

ОБРАБОТКА ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД: ПОЛЕЗНЫЙ ОПЫТ И ПРАКТИЧЕСКИЕ СОВЕТЫ



Part-financed by the European Union
(European Regional Development Fund
and European Neighbourhood and
Partnership Instrument)

ОБРАБОТКА ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД: ПОЛЕЗНЫЙ ОПЫТ И ПРАКТИЧЕСКИЕ СОВЕТЫ

Издатель и авторское право 2012: Проект по городскому сокращению эвтрофикации (Project on Urban Reduction of Eutrophication, PURE) через Комиссию по окружающей среде Союза балтийских городов, Vanha Suurtori 7, 20500 Turku, Finland (Финляндия); www.purebalticsea.eu

Главы 3–11 и частично глава 2 настоящей публикации основаны на техническом отчете компании Pöyry Finland Oy в рамках проекта PURE «Проверенные стандартные методы и инновационные решения по обработке осадка в регионе Балтийского моря».

Другие авторы и редакторы: Ян-Эрик Люфт, Entsorgungsbetriebe Lübeck; Туули Ойяла, Фонд Джона Нурминена; Лотта Руоканен, Хельсинкская комиссия; Олена Зинчук, Комиссия по окружающей среде Союза балтийских городов.

Фото на обложке: сайт shutterstock.com/DmitriMaruta. Авторы остальных фотографий указаны рядом с каждой фотографией.

Перевод с английского на русский: Алина Кузавко

Редактор: Людмила Науменко

Дизайн и верстка: Сари Сариола, Комиссия по окружающей среде Союза балтийских городов.

Количество страниц: 125

ISBN 978-952-5725-93-3 (печат.), 978-952-5725-94-0 (PDF)

Опубликовано в октябре 2012 г.



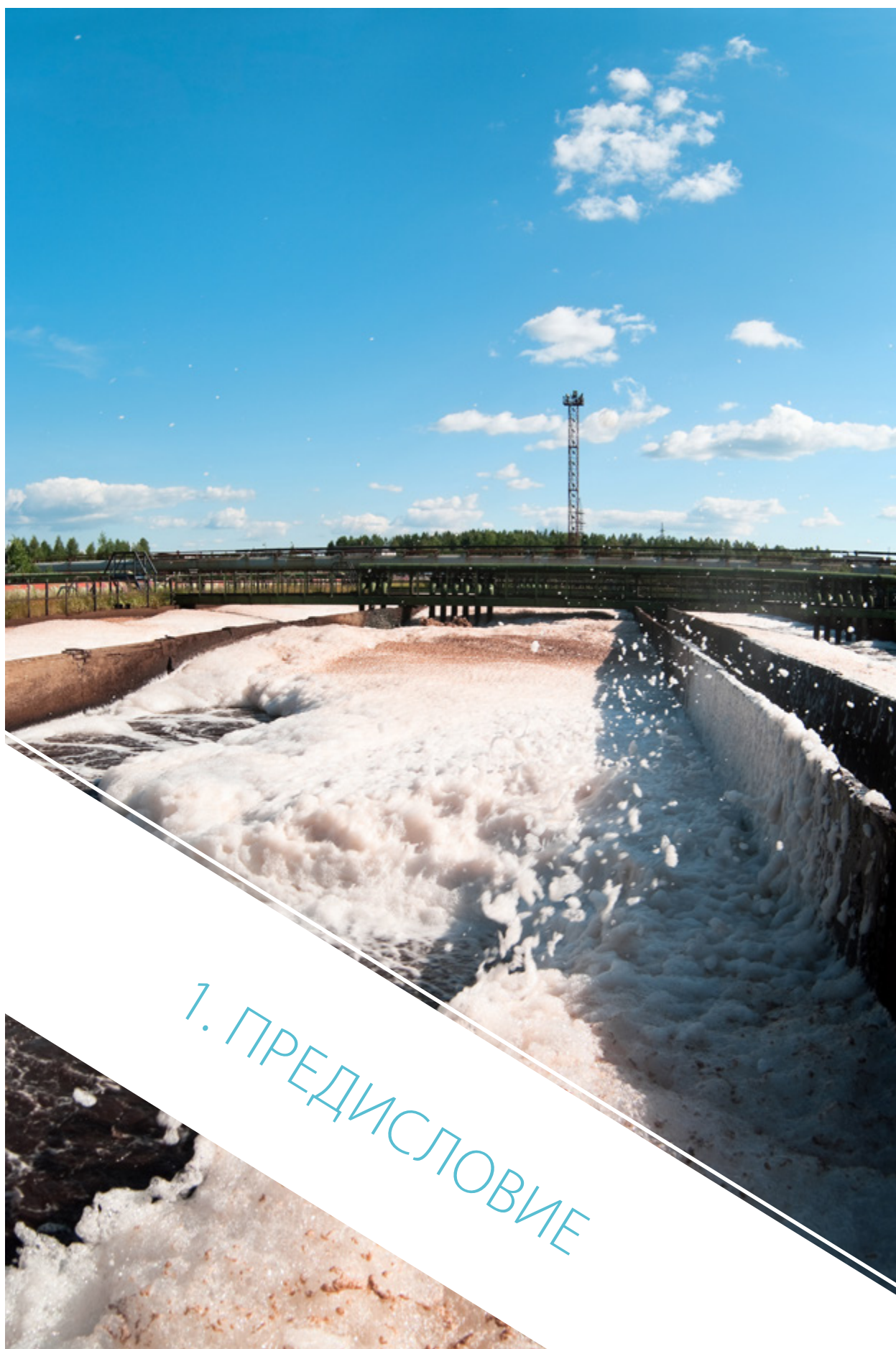
Part-financed by the European Union
(European Regional Development Fund
and European Neighbourhood and
Partnership Instrument)

