

УДК 502.3/.7

Я.И. Вайсман, С.Ю. Чудинов, Д.С. Кравченко

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМ БАЛАНСОМ ПОЛИГОНА ТБО НА ПРИМЕРЕ ПОЛИГОНА В Г. КРАСНОКАМСКЕ

Рассмотрены основные факторы и их долевого вклад в формирование водного баланса полигонов захоронения ТБО. На примере типичного полигона захоронения ТБО г. Краснокамска опробованы механизмы управления водного баланса включая автоматизированную систему рециркуляции фильтрата.

Ключевые слова: полигон ТБО, водный баланс, фильтрат, факторы внутреннего и внешнего воздействия, автоматическая система рециркуляции фильтрата.

Управление водным балансом полигонов захоронения твердых бытовых отходов в целях снижения экологической нагрузки на объекты гидросферы в зонах их возможного негативного влияния затруднено в связи с недостаточной разработкой методических вопросов, несовершенством отечественной нормативно-правовой базы и отсутствием обобщенного практического опыта по использованию эффективных управляющих воздействий. В настоящее время отсутствуют общепринятые в нашей стране рекомендации по основным аспектам управления водным балансом полигонов, в частности, по расчету объема и качества образующихся сточных вод, оценке возможности и целесообразности рециркуляции фильтрата, использования экономически доступных и экологически эффективных методов очистки сточных вод, управлению входящими потоками отходов, направляемых на захоронение.

С целью накопления практических данных, позволяющих приблизиться к решению общей задачи – разработке рекомендаций по управлению водным балансом полигонов захоронения ТБО для минимизации экологической нагрузки на объекты гидросферы в зоне их возможного негативного влияния, нами проведены исследования водного баланса полигона захоронения ТБО на примере типичного современного полигона в г. Краснокамске Пермского края, который отвечает нормативным требованиям и имеет развитую инженерную инфраструктуру, позво-

ляющую проводить необходимые исследования и замеры основных элементов его водного баланса и опробовать основные методические подходы и технологии управления им. В частности, в натуральных условиях действующего полигона опробованы следующие элементы управления водным балансом: формирование заданного качества входного потока отходов, принимаемых на захоронение; исключение попадания поверхностного стока с нагорной части водосборного бассейна на площадку полигона; регулирование поверхностного стока внутри площадки полигона; опробование и применение эффективных технологических операций при размещении, уплотнении и пересыпке принимаемых на захоронение отходов, направленных на минимизацию инфильтрации поверхностных вод в рабочее тело полигона; исключение инфильтрации загрязненных сточных вод через основание полигона в подземные воды и неуправляемого сброса сточных вод на рельеф и в поверхностные водные объекты; проведение в натуральных условиях полигона эксперимента по регулированию рециркуляции фильтрата.

Для решения этих задач и получения необходимой информации для проведения расчетов и прогнозирования объема образования и качества образующихся сточных вод были использованы устройства для регистрации массы принимаемых на захоронение отходов, объема образования фильтрата, расхода атмосферных осадков непосредственно на площадке расположения полигона. В связи с необходимостью получения достоверных данных по метеорологическим параметрам на площадке полигона с расположением ближайших существующих метеопостов на удалении от полигона на расстояние более 15–25 км, которые не учитывали особенностей формирования ветровых потоков на площадке полигона, а также других важных местных обстоятельств, связанных со специфическим рельефом местности и других особенностей, был специально оборудован метеорологический пост для получения в режиме реального времени информации по основным метеорологическим параметрам (температура и влажность атмосферного воздуха, направление и скорость ветра на высоте 10 м от поверхности земли, количество выпадающих атмосферных осадков, атмосферное давление, температура поверхности рабочего тела полигона) с формированием базы данных и осреднения полученных результатов за различные временные интервалы (среднемесячные, сезонные, годовые) непосредственно на площадке полигона. Сопоставление

полученных результатов метеонаблюдений на собственном метеопосту с данными, осредненными по Пермскому краю [10], а также по ближайшим существующим метеопостам подтвердили существенные расхождения, что могло повлиять на необходимую точность проводимых расчетов, достаточную для практического использования полученных результатов при принятии управленческих воздействий по формированию водного баланса полигона в заданном направлении.

