

12. Шугалей Л.С. Запасы углерода в блоках естественных и антропогенно-нарушенных лесных экосистем и его баланс Сибирский экологический журнал / Л.С. Шугалей, В.В. Чупрова. – 2003. – № 5. – С. 545-555.

13. Фоменко Н.В. Рекреационні ресурси та культурологія / Н.В. Фоменко. – К. : Центр навч. літ-ри, 2007. – 312 с.

14. Чесноков Н.И. Опыт расчета количества кислорода, выделяемого лесом / Н.И. Чесноков, В.М. Долгошеев // Экология. – 1980. – № 1. – С. 96-98.

15. Шейнгауз А.С., Сапожников А.П. Классификация функций лесных ресурсов // Лесоведение. – 1983. – № 4. – С. 3-9.

16. Шугалей Л.С. Запасы углерода в блоках естественных и антропогенно-нарушенных лесных экосистем и его баланс / Л.С. Шугалей, В.В. Чупрова // Сибирский экологический журнал. – 2003. – № 5. – С. 545-555.

17. Isaev A. Carbon stock and deposition in phytomass of the Russian forests / A. Isaev, G. Korovin, D. Zamolodchikov, A. Utkin, A. Pryaznikov // Water, Air and Soil Pollution. – 1995. – № 2. – P. 247-256.

18. Matthews G. The Carbon Contents of Trees / G. Matthews // Forestry Commission. Tech. Paper 4. – Edinburgh, 1993. – 21 p.

### **Миклуш Ю.С. Функции пригородных рекреационно-оздоровительных лесов и продуцирование кислорода**

На основании лесов зеленой зоны г. Львова проанализированы функции пригородных рекреационно-оздоровительных лесов и дополнены известные классификации воспитательной первичной функцией. Для лесов зеленой зоны г. Львова установлены энергетический потенциал, фитомасса, сток углерода и кислородопродуцируемость.

**Ключевые слова:** леса зеленой зоны, функции лесов, фитомасса, депонирование углерода, продуцирование кислорода.

### **Myklush Yu.S. Functions of suburban health recreative forests and oxygen production**

Functions of suburban health recreative forests of green zone of Lviv are analyzed. Known classification is expanded by educative function. Energy potential, carbon sinks and oxygen production are calculated for the studied forests of green zone.

**Keywords:** forests of green zone, functions of forests, phytomass, carbon sequestration, oxygen production.

УДК 628.336.6

*Доц. В.П. Оліферчук, канд. біол. наук;  
аспір. М.Т. Матвієнко – НЛТУ України, м. Львів*

## **ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ ШЛЯХОМ АНАЕРОБНОГО ЗБРОДЖУВАННЯ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД НА КАНАЛІЗАЦІЙНИХ ОЧИСНИХ СПОРУДАХ**

Виконано аналіз доцільності використання технології анаеробного перероблення осадів стічних вод для одержання біогазу на каналізаційних очисних спорудах. Проаналізовано негативний вплив активного мулу, який утворився після очищення стічних вод, на доквілля. Охарактеризовано основні чинники, параметри роботи та особливості обладнання споруд анаеробного збродження осадів стічних вод, які впливають на стабільність процесу утворення біогазу.

**Ключові слова:** анаеробне збродження, біогаз, метангенк, каналізаційні очисні споруди, осад стічних вод.

**Постановка проблеми.** Каналізація та очисні споруди в Україні перебувають у стані прогресуючого морального розпаду. Проблеми під час експлуатації установок і недостатня потужність очищення впливають з поганого

технічного стану, а також з відсутності технічного обслуговування очисних споруд. Оброблення й утилізація активного мулу, який утворюється внаслідок біологічного очищення стічних вод, протягом багатьох років є невирішеними.

