

С. Ю. ТЕПЛЫХ
В. В. ТОПОЛОВА

ТЕХНОЛОГИЯ КОМПОСТИРОВАНИЯ ОСАДКА ИЛОВЫХ ПОЛЕЙ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

TECHNOLOGY FOR COMPOSTING SLUDGE DEPOSIT OF TREATMENT FACILITIES

Представлены методы рекультивации иловых полей и биологические методы их очистки. Показано, что очистка становится возможной благодаря обезвоживанию осадков и их мембранному компостированию. Изучение и совершенствование этих технологий является ключевым для улучшения и облагораживания заболоченных, околоречных и прочих территорий. Установлено, что мембранное компостирование помогает при решении следующих проблем: иловые поля представляют потенциальную угрозу загрязнения водных объектов, являются источником патогенного микробиологического загрязнения, а также источником неприятных запахов и вредных газов (метан, сероводород, меркаптан, углекислый газ). Сделан вывод, что благодаря избыточному давлению, полупроницаемой мембранной оболочке и оптимизации содержания кислорода эти проблемы решаются. В итоге мы получаем из ила технический грунт с влажностью 40–50 %, который можно использовать в качестве засыпки, но чаще для восстановления рекреационных зон и посадки различных растений, так как ил является хорошим удобрением из-за высокого содержания фосфора и азота.

Ключевые слова: рекультивация, компостирование, иловые поля, очистные сооружения, осадок, активный ил

Одной из важных проблем, связанных с ухудшением состояния природных зон, является заиливание прибрежных зон. Иловые осадки относятся к отходам 4-го класса опасности. Их категорически запрещено складировать без специальных разрешений и условий, нельзя захоранивать на обычных полигонах [1 – 6].

Именно поэтому существуют так называемые иловые поля. В некоторых городах очистные сооружения и иловые поля расположены в непосредственной близости к водоемам [7, 8]. Они являются источником патогенного микробиологического загрязнения, неприятных запахов и вредных газов (метан, сероводород, меркаптан, углекислый газ и др.), угрожают потенциальным загрязнением водных объектов

Methods of reclamation of silt fields and biological methods of their purification are presented. It is shown that purification is possible due to dehydration of sediments and their membrane composting. The study and improvement of these technologies is key for the improvement and ennoblement of swampy, near-sea and other areas. Membrane composting has been found to help solve the following problems: silt fields pose a potential threat to water pollution, are a source of pathogenic microbiological pollution, as well as a source of unpleasant odors and harmful gases (methane, hydrogen sulfide, mercaptan, carbon dioxide). It was concluded that due to excessive pressure, semipermeable membrane shell and optimization of oxygen content, these problems are solved. As a result, we get technical soil with a humidity of 40-50 % from sludge, which can be used as backfilling, but more often for restoration of recreational zones and planting of various plants, since sludge is a good fertilizer due to the high content of phosphorus and nitrogen.

Keywords: reclamation, composting, silt fields, treatment facilities, sludge, active sludge

и представляют собой депрессивные зоны. Их несколько, и одно из них – заиливание.

Заиливание (заиливание или седиментация) представляет собой загрязнение воды, вызванное твёрдыми частицами обломочного материала, в котором преобладают частицы ила или глины. Это относится как к повышенной концентрации взвешенных отложений, так и к усиленному накоплению (временному или постоянному) мелкодисперсных отложений на дне, где они нежелательны. Отходы, образующиеся в виде илового осадка после очистки остатков сточных вод (ОСВ), являются большой проблемой городов, затрагивающей технический и социально-экологический аспекты. Технический аспект – это отсутствующие до последнего времени надежные технологии, которые позволили

бы полностью обезвредить отходы и переработать их в полезные для человека продукты.

Социально-экологический аспект заключается в катастрофическом расширении площадей под хранение иловых осадков. Одним из самых эффективных методов борьбы является мембранное компостирование.

Преимущества мембранного компостирования: гарантированное обеззараживание, стабилизация осадка, исключение образования запаха, модульное обновление или расширение, техническая простота, долговечность использования (рис. 1).

Применяют следующую технологию для обезвоживания осадка влажностью 80 - 90 %: извлечение осадка с влажностью более 80 % с помощью насосного оборудования; подготовительные мероприятия по усреднению влажности извлеченного осадка; обезвоживание осадка до влажности 70 %; перемещение обезвоженного осадка на площадку компостирования. Данная технологическая схема проведения работ позволяет получить достаточно хороший результат, а обезвоженный осадок подготовлен к следующему этапу – мембранному компостированию.

