

## Теоретические аспекты водного баланса полигонов захоронения твёрдых бытовых отходов с системой рециркуляции фильтрата

© 2013. Т. В. Воронкова<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, С. Ю. Чудинов<sup>2</sup>, директор,

<sup>1</sup>Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
<sup>2</sup>ООО «Буматика»,  
e-mail: tatiana.voronckova@yandex.ru

Статья посвящена проблеме образования фильтрационных вод, образующихся при эксплуатации полигонов захоронения твёрдых бытовых отходов. Технология рециркуляции фильтрата рассмотрена как один из механизмов управления эмиссиями загрязняющих веществ и воздействия на продолжительность жизненного цикла полигона.

This paper deals with leachate recirculation caused by landfill of solid domestic waste. Recirculation is defined as one of the mechanisms helping to control emissions. In addition, recirculation is viewed as an instrument that affects the duration of landfill life cycle.

Ключевые слова: полигон захоронения твёрдых бытовых отходов, фильтрат, рециркуляция

Keywords: landfill, leachate, recirculation

В настоящее время полигоны захоронения твёрдых бытовых отходов (ТБО) являются одной из ключевых частей системы их удаления с территории населённых мест.

Существующие нормы и правила, связанные с утилизацией отходов путём захоронения на полигонах и с мерами по охране окружающей среды, предполагают минимизацию эмиссии загрязняющих веществ до нормативного уровня и уменьшение времени воздействия полигона на объекты окружающей среды. В данном аспекте наибольшее внимание должно уделяться как техническим решениям по захоронению отходов, так и приёмам интенсификации процессов их разложения.

Надёжность технических решений по инженерной инфраструктуре современных полигонов существенно изменилась за последние годы, что связано с развитием экономики, ужесточением требований нормативных документов в области проектирования, строительства и эксплуатации полигонов ТБО, а также изменениями в социальной сфере. Конструкция новых полигонов направлена на снижение негативного влияния на объекты окружающей среды. Вместе с тем до последнего времени остаётся недостаточно проработанным вопрос по управлению водным балансом полигона. Проблема образования фильтрата сопровождает полигон с начала его эксплуатации и в течение многих десятилетий после его закрытия.

Анализ нормативно-методических документов и собственный опыт проектирования и эксплуатации полигонов ТБО позволил сформулировать основные элементы системы управления образованием фильтрата.

*Управление количеством поступающих отходов.* Первым шагом в стратегии контроля образования фильтрата должна быть минимизация поступающих на захоронение отходов, что может быть достигнуто путём развития технологий выделения и переработки вторичного сырья, биологической и термической утилизации не утилизируемой фракции.

*Контроль за поступлением воды на участки захоронения.* Стратегия управления количеством поступающей при захоронении отходов жидкости напрямую связана с качеством отходов. При захоронении биоразлагаемых отходов необходимо достаточное количество воды до достижения определённого уровня биостабилизации. В этом случае количество воды в массиве отходов должно контролироваться с учётом климатических особенностей региона. И, наоборот, в случае захоронения отходов, не подвергающихся биологической деструкции, необходимо использование мероприятий и технологических решений, исключающих попадание влаги в массив отходов. К таким мероприятиям могут относиться: гидроизоляция отходов, создание системы поверхностного дренажа, уплотнение отходов.

*Управление биохимическими процессами в массиве отходов.* Основным способом управления качеством фильтрата является стимулирование биохимических процессов. Основной целью стимулирования биохимических процессов является преобразование и перенос большего количества углерода из твёрдой фазы отходов в газообразную, а не в жидкую, что достигается путём интенсификации метаногенеза.

Одним из механизмов управления эмиссиями загрязняющих веществ на полигонах захоронения ТБО, а также инструментом воздействия на продолжительность жизненного цикла полигона является технология рециркуляции фильтрата.