ОБРАБОТКА ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД: ПОЛЕЗНЫЙ ОПЫТ И ПРАКТИЧЕСКИЕ СОВЕТЫ

СОДЕРЖАНИЕ

1. ПРЕДИСЛОВИЕ	4
1.1 Совершенствование управления осадком городских сточных вод в Проекте по городскому сокращению эвтрофикации PURE	5
1.2 На пути к созданию общих рекомендаций в сфере управления осадком в регионе Балтийского моря	5
2. ВВЕДЕНИЕ	9
2.1 Осадок сточных вод: проблема или ресурс	10
2.2 Основные принципы обработки осадка на очистных сооружениях населенных пунктов	11
2.3 Технологические схемы обработки осадков сточных вод	14
2.4 ПРИМЕР: технические решения по обработке осадка партнера по проекту PURE – ГДАНЬСК	16
2.5 ПРИМЕР: технические решения по обработке осадка партнера по проекту PURE – БРЕСТ	17
3. УПЛОТНЕНИЕ ОСАДКА	18
3.1 Введение	19
3.2 Гравитационные илоуплотнители	20
3.3 Механические илоуплотнители	22
3.4 ПРИМЕР: технические решения по обработке осадка партнера по проекту PURE – РИГА	25
3.5 Основные методы уплотнения осадка: обобщение	26
4. СТАБИЛИЗАЦИЯ ОСАДКА	28
4.1 Принципы анаэробного сбраживания	29
4.2 Мезофильное сбраживание	30
4.3 Другая важная информация о сбраживании	33
4.4 Анаэробное сбраживание: обобщение	34
4.5 Производство и обработка биогаза	34
4.6 Использование энергии	35
4.7 Аэробная стабилизация	37
4.8 ПРИМЕР: технические решения по обработке осадка партнера по проекту PURE – ЛЮБЕК	38
5. ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ОСАДКА	39
5.1 Введение	40
5.2 Центрифуги	42
5.3 Ленточные фильтр-прессы	44
5.4 Камерные фильтр-прессы	46
5.5 Гидравлические прессы	47
5.6 ПРИМЕР: технические решения по обработке осадка партнера по проекту PURE – ЮРМАЛА	49
5.7 Основные методы обезвоживания осадка: обобщение	50
6. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ОСАДКА	52
6.1 Введение	53
6.2 Термическая обработка	54
6.3 Химическая обработка	55
6.4 Биологическая обработка	59
6.5 ПРИМЕР: технические решения по обработке осадка партнера по проекту PURE – КОХТЛА-ЯРВЕ	62
6.6 ПРИМЕР: технические решения по обработке осадка партнера по проекту PURE – ХЕЛЬСИНКИ	63
6.7 Методы обеззараживания осадка: обобщение	64

7. СУШКА ОСАДКА.....	66
7.1 Введение.....	67
7.2 Принцип работы и методы сушки осадка	68
7.3 ПРИМЕР: технические решения по обработке осадка партнера по проекту PURE – ЩЕЦИН.....	70
7.4 Основные методы сушки осадка: обобщение.....	72
8. СЖИГАНИЕ ОСАДКА.....	73
8.1 Введение.....	74
8.2 Общие требования к сжиганию осадка и возможные технические решения	74
8.3 Методы сжигания осадка	76
8.4 Основные методы сжигания: обобщение	78
9. УТИЛИЗАЦИЯ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД И ЗОЛЫ ОТ СЖИГАНИЯ.....	79
9.1 Введение.....	80
9.2 Использование осадков сточных вод в сельском хозяйстве	81
9.3 Вывоз осадков сточных вод на полигоны ТБО	82
9.4 Утилизация золы, полученной при моносжигании осадка	83
9.5 Методы утилизации: краткий обзор.....	83
10. ОЧИСТКА ИЛОВОЙ ВОДЫ.....	84
10.1 Введение	85
10.2 Физические и химические методы очистки иловой воды	85
10.3 Биологическая очистка иловой воды	87
10.4 Основные методы очистки иловой воды: обобщение.....	89
11. ИЗВЛЕЧЕНИЕ ФОСФОРА ИЗ ОСАДКА	90
11.1 Введение	91
11.2 Извлечение фосфора из сточных вод или осадков сточных вод	93
11.3 Извлечение фосфора из золы.....	95
11.4 Основные методы извлечения фосфора: обобщение	95
12. ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО В РЕГИОНЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В СФЕРЕ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ	96
12.1 Законодательство стран Европейского Союза в сфере обработки осадков сточных вод	97
12.2 Национальное законодательство по обращению с осадком сточных вод в странах региона Балтийского моря	102
12.3 Выводы	111
13. ОСНОВНЫЕ СТИМУЛЫ И ПРЕПЯТСТВИЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ОСАДКАМИ СТОЧНЫХ ВОД.....	113
13.1 Затраты и экономические стимулы при использовании различных методов обращения с осадками сточных вод.....	114
13.2 Содержание опасных веществ и качественный состав осадка	115
13.3 Утилизация фосфора и осадка.....	116
13.4 Законодательно-нормативная база – Директивы ЕС и национальное законодательство.....	118
13.5 Политическое управление и другие нормативные практики	119
14. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	121
ПРИЛОЖЕНИЕ	125



1. ПРЕДИСЛОВИЕ

Фото: сайт [shutterstock.com/Kekyalaynen](https://www.shutterstock.com/Kekyalaynen)

1.1 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ОСАДКОМ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД В ПРОЕКТЕ ПО ГОРОДСКОМУ СОКРАЩЕНИЮ ЭВТРОФИКАЦИИ PURE

Проект по городскому сокращению эвтрофикации (Project on Urban Reduction of Eutrophication, PURE) направлен на снижение нагрузки по фосфору, в избыточном количестве поступающему в Балтийское море и вызывающему множество негативных последствий в морской экосистеме. В проекте PURE предложены и реализованы экономически эффективные инвестиции и функциональные изменения для совершенствования процессов удаления фосфора на шести городских очистных сооружениях водоотведения. Кроме того, в рамках проекта рассмотрена эффективная практика и проблемы в сфере обработки осадков городских сточных вод в регионе Балтийского моря с целью содействия принятию решений предприятиями водопроводно-канализационного хозяйства в вопросах управления осадком.

В ходе реализации проекта собрано большое количество материала: описание процессов обработки и утилизации осадка, потенциальные проблемы в вопросах управления осадком и планы на будущее партнеров PURE и ассоциированных партнеров – предприятий водопроводно-канализационного хозяйства. На семинаре PURE по обработке осадка в сентябре 2011 г. представлены некоторые из наиболее передовых технологий, используемых в ведущей стране – Германии. В данной публикации собраны возможные технические решения обработки и удаления осадка с учетом различий в национальных тенденциях и состоянии новых технологий.