Процесс мембранного компостирования протекает в условиях незначительного избыточного воздушного давления в укрытой полупроницаемой мембранной среде. Максимальная скорость биологического разложения органической субстанции достигается с помощью оптимизации содержания кислорода электронным блоком управления процессом, регулирующим периодическую подачу воздуха. Тепло вырабатывается самими бактериями в процессе их жизнедеятельности в толще материала, использование внешних источников тепла не предусмотрено. Покрывной тент с полупроницаемой мембраной обеспечивает равномерность климатических условий по

всему объёму перерабатываемого материала. Мембрана задерживает источники неприятных запахов – метана, сероводорода, меркаптана, углекислого газа и др. По достижении температуры гигиенизации (55–85 °С) уничтожаются болезнетворные микроорганизмы: споры, вирусы и бактерии.

Типовая производственная площадка

Общие требования к организации производственной площадки принимаются в соответствии с СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий». Выбор площадки для размещения оборудования осуществляется также в соответствии с требованиями СанПиН 2.1.3684-21. Площадка для размещения оборудования выбирается с учетом аэроклиматической характеристики, рельефа местности, закономерностей распространения промышленных выбросов в атмосфере, потенциала загрязнения атмосферы (ПЗА) с подветренной стороны по отношению к жилой, рекреационной, курортной зонам, зоне отдыха населения. Не допускается размещать площадку на рекреационных территориях (водных, лесных, ландшафтных), в зонах санитарной охраны источников водоснабжения, водоохранных и прибрежных зонах рек, морей, охранных зонах курортов, на территории жилой застройки.

Ориентировочная санитарно-защитная зона (СЗЗ) для производственного участка по компостированию отходов составляет 300 м



Рис. 1. Технологическая схема проведения работ по рекультивации и компостированию.

Участок № 1 – площадь 644 000 м², период эксплуатации – с 1974 г., объем накопленных иловых отложений – 3256108 м³. Участок № 2 – площадь 350 000 м², период эксплуатации – с 1997 г., объем накопленных иловых отложений – 936974 м³

в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов». Достаточность размера СЗЗ подтверждается расчетами прогнозируемых уровней химического и физического загрязнения атмосферного воздуха с учетом существующего фонового загрязнения, а также результатов лабораторных исследований в районах размещения аналогичных действующих объектов.

Размеры площадки должны быть достаточными для размещения основных и вспомогательных сооружений, места для сбора и временного хранения сырьевых органических отходов и готового компоста (почвогрунта).

Площадка компостирования должна быть спланирована с учетом потребности в следующих зданиях, сооружениях и зонах: зона для приема, разгрузки и временного накопления сырьевых материалов для компостирования; основной производственный участок (участок компостирования); административно-бытовой комплекс; подъездные пути и внутриместо-

точные коммуникации; специальная техника (фронтальный погрузчик, устройство укрытия мембраной); туалетная кабина; аккумулирующие емкости поверхностного стока; дренажные системы и емкости для сбора избыточной влаги (фильтрата); пункт мойки колес автотранспорта (дезбарьер).

Площадь объекта рассчитывается исходя из мощности переработки отходов ($\text{м}^3/\text{год}$) по количеству сырья, поступающего на входе технологического процесса, и предельному количеству накопления материалов для компостирования и их хранения (табл. 1, 2).

Основная производственная площадка выполняется (организуется) на грунтовой основе. Минимальные габаритные размеры площадки 120:100 м обеспечивают размещение буртов, работу машин и механизмов, исходя из расчетной производительности компостирования до 160000 $\text{м}^3/\text{год}$.

Высота площадки над рельефом 150-200 мм. В соответствии с СП 127.13330.2017 «Политоны по обезвреживанию и захоронению

Таблица 1

Типовые технико-экономические показатели, применяемые для расчетов, исходя из принятых типовых решений для переработки от 100000 до 160000 м^3 сырья в год

Наименование здания, сооружения	Общая площадь, м^2	Площадь застройки, м^2	Строительный объем, м^3
Компостные карты (бурты) с мембранным покрытием	6432,0	7826,0	
- в т.ч. на одну карту (бурт)	402,0		932,0
Сооружение (навесное) для приема сырья (отходов, ила, осадка) для компостирования	864,0	922,56	
- в т.ч. надземной части			4935,0
Административно-бытовой комплекс	124,37	145,15	636,15
Итого:	6958,37	7971,15	1568,15

Таблица 2

Типовые показатели земельного участка, применяемые для расчетов, исходя из принятых типовых решений для переработки от 100000 до 160000 м^3 сырья в год

№ п/п	Показатель	Ед. изм.	Количество в границах участка
1	Площадь земельного участка, в т. ч.:	га	2,01
1.1	Площадь застройки:	га	0,7844
1.1.1	-зданий	га	0,0147
1.1.2	-подпорных стен	га	0,0076
1.2	Площадь твердых покрытий, в т. ч.:		
1.2.1	- тротуаров	га	0,0421
1.2.2	- проездов	га	0,6798
1.2.3	- отмостки	га	0,0363
1.3	Площадь озелененной территории	га	0,2755
2	Автостоянка для легкового/грузового транспорта	маш.-место	4

токсичных промышленных отходов. Основные положения по проектированию. СНиП 2.01.28-85», при размещении площадки на грунте, характеризующемся коэффициентом фильтрации не более 10-5 см/с, никаких специальных мероприятий по устройству противofильтрационных экранов не требуется.

