ дні);
- 3) охолодження – ($t = 40 - 20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\text{pH} = 9 - 8$; $\tau = 1-3$ тижні);
- 4) дозрівання – ($t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\text{pH} = 8$; $\tau = 2-4$ місяці).

Характеристика стадій компостування

I стадія – мезофільна – на початку процесу відходи зберігаються при температурі середовища, рН в них слабкокислое (мікроорганізми, наявні у відходах, починають швидко розмножуватися, температура піднімається до 40°C, і середовище підкислюється за рахунок утворення органічних кислот).

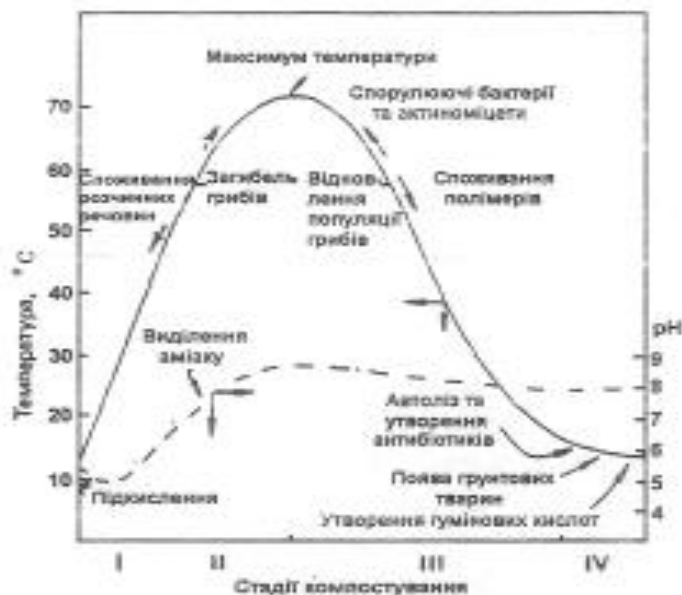


Рис. 9. Зміна температури та рН компостування в купі

II стадія – термофільна – якщо температура перевищує 40°C, починають гинути вихідні мезофіти і переважати термофіли, що піднімає температуру до 60°C, гриби починають втрачати свою активність. Після 60°C біохімічну реакцію продовжують спороутворювальні бактерії та актиноміцети, рН середовища стає лужним за рахунок виділення аміаку під час розкладу білків, що супроводжується швидким розкладом субстратів (цукрів, крохмалю, жирів, білків) та подальшим зниженням швидкості реакції після того, як залучаються стійкіші субстрати. Швидкість тепловиділення дорівнює швидкості тепловтрати, що відповідає досягненню температурного максимуму, і купа компосту досягає стабільного стану. У деяких випадках під час компостування старих відходів спостерігається декілька температурних максимумів.

III стадія – охолодження – компост після температурного максимуму охолоджується. Легкозасвоювані сполуки вже розпалися, основна потреба в кисні задоволена, компостований матеріал перестає приваблювати мух та паразитів і втрачає поганий запах, оскільки легкодоступні азот і сірка зв'язані новими мікроорганізмами, рН поволі знижується, але залишається лужним. Термофільні гриби з холодніших зон знову захоплюють весь об'єм і разом з актиноміцетами споживають полісахариди, геміцелюлозу і целюлозу, руйнуючи їх до моносахаридів, які потім можуть

утилізуватися мікроорганізмами. Швидкість тепловиділення стає дуже низькою, температура падає до температури навколишнього середовища.

IV стадія – дозрівання – завершення втрати маси і тепловиділення, що триває декілька місяців, супроводжуючись складними реакціями між залишками лігніну з відходів і білками відмерлих мікроорганізмів з утворенням гумінових кислот, але без розігрівання. Не відбуваються анаеробні процеси при зберіганні, не вилучається азот з ґрунту, доводячи кінцеве рН компосту до слабколужного.