В публикации представлена основная информация о формировании, обработке и утилизации в современных системах очистки городских сточных вод, а также технические решения по его уплотнению, сбраживанию, обезвоживанию, обеззараживанию, сушке, сжиганию и утилизации. Технический обзор включает краткое описание практической ситуации и сравнение результатов при использовании различных методов, требования к техническому обслуживанию, производительности оборудования, применимость для очистных сооружений различного размера, в том числе в регионе Балтийского моря, а также примерные суммы



Рис. 1-1: Фото: сайт shutterstock.com/PanicAttack

затрат и расходов электроэнергии и реагентов для каждого из методов. Кроме того, описаны сопутствующие новые технологии, например, очистка концентрата (фильтрата) и фосфора.

В данной публикации вы найдете замечания, касающиеся основных моментов и затруднений, связанных с устойчивым управлением осадком, а также экономические и законодательно-нормативные факторы, влияющие на выбор методов его обработки и утилизации. Кроме того, приведены некоторые рекомендации в отношении способов управления осадком городских сточных вод.

1.2 НА ПУТИ К СОЗДАНИЮ ОБЩИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ В СФЕРЕ УПРАВЛЕНИЯ ОСАДКОМ В РЕГИОНЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Одним из партнеров PURE является Хельсинкская комиссия (Helsinki Commission, HELCOM). Ее деятельность направлена на защиту морской среды Балтийского моря от всех источников загрязнения при сотрудничестве Дании, Эстонии, Европейского, Финляндии, Германии, Латвии, Литвы, Польши, России и Швеции на межгосударственном уровне.

ХЕЛКОМ является руководящим органом «Конвенции по защите морской среды района Балтийского моря» (Хельсинкской Конвенции). Целью ХЕЛКОМ

является обеспечение здоровой среды Балтийского моря, сохранение биоразнообразия и экологического баланса, что позволит улучшить состояние моря и

обеспечит возможность устойчивой экономической и социальной деятельности.

Страны в регионе Балтийского моря активно реализуют задачи «Плана действий по Балтийскому морю» ХЕЛКОМ (ХЕЛКОМ, 2007 г.) с целью значительного сокращения эвтрофикации к 2021 г., включая осуществление конкретных мер по повышению качества очистки сточных вод. В Рекомендации 28Е/5 «Очистка городских сточных вод» (ХЕЛКОМ, 2007 г.) определены требования к очистке сточных вод, которые являются более строгими, чем, например, соответствующая Директива ЕС. Главной целью проекта PURE является достижение рекомендованных ХЕЛКОМ показателей по удалению фосфора на очистных сооружениях предприятий-партнеров наряду с совершенствованием технологий обработки осадка. В настоящее время рекомендации ХЕЛКОМ в отношении осадка сточных вод отсутствуют.

Группа ХЕЛКОМ по борьбе с наземными источниками загрязнений (Land-based Pollution Group, LAND) отвечает за сокращение загрязнений, поступающих из всех наземных источников в бассейне Балтийского моря. Она определяет точечные и диффузные

наземные источники загрязнения биогенными элементами и опасными веществами и предлагает соответствующие меры по их устранению. В 2012 г. на очередном заседании Группа в целом поддержала предложение пересмотреть Рекомендацию ХЕЛКОМ 28Е/5, с тем, чтобы включить в нее пункт по обработке осадков сточных вод, либо разработать отдельную рекомендацию ХЕЛКОМ по данному вопросу. Участники заседания приветствовали предложение Германии и Швеции координировать разработку пересмотренных/новых рекомендаций.



Рис. 1-2: На побережье Балтийского моря расположены 9 государств. Площадь водосборного бассейна, на территории которого проживает свыше 85 млн человек, почти в 4 раза превышает площадь самого моря (на карте водосборный бассейн отмечен жирной черной линией). Средняя глубина Балтийского моря меньше глубины большинства других морей и составляет лишь 53 м. Такие факторы, как низкая соленость воды, холодные зимы и замедленный водообмен, делают Балтику чрезвычайно уязвимой к антропогенному воздействию.

Партнеры по проекту PURE

Комиссия по окружающей среде (Commission on Environment, EnvCom) Союза балтийских городов (Union of the Baltic Cities, UBC)

Союз балтийских городов является активной добровольной организацией, мобилизующей совместный потенциал более 100 городов для демократического, экономического, социального и культурного и экологически устойчивого развития в регионе Балтийского моря. Комиссия по окружающей среде является одной из 13 комиссий Союза балтийских городов. Она отвечает за деятельность Союза в области охраны окружающей среды и устойчивого развития городов. В проекте PURE Комиссия по окружающей среде является ведущим партнером и обеспечивает общее руководство проектом и его координацию.

Фонд Джона Нурминена (John Nurminen Foundation)

Фонд Джона Нурминена работает в двух направлениях: культурная деятельность по сохранению истории мореплавания и проекты «Чистая Балтика», связанные с эвтрофикацией и безопасностью движения нефтяных танкеров. Целью проектов «Чистая Балтика» является значительное сокращение биогенной нагрузки за счет реализации экономически эффективных инвестиций. В проекте PURE Фонд Джона Нурминена координирует инвестиции и технические исследования, связанные с процессами глубокого удаления фосфора, а также деятельность по устойчивой обработке осадка.

Хельсинкская комиссия по защите морской среды Балтийского моря ХЕЛКОМ (Baltic Marine Environment Protection Commission, HELCOM)

Работа Хельсинкской комиссии направлена на защиту морской среды Балтийского моря от всех источников загрязнения путем сотрудничества на межгосударственном уровне всех девяти стран, окружающих Балтийское море. ХЕЛКОМ является руководящим органом «Конвенции по защите морской среды района Балтийского моря» (Хельсинкской Конвенции). В рамках проекта PURE Секретариат ХЕЛКОМ отвечает за внешние коммуникации и распространение информации.