На более проницаемых грунтах необходимо предусматривать изоляцию поверхности уплотненным слоем глины толщиной не менее 0,5 м. Коэффициент фильтрации слоя глины при этом должен быть не более 10-7 см/с (СП 127.13330.2017).

Производственный участок для размещения площадок № 1 и № 2 организуется на бетонном основании, при толщине бетона, которая выдерживает нагрузку не менее 4 т/м². На площадке № 1 поверхность хранящихся насыпью отходов защищается от воздействия атмосферных осадков и ветров навесом или укрытием с помощью брезента. По периметру производственного участка организуется перехватывающий водосток в виде дренажной системы, выполненной с применением пластикового водоотводного лотка.

Энергоснабжение для хозяйственных нужд обеспечивается от электрических сетей общего пользования или при их отсутствии за счет передвижного дизельгенератора мощностью 60 кВт. Требуемое водопотребление для технических нужд составляет 7-8 м³/сут. Вода может использоваться для разбавления реагента, подпитки оборотной системы мойки колес автотранспорта. Водоснабжение для технических нужд осуществляется за счет подключения к центральному водопроводу или за счет привозной воды. Водоснабжение для хозяйственно-питьевых нужд обеспечивается за счет привозной воды. При необходимости доувлажнения материала для компостирования используется фильтрат, образующийся в процессе компостирования. Водоотведение хозяйственно-бытовых сточных вод осуществляется в стационарный или мобильный септик вместимостью 10 м³.

Водоотведение поверхностных (ливневых) сточных вод осуществляется с обустройством по периметру перехватывающего водостока в виде дренажной системы, выполненной с применением пластикового водоотводного лотка, в аккумулирующую емкость вместимостью не более 25 м³ с последующим вывозом на очистные сооружения. Водоотведение избыточной влаги (фильтрата) на площадке компостирования производится через аэрационные каналы, расположенные в основаниях буртов, и далее посредством

водоотводных труб и сифонов направляется в аккумулирующую емкость вместимостью не более 16 м³ с последующим вывозом на очистные сооружения.

Размеры буртов на площадке: высота 3,0 м, ширина 7,60 м, длина 50 м. Между рядами буртов готового компоста (почвогрунта) необходимо предусматривать технологические проезды шириной 2 м. Для формирования буртов используется фронтальный погрузчик. Сформированный бурт укрывается мембраной для защиты от осадков.

Промышленная площадка компостирования

Общестроительные работы по организации временной производственной площадки выполняются в соответствии со строительными нормами и правилами, в том числе СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения». Бетонные и железобетонные конструкции климатических камер и технологической площадки № 2 должны удовлетворять требованиям по безопасности, эксплуатационной пригодности, долговечности. К буртовым площадкам предъявляются требования, когда при полностью растянутом сечении должна быть обеспечена непроницаемость (находящимся под давлением жидкости или газов, испытывающим воздействие радиации, и т. п.).

Требования по нагрузкам и воздействиям, пределу огнестойкости, непроницаемости, морозостойкости, предельным показателям деформаций (прогибам, перемещениям, амплитуде колебаний), расчетным значениям температуры наружного воздуха и относительной влажности окружающей среды, по защите строительных конструкций от воздействия агрессивных сред устанавливаются соответствующими нормативными документами (СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия», СП 14.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения», СП 28.13330 «Защита строительных конструкций от коррозии», СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений», СП 131.13330 «Строительная климатология», СП 2.13130 «Системы противопожарной защиты»).

Основные конструктивные решения по организации временной площадки № 2 отражены на рис. 2 и 3, табл. 3 – 6.

Спецтехника и оборудование могут быть представлены аналогами, позволяющими выполнять сходные функции.