Первинний мул з первинного відстійника разом із надлишковим активним мулом після біологічного очищення скидаються на мулові майданчики. Оскільки мул є нестабілізованим, спостерігають сильну загазованість, крім цього він має дуже погані зневоднювальні властивості. Осад на мулових майданчиках перебуває на відкритій території, тому забруднює атмосферне повітря (внаслідок випаровування в атмосферу потрапляють різні забруднювальні речовини, які мають дуже неприємний запах, особливо влітку). Забруднюється ґрунт і підземні води [1]. За таких умов і таким способом мул стабілізується на майданчиках для сушіння протягом 80-100 діб, постійно гние, а цінне джерело енергії – біогаз (переважно метан з додатками сильного запаху) виділяється в атмосферу.

На сьогодні утилізація мулу поряд з недостатньою енергетичною ефективністю є головною проблемою підприємств водопостачання і водовідведення. Тому питання біотрансформації органічних відходів каналізаційних очисних споруд є актуальним та має теоретичне і практичне значення.

**Метою роботи** є теоретичний аналіз практичного застосування анаеробного збродження осадів стічних вод з метою отримання біогазу на каналізаційних очисних спорудах.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Світовий досвід використання технології анаеробного перероблення осадів стічних вод та інших органічних відходів для одержання біогазу свідчить про рентабельність та перспективність її впровадження. Такі роботи входять до національних енергетичних програм більшості країни світу – США, Англії, Франції, Італії, Японії, Австрії, Швеції, Фінляндії, Канади, Індії, Китаю, Бразилії, а також країн Південно-Східної Азії та Африки [2]. Результати досліджень [1, 3] підтверджують можливість анаеробного перероблення осадів стічних вод для одержання біогазу на каналізаційних очисних спорудах і в Україні.

У процесі очищення стічних вод єдиними спорудами з позитивним енергетичним балансом є метантенки, в яких внаслідок анаеробного збродження осадів, отриманих після очищення стічних вод, утворюється біогаз [2]. Процес утворення біогазу називають метановим бродинням або анаеробною ферментацією. Метанове бродиння – це складний анаеробний процес (без доступу повітря), який відбувається внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів і супроводжується біохімічними реакціями [4]. Цей метод використовують як головний етап очищення стічних вод для вилучення основної частини забруднювальних речовин (70-95 % від початкової їх концентрації). Процеси метанової ферментації відбуваються у мезофільних (30-35°C) і термофільних (50-55°C) умовах [5]. Біохімія і мікробіологія анаеробного метанового збродження складніші, ніж аеробних процесів [6]. Дотепер немає повної ясності щодо ролі та ступеня участі в ньому різних груп мікроорганізмів, проте зрозуміло, що, на відміну від активного мулу, біоценоз метантенка представлений тільки бактеріями.

Процес анаеробного зброджування органічних речовин відбувається трьома етапами [7] (рис. 1):

- 1) ферментативний гідроліз – розклад високомолекулярних сполук на низькомолекулярні під дією кислотоутворюючих бактерій;
- 2) кислотогенна стадія – утворення органічних кислот, їх солей, спиртів, сірководню, аміаку, двоокису вуглецю і водню;
- 3) метаногенез – бактеріальне перетворення органічних речовин у  $\text{CO}_2$  та  $\text{CH}_4$ , додаткова кількість  $\text{CH}_4$  та  $\text{H}_2\text{O}$  утворюється з  $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2$ .

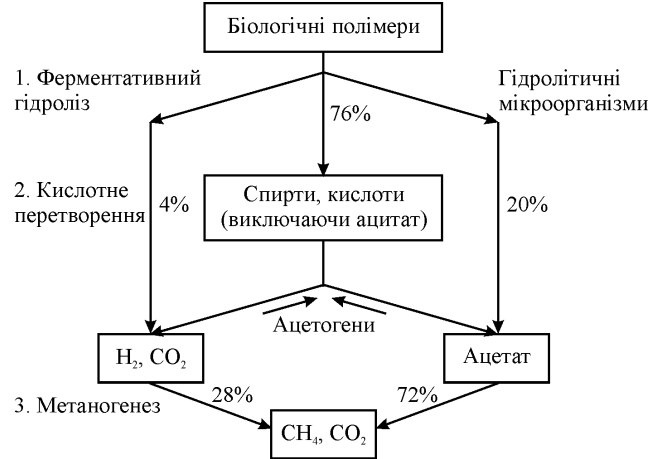


Рис. 1. Схема анаеробного метанового зброджування осаду стічних вод [8]