Предприятие водопроводно-канализационного хозяйства г. Риги SIA Rīgas ūdens (Латвия)

SIA Rīgas ūdens предоставляет услуги по водоснабжению, водоотведению и очистке сточных вод города Риги и близлежащих районов. Проектная мощность ОСК (очистных сооружений канализации) «Даугав-

грива» составляет эквивалент численности населения в размере 1 000 000 жителей. Очищенные сточные воды сбрасываются непосредственно в Балтийское море (Рижский залив). В рамках проекта PURE SIA Rīgas ūdens инвестирует в оборудование для химического осаждения фосфора и увеличение мощностей по переработке осадков. Благодаря достижению рекомендованных ХЕЛКОМ показателей, ежегодный сброс фосфора с Рижских очистных сооружений в Балтийское море по сравнению с 2008 г. сократится более чем на 100 тонн.

Брестское коммунальное производственное унитарное предприятие «Водоканал» (Беларусь)

Город Брест, в котором проживает более 300 000 жителей, расположен на границе Республики Беларусь и Польши. Сточные воды из Бреста сбрасываются в р. Буг и через Польшу попадают в Балтийское море. «Водоканал» играет важную роль в улучшении состояния Балтийского моря, так как достижение на Брестских очистных сооружениях рекомендованных ХЕЛКОМ показателей очистки сточных вод позволит предотвратить попадание в море сотен тонн фосфора. В рамках проекта PURE Брестский «Водоканал» инвестирует в оборудование для химического удаления фосфора.

Предприятие водопроводно-канализационного хозяйства г. Юрмалы Jūrmalas ūdens (Латвия)

Очистные сооружения канализации г. Юрмалы «Слока» расположены на берегу р. Лиелупе, впадающей в Балтийское море. В настоящее время к ОСК подключено около 30 000 жителей. В рамках проекта PURE предприятие ВКХ г. Юрмалы реализует инвестиции, направленные на повышение эффективности процесса биологической очистки сточных вод, особенно баланса между удалением азота и фосфора.

Предприятие водопроводно-канализационного хозяйства г. Щецина (Zakład Wodociągów i Kanalizacji Sp z o.o. w Szczecinie ZWiK) (Польша)

Расположенный на р. Одре портовый город Щецин играет важную роль в снижении биогенной нагрузки на Балтийское море. За последние годы при финансовой поддержке структурных фондов ЕС в городе реализуются крупные проекты по модернизации очистных сооружений. В рамках PURE проведен технический аудит ОСК «Поможаны» (эквивалент численности населения 418 000 жителей) и «Здрое» (эквивалент численности населения 177 000 жителей), что позволило разработать рекомендации по совершенствованию работы очистных сооружений.

Предприятие по сбору и утилизации отходов г. Любека (Entsorgungsbetriebe Lübeck) (Германия)

Качество сточных вод в г. Любеке в отношении очистки по фосфору соответствует рекомендациям ХЕЛКОМ: в настоящее время концентрация фосфора в очищенном стоке не превышает 0,2 мг/л, что соответствует степени очистки 99,0% (эквивалент численности населения 400 000 жителей). В рамках проекта PURE Любек делится передовым опытом с другими участниками и играет ключевую роль в деятельности PURE, направленной на управление осадком сточных вод.

Järve Biopuhastus OÜ (Эстония)

Региональные очистные сооружения Järve Biopuhastus, которые находятся в собственности муниципалитетов Йыхви, Кивиули, Кохтла-Ярве и Пюсси, принимают сточные воды от эквивалента численности населения 200 000 жителей. Очищенные стоки сбрасываются в Балтийское море (Финский залив). В рамках проекта PURE на ОСК Кохтла-Ярве проведен технический аудит, что позволило разработать рекомендации по совершенствованию работы очистных сооружений.

Городское управление г. Гданьска (Urząd Miejski w Gdańsku) (Польша)

Администрация г. Гданьска, численность населения которого составляет 455 000 человек, является единственным акционером городского предприятия водопроводно-канализационного хозяйства (Główny Zakład Wodociągów i Kanalizacji), которому принадлежит инфра-

структура водоснабжения и водоотведения в Гданьске. В последние годы осуществлен капитальный ремонт инфраструктуры систем ВнВ. В рамках проекта PURE проведен технический аудит ОСК «Всхуд», что позволило разработать рекомендации по совершенствованию работы очистных сооружений. В Гданьске состоялась заключительная конференция по проекту PURE.

Mariehamns stad, Мариехамн (Финляндия)

Работа ОСК города Мариехамна – члена Союза балтийских городов – хорошо отлажена (эквивалент численности населения 30 000 жителей). Отдел охраны окружающей среды Мариехамна успешно разрабатывает систему экологического мониторинга. В рамках проекта PURE город Мариехамн отвечает за создание баз данных по биогенной нагрузке городов в регионе Балтийского моря.



Рис. 1-3: Города партнеров по проекту PURE и столицы государств в регионе Балтийского моря



2. ВВЕДЕНИЕ

Фото: сайт [shutterstock.com/skyfish](https://www.shutterstock.com/skyfish)

2.1 ОСАДОК СТОЧНЫХ ВОД: ПРОБЛЕМА ИЛИ РЕСУРС

При эффективной очистке городских сточных вод образуется большое количество осадка. В странах, частично или полностью находящихся на территории водосбора Балтийского моря, ежегодно образуется около 3,5 млн тонн сухого вещества осадка, и это количество, как ожидается, к 2020 г. увеличится почти до 4 млн тонн. Управление осадком сточных вод является неотъемлемой частью работы любых современных очистных сооружений водоотведения: важно не терять содержащиеся в осадке биогенные элементы, использовать его в качестве материала и источника энергии и распоряжаться им эффективно.

В последние годы предпринят ряд мер по эффективному удалению биогенных элементов из городских сточных вод в регионе Балтийского моря с целью снижения эвтрофирующей нагрузки на хрупкую среду Балтийского моря путем выполнения соответствующих требований. Недавно вступившие в ЕС страны на восточном и южном побережье Балтики приступили к реализации Директивы об очистке городских сточных вод (см. информацию о законодательной базе в главе 12) и стремятся к выполнению более строгих рекомендованных ХЕЛКОМ показателей по биогенным элементам. Кроме того, в странах региона, не входящих в состав ЕС, также принимаются меры по интенсификации очистки сточных вод.

