

**УДК 67.08:347.218.1**

Кашковский В.И., Горбенко В. Н., Синяков Ю.Б., Вальчук Д.Г. (Украина, Киев)

**КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ФИЛЬТРАТА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ**

Существенный вклад в неблагоприятную экологическую ситуацию вносят городские свалки твердых бытовых отходов (ТБО), отравляя своим существованием почву и воздух, поверхностные и подземные воды, убивая флору и фауну, являясь источником тяжелых инфекционных заболеваний [1,2]. Особую опасность представляют жидкие продукты гниения органической составляющей бытового мусора, обогащенные тяжелыми металлами, минеральными солями, красителями, поверхностно-активными веществами, нефтепродуктами, так называемый фильтрат, который может являться источником загрязнения окружающей среды в течение многих лет даже в условиях современных инженерных решений по обустройству свалок [3,4].

На сегодняшний день универсальной эффективной технологии очистки и утилизации фильтрата не существует. Одна из причин – непостоянство его состава, который определяется морфологическим составом ТБО, временем нахождения в теле свалки, а также степенью разбавления атмосферными осадками. В то же время именно состав фильтрата определяет схему очистки – физико-химическую, физическую, биологическую очистку или их комбинацию. Не детализируя достоинства и недостатки каждой из схем, отметим только наиболее знаковые проблемы. Биологические методы ограничены предельно допустимыми концентрациями (ПДК) загрязнений, содержание которых в реальных условиях зачастую превышает величины ПДК. Физические методы, как правило, носят элементы экзотичности и требуют достаточно высоких эксплуатационных затрат, а физико-химические – во многих случаях сопровождаются значительными расходами химических реагентов. Обратим, вместе с тем, внимание на объединяющую отмеченные подходы стадию – стадию образования концентрированного остатка, которая, в свою очередь, требует эффективного решения, отсутствующего на данное время. Таким образом очистка фильтрата свалок ТБО остается чрезвычайно острой и актуальной проблемой.

Предлагаемая нами технология разработана для очистки фильтрационных вод полигона ТБО № 5 г. Киева и может быть адаптирована на другие подобные объекты. Суть технологического решения сводится к предварительной глубокой окислительно-реагентной (каталитической) очистке фильтрата с последующей доочисткой мембранными методами и после биопруда сбросом очищенной воды в окружающую среду. Использование только реагентной очистки обеспечивает высокую степень очистки, однако такой подход является многостадийным и требует применения комбинации различных реагентов.

В качестве примера рассмотрим эффективность реагентной очистки одного из наиболее тяжелых образцов фильтрата (таблица 1).

Видно, что реагентная очистка обеспечивает перевод в осадок подавляющего количества исходных загрязнений. В данном случае это достигается за счет удачного выбора не только специальных реагентов, но и последовательности их использования в процессе очистки. В общем случае оптимальная схема выглядит следующим образом: фильтрат  $\Rightarrow$  раствор известкового молока необходимой концентрации по СаО  $\Rightarrow$  коагулянт-флокулянт “Сизол-2500”  $\Rightarrow$  раствор известкового молока той же концентрации  $\Rightarrow$  зола ТЭС  $\Rightarrow$  коагулянт-флокулянт “Сизол-2500”. Существенным дополнением к приведенной схеме является скорость и время перемешивания на каждой из стадий. Найденный порядок введения реагентов, а также оптимизация очистки фильтрата, позволяют получать осадок, находящийся практически в фиксированном состоянии. После его отделения от очищенного фильтрата и выдерживания в течение 24 часов при температуре  $20 \pm 10$  °С наблюдается дальнейшее уплотнение образованной смеси. Традиционно за поведением полученного материала наблюдали за электропроводностью элюатов, полученных после нахождения под слоем воды (250 мл) 24, 48 и 72 часа только что полученного и отфильтрованного осадка и осадка, выдержанного предварительно в эксикаторе 24 и 240 часов при температуре  $20 \pm 10$  °С (таблица 2).

Исходя из приведенных результатов можно рекомендовать найденный подход к реагентной очистке как такой, который позволяет фиксировать в процессе очистки осадок. Этот вывод представляет практический интерес, поскольку при таком варианте существенно упрощаются стадии отделения такого осадка от жидкой фазы и его утилизации.