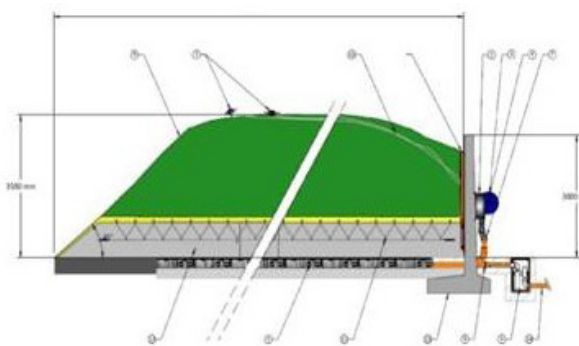


Рис. 2. Общий вид бурта

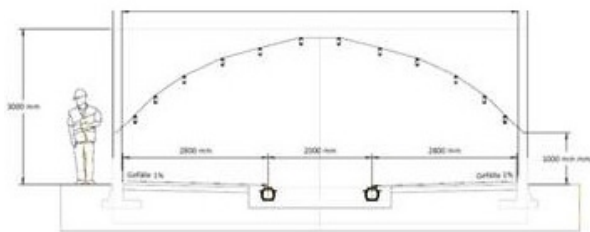


Рис. 3. Конструктивные решения по размещению аэрационных каналов

Типовой состав спецтехники и оборудования

Таблица 3

Вид оборудования	Марка (тип)	Количество единиц
Оборудование компостирования (комплект оборудования для буртования)	Поставка по внешнеторговому контракту	Комплект
Весовое оборудование	Мод. Тензо-М	1
Оборудование мойки колес автотранспорта	Типа «Мойдодыр»	1
Погрузчик фронтальный, колесный	Амкодор 352 или ТО-18	1
Самосвал	Самосвал SCANIA P400/P440 CB6X4EH на 16 м3	1
Устройство распыления реагентов	«Керхер»	3
Аварийный источник питания	Дизельный генератор мод. ТСС АД-60С-Т400-1РМ19	1
Ленточный транспортер передвижной	Мод. HAMMEL-750 или аналог	1
Устройство грохочения (для складирования готового продукта)	Мод. Троммель	1

Таблица 4

Типовые технико-экономические показатели, применяемые для расчетов, исходя из принятых типовых решений для переработки от 100000 до 160000 м³ сырья в год

Наименование здания, сооружения	Общая площадь, м ²	Площадь застройки, м ²	Строительный объем, м ³
Компостные карты (бурты) с мембранным покрытием	6432,0	7826,0	
- в т.ч. на одну карту (бурт)	402,0		932,0
Сооружение (навес) для приема сырья (отходов, ила, осадка) для компостирования	864,0	922,56	
- в т.ч. надземной части			4935,0
Административно-бытовой комплекс (АБК)	124,37	145,15	636,15
Итого:	6958,37	7971,15	1568,15

Таблица 5

Типовые показатели земельного участка, применяемые для расчетов, исходя из принятых типовых решений для переработки от 100000 до 160000 м³ сырья в год

№ п/п	Показатель	Ед. изм.	Количество в границах участка
1	Площадь земельного участка, в т. ч.:	га	2,01
1.1	Площадь застройки:	га	0,7844
1.1.1	- зданий	га	0,0147
1.1.2	- подпорных стен	га	0,0076
1.2	Площадь твердых покрытий, в т.ч.:		
1.2.1	- площадь тротуаров	га	0,0421
1.2.2	- площадь проездов	га	0,6798
1.2.3	- площадь отмостки	га	0,0363
1.3	Площадь озелененной территории	га	0,2755
2	Гостевая автостоянка для легкового автотранспорта	маш.-место	4

Таблица 6

Показатели свойств осадков сточных вод и продуктов их переработки при использовании для рекультивации

Показатель	ГОСТ Р 54534-2011 при использовании для технической рекультивации	Технический грунт
Ртуть, мг/кг сухого вещества, не более	30	0,24
Хром, мг/кг сухого вещества, не более	2000	26
Свинец, мг/кг сухого вещества, не более	1000	Менее 10
Кадмий, мг/кг сухого вещества, не более	60	1
Никель, мг/кг сухого вещества, не более	800	Менее 50
Медь, мг/кг сухого вещества, не более	1500	50
Цинк, мг/кг сухого вещества, не более	7000	75
Мышьяк, мг/кг сухого вещества, не более	40	0,64
Бактерии группы кишечной палочки, индекс	1000	10
Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы	Отсутствие	Отсутствие
Жизнеспособные яйца гельминтов и цисты простейших	Отсутствие	Отсутствие
Наличие жизнеспособных личинок и куколок синантропных мух	Отсутствие	Отсутствие
Влажность, %	55	37

Проведение демонстрационного цикла компостирования

Цель проведения эксперимента – апробирование применения технологии мембранного компостирования для иловых осадков МУП «Водоканал» с целью доведения качественного состава осадков до требований ГОСТ Р 54534-2011, получение грунта, пригодного для технической рекультивации.

Технология компостирования предусматривает применение структурного материала (древестной щепы) в смеси с иловым осадком.

Производственная площадка будет в состоянии переработать значительный объем несортной бросовой древесины, подлежащей утилизации.

В процессе эксперимента измеряли температуру и влажность осадков/отходов в ходе компостирования (рис. 4).

Большую часть тестирования температура в биореакторе была выше 55 °С (доходя до 63 °С), что гарантированно обеспечивает гигиенизацию получаемого биотехнического грунта. Значения температуры регистрируются программным комплексом автоматически и непрерывно. За период компостирования

влажность материала снизилась с исходных 80 до 37 %.

Результаты апробирования технологии:

1. Цикл компостирования илов водоканала составляет всего один месяц.

2. Конечный продукт соответствует ГОСТу для технического грунта по показателям химического и микробиологического состава.

3. Полностью отсутствует характерный запах.

4. Полученный грунт позволяет вести любую хозяйственную деятельность в месте его размещения.