Полигон захоронения ТБО г. Краснокамска расположен в 10 км севернее города, в частично отработанном карьере по добыче кирпичной глины. Площадь полигона составляет 16 га. Он рассчитан на захоронение 520 тыс. т отходов в течение 20 лет. Укладка бытовых отходов осуществляется на рабочей карте по технологии послойного уплотнения. Полигон предназначен для обслуживания четырех поселений, численность населения в которых составляет около 74 тыс. чел. [9, 11]. В 2008 г. на полигоне запущен в эксплуатацию новый мусоросортировочный комплекс, на котором ежедневно сортируется до 80 т мусора. Комплекс позволяет выделять 18 видов вторичного сырья – макулатуру, полиэтиленовые бутылки, алюминиевые и жестяные банки, лом бытовой техники, стекло, полипропилен, полиэтилен и др. Отходы прессуются и отправляются на перерабатывающие предприятия Москвы, Казани, Кирова, Сыктывкара, Перми.

После положительной сортировки (выделения фракций вторичного сырья) остатки отходов направляются на захоронение. Часть отходов, принимаемых на захоронение, в связи с недостаточной пропускной способностью мусоросортировочного комплекса, направляются на захоронение в виде смешанного потока.

Для прекращения захоронения несортированных отходов планируется расширение мусоросортировочного комплекса, а также исключение приема на захоронение биоконверсируемых органических фракций отходов, что позволяет существенно снизить влажность захораниваемых отходов [9].

Водный баланс полигона захоронения ТБО в г. Краснокамске, как и любого другого типичного полигона в традиционной принятой системе описания, может быть схематически представлен как полузакрытая система входящих и выходящих водных потоков, которая формируется под воздействием внешних и внутренних факторов в виде основного уравнения водного баланса (1) или графически в виде схемы (рис. 1) [1, 4, 5].

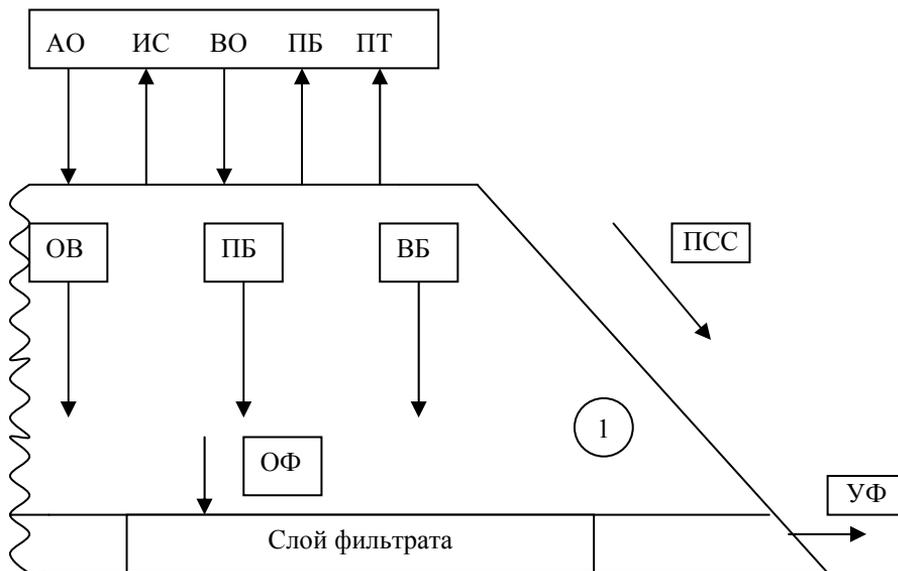


Рис. 1. Схема водного баланса полигона захоронения ТБО: 1 – рабочее тело полигона; АО – атмосферные осадки; ИС – испарение с поверхности полигона; ВО – содержание влаги в захораниваемых отходах; ПБ – потери влаги (вынос) с биогазом; ПТ – потеря влаги при транспирации растениями; ПС – поверхностный сток; ОВ – отжимная влага отходов; ПБ – поглощение влаги при биодеструкции отходов; ВБ – выделение влаги при биодеструкции отходов; ОФ – образование фильтрата; УФ – удаление фильтрата за пределы рабочего тела полигона

