УДК 628.3.03
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.31

ЗМЕНШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Сталінська І.В.
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
вул. Маршала Бажанова, 17, 61002, м. Харків
stalinskaairina5@gmail.com

Проаналізована проблема нагромадження та поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ) в Україні. Охарактеризовано найбільш поширений метод поводження з ТПВ – захоронення ТПВ, який здійснюється на інженерних спорудах – полігонах. Доведено, що утворення і експлуатація полігонів ТПВ породжує ряд проблем, зокрема утворення стічних вод або фільтрату. Оцінено негативний вплив фільтрату на довкілля та здоров'я людини. Виявлено, що високий вміст токсичних компонентів в фільтраті не дозволяє здійснювати його очищення на міських очисних спорудах. З'ясована неможливість скидання неочищеного фільтрату на рельєф або у водойми рибогосподарського призначення. Охарактеризовано закономірності відомих методів і схем очищення фільтрату. Запропоновані технологія і устаткування для очищення фільтрату ТПВ. Особливістю розробленої промислової технології очищення фільтрату є її базування на запропонованому в роботі концептуальному підході, який полягає у формуванні багатоступінчастого комплексного технологічного процесу, що об'єднує методи реагентної, електрохімічної і біохімічної обробки. Процес побудований з урахуванням стадій попереднього очищення і доочищення таким чином, щоб забезпечити на кожній стадії максимально можливий ступінь видалення забруднень достатньо простим і економічним способом, знизивши тим самим навантаження на більш складні та витратні процеси очищення на подальших стадіях. Установка забезпечує видалення (на стадії попереднього очищення) важких металів, максимально можливе зниження концентрації органічних забруднень і їх переведення у біодоступні сполуки, що видаляються біохімічним очищенням, а також доочищення, що передбачає знесолювання фільтрату. Розробки характеризуються ефективністю очищення при скороченні витрат сорбенту, технологічністю і можливістю реалізації в умовах діючих полігонів і нових полігонів, прийнятих в експлуатацію. *Ключові слова:* екологічна безпека; токсичні компоненти; реагентне, електрохімічне, біохімічне очищення фільтрату полігонів ТПВ; технологія; устаткування.

Reducing the environmental risk of solid waste landfills. Stalinska I.
Reduction of environmental risk of solid household waste landfills. Irina Stalinska. The problem of accumulation and management of solid household waste (SHW) in Ukraine is analyzed. The most common method of SHW is described – SHW disposal, which is carried out on engineering structures – landfills. It is proved that the formation and operation of landfills poses a number of problems, in particular the formation of wastewater or filtrate. The negative impact of the filtrate on the environment and human health has been assessed. It was found that the high content of toxic components in the filtrate does not allow its purification at urban treatment facilities. The impossibility of discharging the crude filtrate on the terrain or in fishery reservoirs has been clarified. The regularities of known methods and schemes of filtrate purification are described. The technology and equipment for purification of SHW filtrate are offered. A feature of the developed industrial technology of filtrate purification is its basis on the conceptual approach proposed in the work, which consists in the formation of a multistage complex technological process that combines methods of reagent, electrochemical and biochemical treatment. The process is designed taking into account the stages of pre-cleaning and post-treatment in such a way as to ensure at each stage the maximum possible degree of removal of contaminants in a simple and economical way, thus reducing the burden on more complex and costly cleaning processes in subsequent stages. The unit provides removal (at the stage of preliminary purification) of heavy metals, the maximum possible reduction of organic pollutants and their conversion into bioavailable compounds removed by biochemical purification, as well as additional purification, which involves desalting the filtrate. Developments are characterized by cleaning efficiency while reducing sorbent costs, manufacturability and feasibility in existing landfills and new landfills put into operation. *Key words:* ecological safety; toxic components; reagent, electrochemical, biochemical purification of SHW landfill filtrate; technology; equipment.

Загальновідома кризова ситуація, що склалася в Україні у сфері поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ). Насамперед, це пов'язано із збільшенням темпів зростання населення і матеріального виробництва, споживчої активності населення, нераціонального використання мінеральної сировини, обмеженого залучення вторинних ресурсів у матеріальне виробництво та відсутністю діючих організаційно–економічних механізмів стимулювання переробки відходів [1].

