

## **Оцінка перспектив добування біогазу з осадків стічних вод Луцьких міських комунальних очисних споруд**

*Роботу виконано на кафедрі екології ЛНТУ*

У статті проаналізовано основні технологічні аспекти утворення осадків стічних вод, їх потенційний вплив на довкілля та можливості їхнього використання для добування біогазу. Запропоновано комплекс організаційних та технологічних засобів для переробки осадків стічних вод та зменшення їх негативного впливу на довкілля м. Луцька.

**Ключові слова:** осадки стічних вод, метантенк, газгольдер.

**Фесюк В. А. Оценка перспектив добычи биогаза из осадков сточных вод Луцких городских коммунальных очистных сооружений.** В статье проанализированы основные технологические аспекты образования осадков сточных вод, их потенциальное влияние на окружающую среду и возможности их использования для добычи биогаза. Предложен комплекс организационных и технологических средств для переработки осадков сточных вод и уменьшения их негативного влияния на окружающую среду г. Луцка.

**Ключевые слова:** осадки сточных вод, метантенк, газгольдер.

**Fesyuk V. A. Estimation of Prospects of Getting of Biogas from Precipitations of Flow Waters of Lutsk City Communal Cleansing Building.** In the article the basic technological aspects of formation of precipitations of flow waters are analysed, their potential environmental impact for getting of biogas. The complex of organizational and technological for processing precipitations of flow waters and reduction of their negative environmental impact is offered.

**Key words:** sinking of flow waters, methanthenk, gasholder.

**Постановка наукової проблеми та її значення.** Під час очищення виробничих і комунальних стічних вод утворюється значна кількість осадів, які підлягають подальшій переробці. Проблема зневоднювання, утилізації та збереження осадів – одна з найбільш актуальних проблем екології. У разі відсутності переробки цих відходів вони забруднюють довкілля, насамперед важкими металами й адорантами, можуть бути джерелом біологічного засмічення. З іншого боку, переробка осадків стічних вод (ОСВ), наприклад, із отриманням біогазу, є не лише екологічно раціональною, а й економічно ефективною.

**Аналіз останніх досліджень із цієї проблеми.** Вивченню впливу осадків стічних вод на довкілля міст традиційно присвячено багато наукових досліджень. Зокрема, слід відзначити праці В. К. Хільчевського (1999), Р. В. Удалова, Л. В. Андреева (2006). Аналіз цієї проблеми по м. Луцьку започаткував автор у роботі [3].

**Формулювання мети та завдань статті.** Мета статті – обґрунтування та розробка основних шляхів і конкретних заходів зменшення впливу осадків стічних вод комунальних очисних споруд (МКОС) м. Луцька на довкілля міста.

Поставлено такі завдання:

- аналіз технологічних аспектів утворення ОСВ та можливостей їх утилізації;
- обґрунтування основних шляхів зменшення такого впливу;
- розробка комплексу конкретних організаційних та технічних рішень.

**Матеріали й методи.** Основні методи – урбоекологічний та інженерно-екологічний аналіз на основі імітаційного моделювання; прикладна оптимізація на основі регресійного й факторного аналізу, методів планування експерименту й теорії функції. Дослідження виконано на власних матеріалах автора, а також на фондових матеріалах КП “Луцькводоканал” [6].

**Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів досліджень.** Традиційно для обробки осадів на біологічних очисних спорудженнях застосовують класичний

метод механічного зневоднювання на мулових картах (майданчиках). Природне зневоднювання на мулових полях має серйозні недоліки: забруднення навколишнього природного середовища, тривалість обробки опадів, використання значних площ. Значно ефективніше їх зневоднювати методом центрифугування [6]. Максимальне згущення твердої фази відзначається під час центрифугування надлишкового активного мулу при частоті обертання 6000 об/хв. Ефект затримки сухої речовини досить високий і становить 98–99 %.

Однак на Луцьких МКОС метан, який уходить до складу газів, не використовується як паливний газ під час виробництва електроенергії навіть для самої очисної станції. Це пояснюється неробочим станом газгольдерів. Хоча перспективи виробництва й використання біогазу як органічного палива досить позитивні (рис. 1).