Внешними факторами формирования водного баланса полигона являются: атмосферные осадки (их вид и количество), которые формируются в зависимости от атмосферного давления, температуры и влажности воздуха, а также ветрового режима и рельефа местности расположения полигона; поверхностный сток (как с нагорной территории, так и с поверхности полигона); процессы снегонакопления и снеготаяния; испарение воды и снега с поверхности полигона; транспирация растительностью в вегетационные периоды; масса и временной режим (интенсивность) завоза отходов для захоронения, их морфология и физико-химические свойства, исходная влажность и плотность отходов (входной поток до сортировки и других процедур их подготовки к захоронению – претримент).

Внутренними факторами, формирующими водный баланс полигона, являются: попадание воды в рабочее тело полигона, содержащейся в захораниваемых отходах; потери или выделение воды при биодеструкции отходов; вынос воды с удаляемым за пределы рабочего тела фильтратом; вынос воды с биогазом.

К внутренним факторам формирования водного баланса полигона также относятся следующие технологические параметры:

- 1) геометрические размеры полигона (площадь и высота полигона, внутренний уклон откоса);
- 2) тип промежуточных и окончательного покрытий (вид грунта, наличие и вид растительного покрова);
- 3) коэффициент фильтрации и толщина основания;
- 4) количество отходов, размещенных на полигоне;
- 5) плотность захороненных отходов.

К внутренним специфическим параметрам, которые влияют на формирование водного баланса, относятся:

- возраст и влажность захороненных отходов;
- удельный выход биогаза;
- температура в массиве отходов.

Основное уравнение водного баланса полигона ТБО, отвечающего современным требованиям [3, 6], можно представить в виде

$$AO + OV^+ + PC^+ + P + U + \text{Интр} = PC^- + BG + BD + IC + OV^- + DP + PR + PV, \quad (1)$$

здесь обозначены *входящие потоки*:

АО – атмосферные осадки, выпадающие на поверхность полигона;

OV⁺ – отжимная влага, выделяющаяся из ТБО при складировании;

PC⁺ – поверхностный сток воды с прилегающих нагорных территорий, расположенных выше по рельефу;

P – подача на поверхность отходов фильтрата для увлажнения, рециркуляция фильтрата;

U – технологические подачи воды на поверхность отходов для их увлажнения в пожароопасный период;

Интр – интрузия, поступление в массив отходов воды из подземных горизонтов;

исходящие потоки:

PC⁻ – поверхностный сток с полигона;

BG – потери влаги с биогазом;

BD – потребление воды при протекании реакций биохимического разложения;

IC – испарение влаги с поверхности и транспирация растений;

ОВ⁻ – впитывание влаги заскладированными отходами;

ДР – отвод фильтрата дренажной системой;

ПР – просачивание в подземные горизонты;

ПВ – изменение влагозапаса окончательного покрытия.

При управлении водным балансом полигона, в особенности при принятии управленческих решений по сбору, отведению и очистке фильтрата, важным представляется определение объема образования и качества фильтрата с точностью, достаточной для реализации практических мер. В общем виде при недостаточном количестве и качестве информации по всей совокупности параметров системы водного баланса можно получить ориентировочные данные расчетным путем по формуле [3]

$$\Phi В = (АО + ОВ) - (ПС + ИС + БГ + БД), \quad (2)$$

где $\Phi В$ – объем фильтрата (фильтрационных вод);

АО – атмосферные осадки, выпавшие на рабочее тело полигона;

ОВ – отжимная вода;

ПС – поверхностный сток;

ИС – испарение с поверхности рабочего тела;

БГ – потери воды с биогазом;

БД – поглощение воды при химических реакциях биодеструкции захороненных отходов.