Варто зауважити, що складування ТПВ – найбільш поширений, в силу економічних причин, метод поводження з ТПВ, який здійснюється на так званих полігонах, створення і експлуатація яких, в свою чергу породжує ряд проблем, зокрема утворення стічних вод або фільтрату [2]. Слід зазначити, що детальний аналіз умов формування фільтрату, його складу та впливу на довкілля виконаний в роботі [3].

В процесі досліджень виявлено, що високий вміст токсичних компонентів в фільтраті не дозволяє здійснювати його очищення на міських очисних спорудах. Очевидна неможливість скидання неочищеного фільтрату на рельєф або у водойми рибогосподарського призначення. До того ж, враховуючи

інтенсивне зростання обсягів накопичення ТПВ, проблема поводження з фільтратом полігонів ТПВ є надзвичайно актуальним екологічним, науково-технічним і соціальним завданням сьогодення і потребує пошуку дієвих механізмів задля її вирішення.

Відповідно до методичних рекомендацій із збирання, утилізації та знешкодження фільтрату полігонів ТПВ запропоновано такі методи знешкодження та утилізації фільтрату: фізичні (відстоювання, випаровування), фізико-хімічні (адсорбція активованим вугіллям або іншим сорбентом, іонний обмін, мембранна технологія, коагуляція і флокуляція $Ca(OH)_2$, $Fe_2(SO_4)_3$ і $Al_2(S0_4)_3$), хімічні (оброблення активним хлором, окислювання пероксидом водню, озонування, фотохімічне оброблення), біохімічні (аеробне та анаеробне біологічне оброблення) [4].

Аналіз відомих методів і схем очищення фільтрату дозволив зробити висновок про те, що технології будуються, як правило, на основі поєднання традиційних методів в послідовності, яка визначається заданим ступенем очищення. Запропоновані комбінації різних відомих прийомів і методів очищення фільтрату часто неефективні та не забезпечують якісного очищення від шкідливих хімічних сполук. Про це свідчить, зокрема, відсутність відомостей про повномасштабне промислове використання їх в Україні [2].

Звідси – актуальність завдання розробки технології та обладнання, що володіють, поряд з ефективністю і технологічністю, можливістю бути реалізованими в умовах діючих полігонів і нових полігонів, прийнятих в експлуатацію.

На підставі виконаних досліджень [1–8], що включали детальний аналіз відомих рішень, нами запропоновані технологія і устаткування для очищення фільтрату полігонів ТПВ.

Запропонована технологічна схема очищення фільтрату включає попереднє очищення, біологічне очищення і доочищення. На стадії попереднього очищення відбувається підготовка води до біологічного очищення, а на стадії доочищення – зниження мінералізації фільтрату.

Запропонована технологія базується на найбільш ефективному використання біологічного очищення і сорбційних методів.

Оцінка відомих технічних рішень дозволила зробити висновок про те, що основним недоліком більшості схем є неповне використання можливостей такого ефективного методу, як біологічне очищення. Стадія біологічного очищення або відсутня, або здійснюється в кінці технологічного ланцюга, тобто після сорбційного очищення, що призводить до перевитрати дорогих сорбентів. На відміну від відомих, нашою технологією передбачена установка споруд біологічного очищення перед сорбційними фільтрами, що призводить до більш економного витрачання дорогих сорбентів і робить процес очищення ефективнішим.

Опис технології очищення фільтрату полігонів ТПВ. Розроблене рішення запатентоване [9–11] й описане у роботах [2, 5, 6, 8].

Фільтрат подається на попереднє очищення 1 (рис. 1), після якого відбувається його знезараження ультразвуком 2. Знезараження за допомогою ультразвуку забезпечує зменшення кількості бактерій, запобігаючи гниттю фільтрату в акумулюючих резервуарах, що, в цілому, сприяє підвищенню ефективності очищення.