Анаеробний розпад органічних речовин здійснює співтовариство мікроорганізмів, які складають трофічний ланцюг первинних і вторинних анаеробів. На відміну від трофічних ланцюгів мікроорганізмів в аеробних процесах, у яких взаємовідносини між групами організмів характеризуються головним чином відношеннями типу "хижак-жертва", для трофічних систем під час метанового бродиння характерне використання продуктів обміну одних груп бактерій іншими [9]. Анаеробна переробка осадів стічних вод дає змогу отримувати не тільки біогаз як локальне джерело енергії, а також покращити якість органічних відходів каналізаційних очисних споруд і захистити навколишнє середовище від забруднень [10]. Внаслідок метаногенезу забруднені речовини перегазуються до 90-95 % біогазу ( $\text{CH}_4$ ) та ферментуються в 5-10 % біомаси метантенків. Кількість біогазу, що виділяється під час бродиння, та вміст метану в ньому залежать від виду субстрату, ступеня забруднення, умов ведення процесу та деяких інших факторів [5].

Для нормального функціонування метантенк повинен мати необхідні пристрої (рис. 2): ємність гомогенізації, завантажувач сировини, реактор, мішалка, газгольдер, систему змішування води й опалювання, газову систему, насосну станцію, сепаратор, прилади контролю і систему безпеки.

З  $1 \text{ м}^3$  біогазу можна отримати 1,6-2 кВт·год електроенергії та 1,6-2,85 кВт·год рекуперованої теплової енергії за умови використання його в установках спільного вироблення електричної та теплової енергії, ~5,2 кВт·год

теплової енергії в котельнях або ~5,6 кВт·год теплової енергії в генераторах парогазової суміші [2].



Рис. 2. Принципова схема дії біогазової установки [5]

Для стабілізації процесів анаеробного зброджування осадів стічних вод та інтенсифікації роботи метантенків необхідно забезпечити [11]:

- попередню підготовку осаду, яка складається з видалення грубодисперсних включень (проціджування осаду) та вдосконалення роботи піскоуловлювачів для зменшення мінеральної складової осаду первинних відстійників;
- безперервне завантажування-розвантажування осадів, що дасть змогу стабілізувати швидкість анаеробного розкладу органічної складової зброджуваного осаду і забезпечить рівномірне виділення біогазу протягом доби;
- перемішування осаду в резервуарах метантенків з оптимальною інтенсивністю, що забезпечить ефективне використання всього об'єму резервуара, виключить утворення мертвих зон, розшарування осаду, відкладання мінералізованого осаду та утворення кірки, а також сприятиме вирівнюванню температурного поля та покращенню газоутворення;
- підтримання оптимальної температури режиму зброджування (мезофільного 32-35 °С, термофільного 52-55 °С);
- завантажування попередньо підігрітого осаду вважається за краще, тому що надходження холодного осаду сповільняє процес анаеробного зброджування;
- нагрівання завантажувального осаду краще робити в теплообмінниках, тому що подача пари до резервуара метантенків збільшує вологість зброджуваного осаду, веде до повної втрати конденсату та збільшує експлуатаційні витрати. Крім того, висока температура пари (вище ніж 100°C) негативно впливає на анаеробні мікроорганізми.

**Висновки.** Світовий досвід використання технології анаеробного перероблення осадів стічних вод та інших органічних відходів для одержання біогазу свідчить про рентабельність та перспективність її впровадження. Такі роботи входять до національних енергетичних програм більшості країн світу.