Существуют две основные фракции осадка: первичный осадок и вторичный избыточный ил. При удалении фосфора из сточных вод химическим осаждением количество осадка увеличивается на величину используемого для осаждения реагента. В осадке содержатся биогенные элементы, и чтобы эти элементы не попадали обратно в водотоки, а потенциал осадка можно было использовать в качестве материала или источника энергии, необходима его соответствующая обработка. Осадок, образующийся на очистных сооружениях, можно повторно использовать, например, для производства энергии, в качестве удобрения и даже для утилизации биогенных элементов. Возможности применения зависят от качества и количества осадка и используемых на конкретных очистных сооружениях процессов, а также от национального законодательства и политики.

Многие, даже наиболее современные, очистные сооружения сталкиваются с определенными трудностями с утилизацией осадка. Проблемы варьируются от отсутствия техники или реагентов для обезвоживания или уплотнения осадка до невозможности его использования на сельскохозяйственных угодьях из-за наличия тяжелых металлов. Стратегия обработки осадка на отдельных очистных сооружениях формируется в зависимости от местоположения очистных сооружений, транспортных расходов, качества поступающих стоков, используемой технологии удаления биогенных элементов, законодательно-нормативных ограничений в отношении утилизации осадка, наличия кондиционирующих реагентов и цен на них, возможности передачи обработанного осадка подрядным организациям и других факторов. Гибкость системы



Рис. 2-1: Фото: сайт shutterstock.com/Enieni

управления осадками сточных вод дает возможность адаптации к различным изменениям национальной законодательной базы в отношении энергии, отходов или биогенных элементов и рыночных инструментов политики, например, льготных тарифов или налогового законодательства. Для того чтобы идти в ногу с меняющимися обстоятельствами, необходима регулярная модернизация системы.

Встает необходимость в точной и объективной оценке рисков, связанных с использованием осадков. В связи с этим возникает вопрос о том, что делать с различными химическими веществами, содержащимися в осадке хозяйственно-бытовых сточных вод, и как повторно использовать биогенные элементы. Активно обсуждается проблема борьбы с загрязнением осадка опасными веществами. В связи с пересмотром Директивы ЕС по управлению осадками сточных вод остаются открытыми вопросы нормативно-правового регулирования.

Проблема обработки осадка имеет международные политические аспекты, связанные не только с различиями в законодательстве, энергетических стратегиях и затратах на обработку осадка в разных странах, но

и с истощением мировых запасов фосфора. Проблема повторного использования биогенных элементов актуальна: по некоторым оценкам, запасов фосфора хватит лишь на ближайшие 50 лет. Запасы фосфора расположены в основном в Северной Африке, Китае и США. Даже при более оптимистичных прогнозах, в течение ближайших 100 лет возрастет зависимость от одной страны – Марокко. Таким образом, для обеспечения продовольственной безопасности ЕС придется опираться на импортируемый фосфор (Schröder et al., 2011 г.).

В осадках бытовых сточных вод содержится большое количество ценного фосфора. Возможности его повторного использования необходимо учитывать уже на стадии планирования альтернативных решений по управлению осадками. Следует также учитывать тот факт, что при применении некоторых методов обработки фосфор в осадке переходит в трудноусвояемую форму.

2.2 ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОБРАБОТКИ ОСАДКА НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Осадок сточных вод является продуктом очистки городских сточных вод. Тем не менее, на вопросы, связанные с обработкой осадка, часто обращают гораздо меньше внимания, чем на параметры очистки сточных вод, например, концентрации загрязняющих веществ на выходе или эффективность удаления различных соединений. Осадок представляет собой потенциальную угрозу для окружающей среды, так как вспенивающийся осадок может быть утерян в процессе очистки, а осадок сточных вод может даже намеренно сбрасываться в водотоки.

Несколько десятилетий назад, когда очистка сточных вод делала только первые шаги, осадок сбрасывался в открытое море. В некоторых странах по-прежнему так поступают. Кроме осадка, при очистке сточных вод образуются такие побочные продукты, как отбросы с решеток и песок с песколовок. Твердые вещества можно, например, обезвоживать и сжигать, а песок необходимо промывать, после чего его можно использовать, например, на полигонах твердых бытовых отходов (ТБО) в качестве структурного материала.

В практическом и техническом отношении существуют следующие проблемы обработки осадка:

- необходимость стабилизации, так как осадок не является инертным и может иметь неприятный запах;
- уменьшение влажности и объема осадка до минимума;
- использование энергетического потенциала осадка, если экономически целесообразно;
- сокращение количества вредных микроорганизмов в случае взаимодействия осадка с людьми, животными или растениями;
- извлечение фосфора для использования в сельском хозяйстве.



Рис. 2-2: Фото: сайт shutterstock.com/Kekyalaynen

В странах региона Балтийского моря существует множество различных путей обращения с осадком, однако практически во всех применяются проверенные стандартные методы. Между странами имеются различия в количестве и типе методов обработки осадков сточных вод, и некоторые из них взаимно исключают друг друга, например, использование центрифуги и ленточного фильтр-пресса для обезвоживания. Сушка осадка с его последующим сжиганием широко применяется лишь в Германии и в меньшей степени в Польше и Швеции. Экономически эффективные методы извлечения фосфора в регионе Балтийского моря пока не используются, однако ведется множество научных исследований и опытных разработок, особенно в Германии, где применяется практика сжигания осадка.

В ближайшие годы количество осадка сточных вод, образующегося в регионе Балтийского моря, увеличится, что в основном связано с применением в таких странах, как Польша, Латвия, Беларусь и Россия, усовершенствованных методов очистки сточных вод (Табл. 2-1).

Существуют разные виды осадков с различными физическими и биологическими свойствами. Типичный осадок сточных вод состоит из первичного и вторичного осадка (Рис. 2-3).

Первичный осадок удаляется из первичного отстойника. Его количество зависит от времени пребывания

и объема отстойника. Первичный осадок богат органическими соединениями и имеет оптимальный для анаэробной обработки состав. Для увеличения количества субстрата для денитрифицирующей части процесса биологической очистки на очистных сооружениях могут использоваться небольшие первичные отстойники; иногда они отсутствуют совсем. Среднее содержание сухого вещества в первичном осадке составляет около 4%, органической части – 67% (ATV-DVWK-M 368E, 2003 г.)