Классическая схема эксплуатации полигона предполагает сбор фильтрата в ёмкости или пруды-усреднители, после заполнения которых осуществляется подача на локальные очистные сооружения или вывоз на городские очистные. Оба варианта являются дорогостоящими. При рециркуляции фильтрат возвращается в тело полигона, обеспечивая уменьшение его объёма за счёт интенсификации испарения. Рециркуляция фильтрата имеет не только экономические преимущества, связанные с минимизацией затрат на очистку сточных вод, но и позволяет снизить экологические риски на постэксплуатационном этапе жизненного цикла полигона. Очевидно, что срок службы любого, даже самого современного противofильтрационного экрана, лежащего в основании полигона, значительно меньше периода выделения фильтрата. Рециркуляция фильтрата приводит к более быстрому разложению отходов, а сле-

довательно, интенсифицирует процессы стабилизации рабочего тела полигона. Соответственно основной объём загрязнённого фильтрата будет образовываться в период эксплуатации полигона, когда противofильтрационный экран ещё не разрушился и его свойства отвечают нормативным требованиям. Условно схема рециркуляции потока фильтративных вод представлена на рисунке 1.

Для корректного управления биохимическими процессами, проходящими в массиве отходов при рециркуляции фильтрата, необходимо контролировать количество жидкости, поступающей в массив отходов и выходящей из него, то есть составить водный баланс полигона захоронения отходов.

Известны методы прогнозирования объёма образования фильтрата, образующегося на полигоне [1, 3 – 5]. Несмотря на то, что в этих методах применяются различные подходы для оценки водного баланса полигона, большинство из них относится к полигонам с классической схемой сбора и удаления фильтрата, без его рециркуляции.

Уравнение водного баланса полигона, на котором внедрена система рециркуляции фильтрата, может быть представлено следующим образом:

$$A.O. + P.Ф. = П.С. + П.Ф. + И. + Н.З.,$$

где А.О. – атмосферные осадки;

Р.Ф. – рециркулируемый фильтрат;

П.С. – поверхностный сток;

П.Ф. – возможные потери фильтрата за счёт вертикальной фильтрации через осно-

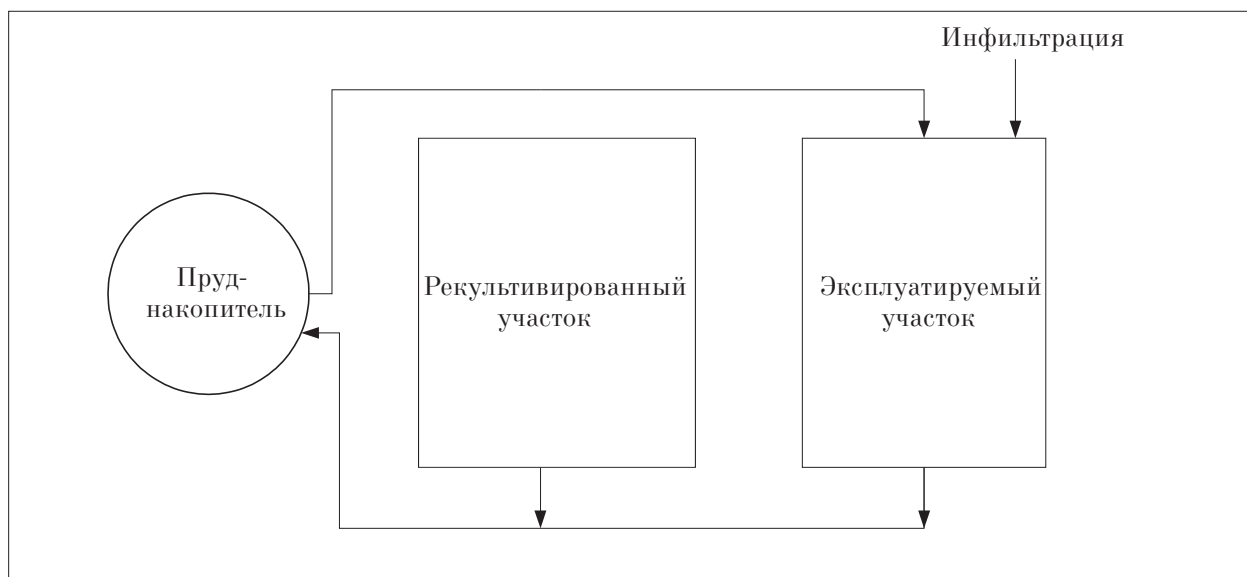


Рис. 1. Схема рециркуляции потока фильтративных вод

вание полигона и перелива фильтрата через ограждающую дамбу в случае превышения уровня насыщенной зоны;

И. – испарение;

Н.З. – накопление фильтрата в насыщенной зоне.