Процесс компостирования под мембраной с аэрацией сжатым воздухом – это последнее

слово техники и новейшая разработка в сфере экологии. Он отличается простотой и гибкостью, высокой скоростью протекания и эксплуатационной надёжностью. Центральным элементом системы является многослойная мембрана GORE® Cover, состоящая из специально разработанной микропористой структуры на основе политетрафторэтилена, которая расположена между УФ-стабилизаторами, стойкими к механическому воздействию тканевыми основами. Схема устройства буртов представлена на рис. 5.

Благодаря особой мембранной пористой структуре GORE® Cover полупроницаем, что позволяет обеспечить стабильный климат внутри бурта.

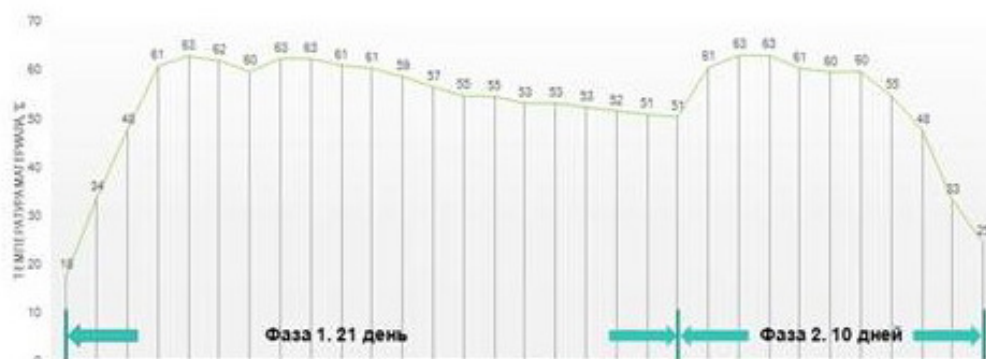


Рис. 4. Изменение температуры и влажности материала в ходе компостирования

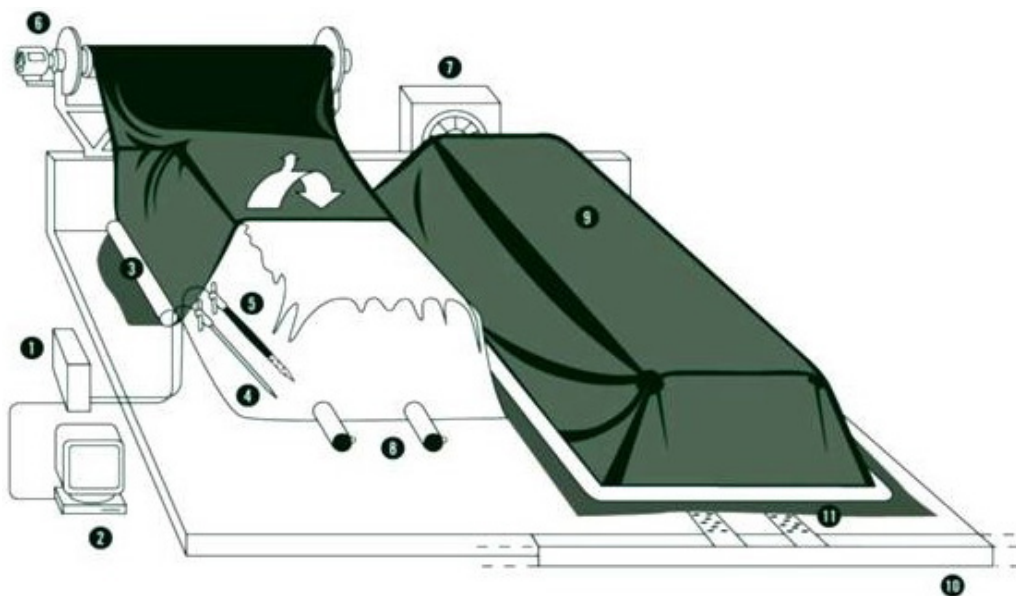


Рис. 5. Принципиальная схема устройства буртов на площадке компостирования отходов:

- 1 – блок управления; 2 – центральный компьютер; 3 – прижим укрывного материала; 4 – зонд для измерения температурного профиля; 5 – зонд для измерения температуры и уровня кислорода; 6 – механизм для наматывания мембраны; 7 – блок аэрации; 8 – трубы для аэрации, проходящие по поверхности основания; 9 – укрывной материал GORE® Cover; 10 – дренажная система; 11 – желоба для аэрации у основания площадки

Покрытие предотвращает попадание в окружающую среду запахов и прочих газообразных веществ, которые выделяются компостируемым материалом. Во время вылеживания на внутренней стороне образуется тонкая пленка конденсата, в котором растворяются запахи и прочие газообразные вещества и стекают обратно в материал, где они подвергаются бактериальному разложению. Благодаря размеру пор около 0,2 мкм покрытие представляет собой эффективный барьер для спор и микроорганизмов.