Вторичный осадок удаляется из осветлителя (вторичного отстойника). В аэротенке высоко содержание микроорганизмов. Время пребывания в аэротенке составляет от 10 до 20 дней, в зависимости от температуры, количества обслуживаемого очистными сооружениями населения и метода удаления азота (ATV-DVWK-131E, 2000 г.). Бактериям требуется определенное время для роста, что особенно важно для удаления азота, поэтому необходима рециркуляция осадка (**возвратный активный ил**). Часть вторичного осадка не нужна (**избыточный ил, т. е. излишки или отходы активного ила**). Количество его зависит от времени отстаивания, использования субстратов (например, метанола), осаднения фосфора, биологического удаления фосфора и, конечно, доочистки сточных вод (например, биологической фильтрации). При химическом осаднении фосфора объем неорганической части осадка увеличивается.

Табл. 2-1: Общий объем осадка в тоннах сухого вещества в год, образующегося в различных странах региона Балтийского моря (в соответствии с отчетами, переданными в Комиссию ЕС, и прогнозами соответствующих государств-членов ЕС) (Milieu, WRC и RPA 2008 г.)

Страна	2005 / 2006 г.	2010 г.	2020 г.
	(тонн сухого вещества/ год)	(тонн сухого вещества/ год)	(тонн сухого вещества/ год)
Беларусь*	50 000	50 000	70 000
Дания	140 021	140 000	140 000
Эстония	Не определено	33 000	33 000
Финляндия	147 000	155 000	155 000
Германия	2 059 351	2 000 000	2 000 000
Латвия	23 942	25 000	50 000
Литва	71 252	80 000	80 000
Польша	523 674	520 000	950 000
Россия*	180 000	180 000	200 000
Швеция	210 000	250 000	250 000
Итого	3 405 240	3 433 000	3 928 000

* Для стран, не входящих в ЕС, данные в отчете Milieu et al. 2008 г. отсутствуют. Количество осадка приблизительно определено Pöyry Finland Oy для PURE на основании количества населения городов в регионе Балтийского моря, имеющих коммунальные очистные сооружения.

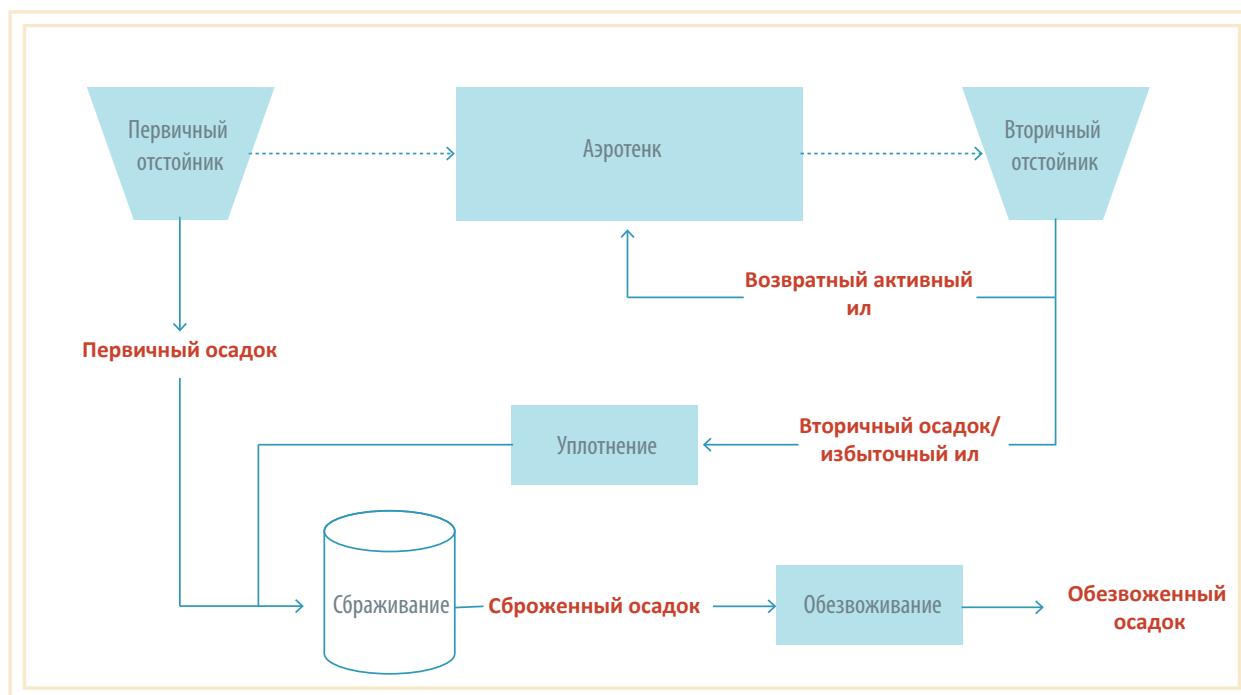


Рис. 2-3: Виды осадков, образующихся в процессе очистки городских сточных вод

По сравнению с первичным осадком, в избыточном иле содержание сухого вещества составляет лишь 0,5–1,0%. Содержание органических веществ зависит от количества используемых осадителей и составляет в среднем 70–80%. Благодаря бактериям, которые выросли в аэротенке, содержание микроорганизмов в избыточном иле гораздо выше. Поэтому он обычно хуже поддается уплотнению, чем первичный осадок (ATV-DVWK-M 368E, 2003 г.) Это указывает на то, что избыточный ил необходимо дополнительно уплотнять, для чего используют механические (глава 3.3) или гравитационные уплотнители. Первичный осадок часто уплотняется на гравитационных уплотнителях (глава 3.2). Термин **«сырой осадок»** может использоваться для обозначения первичного осадка (осадка, который удаляется из системы до биологической очистки) или первичного осадка/избыточного ила (или их смеси) до стабилизации.

Осадок, который был стабилизирован анаэробным образом (глава 4), называется **«сброженным осадком»**. Анаэробное сбраживание является основным методом стабилизации осадка городских сточных вод. Преимуществами данного процесса являются сокращение количества органических веществ и производство газообразного метана, который можно использовать для нагрева до необходимой температуры обработки (часто до 35–40°C) и производства электроэнергии. После сбраживания в осадке значительно сокращается содержание летучих твердых веществ, кроме того, запах осадка меняется.