Високу температуру часто вважають необхідною умовою успішного компостування, проте за дуже високої температури процес біодеградації пригнічується через інгібування росту мікроорганізмів, серед яких дуже мало видів, що зберігають активність при температурі понад 70°C. Порогом пригнічення біодеградації стає температура близько 60°C, яка сприяє знищенню термочутливих патогенних мікроорганізмів. При швидкому компостуванні не можна допускати високих температур протягом тривалого періоду. Тому необхідно підтримувати умови, за яких, з одного боку, пригнічується розвиток патогенної мікрофлори, а з іншого – розвиватимуться мікроорганізми, відповідальні за деградацію біополімерів.

Утилізація гною.

Відходи промислового тваринництва і, особливо, птахівництва сильно забруднюють навколишнє середовище. У багатьох країнах діють загальнодержавні та регіональні програми щодо зменшення негативного тиску цих відходів на екологію.

Традиційний шлях утилізації гною – використання його для поліпшення родючості ґрунту. Наявність N, P, K, C дає збільшення гумусу (1 т гною = 40–50 кг гумусу). Щорічно в Прибалтиці (Латвія) вносять 10–20 т гною на 1 га. Однак, внесення гною вимагає витрат на суворе додержання санітарно-гігієнічних і екологічних вимог, а також необхідність підвищення рентабельності галузі.

Особливо гостро проблема утилізації гною постала у зв'язку із введенням до експлуатації крупних тваринницьких комплексів. Концентрація тварин на обмеженому просторі неминує супроводжуватися накопиченням великої кількості гною; на прилеглих до тваринницьких комплексів площах має місце позитивний баланс деяких важких металів.

Поява проблем з утилізації гною і необхідністю отримання все більшої кількості палива (газ, нафта, вугілля) призвело до об'єднання цих проблем у процесі одержання біогазу. Утилізація гною шляхом інтенсифікації процесу мінералізації органічних речовин у ґрунті або водоймищі, а також уведення гною до раціону сільськогосподарських тварин, як спосіб його утилізації, відходять на другий план.

2. Виробництво біогазу як спосіб утилізації агровідходів.

Для одержання біогазу можна використовувати відходи рослинництва (солома ярих і озимих злакових культур, бурякове і картопляне бадилля, відходи переробки льону тощо).

Вихід біогазу, як відомо, залежить від якості сировини, що визначається хімічним складом останнього. Для збільшення кількості азоту до маси, яка утилізується, вносять відходи, що містять високі його концентрації – курячий послід або свинячий гній.

При утилізації біомаси за допомогою анаеробної ферментації утворюється:

- 1) метан (біогаз);
- 2) нерозкладені органічні речовини (шлам), розкладені органічні речовини, кількість сухої речовини в шламі знижується на 50 % до біомаси за рахунок бактерій, що входять до його складу, CH_4 і CO_2 ;
- 3) надосадова рідина (не має неприємного запаху), містить органічної речовини на 80 % менше вихідної кількості, її можна зливати до каналізації або використовувати для вирощування рослин.

Енергетична цінність 1 м³ біогазу, який складається на 50 % із метану, досягає 18 МДж, а при 70 % вмісту метану – 25 МДж. Для порівняння – енергетична цінність 1 м³ природного газу – 34 МДж.

Попередні розрахунки показують, що з 1 т рослинної біомаси, змішаної з відходами, можна отримати 350 куб. м газів (метан, водень) з енергоемністю $2,1 \times 10^6$ ккал, 430 л рідкого палива з енергоемністю $3,08 \times 10^6$ ккал і тверде паливо, еквівалентне $0,2 \times 10^6$ ккал енергії. Крім того, з 1 т такої сировини можна отримати 0,8–0,9 т незаражених добрив.

