

УДК 628.316.12

**М.В. Дегтяр**

*Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова*  
**ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРИЙОМИ ПРИ ОЧИЩЕННІ ДРЕНАЖНИХ ВОД  
ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ**

*Проведена оцінка ефективності використання різних підходів до очищення стічних вод полігонів твердих побутових відходів, зокрема комбінованих методів на підставі власних досліджень*

*Ключові слова: фільтрат, біодиски, мембранні модулі, ацетогенез, метаногенез*

**М.В. Дегтярь**

**ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ПРИ ОЧИСТКЕ ДРЕНАЖНЫХ ВОД  
ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ**

*Выполнена оценка эффективности использования различных подходов к очистке сточных вод полигонов твердых бытовых отходов, в частности комбинированных методов на основании собственных исследований.*

*Ключевые слова: фильтрат, биодиски, мембранные модули, ацетогенез, метаногенез*

**M. Degtyar**

**BASIC TECHNOLOGICAL TECHNIQUES IN THE CLEANING OF LEACHATE**

*The effectiveness of the use of various approaches to leachate treatment, in particular, combined methods based on our own research, has been evaluated.*

*Keywords: filtrate, bio-disks, membrane modules, acetogenesis, methanogenesis*

**Постановка проблеми.**

Основним фактором негативного впливу полігона твердих побутових відходів (ТПВ) на навколишнє середовище є вплив фільтраційних вод, що утворюються в результаті розкладання відходів. Забезпечення стабільного сприятливого санітарного стану території та охорони водного, повітряного басейнів вимагає розробки та впровадження високоефективних технологій очищення фільтраційних вод полігонів ТПВ.

Виходячи з морфологічного складу відходів можна спрогнозувати якісний склад дренажних вод.

Усі відходи залежно від процесів, що лежать в основі їх розкладання розділяють на біодеградуємі, до яких можна віднести: харчові, садово-паркові відходи, текстиль, деревину й ін., складові в середньому 60-80% від загальної маси ТПВ; відходи, що зазнають хімічної деструкції – метали (чорні й кольорові), пластмаси, камені, скло та ін.

У результаті протікання в тілі полігона процесів анаеробного розкладання ТПВ, проникнення усередину тіла полігона атмосферних опадів, утворюється фільтрат, який містить продукти вилуджування водорозчинних сполук і продукти розкладання відходів. На більшості полігонів і смітників України фільтрат з тіла полігона, не очищається та стікає в найближчі водотоки, а скидання фільтрату у водойми загального користування категорично неприпустимо. На деяких полігонах фільтрат збирають у спеціально створені ставки-накопичувачі. В багатьох випадках дно таких ставок буває врізаними у водоносні шари.

З екологічної точки зору найнебезпечнішим фактором впливу полігонів ТПВ на навколишнє середовище є сильно мінералізовані стічні води полігонів широкої хімічної природи. Вони можуть бути причиною прямого знищення навколишнього середовища, флори й фауни, забруднення ґрунтових вод, ґрунту та поверхневих джерел. На сьогоднішній день універсальної ефективною технології очищення та утилізації фільтрату не існує. Одна із причин - мінливість його складу, який визначається морфологічним складом ТПВ, часом знаходження в тілі полігона (смітника), а також ступенем розведення атмосферними опадами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Очищення дренажних вод являє собою надзвичайно складну проблему та вимагає багатоступінчастої комбінації різних фізико-хімічних і біологічних методів, значних капітальних і експлуатаційних витрат.

Аналіз закордонної та вітчизняної літератури [1-3] показав, що поширення одержали наступні групи способів очищення фільтрату:

- Біологічне очищення фільтрату;
- Фізико-хімічне багатоступінчасте очищення;

Технологічні схеми очищення фільтрату ґрунтуються на застосуванні переважно методів біохімічної деструкції органічних речовин у комбінації з фізико-хімічними процесами – коагуляції-флотації, рідкофазного окиснення, фільтрації, ультрафільтрації, адсорбції, зворотного осмосу, концентрованого випарювання в різних комбінаціях [4,5].