С помощью аэрации покрытие GORE® Cover позволяет создать идеальные условия для вылеживания материала. Благодаря короткой продолжительности процесса вылеживания возможна высокая пропускная способность на единицу площади. Установленные в бурте измерительные зонды контролируют снабжение кислородом и температуру реакции и регулируют продолжительность вентиляции.

Принципиальная схема для компостирования путем герметизации с полупроницаемым мембранным покрытием показана на рис. 6.

Основание для компостирования сооружается из водостойкого бетона марки В-25 или асфальта в целях соответствия требованиям природоохранного законодательства и законодательства в сфере санитарно-эпидемиологического благополучия населения. Максимальный уклон 2 % обеспечивает отвод поверхностных стоков в предусмотренную для этого дренажную систему (рис. 7).

Активная аэрация воздухом снабжает микроорганизмы кислородом из окружающей

среды. Аэрация регулирует основные параметры компостирования, такие как уровень кислорода и температура внутри климатической камеры. Управление параметрами на первой и второй фазах второго этапа технологического процесса осуществляется автоматически.

Технологический режим имеет три производственных этапа с законченным технологическим циклом, в результате которого производится компост (почвогрунт) с заданными технологическими параметрами и свойствами (рис. 8).

Сам процесс непосредственного компостирования сырья (отходов) осуществляется на втором этапе (табл. 7). Первая и вторая стадии компостирования происходят в самой интенсивной фазе.

Этап 1 – Предварительная обработка

Отходы, содержащие органические фракции (ил, осадок), самосвалами выгружаются на площадке № 1 для первоначального складирования. Затем они вручную очищаются от крупных инородных тел и смешиваются с имеющимся структурным материалом с помощью погрузчика. При необходимости материал измельчается в дробильном устройстве вместе со структурным материалом. Происходящая в результате этой операции гомогенизация материала необходима, чтобы сделать его пригодным для аэрации. Кроме этого, на этапе гомогенизации имеется возможность добиться содержания влаги не менее 60 %.



Рис. 6. Принципиальная схема компостирования отходов:

1 – фиксатор покрытия; 2 – измерительный зонд; 3 – природные воздействия; 4 – CO₂; 5 – температурный зонд; 6 – GORE® Cover; 7 – воздух; 8 – нагрев; 9 – запах; 10 – влажность; 11 – микроорганизмы



Рис. 7. Отвод поверхностных стоков

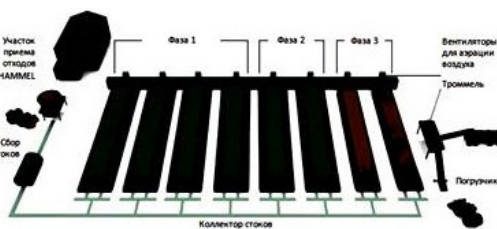


Рис. 8. Схема процесса GORE® Cover

Таблица 7

Этапы технологического процесса				
Этап 1 (подготовительный)	Этап 2 (компостирование)			Этап 3 (обработка компоста)
	ФАЗА № 1 начальная	ФАЗА № 2 основная	ФАЗА № 3 созревание	
Прием сырья (отходов) Подготовка сырья (отходов) к компостированию Размещение сырья (отходов) в компостные ряды (бурты) Укрытие буртов мембраной GORE® Cover	Интенсивное вылеживание Срок фазы 4 недели Аэрация	Интенсивное вылеживание Срок фазы 2 недели Аэрация	Финальное вылеживание Срок фазы 2 недели Дозревание в естествен- ных условиях	Грохочение готового компоста (просеивание) Готовый компост Недозревшая фракция отправляется на повторную переработку, начиная с подготовки сырья Выделение отходов компостирования Производство почвогрунта двух типов (для технической и биологической рекульти- вации)
	Сбор фильтрата на площадке компостирования			

Гомогенизированный материал с необходимым содержанием влаги и фракционным составом не более 100 мм складывается в бурты с помощью фронтального погрузчика. При этом материал выгружается на желоба для аэрации, начиная от стенки, а вентилятор переводится в режим непрерывной работы. Максимальная высота буртов составляет 3,5 м. Ширина буртов варьируется от 6 до 8 м, а длина составляет 50 м, поскольку она ограничена размерами площадки компостирования и длиной аэрационных каналов.

Этап 2 – Компостирование

После складывания материала в бурты они накрываются укрывным материалом GORE® Cover. Для накрытия бурта используется материал GORE® Cover, намотанный одним концом на стержень, размещенный у дальней стенки поверхности для вылеживания или находящийся в мобильном устройстве для наматывания. Разматывание укрывного материала GORE® Cover осуществляется с помощью тросовой лебедки.

Затем укрывной материал фиксируется у основания площадки с помощью заполненных водой пожарных шлангов (или тросов), которые продеваются в петли на краях полотна. После этого начинается регулируемая аэрация бурта, позволяющая избежать появления запаха и размножение микроорганизмов.