При утилізації гною в термофільних умовах ($t = 54\text{--}55^\circ\text{C}$) швидкість утворення біогазу в 2,5–3 рази вище, ніж при мезофільному режимі ($32\text{--}35^\circ\text{C}$). Проте, найчастіше перевагу надають мезофільному режиму, адже при цьому досягається економія енергії, необхідної для нагрівання поживного середовища. Крім того, мезофільна асоціація метаногенів є менш чутливою до складу поживного середовища. З іншого боку є дані, що при термофільному режимі частка метану знижується. Тривалість процесу ферментації біомаси, у тому числі й гною, при мезофільному режимі не менше 14 діб. У більшості випадків процес метаногенезу відбувається протягом 24–28 діб і більше. Максимальний вихід біогазу на стадії найбільш інтенсивного метаногенезу значною мірою залежить від хімічного складу біомаси, який визначається видом тварин, а отже, й раціоном, який вони отримують. Так, з 1 кг сухої речовини біомаси гною одержують 0,4–0,6 м³ біогазу.

На біогазових установках, що працюють в умовах виробництва, з 1 кг сухої речовини гною великої рогатої худоби одержують 0,2–0,5 м³, а з такої ж кількості свинячого гною – 0,3–0,7 м³ біогазу (реактор працює в мезофільному режимі). З біомаси курячого посліду виходить більше біогазу, ніж з гною великої рогатої худоби або свиней. При проектуванні біогазової установки виходять з того, що від однієї корови масою 500 кг за добу отримують з гною 4,8 кг сухої органічної речовини, з якої при 30-добовій переробці в реакторі утворюється 1,0–2,4 м³ біогазу.

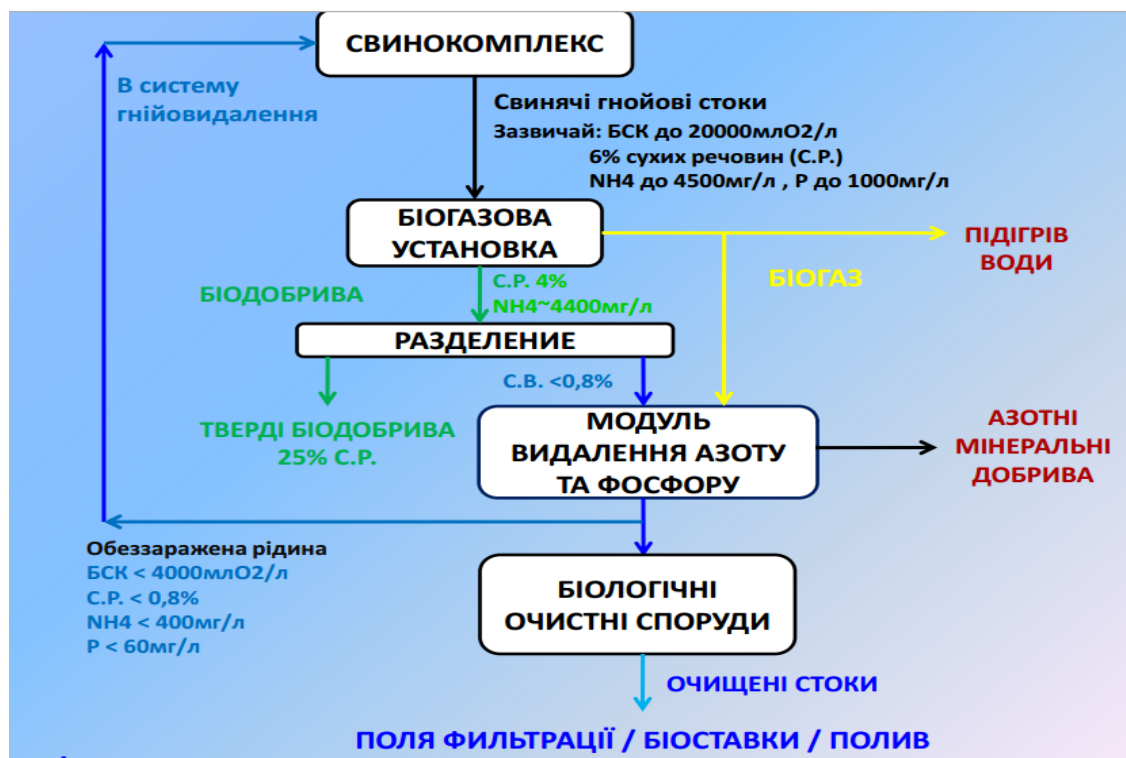


Рисунок 2 – Схема утилізації відходів свиногокомплексу.