Для ориентировочных расчетов по формуле (2) можно в качестве исходных данных использовать климатические характеристики места (района) расположения полигона, а также литературные и справочные данные по объему поверхностного слоя в зависимости от площади полигона, высоты складирования, исходной влажности отходов, их морфологического состава и физико-химических свойств, соотношения, характерного для конкретных территорий, валового количества осадков и объема образования фильтрата в теле полигона, этапа жизненного цикла полигона и т.д. Так, по данным [3] наибольшее влияние на водный баланс оказывают климатические условия, первоначальная влажность отходов испарение влаги с поверхности и транспирация растений. Объем поверхностных стоков в зависимости от площади полигона составляет 1–5 % от количества атмосферных осадков. 1 м³ биогаза выносит примерно 60 г водяного пара [3].

Наибольшее количество воды образуется и потребляется в активную фазу метаногенеза, в стабильной и последующих фа-

зах. Разницу между биохимически образуемой и потребляемой водой можно считать равной нулю. При краткосрочном прогнозировании объемов фильтрационных вод существенную роль в водном балансе играет аккумулирующая способность полигона. При долгосрочном прогнозировании (через несколько десятилетий захоронения отходов), когда практически закончена активная фаза метаногенеза и других биохимических процессов деструкции захороненных отходов, произошло практически полное выделение отжимной воды из отходов в результате завершившихся процессов их слеживаемости и самоуплотнения, ориентировочно объем образования фильтрата может быть определен по формуле

$$\Phi В = АО - (ИС + ПС). \quad (3)$$

Известен ряд методов расчета объема образования фильтрата, различающихся степенью сложности проводимых расчетов, необходимостью использования эмпирических данных в качестве поправочных коэффициентов и контрольных данных для верификации полученных результатов [1, 3].

Достаточно широко в зарубежной практике используется разработанная агентством по охране окружающей среды США модель «Hydrologic Evaluation of Landfill Performance» (HELP) для оценки и прогноза объемов образования фильтрационных вод. Эта модель в качестве составляющих водного баланса полигона учитывает атмосферные осадки (в том числе накопление снега на поверхности и его таяние), испарение, циркуляцию воды в теле полигона (вертикальная фильтрация, горизонтальный дренаж, отдача-поглощение влаги отходами) и поверхностный сток [12, 13]. В качестве выходных данных эта модель выдает значения (по дням, месяцам, годам и средние): суммарного испарения; поверхностного стока; объема вод, инфильтрующихся через изолирующие слои и т.д.

Кроме модели HELP используется широкий ряд других методов расчета как водного баланса полигона в целом, так и его отдельных элементов. Так, методика расчета внутреннего водного баланса рабочего тела полигона на основе учета начального влагосодержания отходов после их уплотнения, текущей величины полевой влагоемкости позволяет получить результаты динамического расчета водного баланса элементарного объема отходов с учетом выноса воды из массива отходов с биогазом, а также выделения-поглощения воды при биохимической деструкции отходов и объема образующейся отжимной воды.

При необходимости расчета объема инфильтрации воды в массив отходов через поверхность рабочего тела используется уравнение

$$ИИ = АО + ОБ - ПС - ИС,$$

где ИИ – расход воды, попадающей в массив отходов, м³;

АО – объем атмосферных осадков;

ОБ – отжимная влага отходов;

ПС – поверхностный сток с полигона;

ИС – испарение с поверхности.

Решение уравнения производится с разделением расчетных площадей по типу поверхности: для поверхности без отходов, «открытой» поверхности отходов и «закрытой» водозащитным слоем поверхности отходов и с учетом этапов жизненного цикла полигона [7, 8].

Для более точного расчета объема образования фильтрата может быть использована методика, разработанная специалистами кафедры охраны окружающей среды Пермского государственного технического университета (ПГТУ) с учетом площади складирования, массы накопленных ТБО, гидрологических и климатических условий, этапа жизненного цикла полигона [6]. Согласно методике, расчет водного баланса производится в следующей последовательности:

- 1) подготовка климатических данных для расчета;
- 2) подготовка технологических данных для расчета;
- 3) расчет водного баланса поверхности полигона;
- 4) расчет внутреннего водного баланса;
- 5) расчет водного баланса основания.

В качестве климатических данных для расчетов используются среднесуточные значения количества атмосферных осадков, температуры и абсолютной влажности воздуха.