После сбраживания (если оно используется), необходимо добиться максимального сокращения объема осадка, чтобы снизить расходы на его транспортиров-

ку и утилизацию. Обезвоживание (глава 5) позволяет уменьшить влажность осадка с 95% и более до 60–80%. Обезвоженный осадок не поддается перекачке в связи с высокой концентрацией сухого вещества. Его можно использовать в сельском хозяйстве (после обеззараживания, глава 6), направлять на сушку (глава 7) или сжигать (глава 8). В некоторых странах осадок вывозится на полигоны твердых бытовых отходов. Метод утилизации (глава 9) во многом зависит от национальной нормативно-правовой базы (глава 12).

Обработка осадка сточных вод – это не просто уплотнение, сбраживание, обезвоживание и утилизация. Процесс влияет на работу всех очистных сооружений:

- При использовании биогаза в целях производства энергии (электрической и тепловой) можно увеличить ее выработку до более чем 100% потребности очистных сооружений в энергии. Поэтому производство энергии и энергоэффективность являются очень важными вопросами. Получение биогаза можно увеличить с помощью некоторых методов предварительной обработки.
- Время нахождения осадка в первичном отстойнике оказывает положительное влияние на образование биогаза. С другой стороны, более длительный период сокращает нагрузку по БПК при биологической очистке, что уменьшает эффективность денитрификации и влечет за собой потребность в дополнительном источнике углерода. Кроме того, повышает влажность осадка и снижаются расходы на утилизацию.
- При сбраживании азот восстанавливается до аммиака, который в высокой концентрации содержится

в фугате, образующемся при обезвоживании осадка. При более высокой степени сбраживания нагрузка по фугату повышается. Если производительность установки по удалению азота на очистных сооружениях является слишком малой, могут применяться дополнительные методы очистки фугата (глава 10).

- При биологическом удалении фосфора влагоотдача осадка снижается до 10% (Корр J., 2010 г.). На не-

которых очистных сооружениях возникают проблемы со стабильным биологическим удалением фосфора или другие трудности при эксплуатации (например, «вспухание» ила). Химическое осаждение фосфора способствует увеличению количества осадка.

В данной публикации очистные сооружения подразделены на **малые (эквивалент численности населения < 10 000 жителей), средние (эквивалент численности населения 10 000–100 000 жителей) и крупные (эквивалент численности населения > 100 000 жителей).**

2.3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

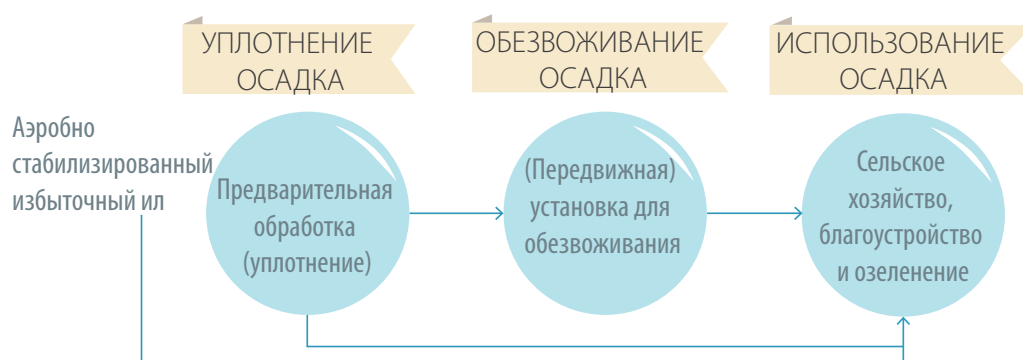


Рис. 2-4: Очистные сооружения малого и среднего размера с аэробной стабилизацией осадка

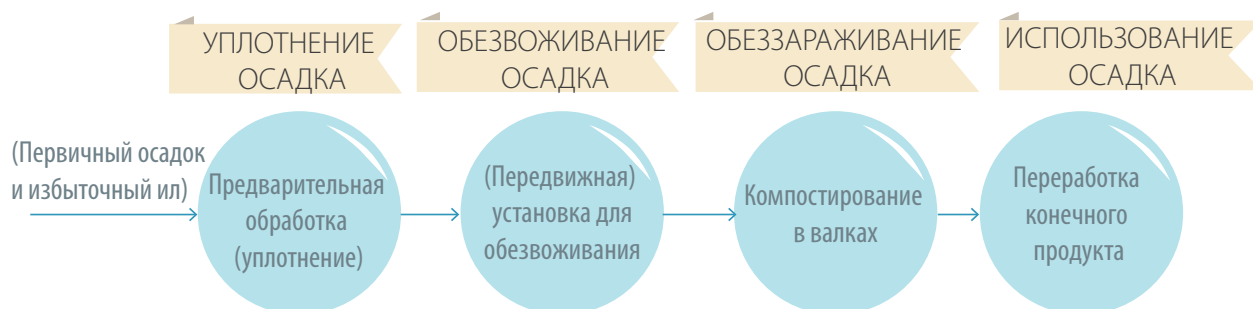


Рис. 2-5: Очистные сооружения малого и среднего размера с компостированием осадка