Рециркуляция приводит к сокращению объёмов образования фильтрата за счёт увеличения уровня испарения при распылении фильтрата на поверхности участка захоронения отходов.

Количество осадков и испарение рассчитываются по стандартным методикам и принимаются по справочным данным. Поверхностный сток может быть оценён с помощью коэффициента стока в зависимости от характеристик поверхности полигона.

Основную сложность при расчёте водного баланса для полигона с системой рециркуляции фильтрата представляет оценка насыщенных водой слоёв внутри массива отходов, так как возможно только приблизительно определить их толщину. Также затруднительно определить количество накопленной в отходах жидкости.

Теоретически объём фильтрата, оставшийся в насыщенной зоне внутри полигона, можно определить экспериментальным путём как разницу между ожидаемой величиной инфильтрации (суммарное поступление осадков и рециркулируемого фильтрата) и действительным (измеренным) объёмом выделившегося фильтрата. Насыщенные зоны повышают уровень воды в отходах.

Для полигона с рециркуляцией фильтрата характерны следующие особенности водного баланса:

- все отходы находятся в состоянии полевой влагоёмкости;
- в основании участка захоронения отходов имеется насыщенный водой слой.

При этом повышение уровня воды в основании полигона может носить периодический характер. Для упрощения схемы водного баланса необходимо принять допущение, что насыщенный слой располагается на всей площади полигона над гидроизоляционным экраном.

Содержание воды в поступающих отходах обычно ниже уровня насыщения (полевой влагоёмкости), что может быть причиной того, что в начальный период времени эксплуатации полигона вода может поглощаться отходами и не поступать в дренаж. При этом поглощательная способность отходов неодинакова ввиду их неоднородности, а также изменения свойств отходов в течение жизненного

цикла полигона. В то же время на новых полигонах часто наблюдается выделение фильтрата вскоре после ввода полигона в эксплуатацию.

Полевая влагоёмкость часто используется для оценки количества воды, удерживаемой в почве силами притяжения. Это определение подходит для гомогенных материалов, таких как почва или измельчённые отходы. В случае гетерогенных отходов, поступающих на полигон, жидкость дренирует через пустоты, каналы, образующиеся естественным образом при эксплуатации полигона, при этом уровень полевой влагоёмкости для отдельных компонентов отходов может быть не достигнут.

Таким образом, более точным для полигона с рециркуляцией фильтрата будет понятие «ёмкости насыщения отходов», под которым понимается количество жидкости, поглощённое пустотами между частицами отходов, а также жидкости, удерживаемой капиллярными силами.

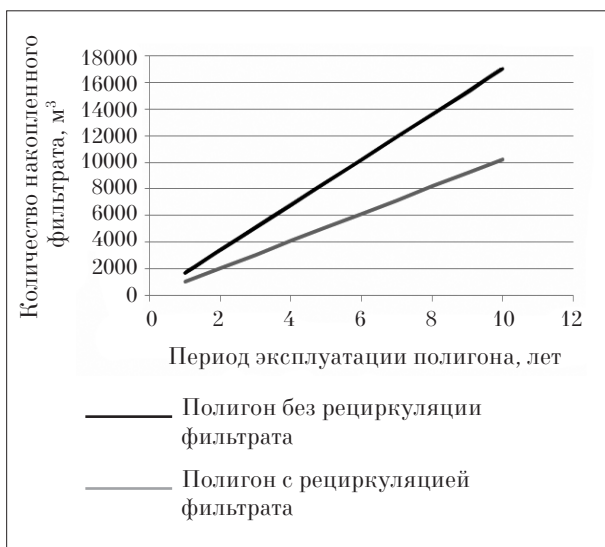
Наибольшее влияние на механизм насыщения отходов водой оказывает плотность отходов. По данным [2], при плотности отходов  $0,7-0,8 \text{ т/м}^3$  поглощающая способность составляет  $0,16-0,27 \text{ м}^3$  на 1 т сухого мусора. А при плотности отходов  $1 \text{ т/м}^3$  поглощающая способность падает до  $0,02-0,03 \text{ м}^3$  на 1 т сухого мусора.