Таблица 1

**Эффективность реагентной очистки фильтрата полигона ТБО № 5**

| № п/п | Наименование показателей               | Исходный фильтрат | Фильтрат после очистки | Степень очистки | ПДК сточных вод |
|-------|--|-------------------|------------------------|-----------------|-----------------|
| 1     | ХПК, мгО <sub>2</sub> /л               | 22500.0           | 675-157.5*             | 97-99.3         | 30.0            |
| 2     | БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /л | 3500.0            | 175-14                 | 95-99.6         |                 |
| 3     | Сухой остаток, мг/л                    | 28150.0           | 3941-1492              | 86-94.7**       | 1000.0          |
| 4     | Цинк, мг/л                             | 12.4              | -                      | 100             | 1.0             |
| 5     | Медь, мг/л                             | 15                | 1.05-0.45              | 93-97           | 1.0             |
| 6     | Железо общее, мг/л                     | 118               | 0.118-0                | 99.9-100        | 0.3             |
| 7     | Хром общий, мг/л                       | 0.6               | 0.01-0                 | 99.9-100        | 0.05            |
| 8     | Хлориды, мг/л                          | 6500.0            | 325                    | 95              | 240             |
| 9     | Нитриты, мг/л                          | 4.3               | 0.04-0.02              | 99.-99.5        | 3.3             |
| 10    | Азот аммиачный                         | 3000.0            | 30-0                   | 99-100          | 2.0             |
| 11    | Нитраты, мг/л                          | 2.6               | 1.8-1.2                | 32-54           | 45.0            |
| 12    | Нефтепродукты, мг/л                    | 14.6              | 0.22-0.09              | 98.5-99.4       | 0.1             |
| 13    | Сульфаты, мг/л                         | 2650.0            | 106-53                 | 96-98           | 500.0           |

*Примечание.* В процессе очистки использовали комбинацию различных реагентов: хлорная известь, хлорид железа (III), “Сизол-2500”; хлорная известь (или известковое молоко), сульфат алюминия, “Сизол-2500”.

\*Приведен интервал достигнутых в процессе очистки показателей.

\*\*Величина сухого остатка получена после инфильтрации очищенного реагентным способом фильтрата через глиняно-песочный фильтр и систему ионообменников.

С целью оптимизации процесса реагентной обработки фильтрата нами отработан вариант, который предусматривает введение коагулянта или на первой стадии очистки, а затем после перемешивания и появления осадка добавление окислителя, например, перекиси водорода, или коагулянт и окислитель подают вместе. В результате выбрано несколько вариантов (таблицы 3-5).

Таблица 2

**Водорастворимость осадков, полученных при реагентной очистке фильтрата**

| Образцы  | Электропроводность, мкСм/см |         |          |          |
|--|-----------------------------|---------|----------|----------|
|  |                             | 24 часа | 48 часов | 72 часов |
| Исходный фильтрат  | 19100                       |         |          |          |
| Исходная вода, под слоем которой находятся образцы             | 460                         |         |          |          |
| Свежий осадок после фильтрования                               | 2630                        | 2660    | 2740     | 2850     |
| Осадок, выдержанный при температуре окружающей среды 24 часа   | 1340                        | 1350    | 1350     | 1350     |
| Осадок, выдержанный при температуре окружающей среды 240 часов | 625                         | 622     | 625      | 620      |

Таблиця 3

**Окислительно-реагентная очистка (1)**

| Параметры                 | Исходный<br>фильтрат | Очищенный фильтрат       |                         | Ориентировочная<br>стоимость реагентов, \$/м <sup>3</sup><br>фильтрата |
|---------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|--|
|                           |                      | Хлорид<br>железа (II), % | Перекись<br>водорода, % |  |
|                           |                      | 0,4                      | 2                       |  |
| ХПК, мг О <sub>2</sub> /л | 15 456               | 1760                     |                         | ~33  |
| Сухой остаток, мг/л       | 8716                 | 540                      |                         |  |
| ХПК, мг О <sub>2</sub> /л |                      | 960 (Сизол-2500, 1%)     |                         | ~37  |
| ХПК, мг О <sub>2</sub> /л |                      | 912 (Сизол-2500, 1%)     |                         | ~43  |

Видно, что в этом случае достигается глубокая степень очистки исходного фильтрата, причем важным обстоятельством является то, что строгое выдерживание соотношения реагентов, порядка их введения в зону очистки, условий перемешивания, приводит к величинам сухого остатка в очищенном фильтрате ниже существующих нормативных показателей 1000 мг/л. Это чрезвычайно интересный результат, свидетельствующий о принципиальной возможности очистки стоков не только от взвешенных и коллоидных частиц, но и от растворимых неорганических солей.

Для минимизации затратных показателей на реагентную очистку (1) проработаны различные схемы с изменением природы как коагулянта, так и окислителя (таблицы 4 и 5).

Таблиця 4

**Окислительно-реагентная очистка (2)**

| Опыт                           | Время*<br>аэрирования,<br>час | ХПК, мг О <sub>2</sub> /л | Хлорид железа (II), % | Ориентировочная<br>стоимость реагентов,<br>\$/м <sup>3</sup> фильтрата |
|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------|--|
| 1                              | 2                             | 1120                      | 0,4                   | ~33  |
|                                | 6                             | 680                       |                       |  |
|                                | 7,5                           | 592                       |                       |  |
| <b>Сухой остаток 7250 мг/л</b> |                               |                           |                       |  |

\* - окислитель кислород воздуха

Интересно, что изменение природы окислителя при том же катализаторе существенным образом изменяет характер протекания процесса очистки. При прочих равных условиях его проведения выбранная система окислительно-реагентной очистки (2) хорошо очищает фильтрат от органических загрязнений, однако величина сухого остатка изменяется при этом незначительно. На этом же уровне остается сухой остаток и в варианте окислительно-реагентной очистки (3) при хорошей степени очистки фильтрата от органических загрязнений. Однако последний вариант можно рассматривать как оптимальный, о чем свидетельствуют значительно более низкие затраты на используемые реагенты. При продолжительности аэрации в течение 12,5 величина ХПК достигает значения 640 мг/л, однако, если получаемый осадок отводить из зоны реакции используя для его уплотнения коагулянт-флокулянт «Сизол-2500», то время аэрации можно существенно уменьшить (до 5-6 часов) с достижением величины ХПК на уровне 600 мг О<sub>2</sub>/л при незначительном повышении стоимостных характеристик (в среднем на 0,3-0,6 \$).