Фільтрат з органічними домішками, як правило, очищають за допомогою біохімічних методів, а також залежно від концентрацій присутніх компонентів застосовують аеробне або анаеробне очищення. Для доочищення використовують адсорбційні методи (у якості завантаження виступає активне вугілля та ін. сорбенти) [6]. Знезаражування води здійснюється хлоруванням, озонуванням або ультрафіолетовим опроміненням.

Анаеробні методи більше застосовують на стадії ацетогенеза полігону, що утворюється на експлуатаційному циклі полігону. Основними перевагами анаеробного очищення в порівнянні з аеробним можуть бути виділені наступні [7]:

- не потрібна подача кисню в оброблюване середовище;
  - значно зменшуються витрати електроенергії;
  - збільшується мінералізація анаеробного осаду при видаленні важких металів, що підвищує цінність його як добрива;
  - знижується кількість добавок для живлення мікрофлори;
- До недоліків анаеробного очищення можна віднести наступні:
- необхідність високих (більш 30°C) температур для досягнення ефективної кінетики процесу;
  - менша ефективність видалення важких металів.

Застосування аеробних методів для очищення фільтрату в стадії метаногенеза можливе при проведенні попереднього фізико-хімічного та хімічного очищення, тому що стоки мають високий солевміст, наявність хлорорганічних сполук [6, 8].

Систематизація результатів наведених досліджень [9- 11] дозволяє зробити висновок, що:

- при використанні біохімічного очищення на стадії метаногенеза рекомендується попередня хімічна або фізико-хімічна обробка;
- використання сорбційного очищення на стадії метаногенеза рекомендується для низькоконцентрованих фільтраційних вод;
- при використанні реагентної коагуляції на стадії ацетогенеза досягається зниження БПК до 60%, кольоровості до 85%;
- при використанні мембранних технологій очищення на стадіях ацето-і метаногенеза без предочищення відбувається швидке засмічення мембран і утворення концентрату, складного в подальшій утилізації, метод може бути використаний у якості доочищення на будь-якому етапі життєдіяльності полігону ТПВ.

Специфіка складу стічних вод полігонів ТПВ, обумовила необхідність застосування комплексних технологій очищення, тому що найчастіше використання одного методу або способу не дозволяє досягти необхідних результатів.

#### **Постановка завдань.**

Метою роботи є обґрунтування застосування багатоступінчастої схеми очищення з реагентною коагуляцією та використанням баромембранних модулів.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

Аналіз сучасного стану існуючих методів очищення дренажних вод полігонів ТПВ, оцінка їх ефективності, можливість застосування на різних полігонах ТПВ.

Розробка експериментальної установки для дослідження процесу очищення стічних вод полігонів ТПВ.

Визначення основних факторів, які впливають на ефективність очищення дренажних вод.

#### **Викладення основного матеріалу.**

Для очищення висококонцентрованих дренажних вод полігонів ТПВ використовуються фізичні, хімічні, біологічні методи, а також їх комбінація.

Перераховані способи та методи очищення потребують значних капітальних коштів на обладнання та його експлуатацію, великих площ і іноді не досить ефективні. Саме тому на даний момент існує проблема розробки та втілення ресурсозберігаючих, локальних (компактних), надійних та високоефективних методів та споруд для забезпечення стабільно-високого ступеня очищення висококонцентрованих стічних вод.

Україна входить до переліку країн, які мають серйозні проблеми з переробки відходів, у першу чергу, за рахунок недолугої політики що до збору та захоронення, яка виключає сортування

відходів та їх вторинне використання. У 2012 році у статтю 32 Закону України "Про відходи" був доданий пункт про обов'язкове сортування сміття, який вступив в силу з 1 січня 2018 року. Згідно якого захоронення на полігонах неперероблених (необроблених) побутових відходів забороняється. Тобто, Україна зобов'язалася сортувати все сміття за видами матеріалів, а також розділяти його на придатне для повторного використання, для захоронення та небезпечне. Цей пункт відповідає двом Директивам ЄС – 1999/31/ЄС та 2008/98/ЄС, які врегульовують поводження зі сміттям у країнах Європи, пропонують план дій, щодо скорочення кількості сміття, що потрапляє на полігони [12, 13]. Щорічно обсяги відходів в Україні збільшуються майже на 500 млн тонн, а загальні обсяги накопичених сягають 14 млрд тонн, при цьому, лише 10% відходів використовуються в якості вторинних ресурсів.