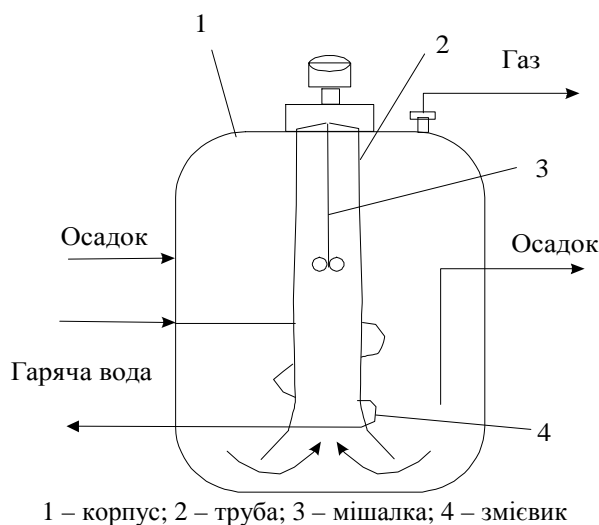


Рис. 1. Схема комплексного використання відходів очисних споруд підприємства "Луцькводоканал"

Так, лише за 2009 р. на МКОС утворилося 363 650 м<sup>3</sup> осадків стічних вод. Під час їхньої переробки можна отримати 4 000 000–7 085 000 м<sup>3</sup> біогазу, а під час спалювання газу – 11 408 тис. кВт/год. енергії (1,78 млн грн, або 222,5 тис. доларів США) або еквівалент, що виділяється під час спалювання 9468 т коксу, 8955 тис. л бензину чи 8704 тис. л дизельного палива. Цієї енергії вистачить для забезпечення виробничих і побутових потреб очисних споруд.

Але для того, аби втілити запропонований варіант, необхідно дещо змінити ту технологію обробки ОСВ, яка сьогодні використовується на Луцьких МКОС. Зокрема, слід змінити параметри роботи метантенків, здійснити перехід від простого дезінфекційного зброджування до переробки осадів з отриманням біогазу та ввести газгольдерів, які б накопичували біогаз, давали змогу регулювати його тиск і подавати біогаз до ТЕЦ чи котельні. Такі технології сьогодні вже існують.

Метантенки (як їх ще називають герметизовані реактори-змішувачі) призначені і для очищення стоків або стабілізації осадів, і для генерації метану, цінного газу з великою теплотворною здатністю. Метанове бродіння включає дві фази: кислотну і лужну (газифікація). Обидві фази здійснюються паралельно й одночасно в одному об'ємі (рис. 2).



1 – корпус; 2 – труба; 3 – мішалка; 4 – змієвик

Рис. 2. Схема метантенка

Продукти деструкції органіки, які утворюються в першій фазі, є субстратом для мікроорганізмів другої фази. Склад проміжних продуктів, які утворюються під час анаеробного зброджування, залежить від складу вихідних забруднень. На рис. 3 подано схему розкладання основних органічних домішок побутових стічних вод: жирів, білків і вуглеводів. Найбільш складний хід багатоступінчастої деструкції у білків. Жири окисляються до менш стійкого стану жирних кислот.

Наприкінці першої фази утворюються домішки, які газифікуються: водень і ацетон. Утворення жирних кислот призводить до зниження рН води; однак мулова рідина має буферні властивості, що обмежує зниження рН. Утім у деяких випадках виникає необхідність підлужування води  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