После насыпки и накрытия буртов укрывным материалом GORE® Cover на него устанавливаются зонды, необходимые для управления процессом. Затем в материал необходимо поместить кислородный зонд. Кислородный зонд

погружается в бурт не полностью, он должен выступать над поверхностью бурта на 20–30 см.

Отходящие от зондов кабели прокладываются по поверхности бурта к устройству регистрации данных.

Аэрация компостируемого материала необходима для быстрого разложения органических веществ без выделения запаха. Для этого устанавливаются промежуточные нагнетатели, которые засасывают воздух из окружающей среды и подают его внутрь буртов по трубам для аэрации, встроенным в поверхность основания для вылеживания. Система аэрации состоит из желобов для подвода воздуха, устраиваемых на поверхности плиты. Плита должна быть устойчивой к коррозии. Через отверстия в желобах воздух подается внутрь бурта, обеспечивая контролируемую аэрацию массы.

Фаза 1 – Начальное интенсивное вылеживание (этап 2)

В течение фазы 1 перекалывание буртов при их вылеживании не требуется в течение всех четырех недель. Сложный материал подвергается аэрации в нормальном режиме после предварительной установки предельных значений содержания кислорода и температуры. Орошение водой или перекалывание буртов в течение данного срока не требуется.

Фаза 2 – Основное интенсивное вылеживание (этап 2)

Укладка материала, прошедшего фазу 1 (интенсивное вылеживание), происходит так же, как и в первой фазе. Нормативная длительность второй фазы для интенсивного вылеживания материала составляет две недели.

Фаза 3 – Финальное (дополнительное) вылеживание (этап 2)

После фазы 2 интенсивное вылеживание бурта раскрывается, датчики удаляются и убираются в безопасное место. Бурт разбирается колесным погрузчиком, и материал перемещается на площадку фазы 3 для финального (дополнительного) вылеживания, где продолжается его аэрирование, при этом укрытие материалом GORE® Cover больше не требуется. На данном этапе компост уже практически созрел, поэтому запах достаточно слабый.

Этап 3 – Обработка компоста (почвогрунта)

После дозревания материала на финальной фазе 3 компостирования он направляется на площадку № 3 для обработки. Преремещение материала осуществляется фронтальным погрузчиком.

Применение аэрационных каналов, совмещенных с системой дренажа

В нижней части бурта предусматривается аэрационный канал для подачи воздуха под избыточным давлением. Аэрационный канал технологически совмещен с дренажной системой, обеспечивающей удаление стоков (фильтрата), образующихся в процессе компостирования.

Подача атмосферного воздуха регулируется электронным блоком системы контроля и управления процессом компостирования.

Управляемыми параметрами для достижения оптимальных условий компостирования являются содержание кислорода и температура обрабатываемого материала (субстрата).

Центральным элементом системы измерения кислорода является динамический сенсор на основе двуокиси циркония. Измерение производится в линейном диапазоне от 0,1 до 25 % кислорода и представляет собой динамический процесс на двух пластинках из двуокиси циркония, образующих герметически изолированную капсулу. Измеряемое значение указано в процентах. Это соответствует относительному объему газа.

Абсолютные значения результатов измерений пересчитываются в относительные единицы по формуле

$$AO^2 = (PO^2 / 1013,25) \times 100,$$

где AO^2 – показания, Vol. %;

PO^2 – парциальное давление.

Центральный компьютер производит непрерывное измерение контролируемых технологических параметров, а также их анализ

и выдачу команд на изменение процесса аэрации. В процессе обработки параметров производится документирование технологических параметров компостирования.

Все параметры замеряются измерительными датчиками температуры, содержания кислорода, что позволяет автоматически поддерживать оптимальный уровень аэрации и экономить энергозатраты на работу вентилятора. Сенсор давления обеспечивает автоматический контроль и бесперебойное функционирование вентилятора на заданном уровне избыточного давления внутри бурта.

Система измерения температуры мод. MF420-5T-100 осуществляет контроль температурного профиля компостной массы.

Температурные показатели отслеживаются в пяти точках бурта и точно отображают степень разложения субстрата, одновременно с этим производится непрерывная запись и электронное документирование технологического процесса, которое используется впоследствии в качестве сведений для оформления декларации производителя или сертификата на соответствующую партию готового почвогрунта, предназначенного для рекультивации (ГОСТ Р 54534-2011 «ГОСТ для технического грунта»).

Выводы. 1. Исследование контейнерной установки компостирования показало реальную эффективность предлагаемой технологии в конкретных условиях для производительности до 160000 м³/год, с площадью достройки примерно 8000 м² и земельного участка около 2 га.

2. Достигнуто снижение влажности до 37 %. Выявлено снижение индекса бактерий группы кишечной палочки до 10, отсутствие патогенных микроорганизмов (сальмонеллы), яиц гельминтов и простейших, жизнеспособных личинок и куколок синантропных мух.