Анаеробне зброджування осадів стічних вод із подальшим використанням утвореного біогазу як енергетичного палива дадуть змогу вирішити важливі завдання як екологічного, так і енергетичного характеру. Це на-

самперед зниження концентрації метану в атмосфері, отримання стабілізованих незагниваючих осадків та використання біогазу для вироблення електричної і теплової енергії, адже енергія, що виробляється, дасть змогу замінити від 50 до 100 % споживаної енергії каналізаційними очисними спорудами.

### Література

1. Оліферчук В.П. Можливість використання осаду стічних вод очисних споруд Львова для виробництва біогазу / В.П. Оліферчук, М.Т. Матвієнко, І.Г. Войтович // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.9. – С. 72-76.
2. Сорокіна К.Б. Технологія перероблення та утилізації осадків : навч. посібн. / К.Б. Сорокіна, С.Б. Козловська. – Харків : Вид-во ХНАМГ, 2012. – 226 с.
3. Матвієнко М.Т. Роль мікрофлори біогазової установки в процесі підвищення ефективності метанотворення / М.Т. Матвієнко, В.П. Оліферчук // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2010. – Вип. 20.11. – С. 76-80.
4. Бойлс Д. Биоэнергия: технология, термодинамика, издержки : пер. с англ. М.Ф. Пушкарева / под ред. Е.А. Бирюковой / Д. Бойлс. – М. : Агропромиздат, 1987. – 152 с.
5. Швед О.В. Екологічна біотехнологія : навч. посібн. – У 2-ох кн. – Кн. II / О.В. Швед, О.Б. Миколюк, О.З. Комаровська-Порохнявець, В.П. Новіков. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка", – 2010. – 368 с.
6. Баадер Б. Биогаз: теория и практика : пер. с нем. М.И. Серебрянного / Б. Баадер, Е. Доне, М. Брендерфер. – М. : Изд-во "Колос", 1982. – 148 с.
7. Ткаченко С.И. Теплообмінні та гідродинамічні процеси в елементах енергозабезпечення біогазової установки : монографія / С.И. Ткаченко, Д.В. Степанов. – Вінниця : Вид-во "Універсум-Вінниця". – 2004. – 132 с.
8. Семенов І.В. Проектирование биогазовых установок. – Сумы : ПФ "МақДен", ИПП "Мрия-1" ЛТД, 1996. – 347 с.
9. Гюнтер Л.И. Метантенки / Л.И. Гюнтер, Л.Л. Гольдфарб. – М. : Стройиздат, 1991. – 128 с.
10. Егорова Т.А. Основы биотехнологии : учебн. пособ. [для студ. ВУЗов] / Т.А. Егорова, С.М. Клунова, Е.А. Живухина. – Изд. 3-е, [стер.]. – М. : Изд. центр "Академия", 2006. – 208 с.
11. Козловська С.Б. Обладнання анаеробного зброжування осадків стічних вод з метою отримання та утилізації біогазу на комунальних очисних спорудах водовідведення / С.Б. Козловська, К.Б. Сорокіна // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. – К. : Изд-во "Техніка". – 2010. – Вип. 93. – С. 206-215.

### **Оліферчук В.П., Матвієнко М.Т. Получение биогаза путем анаэробного сбраживания осадка сточных вод на канализационных очистных сооружениях**

Выполнен анализ целесообразности использования технологии анаэробной переработки осадков сточных вод для получения биогаза на канализационных очистных сооружениях. Проанализировано негативное влияние активного ила, образовавшегося после очистки сточных вод, на окружающую среду. Охарактеризованы основные факторы, параметры работы и особенности оборудования сооружений анаэробного сбраживания осадков сточных вод, влияющих на стабильность процесса образования биогаза.

**Ключевые слова:** анаэробное сбраживание, биогаз, метантенк, канализационные очистительные сооружения, осадок стоковых вод.