К технологическим данным относятся: интенсивность завоза отходов; толщина слоя отходов; плотность отходов в массиве полигона; общая высота полигона; толщина слоя временного изолирующего покрытия; срок эксплуатации полигона; емкость полигона; количество слоев отходов; площадь суточной карты полигона; площади оснований слоев отходов; сроки завершения эксплуатации отдельных слоев; приращение площади отходов (площадь суточной карты) [6].

Проведенные расчеты образования фильтрата на полигонах Пермского края с использованием этих методик позволили по-

лучить ориентировочные данные по образованию слоя фильтра (метров в год на квадратный метр поверхности) в ряде населенных мест края. Так, для г. Перми при слое осадков $0,566 \text{ м/год}\cdot\text{м}^2$ слой фильтра по расчетам составил $0,2975 \text{ м/год}\cdot\text{м}^2$, а соотношение расхода фильтра к расходу осадков было равно $0,5258$ [5, 10].

Осредненные данные по 16 населенным пунктам Пермского края показали, что при максимальном слое осадков $0,811 \text{ м/год}\cdot\text{м}^2$ слой фильтра равен $0,437 \text{ м/год}\cdot\text{м}^2$, соотношение фильтрат/осадки равно $0,539$. Соответственно при минимальном слое осадков $0,422$ слой фильтра был равен $0,213$ при соотношении фильтрат/осадки $0,511$ [3].

Проведенный по разным методам расчет объема образования фильтра для г. Перми (вне зависимости от этапа жизненного цикла полигона, высоты складирования отходов и других технологических параметров, а также эффективности систем отвода поверхностного стока) показал, что полученные значения расхода фильтра колеблются в широких пределах – от 10 до 28 и в большинстве случаев до 50 % от объема выпадающих атмосферных осадков [3].

Это позволило сделать вывод о том, что при прочих равных условиях количество выпадающих на поверхность рабочего тела полигона атмосферных осадков формирует основной объем образующегося фильтра.

Выполненные нами экспертные оценки долевого вклада отдельных внешних и внутренних факторов формирования водного баланса полигонов захоронения ТБО и выбора из них тех, управление которыми позволяет минимизировать объем образования и степень загрязнения сточных вод, показали, что наиболее приоритетными из них являются:

- управление поверхностными стоками;
- снижение влажности захораниваемых отходов;
- уменьшение площади поверхности рабочего тела полигона, открытой для инфильтрации атмосферных осадков.

Для управления поверхностным стоком на полигоне в г. Краснокамске разработана и реализована с учетом особенностей рельефа территории расположения полигона система перехвата и отвода за пределы площади полигона ливневых вод с нагорной территории, а также с боковых прилегающих участков. На самой площадке полигона была организована система

отвода ливневых вод с хозяйственного двора и других участков полигона. За счет увеличения угла откоса рабочего тела, уплотнения отходов в процессе их послойной укладки была обеспечена возможность высотного складирования отходов, что позволило сократить открытую поверхность слоя отходов при увеличении объема их размещения на карте. Покрытие сформировавшихся откосов рабочего тела слоем технического грунта с высоким содержанием суглинков и глины позволило защитить их от инфильтрации атмосферных осадков и за счет большего угла откосов обеспечить эффективный поверхностный сток. Организация лотков для стока воды вдоль временных дорог для доставки отходов на рабочую карту позволила эффективно удалять не инфильтрировавшиеся в слой отходы поверхностных вод за пределы рабочего тела. Реализация этих мероприятий позволила минимизировать объем инфильтрации атмосферных осадков в рабочее тело полигона.

Для снижения влажности размещаемых на захоронение отходов были разработаны и реализованы мероприятия по формированию входного потока отходов в заданном направлении путем увеличения объема отходов, направляемых на сортировку с выделением из них пищевых, растительных и иных органических отходов (до 25 % от общего объема отходов), которые уже на входе содержат основной объем влаги. Кроме того, в этих фракциях отходов содержится основная масса химически не связанной свободной воды, которая в процессе слеживаемости и самоуплотнения отходов выделяется из них в виде отжимной воды, переходит в фильтрат, увеличивая тем самым объемы его образования. Важным является и то обстоятельство, что исключение захоронения этих фракций отходов, содержащих основные объемы биodeградируемых органических соединений, также приводит к уменьшению объема воды, выделяемой при химических реакциях разложения органических соединений в рабочем теле полигона.