3. Доказана возможность использования иловых осадков для получения грунта, пригодного для технической рекультивации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дрегуло А.М. Трансформация иловых карт в объекты накопленного экологического ущерба: риски, факторы, техногенез. М., 2019. 200 с.
2. Егорова Ю.А., Кичигин В.И., Нестеренко О.И., Юдин А.А. Обработка осадков сточных вод на городских очистных канализационных сооружениях с целью их последующей утилизации // Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 9. С. 46–51.
3. Кичигин В.И., Землянова М.В., Вялкова Е.И. Исследование возможности использования СВЧ-излучения для обработки жидких коммунальных отходов // Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8. № 1 (30). С. 44–49. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.8.

4. Кичигин В.И., Палагин Е.Д. Обработка и утилизация осадков природных и сточных вод. Самара, 2008. 70 с.

5. Титов И.Н., Бжания Е.Р. Утилизация и рециклинг муниципальных осадков сточных вод с помощью технологии вермикомпостирования // Проблемы механизации агрохимического обеспечения сельского хозяйства. 2016. № 10. С. 32–38.

6. Чертес К.Л., Тупицына О.В., Пыстин В.Н. Комплексная обработка осадков водно-шламового хозяйства // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: сборник статей / СГАСУ; под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, А.К. Стрелкова. Самара, 2016. С. 291–295.

7. Размещение осадков сточных вод в толще полигона ТБО / К.Л. Чертес, А.М. Штеренберг, М.В. Назаров, О.В. Тупицына, Е.В. Михайлов, Д.Е. Быков // Экология и промышленность России. 2009. № 1. С. 39–41.

8. Фаттахова А.М. Усовершенствованный способ очистки сточных вод полигонов захоронения отходов // Градостроительство и архитектура. 2015. № 2. Т. 5, С. 60–66. DOI: 10.17673/Vestnik.2015.02.10.

REFERENCES

1. Dregulo A.M. *Transformatsiya ilovykh kart v ob"ekty nakoplennoy ekologicheskoy ushcherba: riski, faktory, tekhnogenez* [Transformation of power maps into objects of accumulated environmental damage: risks, factors, technogenesis]. Moscow, 2019. 200 p.

2. Egorova Yu.A., Kichigin V.I., Nesterenko O.I., Yudin A.A. Treatment of sewage sludge at municipal sewage treatment facilities for subsequent disposal.

Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitation], 2021, no.9, pp. 46–51. (in Russian)

3. Kichigin V.I., Zemlyanova M.V., Vyalkova E.I. Study of the possibility of using microwave radiation for the treatment of liquid municipal waste. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2018. V.8, 1. pp. 44–49. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.8.

4. Kichigin V.I., Palagin E.D. *Obrabotka i utilizatsiya osadkov prirodnnykh i stochnykh vod* [Treatment and disposal of natural and wastewater sludge]. Samara, 2008. 70 p.

5. Titov I.N., Bzhaniya E.R. Municipal sewage sludge disposal and recycling using vermicomposting technology. *Problemy mekhanizatsii agrokhimicheskogo obespecheniya sel'skogo khozyaystva* [Problems of agrochemical mechanization of agriculture], 2016, no. 10. pp. 32–38. (in Russian)

6. Chertes K.L., Tupitsyna O.V., Pystin V.N. *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Stroitel'nye tekhnologii: sbornik statey* [Traditions and innovations in construction and architecture. Building technologies: a collection of articles]. SGASU, Samara, 2016, pp. 291–295. (In Russian).

7. Chertes K.L., Shterenberg A.M., Nazarov M.V., Tupitsyna O.V., Mikhaylov E.V., Bykov D.E. Waste water sludge location in the MSW landfill. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2009, no. 1, pp. 39–41. (in Russian)

8. Fattakhova A.M. Improved Method of Landfills Wastewater Treatment (through the Example of Ufa Landfill of Production and Consumer Waste). *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2015, vol.5, no. 2. pp. 60–66. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2015.02.10.

Об авторах:

ТЕПЛЫХ Светлана Юрьевна

кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: kafvv@mail.ru

TEPLYKH Svetlana Yu.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Water Supply and Wastewater Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: kafvv@mail.ru

ТОПОЛОВА Виолетта Вячеславовна

магистрант факультета инженерных систем и природоохранного строительства Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: kafvv@msil.ru

TOPOLOVA Violetta V.

Master's Degree Student of Engineering Systems and Environmental Engineering Department Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: kafvv@msil.ru

Для цитирования: Теплых С.Ю., Тополова В.В. Технология компостирования осадка иловых полей очистных сооружений // Градостроительство и архитектура. 2022. Т.12, № 1. С. 143–153. DOI: 10.17673/Vestnik.2022.01.19. For citation: Teplykh S.Yu., Topolova V.V. Technology for composting sludge deposit of treatment facilities. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2022. Vol. 12, no. 1. Pp. 143–153. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2022.01.19.