В 2012 р. набув чинності наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України « Про затвердження Методичних рекомендацій зі збору, утилізації та знешкодженню фільтрату полігонів побутових відходів». Зазначений документ рекомендує для очищення фільтратів використовувати фізичні, фізико-хімічні, хімічні та біохімічні методи

Аналіз результатів досліджень, виконаних Вайсманом Л. І., Гончаруком В. В, Балакіною М. Н. [14, 15] та ін. показав, що ефективність очищення дренажних вод полігонів ТПВ підвищується при використанні коагуляції. Проте інтенсифікація процесу очищення з використанням коагулянтів не завжди може бути досягнута з технічних і економічних причин. У зв'язку з цим з'явилася необхідність розробки і впровадження ефективніших методів, що дозволяють інтенсифікувати процес очищення стічних вод полігонів ТПВ, підвищити продуктивність очисних споруд, знизити витрату коагулянту, поліпшити якість очищення стічних вод полігонів.

Стічні води полігонів ТПВ характеризуються переважно за інтегральними показниками - БПК і ХПК, які в десятки раз можуть перевищувати ці показники для звичайних стічних вод, а також по вмісту важких металів, амонійного азоту та інших речовин.

Високий солевміст фільтрату передбачає використання мембранних технологій для доочищення фільтраційних вод, бо застосування іонообмінних методів при таких високих концентраціях нерентабельно. У цьому випадку мембранна технологія може бути використана в якості альтернативи сорбційним методам [16]. Мембранні технології, засновані на використанні полімерних тонкошарових зворотньоосмотичних мембран – як у вигляді плоских аркушів, так і у вигляді рулонних елементів – що представляють собою альтернативу біологічному очищенню.

Мембранні елементи можуть бути наступних типів:

- плоскокамерні;
- трубчасті;
- рулонні;
- на основі порожніх волокон;
- дискові.

На даний момент в Україні ( м. Київ, полігон №5) експлуатується система зворотного осмосу PALL-ROCHEM продуктивністю 220 м<sup>3</sup>/доб, яка була запущена на полігоні ще в 1998 році, в 2008 році – модернізована та в 2013 реконструйована. В 2015-2017 роках фахівцями була проведена діагностика роботи установки, за результатами якої були розроблені рекомендації з її модернізації, була модернізована морально застаріла система автоматичного керування, замінені контрольно-вимірювальні прилади, електросилове встаткування, виконаний капітальний ремонт насосів. У цей час, після більш ніж 15 років експлуатації й дворічного простою, установка працює із проектною продуктивністю, очищений стік повністю відповідає існуючим вимогам і абсолютно безпечний з екологічної точки зору. В перспективі планується збільшити продуктивність установки до 600 м<sup>3</sup>/доб., та доукомплектація додатковим устаткуванням для знешкодження сконцентрованого фільтрату [17].

Використання даної системи дозволяє значно знизити показники БПК і ХПК, зміст хлоридів, аміаку. При фільтрації через мембрану потік розділяється на очищену воду (пермеат), і концентрат. Тиск на установках становить від 65 до 150 бар ( залежно від ступеня очищення). Отриманий пермеат відновлюється на біотопах і зливається в поверхневі водойми.

Конструктивною особливістю установки є модульна диск-трубчаста система (рис. 1), процес очищення відбувається в умовах відсутності фазових переходів при виділенні домішок.

Застосування звичайних рулонних зворотньоосмотичних мембранних елементів, що традиційно використовуються у водопідготовці, обмежене специфічним складом фільтрату – високим вмістом колоїдних речовин, органічних забруднень, інших домішок, що утворюють

нерозчинні відкладання на поверхні мембран. У світовій практиці для очищення фільтрату використовуються спеціальні мембранні модулі – з більш широкими каналами й особливою структурою спейсерами для більш інтенсивної турбулізації потоку оброблюваного фільтрату, що робить їх більш стійкими до забруднень. Установки з використанням таких мембран експлуатуються на десятках полігонів по усьому світу [18].