Сьогодні в сільській місцевості, де особливо відчутний нинішній паливно-енергетичний дисбаланс, однаково необхідні всі види палива: газоподібне – для опалення, рідке – для функціонування транспорту, тверде – для отримання теплоносіїв.

Головне, що біогазова технологія переробки та знезараження відходів тваринництва себе окупає не тільки газом і виробленим екологічно чистим добривом. Екотехнології забезпечують екологічне благополуччя, адже інакше довелося б будувати гноєсховища, очисні споруди, витратити великі кошти й дуже багато енергії.

Біореактор об'ємом 50 м³ дає на добу 100 м³ біогазу, з яких на частку «товарного» газу припадає в середньому близько 70 м³ (решта йде на підігрів реактора), що становить 25 тис. м³ на рік – кількість, еквівалентну 16,75 т рідкого палива.

Якщо капітальні вкладення в будівництво установки розподілити на 15-річний термін її експлуатації і врахувати експлуатаційні витрати та витрати на ремонт (1% від вартості обладнання), то економія від заміни біогазом рідкого палива буде суттєвою.

При такому підрахунку не враховується запобігання забрудненню навколишнього середовища, а також збільшення врожайності культур у результаті застосування одержуваного високоякісного добрива.

3. Утилізація твердих побутових відходів.

У галузі переробки і ліквідації відходів біотехнологічні методи найширше застосовуються для утилізації комунальних відходів і мулу із систем біологічної очистки стоків.

Традиційно тверді побутові відходи (ТПВ) складаються на міських сміттєзвалищах. Не зважаючи на зростаючий попит на вторинне використання

сировини, ліквідація сміття на сміттєзвалищах суттєво дешевше інших способів їх переробки. Проте, коли з'ясувалося, що при анаеробній переробці відходів у значних кількостях утворюється біогаз, основні зусилля були спрямовані на відповідну організацію звалищ і отримання метану на місці їх переробки (табл.1).

Таблиця 1 – Діючі системи збору та утилізації біогазу на полігонах ТПВ

Полігон	Кількість ТПВ, млн. тон	Площа полігону, га	Період експлуатації полігону	Початок збору біогазу	Технологія утилізації
Алушта	1,0	3,2	1960	2008	ФУ* HOFGAS-Ready 500
Ялта	1,3	5,0	1973–2010	2008	ФУ HOFGAS-Ready 800
Львів	4,0	26,0	1957	2009	ФУ HOFGAS-Ready 2000
Маріуполь	2,5	14,0	1967–2009	2010	ФУ HOFGAS-Ready 800, ДВЗ 170 кВт
Кременчук	2,8	15,0	1965	н/д	ФУ Haase
Луганськ	2,0	11,6	1979–2010	2011	ФУ Biogas Ltd, UK, 600 m ³ /h
Запоріжжя	3,2	11,0	1952	2011	ФУ Haase
Вінниця	3,0	10,0	1980	2012	ФУ Haase
Київ	10,0	36,0	1986	2012	ДВР TEDOM 5x189 кВт

Примітка: * – факельна установка

Дослідження хімічного складу відходів показали, що фракції, які піддаються біодеградації, складають біля 70% від загальної кількості відходів. У розвинених країнах склад ТПВ стає більш однотипним, проте існує тенденція збільшення частки паперу і пластмас на тлі скорочення частки матеріалів органічного і рослинного походження.