### **Oliferchuk V.P., Matvienko M.T. Receiving of biogas by anaerobic fermentation of sewage sludge at sewage disposal plants**

The analysis of the expediency of using anaerobic technology of sewage sludge recycling to produce biogas at sewage disposal plants is made. The negative impact of sludge, which was formed after sewage disposal to the environment, is analyzed. The main factors, work parameters and features of the equipment for buildings for anaerobic fermentation of sewage sludge, which influence on the stability of biogas formation process, are described.

**Keywords:** anaerobic fermentation, biogas, biogasreactor, sewage disposal plant, sewage sludge.

УДК 628.47+630\*27

Ст. викл. В.В. Попович, канд. с.-г. наук –  
Львівський ДУ безпеки життєдіяльності

### **ПОЛІГОНИ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ У ВИРОБЛЕНИХ КАР'ЄРАХ, ЯРАХ, ТРАНШЕЯХ І ОСОБЛИВОСТІ ЇХ ФІТОМЕЛІОРАЦІЇ**

Розглянуто можливість формування полігонів твердих побутових відходів у вироблених кар'єрах, ярах, траншеях та особливості їх фітомеліорації. В умовах недостатнього фінансування сфери поводження із твердими побутовими відходами необхідно використати підхід, який передбачає гармонізацію складування сміття з одночасним поверненням порушених територій для потреб людини. Саме у такій ситуації розміщення твердих побутових відходів у відпрацьованих кар'єрах, ярах, траншеях дасть змогу "сховати" сміття та використовувати відпрацьовані території для соціокультурних потреб людини.

**Ключові слова:** тверді побутові відходи, сміттєзвалища, полігони твердих побутових відходів, фітомеліорація.

**Постановка проблеми.** Функціонування та експлуатація сміттєзвалищ та полігонів твердих побутових відходів (ТПВ) спричиняють значне техногенне навантаження на довкілля. Найнебезпечнішими явищами сміттєзвалищ є фільтрат і звалищний газ (біогаз). За даними МНС, в Україні під полігони твердих побутових відходів відведені 8106,3 га земель. Загальна кількість полігонів та звалищ – 4469 шт. Підлягають рекультивациі 538, а санації – 407 полігонів і сміттєзвалищ. Найбільша кількість сміттєзвалищ та полігонів твердих побутових відходів експлуатуються у Дніпропетровській, Житомирській, Закарпатській, Київській, Одеській, Полтавській, Сумській, Херсонській, Чернігівській областях (рис. 1).

Проте більшою небезпекою характеризуються стихійні сміттєзвалища, які з'являються неподалік населених пунктів у лісах, лісосмугах, полях, поблизу доріг та магістралей, біля берегів водойм тощо. У стихійних сміттєзвалищах відбуваються неконтрольовані процеси відводу звалищного газу та фільтрату. На жаль, не проводиться їх дезінсекція та дератизація, вони спричиняють забруднення навколишніх ґрунтів, підземних вод, відкритих водойм та річок небезпечними хімічними сполуками та важкими металами. У зоні впливу деструкційних процесів сміття проживає значна кількість населення держави [1-3].

Процеси випаровування та стоку фільтрату із сміттєзвалища зображено на рис. 2.

Унаслідок випадання опадів на стихійне звалище частина води проникає в товщу сміття, а частина випаровується. За відсутності відповідних інженерних рішень щодо монтування геохімічних бар'єрів, дренажів, стоків та водовідведення у сміттєзвалищах весь фільтрат, пройшовши через товщу сміття, ґрунт та підземні води, потрапляє у відкриті водоймища.

Негативним явищем сміттєзвалищ є відсутність систем моніторингу нагромадження біогазу та його відведення. Адже основним компонентом біогазу є метан. Нерідко стихійні сміттєзвалища самозаймаються та отруюють довкілля токсичними продуктами горіння [4, 5]. Горіння сміття гальмує природні фітомеліоративні процеси, які відбуваються на поверхні сміттєзвалищ, створюючи ще більшу небезпеку для живих організмів [6, 7].