Апаратним оформленням такого процесу можуть виступати елементи мембранної технології у вигляді дискової трубки RO (DTRO), яка знайшла широке застосування для очищення фільтраційних вод полігонів ТПВ (рис. 1)

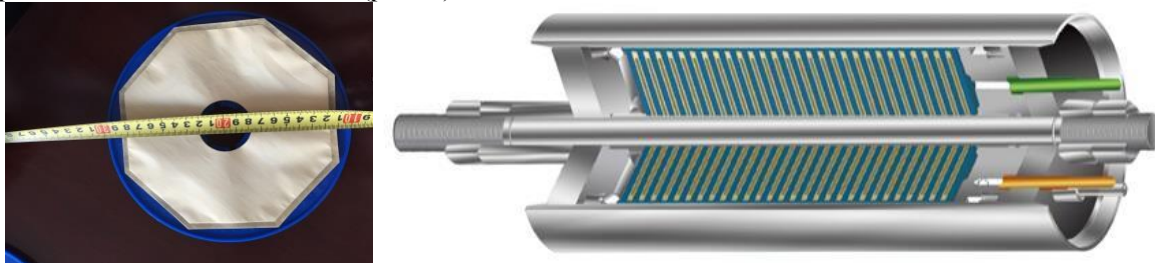


Рис. 1 – Дискова трубка RO (DTRO) мембранний модуль

Суттєвою перевагою мембранних технологій є можливість використання різних комбінацій елементів, що дозволяє ефективно вирішувати поставлене завдання: на мембранах відбувається концентрування фільтрату з одержанням очищеного стоку необхідної якості.

Але, як вже зазначалося для ефективної та тривалої роботи мембран фільтраційні води повинні пройти стадію предочищення, зокрема, слід урахувувати, що в стічних водах присутні компоненти, що викликають деструкцію мембран.

Для попередньої обробки найчастіше рекомендують застосовувати окислення, адсорбцію на активному вугіллі, а також реагентне коагулювання.

Ефективність окисних методів при підготовці невелика.

При дослідженні коагуляційних методів на прикладі фільтрату полігона №5 (Київська область) установили, що найбільш ефективним коагулянт є основний сульфат алюмінію, який дозволяє досягти 50%-ного ступеня зниження по ХПК і 80%-ного знебарвлення. Фільтрат після попередньої обробки основним сульфатом алюмінію та наступного очищенням баромембранним методом відповідав нормам до скиду.

Крім того для інтенсифікації процесу предочищення пропонується використовувати активований розчин коагулянту сульфату алюмінію. Для активації передбачається використовувати спеціальний пристрій. Яке передбачає одночасну й послідовну активацію розчину магнітним полем і насичення його анодно-розчинним залізом [19].

Згідно із проведеними дослідженнями таке технологічне рішення дозволяє збільшити ефективність предочистки до 30%.

Дослідження виконувались в лабораторних умовах, на дослідно-промисловій пілотній установці. У якості реагенту пропонується активований розчин сульфату алюмінію, який піддають магнітній обробці та електрокоагуляції. Регламентом дослідження передбачено почергове використання активованого та звичайного розчинів коагулянту.

Якісний склад дренажних вод наведений у таблиці 1.

Таблиця 1

Якісна характеристика дренажних вод полігона ТПВ

Період досліджень	Якісні показники									
	Сухий залишок, мг/дм <sup>3</sup>	БПК <sub>5</sub> , мгО/дм <sup>3</sup>	ХПК, мг/дм <sup>3</sup>	СПАР, мг/дм <sup>3</sup>	Зважені речовини, мг/дм <sup>3</sup>	рН	Азот, мг/дм <sup>3</sup>	Нітрати, мг/дм <sup>3</sup>	Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	
Осінній	21514,3	184,5	1006,5	0,62	255,4	7,6	57,7	108,4	1520,1	

На підставі досліджень була розроблена технологічна схема очистки, у якій активований розчин коагулянту вводиться на першому етапі обробки в якості предочищення.

До складу установки входять: змішувач, первинний відстійник, каркасно-засипні фільтри, мембранний модуль; пристрій для знезараження.

У процесі дослідження визначалися наступні показники очищених стічних вод: вміст завислих речовин, кольоровість, БПК<sub>5</sub>, ХПК. Одночасно в очищених стічних водах визначався залишковий вміст алюмінію для забезпечення подальшої безпеки протікання процесів очищення.