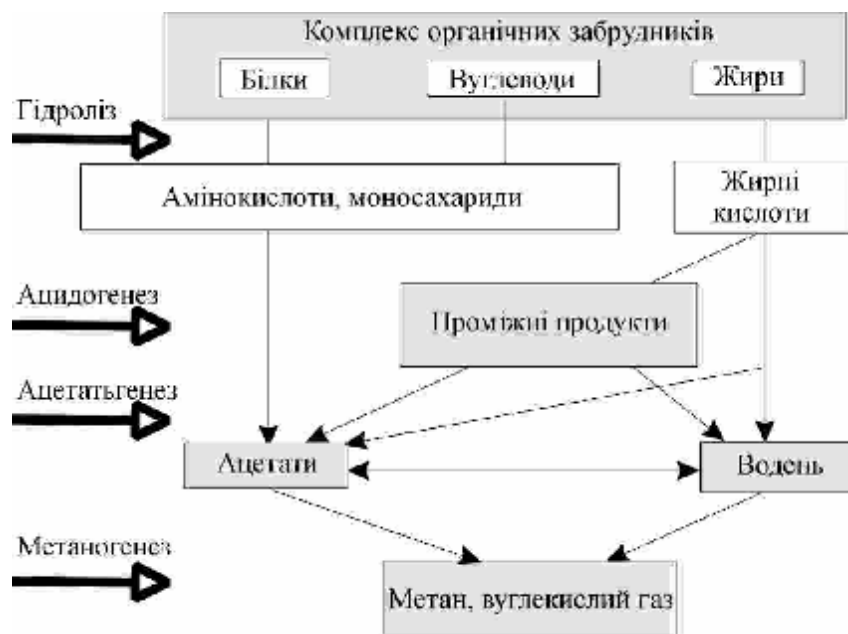
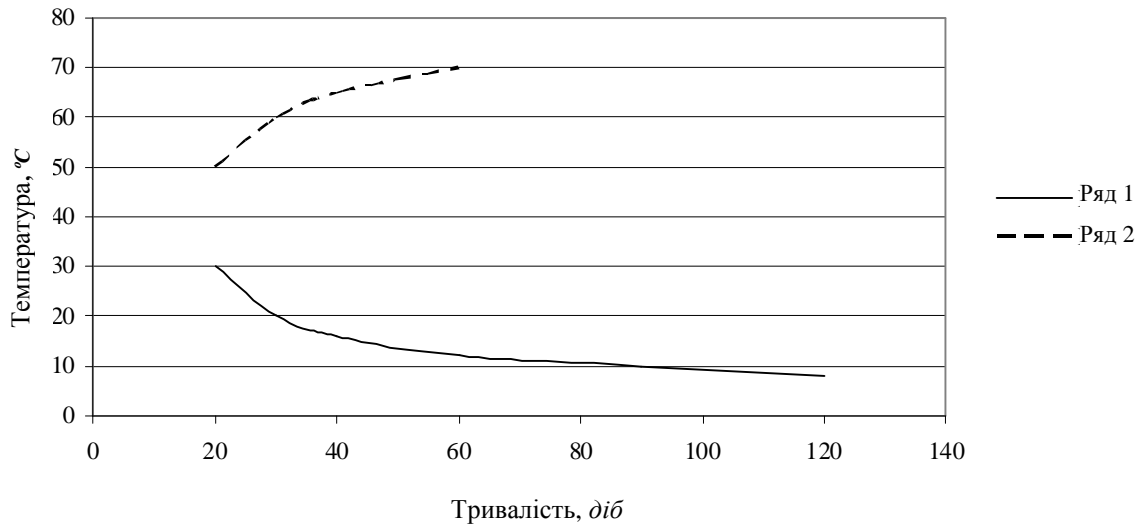


Рис. 3. Схема аеробного розкладу органіки [5]

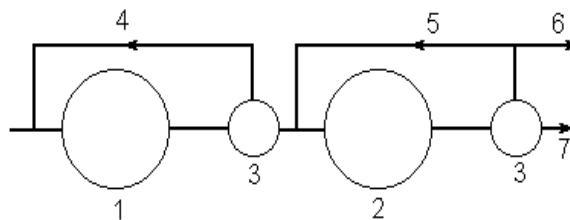
Біоценоз анаеробного активного мулу містить близько  $1,5 \cdot 10^{10}$  кислотоутворюючих і близько  $10^7$  метаноутворюючих мікроорганізмів; у складі біоценозу не більш 1 % аеробних мікроорганізмів, а також інфузорій і грибів, які потрапляють у метантенк разом зі стічною водою. Весь хід зброджування лімітується можливостями й станом популяції метаноутворюючих бактерій, які надзвичайно чутливі до температурних умов і мають малу швидкість росту.