З огляду на те, що на звалищах постійно відбувається нашаровування нового матеріалу, процес біодеструкції відходів супроводжується зміною градієнтів температури, рН, потоків рідини, ферментативної активності, а також формуванням складної асоціації мікроорганізмів. Процеси біодеградації залежать від спектру хімічних речовин матеріалу звалищ і доступності їх для мікроорганізмів, які розвиваються на поверхні часточок, особливо наявності градієнтів концентрацій донорів і акцепторів електронів і водню.

На початковій стадії біодеградації твердих відходів домінують аеробні процеси, у ході яких під впливом мікроорганізмів (бактерій, грибів, актиноміцетів) та безхребетних (кліщів, нематод) окиснюються компоненти, що деградують найшвидше.

Оцінюють ступінь деградації відходів за співвідношенням вмісту целюлози до лігніну, яке у неперероблених відходах становить 4,0; у відходах, що активно розкладають – 0,9–1,2; у повністю стабілізованих – 0,2.

Підвищення температури сприяє прискоренню процесів деструкції органічної речовини, проте, при цьому знижується розчинність кисню, що сприяє зниженню тепловіддачі й накопиченню вуглекислоти. Це, у свою чергу, стимулює розвиток спочатку факультативних, а потім облигатних анаеробів.

У результаті процесів біодеградації матеріалу звалищ утворюються два типи продуктів:

1) фільтраційні води, що потрапляють у ґрунт, які містять мікроорганізми, хімічні сполуки (амонійний азот, леткі жирні кислоти, аліфатичні, ароматичні і ациклічні сполуки, терпени, мінеральні елементи, метали);

2) гази (метан, оксид вуглецю тощо).

Для запобігання фільтрації води застосовують малопроникні засипки, спеціальні загорожі навколо звалищ. Проте, найбільш ефективним способом вважається організація збору води і її керована анаеробна переробка за допомогою крапельних біофільтрів, аеротенків або аераційних ставків.

Найбільш успішним українським біогазовим проектом є проект на Київському полігоні № 5, реалізований компанією ЛНК. На полігоні працює лінійка з п'яти біогазових двигунів компанії TEDOM зі встановленою потужністю 177 кВт кожний. Так, наприклад, вже в 2012 році вироблено, поставлено в мережу та продано за економічно обґрунтованим тарифом, визначеним НКРЕ, 3,26 ГВт/год електроенергії. Компанія нарощує потужність цього проекту – у липні-серпні 2013 року було заплановано введення в експлуатацію газопоршневої установки виробництва компанії GE Jenbacher потужністю 1 063 кВт.

Біогаз, що утворюється при деградації матеріалу звалищ, є цінним енергоносієм, але може викликати негативні явища в навколишньому природному середовищі (сморід, підкислення ґрунтових вод, зниження урожайності сільськогосподарських культур). Обмежити витік газу можна за допомогою різних методів (траншеї, заповнені гравієм, системи екстракції газу, створення над територією звалищ укриття із плівок).

Таблиця 2 – Існуючі проекти БГУ в промисловості та муніципальному господарстві України

Підприємство	Рік запуску	Види сировини	Кількість сировини	Постачальник технології
Бортницька станція аерації	1965	Стічні води	25000 м³/год.	Україна
ВАТ «Рубіжанський картонно-тарний	2011	Стічні води	250 м³/год.	Європа/Україна

комбінат»				
Лужанський спиртовий завод	2009	Стічні води	250 м ³ /год.	Україна
Львівський полігон ТПВ	2008	ТПВ	8 млн. т	Україна/ Швейцарія
Маріупольський полігон ТПВ	2009	ТПВ	2,5 млн. т	Україна/ Швейцарія
Запорізький полігон ТПВ	2011	ТПВ	8 млн. т	Україна/ Німеччина
Луганський полігон ТПВ	2011	ТПВ	3 млн. т	Україна/ Великобританія
Київський полігон ТПВ №5	2012	ТПВ	10 млн. т	Україна/ Словенія