Після попереднього очищення і знезараження фільтрат подається по черзі в три акумулюючі резервуари 3, 4, 5 (рис. 2). Кожен цикл розділений на підцикли, що включають рівні за часом операції наповнення резервуара тривалістю t1, відстоювання – t2 і відведення води з резервуара – t3. Для забезпечення безперервної подачі, відстоювання і відведення фільтрату цикл здійснюється таким чином: кожний підцикл відстає

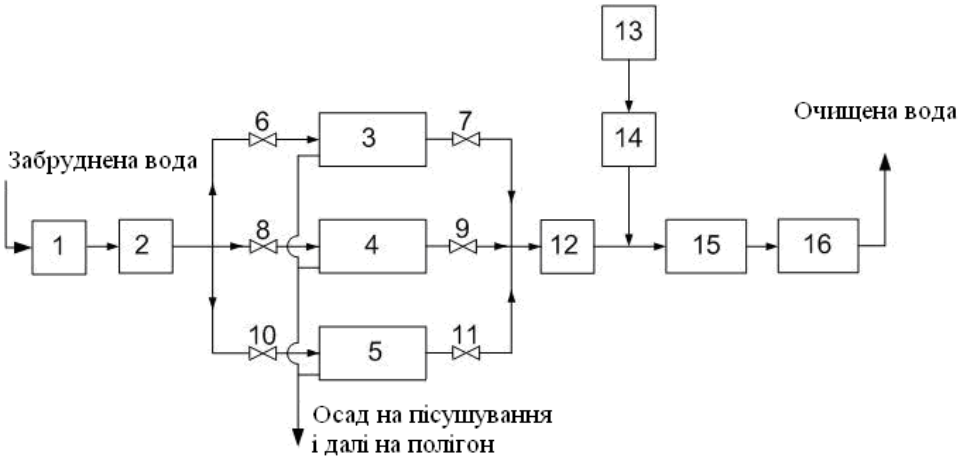

Рис. 1. Принципова схема блоку акумулюючих резервуарів: 1 – попереднє очищення; 2 – знезараження ультразвуком; 3,4 і 5 – акумулюючі резервуари; 6 і 7, 8 і 9, 10 і 11 – засувки резервуарів; 12 – група насосів; 13 – біогенні добавки; 14 – дозатори; 15 – біологічне очищення; 16 – сорбційні фільтри

на одну операцію від попереднього підциклу і випереджає на одну операцію наступний підцикл, що забезпечується рівністю операцій підциклу (t_1=t_2=t_3). При цьому, під час відстоювання в кожному з резервуарів тривалістю t4 відбувається відбір проб води з метою проведення її якісного і кількісного аналізу для підготовки до відведення води з резервуара на біологічне очищення ($t_1 = t_2 = t_3 > t_4$).

Далі фільтрат відводиться на блок біологічного очищення 15 з використанням насосів 12 (рис. 1). При необхідності на основі даних аналізу з баків 13 за допомогою дозаторів 14 в стічні води вводяться біогенні добавки, доза яких визначається за формулою:

$$Д_б = C_{min.i} - C_i, \quad (1)$$

де $C_{min.i}$ – мінімальна концентрація *i*-ї біогенної речовини, яка повинна міститися у фільтраті, що надходять на біологічне очищення, мг/дм^3; C_i – вміст *i*-ї біогенної речовини після попереднього очищення, мг/дм^3.

Запропонований технологічний прийом забезпечує безперервність, сталість об'єму і складу фільтрату, який подається на біологічне очищення. Передбачене технічним рішенням знезараження фільтрату ультразвуком запобігає його загниванню в акумулюючих резервуарах. Введення в фільтрат, у разі необхідності, біогенних добавок забезпечує підтримання на заданому рівні концентрації азоту і фосфору при здійсненні біологічного очищення (рис. 1), після якого здійснюється доочищення за допомогою сорбційних фільтрів 16.

Опис установки для очищення фільтрату полігонів ТПВ. Принципова схема розробленої установки очищення фільтрату полігонів ТПВ приведена на рис. 3.