Дренажні води надходять у збірник для забезпечення рівномірної та безперебійної подачі фільтрату. Активатор реагентів, встановлений на обвідній лінії та використовується відповідно до регламенту дослідження. У змішувачі відбувається змішування розчину коагулянту (активованого або звичайного – згідно регламенту) зі стічними водами, далі самопливом по трубопроводу стічна вода направляється в первинний відстійник, де осідають утворені домішки, для більш ретельного затримання домішок воду пропускають крізь каркасно-засипний фільтр. Після механічного очищення та реагентної обробки, вода потрапляє на мембранні модулі.

Результати виконаних досліджень [19], представлені в таблиці 2. Аналізуючи данні таблиці можна зробити висновок, що використання активованого розчину коагулянту сульфату алюмінію дозволяє підвищити якість попередньої стадії очищення дренажних вод по вмісту завислих речовин і по кольоровості на 33% і 47% відповідно, за показниками ХПК і БПК<sub>5</sub> поліпшення в середньому на 25% і 30% відповідно.

Таблиця 2

**Дані експериментів, проведені на пілотній установці з використанням звичайного та активованого розчину коагулянту сульфату алюмінію**

Серія експериментів	Показники вихідної стічної вод				Параметри активації			Показники очищеної стічної води					Поліпшення показників очищених стічних вод, %			
	Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	Кольоровість, град.	ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Напруженість магнітного поля, кА/м	Зміст анодно-розчиненого заліза	Доза коагулянту сульфату алюмінію, мг/дм <sup>3</sup>	Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	Кольоровість, град.	ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Зміст залізу за ал алюмінію, мг/дм <sup>3</sup>	Зважені речовини, мг/дм <sup>3</sup>	Кольоровість, град.	ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>
I (звичайний розчин коагулянту)	255-267	150-165	994, 7-1006,5	172-184,5	325	12,5	210	58,6	118	524,5	68,3	0,35	-	-	-	-
IV(активована розчин коагулянту)	238-254,1	160-175	1029-1051,6	147-161,5	325	12,5	210	36,5	57	404,9	42,6	0,17	1,4	49,3	24,2	31,3

Залишковий вміст алюмінію, при використанні розчину коагулянту сульфату алюмінію, перебуває в межах 0,15–0,35 мг/дм<sup>3</sup>, і не має негативного впливу при подальшому очищенні.

Аналізуючи отримані данні можна зробити висновок, що якісні показники стічних вод покращились у середньому на 30–40%, збільшилася швидкість осадження скоагульованих домішок при обробці активованим розчином коагулянту. Після проходження фільтрату крізь мембранний модуль досягли показників, наведених в таблиці 3.

## Показники ефективності очищення фільтрату після мембранного модуля

Параметр	Фільтрат	Пермеат
pH	7,8	6,8
XПК, мгО <sub>2</sub> /л	994, 7-1006,5	<15
Амоній	320	9,8
Завислі речовини	255-267	<15
Важкі метали	0,25	<0,005

**Висновки.** В статті проаналізована ефективність різних підходів до очищення фільтрату полігонів ТПВ, визначені граничні умови їх застосування. В роботі запропоновано багатостадійну технологію очищення стічних вод з досягненням нормативів до скиду у водні об'єкти певної категорії. Зокрема, за рахунок ефективної стадії предочищення реагентної коагуляції та застосуванням мембранних модулів з різним розміром пор.

Також слід зазначити, що для зменшення обсягу накопичення фільтрату, а також спрощення схеми очистки фільтрату необхідно активно втілювати програми з роздільного збору сміття, щоб одержувати фільтрат у меншому обсязі, з більше стабільним якісним складом.