Метанові бактерії належать до різних популяцій: термофілів і мезофілів. Із рис. 4 випливає, що оптимальні температури води для термофілів – близько 53 °С, а мезофілів – 32 °С. Найчастіше застосовується популяція термофілів, для якої оптимальною вважається температура 65 °С (екстратермофіли). Навіть невелике відхилення температури від оптимуму істотно знижує швидкість окислювання. Та обставина, що процеси, які стосуються двох фаз зброджування, поєднані в часі й здійснюються в одному об'ємі, не дає змоги створити для них оптимальні умови.



**Рис. 4.** Вплив температури на тривалість зброджування [8]:  
ряд 1 – мезофільне зброджування; ряд 2 – термофільне зброджування

Спеціальні експерименти підтвердили доцільність проведення кислого й метанового бродіння в різних реакторах роздільно. На рис. 5 наводиться схема установки з поділом фаз зброджування. Реактори другого ступеня повинні працювати зі зниженим (у 3–5 разів) питомим (на 1 м<sup>3</sup> місткості) навантаженням.



**Рис. 5.** Схема роздільного зброджування за фазами:  
1, 2 – метатенки кислої й газової фаз; 3 – відстійники; 4 – рециркуляція осаду кислої фази; 5 – рециркуляція осаду лужної (газової) фази; 6 – скидання осаду; 7 – відведення очищеної води

Порівняння мезофільного й термофільного режимів зброджування осадів показує, що в термофільних умовах значно інтенсивніше й глибше відбувається гідроліз твердої речовини, але утворений анаеробний мул має дуже великий питомий опір і погано зневоднюється. Процес двофазного термофільно-мезофільного зброджування дає змогу використовувати переваги цих двох режимів. Дослідження показали, що двофазне збродження (екстратермофільне протягом 0,6–1,0 доби, а потім мезофільне протягом десяти діб) збільшує розпад беззольної речовини осаду у 1,2–1,6 раза порівняно з мезофільним однофазовим. Установки для двофазового зброджування являють собою двоступінчасті метатенки різної місткості з обліком тривалості процесів на кожному з двох етапів [4].

Розрахунок метантенків найбільше докладно розроблений для умов стабілізації осадів міських стічних вод. Згідно з дослідженнями Л. І. Гунтера, межа зброджування жирів становить близько 70 %, білків – 48 %, вуглеводів – 62,5 %. Для композиції осадів міських стічних вод межа повного збродження, у перерахуванні на беззольну частину осаду, становитиме [1]:

$$R_{lim} = (0,92C_{fat} + 0,62C_{gt} + 0,34C_{pzt}) \cdot \times 100 \%, \quad (1)$$

де  $C_{fat}$ ,  $C_{gl}$ ,  $C_{pzt}$  – уміст жирів, вуглеводів і білків у грамах на грам беззольної частини.

Фактичний розпад беззольної частини залежить від тривалості зброджування, вихідної концентрації органіки, її виду й температури осадів:

$$R_r = R_{lim} - k_r D_{mt} t, \quad (2)$$

де  $k_r$  – коефіцієнт, що залежить від вологості зброджуваного середовища, ураховуючи концентрацію органіки;  $D_{mt}$  – доза добового завантаження осаду (відсоток від місткості метантенка), обернено пропорційна тривалості процесу.

У формулі не враховується температура, тому що передбачається, що вона підтримується оптимальною для прийнятого режиму (рис. 6).