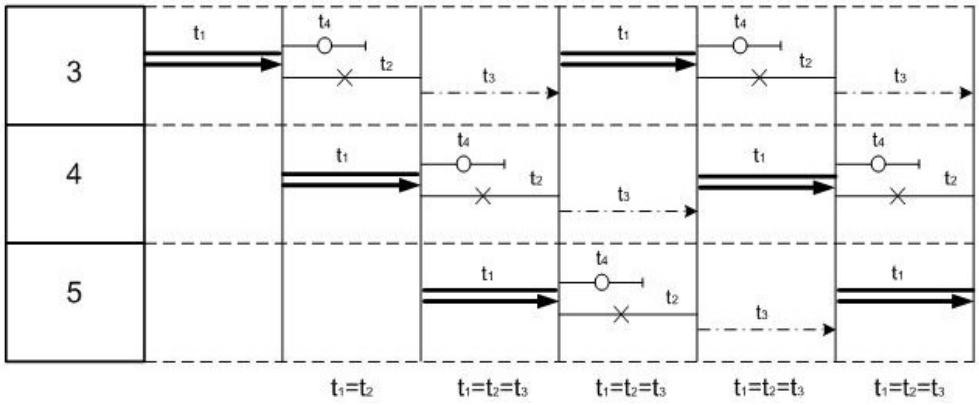

Рис. 2. Схема заповнення, відстоювання і спорожнення резервуарів: 3, 4 і 5 – акумулюючі резервуари; t_1 – час наповнення резервуару; t_2 – час відстоювання води в резервуарі; t_3 – час відведення води з резервуара; t_4 – час, необхідний для відбирання проб води, їх аналізу та підготовки до відведення води з резервуару

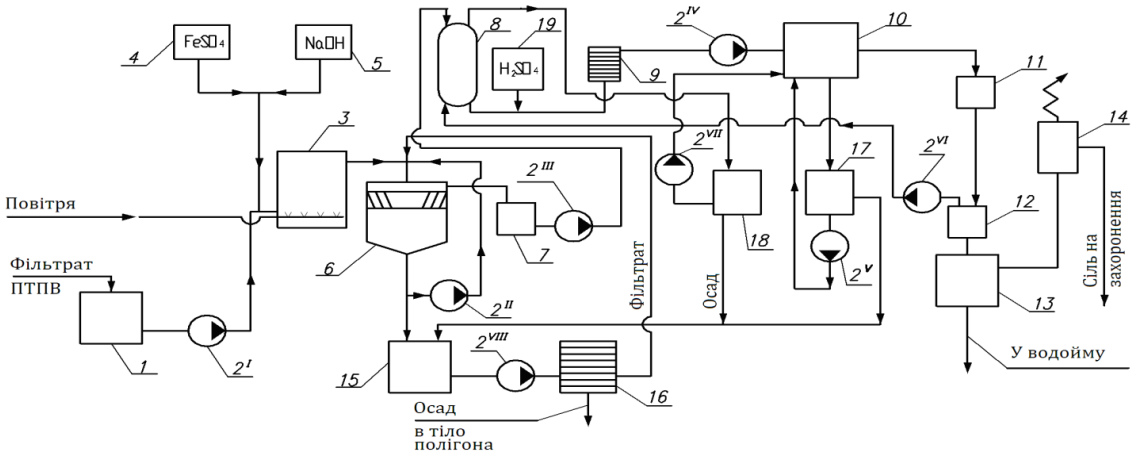

Рис. 3. Принципова схема установки для очищення фільтрату: 1 – приймальна камера фільтрату; 2 – насоси; 3 – змішувач; 4 – бак для розчину $FeSO_4$; 5 – бак для розчину NaOH; 6 – тонкошаровий відстійник; 7 – приймальна камера; 8 – фільтр; 9 – електролізер; 10 – блок біологічного очищення з біомембранним реактором; 11 – установка УФ знезараження; 12 – приймальний резервуар; 13 – установка зворотного осмосу; 14 – випарна установка; 15 – бак для осаду; 16 – фільтр – прес; 17 – резервуар для промивної води; 18 – резервуар для зворотної промивної води; 19 – вузол коригування pH

Відповідно до запропонованої концепції побудови раціональної технології очищення фільтрату полігонів ТПВ, установкою здійснюється попереднє очищення фільтрату, біохімічне очищення та доочищення фільтрату перед його скиданням у водойми рибогосподарського призначення.