Исследования [2] показали, что при длительном орошении отходов поглощающая способность отходов может увеличиваться до  $0,4-0,65 \text{ м}^3$  на 1 т сухого мусора.

В момент достижения отходами уровня насыщения устанавливается равновесие, то есть фильтрат может беспрепятственно дренировать сквозь отходы. После достижения отходами уровня насыщения увеличивается скорость ответной реакции, выражающейся в увеличении скорости потока при увеличении объёма осадков над рециркулируемым участком полигона.

При рециркуляции возможно некоторое горизонтальное движение жидкости из области с большей инфильтрацией в область с низкой инфильтрацией. При этом наибольшую опасность представляет перелив фильтрата через ограждающую дамбу, а также фильтрация через основание участка захоронения отходов при увеличении гидростатического давления на основание.

На полигонах, где внедрена рециркуляция фильтрата, необходимо проводить гидрологическую оценку местности и гидроизоляцию оснований и дамб, чтобы предупредить возможные горизонтальные утечки в зонах насы-



**Рис. 2.** Сравнение скорости накопления фильтрата на полигоне с рециркуляцией фильтрата и «сухом» полигоне

щения и для того чтобы предотвратить фильтрацию через основание полигона при повышении уровня фильтрата в основании.

Очевидно, что в климатических зонах, для которых характерно превышение уровня осадков над уровнем испарения, количество выделяющегося на полигоне фильтрата имеет тенденцию к увеличению с течением времени. При этом скорость накопления фильтрата значительно снижена благодаря интенсификации процесса испарения при распылении фильтрата. Сравнение скорости накопления фильтрата на полигоне с классической схемой сбора и отвода фильтрата без рециркуляции и на полигоне с рециркуляцией фильтрата представлено на рисунке 2.

Опыт внедрения рециркуляции фильтрата на полигонах захоронения ТБО на полигоне г. Краснокамск Пермского края показал, что подобные объекты первые несколько лет могут эксплуатироваться без сброса фильтрата.

Модель водного баланса должна разрабатываться для каждого полигона захоронения ТБО для количественной оценки потока фильтрата с учётом климатических, гидрогеологических особенностей местности и технологических параметров участка захоронения отходов.

#### Выводы:

1. Одним из преимуществ рециркуляции является снижение эксплуатационных затрат на вывоз /очистку фильтрата.

2. Рециркуляция фильтрата позволяет сократить период негативного воздействия полигонов на объекты окружающей среды.

3. Рециркуляция фильтрата приводит к более быстрому разложению отходов, а следовательно, интенсифицирует процессы стабилизации рабочего тела полигона, а также способствует развитию метаногенеза на начальном этапе эксплуатации полигона.

4. При рециркуляции сокращается общий объём образования фильтрата за счёт его испарения при распылении на поверхности полигона, что позволяет существенно сократить затраты на эксплуатацию полигона.

#### Литература

1. Вайсман Я.И. Тенденции и перспективы управления твёрдыми бытовыми отходами на урбанизированных территориях // Вестник Пермского государственного университета «Урбанистика». № 1. 2011. С. 81–99.
2. Landfilling of waste: leachate. Academic Press. London. 1990. 520 p.
3. Campbell D.J.V. Understanding water balance in landfill sites // Waste management. 1983. P. 594–605.
4. Holmes R. The water balance method for estimating leachate production from landfill sites // Solid wastes. 1980. LXX (4). P. 20–33.
5. Вайсман Я.И., Коротаев В.Н., Тагилова О.А., Тагилов М.А., Никитенко А. С. Методика расчёта водного баланса полигонов захоронения твёрдых бытовых отходов. Пермь. 2002. 19 с.