Известно, что при прочих равных условиях уменьшение площади поверхности рабочего тела полигона, открытого для атмосферных осадков, приводит к снижению инфильтрации воды в рабочее тело полигона. С учетом этого разработаны технологические мероприятия, позволяющие увеличить массу размещаемых отходов на единицу площади рабочей карты за счет увеличения их плотности путем использования современных уплотнительных механизмов типа БОМАК и увеличения высо-

ты складирования. Это привело к уменьшению объема инфильтрации атмосферных осадков в пересчете на 1 т захораниваемых отходов. Оперативная пересыпка уплотненных, послойно уложенных отходов техническим грунтом, содержащим в значительных количествах суглинки и глину также привела к уменьшению инфильтрации атмосферных осадков в рабочее тело и перевод большей их части в поверхностный сток, скатывающийся по уклону за пределы рабочего тела. В связи с тем, что скорость и интенсивность протекания химических реакций по биодеструкции органических фракций отходов в рабочем теле полигона зависит от обязательного присутствия воды, необходимо поддерживать влажность захороненных отходов на оптимальном уровне с тем, чтобы исключить возможность образования «сухих» зон и обеспечить необходимые условия дренирования рабочего тела с целью исключения нежелательного переувлажнения. Важным представляется организация так называемой «промывки» рабочего тела постоянным потоком воды, которая способствует более плотной укладке отходов в теле полигона и удалению водорастворимых конечных продуктов деструкции. Эта задача решена путем рециркуляции фильтрата через рабочее тело полигона, которая ускорила процессы биодеструкции, уплотнения отходов и уменьшения их объема и массы, в том числе за счет снижения массы при образовании водорастворимых солей и выноса химических соединений в составе биогаза.

До последнего времени рециркуляция фильтрата проводится в режимах произвольного ручного управления без обоснования требуемых количеств и периодичности подачи фильтрата на рециркуляцию.

Нами разработана автоматизированная система сбора и рециркуляции фильтрата на полигоне в г. Краснокамске. Система включает в себя дренажную сеть, расположенную над водонепроницаемым основанием рабочего тела полигона с отводом фильтрата в два гидравлически связанных между собой прудонакопителя (рис. 2).

Емкость прудов-накопителей обеспечивает накопление фильтрата, его усреднение и отстаивание с таким расчетом, чтобы не происходило их переполнение. За весь начальный период эксплуатации (с 2008 г.) происходило накопление фильтрата и уровень его в прудах-накопителях не достиг проектных отметок, что позволило эксплуатировать полигон без отведения фильтрата на очистные сооружения.