Установка працює таким чином. Фільтрат потрапляє в апарат 1 коригування pH (рис. 3), де відбувається доведення pH = 9 – 10, далі подається в камеру 2, де проводиться часткова віддувка аміаку. З камери 2 фільтрат надходить на попереднє очищення в вихровий реактор-змішувач 3, далі на барабанний вакуум-фільтр 4 і в первинний відстійник 5.

Оскільки в фільтрі 4 використовується відпрацьований сорбент після фільтра 14, призначення фільтра 4 зводиться, в основному, до очищення фільтрату від механічних домішок. Крім того, в окремих випадках в вихровий реактор-змішувач 3 може додаватися коагулянт ($AL_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$ і т.д.). У вихровому реакторі-змішувачі 3 відбувається змішування фільтрату з суспензією сорбенту, і отримана суміш прямує в барабанний вакуум-фільтр 4. При доведенні pH до 9–10 важкі метали переходять в нерозчинні гідроксиди та разом з сорбентом затримуються фільтром 4. У вакуум-фільтрі разом з сорбентом затримуються також нафтопродукти, наявність яких ускладнює біологічне очищення фільтрату.

Після барабанного вакуум-фільтра 4 фільтрат подається в апарат 9 коригування pH для доведення його до 8–8,5, після чого він надходить на біологічне очищення в біосорбер 10 з відстійником 11. Осад з тонкошарового відстійника 11 направляється на майданчик для підсушування і потім направляється на поховання на полігон ТПВ.

Після біологічного очищення фільтрат з відстійника направляється на електролітичне очищення в електролізер 12, де відбувається його знезараження.

Під час електролітичної обробки в електролізері утворюється вільний хлор і та обставина, що блок біологічного очищення встановлений перед блоком електролітичної обробки, дозволяє виключити негативний вплив вільного хлору на процеси біологічного очищення та забезпечити таким чином підвищення ступеня біологічного очищення фільтрату.

Після електролітичної обробки з електролізера 12 фільтрат прямує на фільтрування в вихровий реактор-змішувач 13 і барабанний вакуум-фільтр 14.

Осад, що знімається з барабанного вакуум-фільтра 14, потрапляє в бункер 15 і транспортерами 16 і 17 направляється в механічну мішалку 18, в яку для утворення суспензії сорбенту подається вода після електролізера 12 і свіжий сорбент. З мішалки 18 частина суспензії сорбенту подається в вихровий реактор-змішувач 13 блоку фільтрування, а частина – в вихровий реактор-змішувач 3 блоку попереднього очищення. Цим забезпечується повторне використання на стадії попереднього очищення відпрацьованого сорбенту, який вже не може бути використаний на заключній стадії очищення.

Після фільтрування вода прямує на скидання (у водойму, в господарсько-побутову каналізацію або на поля зрошення).

Дана установка розроблена для тих випадків, коли БПК (біохімічна потреба в кисні) фільтрату становить значну (50% і більше) частину ХПК (хімічної потреби в кисні).

У тих випадках, коли БПК складає незначну частину ХПК необхідна попередня деструкція органічних сполук, які не можуть бути видалені в процесі біохімічного окислення.

В даному випадку також може бути використана схема установки, представлена на рис. 3, з додатковою установкою перед апаратом 1 коригування pH сітчастих фільтрів грубої очистки і електролізера.

Забруднені води ТПВ після попередньої грубої очистки на сітках надходять в електролізер з нерозчинними анодами, де відбувається деструкція складних органічних речовин як за рахунок відновлення атомарним воднем, так і за рахунок окислення атомарним киснем в прианодному шарі і хімічного окислення активним хлором і киснем в об'ємі фільтрату.

Перед подачею на споруди біологічного очищення, крім зниження pH до 6,5-8,5, необхідно також видалити з води залишковий хлор. Це здійснюється додаванням у воду натрію сульфіту в кількості 3 мг на 1 мг хлору.

Далі очищення води протікає так само, як і в попередньому випадку.

Особливістю запропонованої установки для очищення фільтрату є повторне використання сорбенту, який після часткової втрати сорбційної здатності і неможливості використання його на стадії доочищення, передається на стадію попереднього очищення, де вимоги до якості очищеної води не такі високі, як на виході з установки, і застосування навіть частково відпрацьованого сорбенту виявляється можливим, тобто сорбційна здатність сорбенту використовується повністю.