**Окислительно-реагентная очистка (3)**

| Сульфат железа (III), %  |                           |                         |                           |                         |                           |                         |                           | Без катализатора, %     |                           |
|--|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 0,05   |                           | 0,1                     |                           | 0,15                    |                           | 0,2                     |                           |                         |                           |
| Время аэрирования, час   | ХПК, мг О <sub>2</sub> /л | Время, аэрирования, час | ХПК, мг О <sub>2</sub> /л | Время, аэрирования, час | ХПК, мг О <sub>2</sub> /л | Время, аэрирования, час | ХПК, мг О <sub>2</sub> /л | Время, аэрирования, час | ХПК, мг О <sub>2</sub> /л |
| 2  | 1400                      | 2                       | 1300                      | 2                       | 1260                      | 2                       | 1200                      | 2                       | 5700                      |
| 4  | 1200                      | 4                       | 990                       | 4                       | 860                       | 6                       | 736                       | 6                       | 2800                      |
|  |                           |                         |                           |                         |                           | 12,5                    | 640                       |                         |                           |
| Сухой остаток 7250 мг/л  |                           |                         |                           |                         |                           |                         |                           |                         |                           |
| Ориентировочная стоимость реагентов, \$/м <sup>3</sup> фильтрата |                           |                         |                           |                         |                           |                         |                           |                         |                           |
| 1,0  |                           | 1,5                     |                           | 2,0                     |                           | 2,5                     |                           |                         |                           |

В дальнейшем для доочистки фильтрата целесообразно использовать мембранные технологии, причем, как показано специальными исследованиями, исходное значение ХПК перед мембранной очисткой можно держать на уровне 1000-1400 мг О<sub>2</sub>/л. Действительно, результаты, полученные в лабораторных условиях при мембранной доочистке предварительно подготовленного фильтрата, свидетельствуют о возможности его сброса в окружающую среду (таблица 6).

Таблица 6

**Результаты мембранной доочистки фильтрата**

| Показатель                | После реагентно-окислительной очистки | После мембранной доочистки |
|---------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| ХПК, мг О <sub>2</sub> /л | 970                                   | 14                         |
| Сухой остаток             | 7250                                  | 650                        |

Для утилизации концентрированных остатков, полученных после стадий реагентной предочистки и мембранной доочистки, разработано несколько решений: их смешение с наполнителем с получением твердого, практически водонерастворимого материала, который можно использовать для изготовления строительных изделий, для дорожного строительства, для планирования территории; высушивание на установленном на полигоне № 5 оборудовании фирмы «VOMM» до 30-40 % влажности и захоронение полученного материала на теле свалки; смешение с наполнителем и использование полученного материала в качестве изолирующего слоя на теле свалки.

Полученные результаты легли в основу технологической схемы, разработанной с учетом специфики полигона ТБО № 5 и его инфраструктуры. Разработано ТЭО комбинированного процесса обезвреживания фильтрата, которое свидетельствует о значительно меньших капитальных и эксплуатационных затратах при реализации такого процесса по сравнению с существующими технологиями. Кроме того, в этом случае решается важнейшая экологическая проблема, связанная с полным циклом утилизации накопленных на полигоне огромных количеств высокотоксичных стоков (500-700 тыс. м<sup>3</sup>).

Таким образом, разработанная технология позволяет не только очистить проблемный сток до норм сброса очищенной воды в окружающую среду, но и решает вопрос утилизации полученного в процессе очистки высококонцентрированного остатка.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Water and element balances of municipal solid waste landfills / Vaccini P., Henseler G., Figi R., Belevi H. // Waste Management and Research. 1987. V. 5. № 4. P. 483-499.
2. О проблеме очистки фильтрата полигонов для захоронения твердых бытовых отходов / А.Ю. Бекетов, Б.А. Бекренев, И.В. Викторовский и др. // Экологическая химия. – 1988. – Т. 7, № 4. – С. 217-228.
3. Кашковський В.І., Кухар В.П. Способи знешкодження високотоксичних стоків звалищ твердих побутових відходів // Наука та інновації.. – 2005. - Т. 1, № 6. - С. 107-116.

4. Кашковский В.И., Войновский В.В. Сточные воды свалок твердых бытовых отходов: проблемы и решения / III Международная конференция «Сотрудничество для решения проблемы отходов». Харьков, 7-8 февраля 2006 г. - С. 151-153.
5. Кашковський В.І., Войновський В.В., Зубенко О.В. Спосіб одержання коагулянту. Патент України № 80425. Опубл. 25.08.07 р. Бюл. № 15.