Розрахунок метантенків зводиться до того, що, знаючи ступінь розпаду, визначається тривалість процесу, а по ній і об'єм метантенка:

$$W_{mt} = Q_w t. \quad (3)$$

Залежності, використовувані для розрахунку параметрів метантенка в [7], ґрунтуються на емпіричних зв'язках між дозами завантаження, вологістю й іншими параметрами. Водночас такі розрахунки мають ґрунтуватися на закономірностях кінетики ферментативних реакцій. Ґрунтуючися на досвіді очищення каналізаційних стоків міст, рекомендуються до розрахунку такі параметри: питома швидкість окислювання  $\rho = 5,0-6,5$  мг; доза активного мулу на  $1 \text{ м}^3$  беззольної частини мулу в годину  $a = 20$  г/л, його зольність  $S = 0,3$  і т. д. Режим зброджування приймається мезофільним як більш стійкий [7].

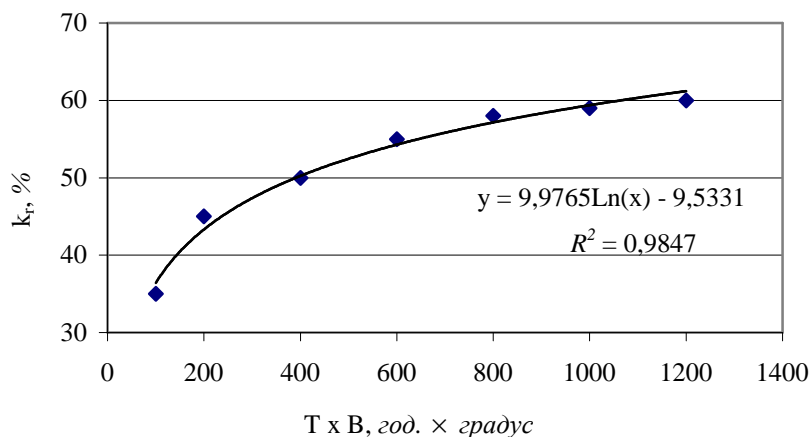


Рис. 6. Графік розпаду органіки [7]:

$W_{mt}$  – місткість метантенка,  $\text{м}^3$ ;  $Q_w$  – продуктивність метантенка,  $\text{м}^3/\text{добу}$

Уважається, що очищення в метантенках доцільне за значень БПК<sub>повн</sub> від 6–10 до 20 г/л; установлена можливість його застосування за значень ХПК до 75–100  $\text{кг}/\text{м}^3$ . У середньому на 1 кг знятої ХПК виділяється 0,1–0,35  $\text{м}^3$  метану, а приріст активного мулу становить 0,05–0,5 кг. Потреба в біогенних речовинах визначається відношенням ХПК : азот : фосфор, який дорівнює 100 : 2 : 0,1, що значно менше, ніж потрібно під час аеробного очищення [8].

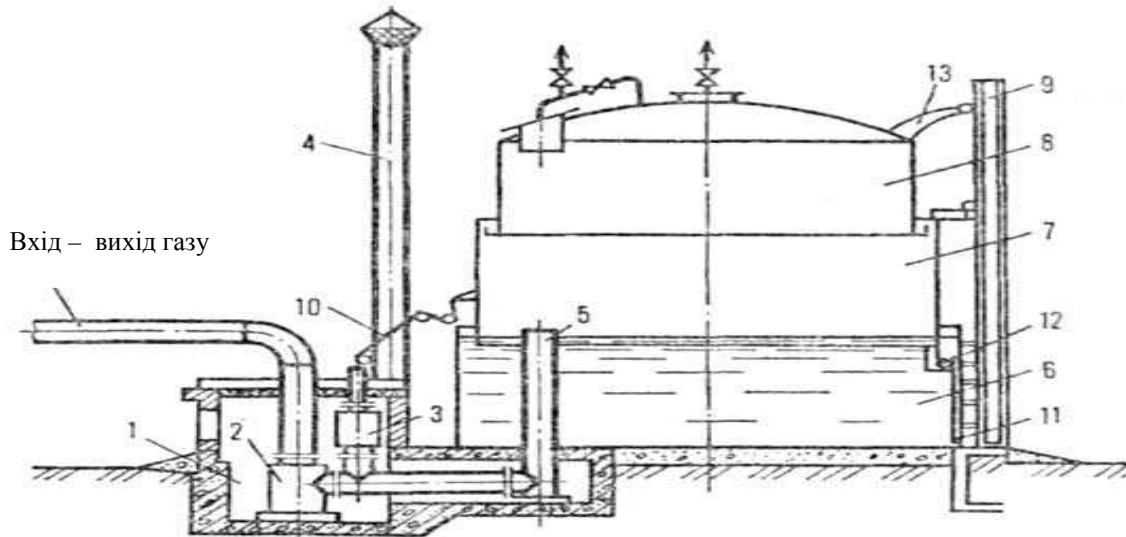
Досвід показує, що зниження БПК під час анаеробної очистки концентрованих стічних вод у метантенках, перебуває в межах 75–90 %. Отже, БПК після очищення залишається досить значним і майже завжди потрібне доочищення [6]. Як відзначалося, попередня анаеробна деструкція змінює молекулярну структуру деяких субстратів, перетворюючи їх у менш стійкі стосовно аеробного окислювання речовини.