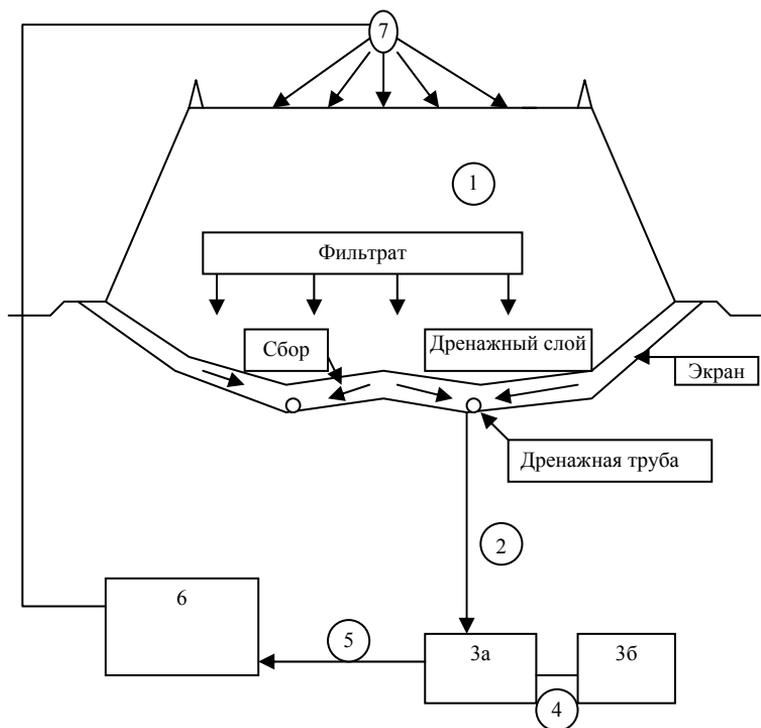


Рис. 2. Схема сбора и отвода фильтрата из рабочего тела полигона в пруд-накопитель и рециркуляции фильтрата: 1 – рабочее тело полигона; 2 – система отвода фильтрата из дренажной системы рабочего тела в пруды-накопители; 3а, 3б – пруды-накопители; 4 – коллектор гидравлической связи прудов-накопителей; 5 – система забора фильтрата из пруда-накопителя для подачи на станцию автоматизированной подачи фильтрата на рециркуляцию; 6 – автоматизированная станция подачи фильтрата из пруда-накопителя на рециркуляцию; 7 – система орошения поверхности рабочего тела фильтрата

В последующие годы, когда было сформировано рабочее тело полигона с целью исключения возможности возгорания отходов и интенсификации процессов биодеструкции отходов в рабочем теле, была разработана и реализована система автоматизированной рециркуляции фильтрата.

Система автоматической подачи фильтрата (рис. 3) включает в себя следующие элементы:

1. *Прибор для управления насосом САУ-М2* в комплекте с датчиками уровня. Предназначен для создания систем автоматического поддержания уровня жидкости в резервуарах, накопительных емкостях.

2. *Регистратор времени наработки оборудования Мерадат-М24СН1.* Предназначен для регистрации суммарного времени наработки оборудования.

3. *Твердотельное реле KIPPRIBOR HT.* Предназначено для управления трехфазной электрической нагрузкой от 10 до 120А.

4. *Преобразователь интерфейсов USB-RS-485.* Предназначен для преобразования сигналов интерфейса USB в сигналы двухпроводного магистрального интерфейса RS-485 с гальванической изоляцией.

5. *Реле электромагнитное нормально разомкнутое.* Предназначено для замыкания контактов цепи при подаче напряжения на реле.

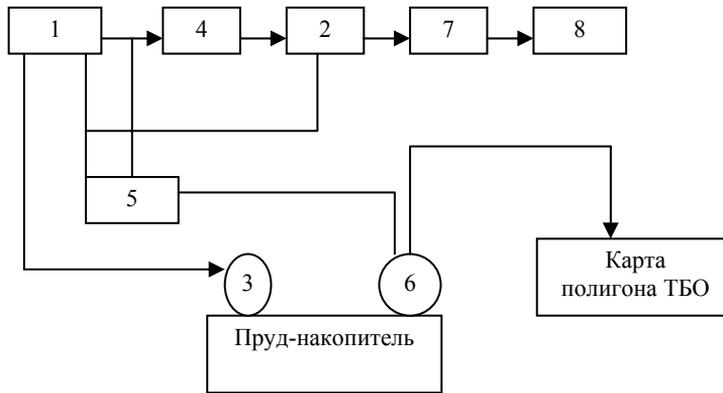


Рис. 3. Схема системы автоматизированной подачи фильтрата карты полигона ТБО в г. Краснокамске

При достижении уровня фильтрата в пруду-накопителе верхней отметки, на которой установлен короткий электрод датчика уровня (3), происходит замыкание короткого и длинного электрода. При этом прибор управления насосом САУ-М2 (1) подает питание на твердое реле (5), что приводит к замыканию трехфазной цепи и включению насоса (6). Одновременно с этим происходит срабатывание электромагнитного реле (4) и замыкание контактов регистратора событий Мерадат-М24СН1 (2). Время замыкания контакта фиксируется в памяти прибора. При снижении уровня фильтрата в пруду до нижней отметки происходит осушение длинного контакта. Прекращается подача напряжения на твердое (5) и электромагнитное (4) реле. Размыкается цепь трехфазного тока, что приводит к остановке насоса.