Розробки характеризуються ефективністю очищення при скороченні витрати сорбенту, технологічністю і можливістю реалізації в умовах діючих і нових полігонів, прийнятих в експлуатацію.

Базуючись на сформульованому концептуальному підході, розроблена технологія очищення фільтрату є багатоступінчастим комплексним процесом, що об'єднує методи реагентної, електрохімічної і біохімічної обробки. Розроблена установка очищення фільтрату реалізує запропоновану в роботі технологію і забезпечує видалення важких металів на стадії попереднього очищення, максимальне зниження концентрації органічних забруднень і їх переведення у біодоступні сполуки, що видаляються біохімічним очищенням, а також доочищенням, що передбачає знесолення фільтрату. Розроблений комплекс технологічних процесів і обладнання

є взаємодоповнюючими у вирішенні важливого та актуального науково-технічного завдання мінімізації екологічно небезпечного впливу на довкілля місць накопичення ТПВ.

Література

1. Сталінська І. В. Особливості екологічної безпеки в системі «тверді побутові відходи − навколишнє середовище − здоров'я людини». *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. Львів, 2016. Випуск 26.7, С. 238–245.
2. Д. В. Сталинский, С. И. Эпштейн, З. С. Музыкина, Н. В. Яцков, И. В. Варнавская. Комплексный подход к очистке сточных вод полигонов твердых бытовых отходов: технология и оборудование. *Экология и промышленность*. 2008. № 3. С. 32–36.
3. Варнавская И. В. Анализ условий образования и состава сточных вод полигонов твердых бытовых отходов. *Экология и промышленность*. 2008. № 1. С. 39–43.
4. Методичні рекомендації із збирання, утилізації та знешкодження фільтрату полігонів побутових відходів. Офіц. вид. К. : М-во регіонального розвитку, будівництва та житво-комунального господарства України, 2013.
5. Варнавська І. В. Електролітична деструкція органічних речовин стічних вод полігонів твердих побутових відходів. *Вісник НУВГП*: зб. наук. пр. Рівне, 2009. Вип. 3(47). Ч. 2. С. 157–162.
6. Варнавская И. В. Новые технологии очистки сточных вод полигонов твердых бытовых отходов. *Экология и промышленность*. 2009. № 3. С. 29–37.
7. Варнавська І. В. Аналіз методів очищення фільтрату полігонів твердих побутових відходів. *Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво*. Рівне, 2009. Вип. 34. С. 279–287.
8. Варнавская И. В. Установка для очистки сточных вод полигонов твердых бытовых отходов. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: зб. наук. ст. IV Міжнар. наук.-практ. конф., м. Алушта, АР Крим / УкрНДІЕП. Х. : Райдер, 2008. Т. 1. С. 289–292.
9. Пат. 86894 Україна, МПК[8] C02F9/00. Спосіб очищення стічних вод полігонів твердих побутових відходів / Сталінський Д. В., Яцков М. В., Варнавська І. В., Епштейн С. Й., Музикіна З. С., заявники та володільці патенту ДП «УкрНТЦ «Енергосталь», НУВГП. № a 2007 12844; заявл. 20.11.07; опубл. 25.05.09, Бюл. № 10. 6 с.
10. Пат. 94629 Україна, МПК[8] C02F1/46. Спосіб електролітичного очищення стічних вод від органічних речовин / Д. В. Сталінський, І. В. Варнавська, С. Й. Епштейн, З. С. Музикіна, М. В. Яцков; заявник та володілець патенту ДП «УкрНТЦ «Енергосталь». № u 2009 05274; заявл. 27.05.09; опубл. 25.05.11, Бюл. № 10. 6 с.
11. Пат. 87537 Україна, МПК[8] C02F1/20. Установка для очищення стічних вод полігонів твердих побутових відходів / Д.В. Сталінський, С.Й. Епштейн, З.С. Музикіна, І.В. Варнавська; заявники та володільці патенту ДП «УкрДНТЦ «Енергосталь», НУВГП. № a 2007 05959; заявл. 29.05.07; опубл. 27.07.09, Бюл. № 14. 5 с.