Анаеробний активний мул, особливо після термофільного режиму, має високий муловий індекс і погано відстоюється, тому існує небезпека вимивання мулу з метантенка. Радикальним засобом проти цього є іммобілізація мікробіальної маси.

Метантенки на Луцьких МКОС перебувають сьогодні в неробочому стані й не можуть бути використані для запропонованого процесу отримання, збирання й використання біогазу. Ми пропонуємо замінити їх новими.

Наступним необхідним конструкційним удосконаленням технологічного процесу Луцьких МКОС є введення в дію газгольдерів. Газгольдер (англ. gasholder, від gas – газ і holder – власник) – споруди для збереження газів під надлишковим тиском. За його величиною розрізняють газгольдер низького (до 4–5 КПа) й високого (до 3 МПа) тиску, за способом герметизації газового простору – мокрі й сухі. У перших герметизація здійснюється за допомогою гідравлічного (звичайно водяного) затвору, в інших – ще будь-якими способами (наприклад, із застосуванням чепцевих ущільнень) [2].

Мокрий газгольдер (рис. 7) складається зі сталевого резервуара для води з внутрішніми й зовнішніми спрямовуючими, однієї (дзвін) або двох (дзвін і телескоп) рухливих ланок для збереження газу, камери газового виведення, автоматичної системи визначення об'єму газу та сигналізації положення дзвону, а також запобіжних пристроїв, засобів опалення й вентиляції камери, підігріву води в резервуарі газгольдер у зимовий час. Дзвін і телескоп – вертикальні циліндричні резервуари (перший, демонтується усередині іншого, з дахом, але без дна, другий без даху і дна), які встановлюються в іншому вертикальному циліндричному резервуарі (із дном, але без даху) більшого діаметра, заповненому водою, що забезпечує герметизацію газового простору усередині рухливих ланок при роботі газгольдера [2].



**Рис. 7.** Принципова схема мокрого газгольдера:

1 – камера газового виведення; 2 – гідравлічний затвор; 3 – клапанна коробка автоматичного скидання газу; 4 – труба скидання газу; 5 – газопровід; 6 – резервуар із водою; 7 – телескоп; 8 – дзвін; 9, 11 – зовнішній і внутрішній спрямовуючі; 10 – підйомний пристрій; 12, 13 – нижній і верхній ролики

Подача газу під дзвін і телескоп здійснюється по трубопроводу через гідравлічний затвор, розміщений у камері, і газопровід; забір газу з газгольдера здійснюється в зворотному напрямі. Гідравлічний затвор слугує також для відводу конденсату з газу й відключення газгольдера від газових мереж на період ремонтів та зупинок. Під час заповнення газом простору під дзвоном останній спливає, переміщуючися вертикально нагору по спрямовуючих, уходить у зчеплення з

телескопом, піднімає його й далі переміщується під тиском газу, що надходить. Дзвін і телескоп спіраються на спрямовуючі за допомогою верхніх і нижніх роликів. Коли тиск газу під дзвоном зрівноважиться його вагою або одночасно вагою дзвону й телескопа, підйом дзвона припиняється. Вага дзвона з телескопом урівноважує тиск газу 1,5–2,0 КПа. Для збільшення тиску газу дзвін довантажують спеціальними вантажами. Максимальна вага вантажів обрана, щоб забезпечити тиск газу під дзвоном 4–5 КПа.