Размыкание контактов регистратора событий также фиксируется во времени. Таким образом, по разнице во времени между моментами замыкания и размыкания контактов регистратора событий определяется время наработки насоса. Результаты измерений могут быть просмотрены на дисплее прибора либо переданы на персональный компьютер (8) при помощи конвертера интерфейсов RS-485-usb (7).

Для получения достоверных данных об объеме образующегося фильтрата, поступающего в пруды-накопители полигона, необходимо исключить его подачу обратно на карты хранения ТБО на время определения.

Система позволила обеспечить равномерную подачу фильтрата на полигон ТБО и исключить переполнение прудов-накопителей без сброса объема избыточного фильтрата. В связи с тем, что на полигоне г. Краснокамска продолжается захоронение ТБО в возрастающих масштабах и, несмотря на реализуемые меры по минимизации образования сточных вод при относительном снижении объема их образования в пересчете на 1 т захораниваемых отходов, их абсолютное количество будет возрастать.

Это определяет необходимость прогнозирования точного объема образующихся сточных вод (в особенности фильтрата) с тем, чтобы определить их избыточный объем, который должен удаляться на очистные сооружения во избежание переполнения прудов-накопителей.

При дальнейшем продолжении работы по управлению водным балансом полигона г. Краснокамска планируется разработка мероприятий по уменьшению объема избыточного фильтрата.

Библиографический список

1. Вайсман Я.И., Глушанкова И.С. Условия образования и очистка фильтрационных вод полигонов захоронения ТБО: учеб. пособие / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2003. – 167 с.
2. Физико-химические методы защиты биосферы: учеб. пособие / Я.И. Вайсман, И.С. Глушанкова, Л.В. Рудакова, Н.Ф. Абрамов / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2005. – 195 с.
3. Управление отходами. Полигоны захоронения ТБО: учеб. пособие / Я.И. Вайсман, В.Н. Коротаев, В.Ю. Петров, А.М. Зомарев; Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – 463 с.
4. Вострецов С.П., Коротаев В.Н., Тагилов М.А. Разработка концепции многобарьерной защиты при захоронении твердых бытовых отходов [Электронный ресурс] / Об-во с огранич. отв. СОВЭКО. – URL: <http://soveko.ru/publications/konceptciya-mnogobaerernoi-zaschiti.html>

5. Тагилов М.А. Исследование воздействия объектов захоронения ТБО на состояние природных подземных вод в Пермской области [Электронный ресурс] / Об-во с огранич. отв. СОВЭКО. – URL: <http://soveko.ru/publication/konceptciya-nmogobaerrernoi-zaschiti.html>.

6. Методика расчета водного баланса полигонов захоронения ТБО / Я.И. Вайсман [и др.] [Электронный ресурс] / Об-во с огранич. отв. СОВЭКО. – URL: <http://soveko.ru/publication/konceptciya-nmogobaerrernoi-zaschiti.html>

7. Проектирование, строительство и рекультивация полигонов ТБО. [Электронный ресурс] / Мин-во строит. компл. Моск. обл. – М., 2002. – URL: <http://www.stroyplan.ru/docs.php?showitem>

8. Тагилов М.А. Противофильтрационная защита оснований полигонов ТБО: дис. ... канд. техн. наук. – Пермь, 2002. – 140 с.

9. Вместо свалки – полигон [Электронный ресурс] // Луч. – 2008. – 29 янв. – URL: <http://www.permnews.ru/stluch.asp?ks=191>

10. Метеостатистика Пермского края [Электронный ресурс]. – URL: <http://perm-meteo.ru/krasnokamsk/daily/surface-air-pressure/page-25>

11. Краснокамск // Википедия [Электронный ресурс]. – URL: <http://ru.wikipedia.org>

12. Харитоновна Н.В., Корнилова Е.М. Как полигоны ТБО влияют на подземные воды [Электронный ресурс]. – URL: www.newchemistry.ru

13. Вайсман Я.И., Коротаев В.Н., Тагилов М.А. Основные принципы проектирования полигонов ТБО в Пермской области [Электронный ресурс] / Об-во с огранич. отв. СОВЭКО. – URL: <http://soveko.ru/publication/osnovnye-principi-plg-tbo.html>

Получено 31.01.12