## Список використаних джерел:

1. Mersiowsky L. Long-term Behavior of PVC Products and fate of Phthalate Plasticizers under Landfill Conditions / L. Mersiowsky, Stegmann R. // VII International waste management and landfill symposium. Sardinia.– 1999. – Vol. I. P.193-199.
2. Щербина Г.П. Исследование фильтрационных стоков полигона ТПВ для установления возможности утилизации его с использованием фермента класса оксигеназ / Г.П. Щербина и др // Інформаційно-аналітичний збірник «Санітарна очистка міст та комунальний автотранспорт» – Вип. 4 К. 2002. – С. 51–56.
3. Canziani R. Landfill hydrology and leachate production/ Canziani R., Cossu R // Land filling: Process, Technology and Environmental Impact. London. 1994.
4. Степняк С.В. Методи очистки стоков зі сміттєзвалищ / Степняк С.В, Інформаційно-аналітичний збірник «Санітарна очистка міст та комунальний автотранспорт» – Вип. 4 К. 2002. – С.72-77.
5. Ceçen, F. Effect of PAC addition in combined treatment of landfill leachate and domestic wastewater in semi-continuously fed-batch and continuous-flow reactors / F.Ceçen, O. Aktas // Water SA – 2001.–27 (2).–P.177-188.
6. Safaa M. Raghav, Ahmed M/ AbdEiMeguid, Hala A. Hegazi// 2013 № 9, 187-192 p. Housing and building national Research Center.
7. Welander U. Nitrification of landfill Leachate Using Suspended-Carrier Biofilm Technology / Welander U., Henrysson T. // Water Research – 1997 – № 31(9) – P.2351-2355.
8. Sustaina bletreatmentofland fillleachate Mohamad Anuar Kamaruddin Mohd. Suffian Yusoff Hamidi Abdul Aziz Yung-Tse Hung Appl Water Sci (2015) 5:113–126 DOI 10.1007/s13201-014-0177.
9. Melike YahhKihe. Landfill leachate treatment by the composition of physicochemical methods with absorption process/ Melike Yahh Kihe, Kadur Kestioglu, Taner Yonar// Biol. Environmental Scientific.-2007, 1(1) – P.37-43.
10. Солодовник М.В. Граничные условия применения методов очистки дренажных вод полигонов твердых бытовых отходов / М.В. Солодовник // «Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво»: Міжвідомчий наук.-техн. зб.- Рівне: НУВГП, 2009. – Вип. № 34.–С.309-314.
11. M. Lema, R. Mendezand R. Blazquez, “Characteristics of Landfill Leachates and Alternatives for Their Treat-ment: A Review,”Water, Airand Soil Pollution, Vol. 40, No. 3-4, 1988, pp. 223-250.
12. <http://rada.today/prognozi-i-dumki/cikavo-znati/sortuvannya-smitty-a-zakon-i-realist>
13. [http://texty.org.ua/pg/news/textynewseditor/read/79093/Zakon\\_z\\_2018\\_roku\\_Ukraina\\_zobovjazalasa\\_sortuvaty](http://texty.org.ua/pg/news/textynewseditor/read/79093/Zakon_z_2018_roku_Ukraina_zobovjazalasa_sortuvaty);
14. Вайсман Я. И. Очистка фильтрационных вод на различных этапах жизненного цикла полигона захоронения твердых бытовых отходов / Я. И. Вайсман, И. С. Глушанкова, Л.В.Рудакова // Сб.научных трудов: Образование наука, Перм ГТУ.–2001.С. 3–6.
15. Гончарук В. В. Очистка дренажных вод свалок твердых бытовых отходов баромембранными методами / В. В. Гончарук, М. Н. Балакина и др. // Химия и технология воды, 2006. – Т. 28, № 5. – С. 462–471.
16. Ресурсосберегающие технологии очистки сточных вод: монография / С. С. Душкин, А. Н. Коваленко, М. В. Дегтярь, Т. А. Шевченко; Харьк. нац. акад. городского хоз-ва – Х. :ХНАГХ. – 2011. – 168 с.
17. <http://kpravda.com/na-poligone-5-zapustili-rekonstruirovannuyu-sistemu-pererabotki-filtrata/> Київська правда © [www.kpravda.com](http://www.kpravda.com);
18. Павел Стендер// [Очистка реконструкция WaterNet журнал Вода и Водоочистные Технологии водернетмембранные технологии модернизация фильтрат свалок ТБО полигон утилизация твердые бытовые отходы](#);
19. Патент України № 45190 «Спосіб очищення стічних вод полігонів твердих побутових відходів». Бюл.№20 від 26.10.2009.

Стаття надійшла до редакції 28.11.2018