Реальним технічним рішенням з утилізації ОСВ для Луцьких МКОС у сучасних економічних умовах було б використання вже наявних метантенків та дооснащення їх кульовим газгольдером типу Ш1-2000-7-8Т-40, що виробляється Дніпропетровським ТзОВ “АКІМ”.

Установка кульового газгольдера складається з одного кульового корпусу. Кульові резервуари й газгольдери виготовляються двох типорозмірів: умовною ємністю 600 і 2000 м<sup>3</sup> (внутрішній діаметр 10,5 м і 16 м, відповідно). Корпуси газгольдерів поставляються замовникові окремими пелюстками, металоконструкції – окремими вузлами. Збирання, зварювання й загальний монтаж установки ведуть на робочій площадці спеціалізовані монтажні організації. Резервуари можуть бути встановлені в районі із температурою зовнішнього повітря не нижче – 60 °С і сейсмічністю близько дев'яти балів включно [2].

Газ, акумульований у газгольдері під потрібним тиском міг би подаватися на котельню (ТЕЦ), спалюватися, отримана енергія використовувалась би на підігрів води і центральне опалення району Вишкова та вул. Ківерцівської, а також на технологічні потреби самого підприємства “Луцькводоканал”.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Утілення запропонованого проекту дасть можливість не лише вирішити проблему утилізації ОСВ, а й сприятиме раціональному використанню природних ресурсів та зробить значний внесок у втілення програми енергозбереження, яка є одним із пріоритетів внутрішньої політики нашої держави. Перспективи подальших досліджень ми вбачаємо в розробці пропозицій із реальними технічними рішеннями для аналогічних комунальних підприємств інших міст та СМТ Волинської області, насамперед Ковеля, Володимира-Волинського, Нововолинська та Шацька.

#### *Література*

1. Коцарь Е. С. Технологии и оборудование для переработки и утилизации осадков промышленных и коммунальных сточных вод / Е. С. Коцарь, А. Р. Дибенко : [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://potential4.com.ua>
2. Кухарь В. П. Экотехнология. Оптимизация технологии производства и природопользования / В. П. Кухарь, Н. Д. Зайцев, Г. А. Сухоруков. – К. : Наук. думка, 1989. – 264 с.
3. Мольчак Я. О. Луцьк : сучасний екологічний стан та проблеми / Я. О. Мольчак, В. О. Фесюк, О. Ф. Картава. – Луцьк : РВВ ЛДТУ, 2003. – 488 с.
4. Родионов А. И. Техника защиты окружающей среды : учеб. для вузов / А. И. Родионов, В. Н. Клушин, Н. С. Торочешников. – М. : Химия, 1989. – 512 с.
5. Словник нормативних термінів і визначень у галузі охорони і використання вод / за ред. В. Р. Лозанського. – Х. : УкрНЦОВ, 1992. – 93 с.
6. Технический отчет о выполнении работ по регулярному обследованию и регламентной наладке канализационных очистных сооружений г. Луцка. – Л. : [б. и.], 1987. – 34 с.
7. Удалов Р. В. Экологические аспекты обработки и утилизации осадков сточных вод / Р. В. Удалов, Л. В. Андреева // Учен. зап. Ин-та СХПР НовГУ. – 2006. – Т. 14. – С. 45–59.
8. Хільчевський В. К. Водопостачання і водовідведення. Гідрокологічні аспекти / В. К. Хільчевський. – К. : ВЦ “Київ. ун-т”, 1999. – 319 с.

Адреса для листування:

43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75,  
Луцький національний технічний університет

Статтю подано до редколегії  
2.07.2010 р.