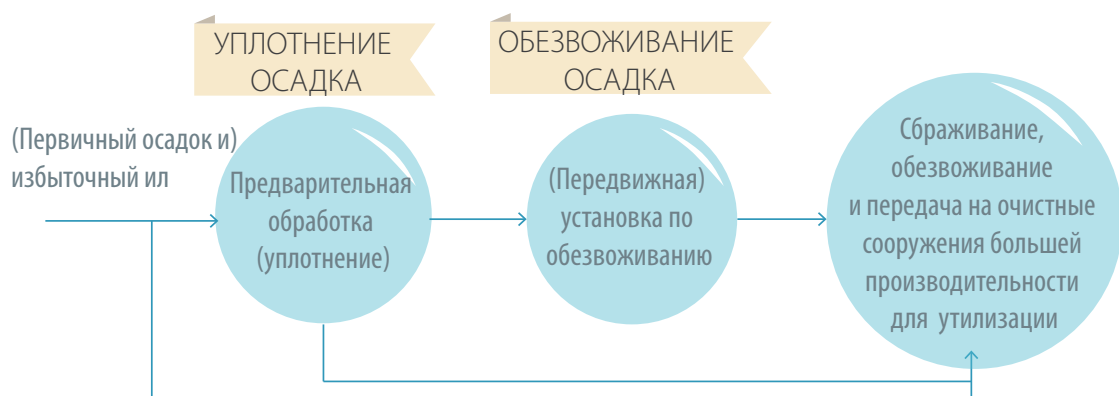


Рис. 2-6: Обработка осадка на очистных сооружениях среднего размера

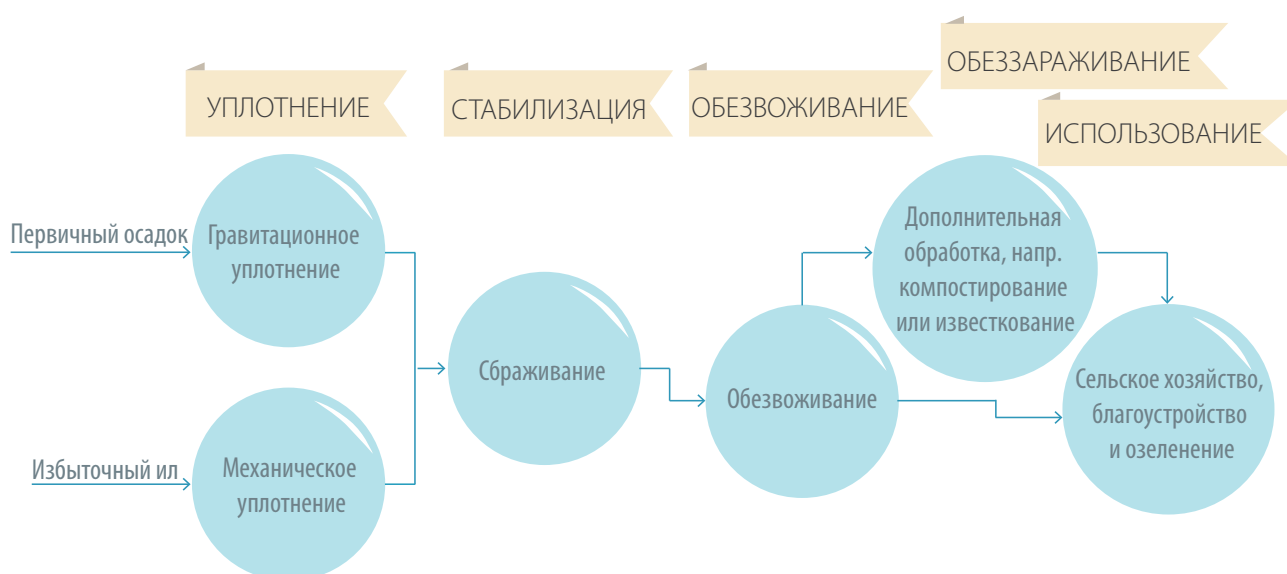


Рис. 2-7: Обработка осадка на очистных сооружениях среднего размера и крупных очистных сооружениях

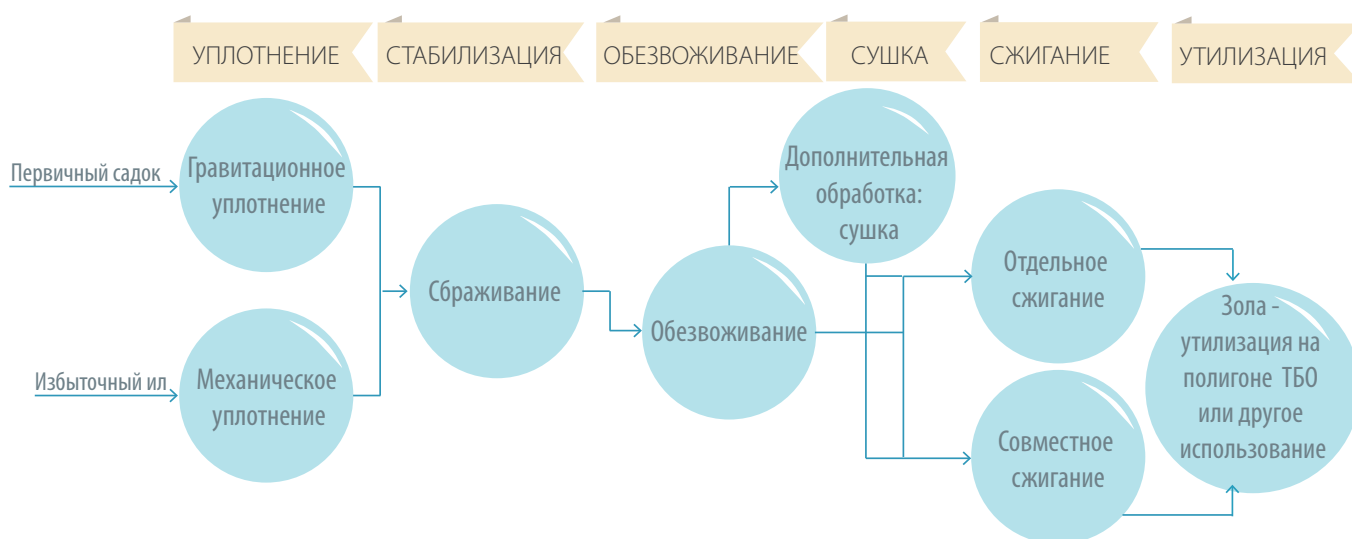


Рис. 2-8: Обработка осадка на крупных очистных сооружениях

2.4 ПРИМЕР: технические решения по обработке осадка партнера по проекту PURE – ГДАНЬСК, Gdanska Infrastruktura Wodociągowo-Kanalizacyjna Sp. z o. o., очистные сооружения водоотведения «Всхуд»

Очистные сооружения Гданьска (Польша) – крупнейшие очистные сооружения, участвующие в проекте PURE. На станции производится биологическое удаление фосфора и азота (процесс MUCT), также предусмотрена возможность химического осаждения фосфора. Мощность очистных сооружений составляет порядка 781 000 эквивалента численности населения, при этом ежегодно образуется 18 374 тонн осадка сточных вод (по сухому веществу).

В связи с большим объемом первичных отстойников и продолжительности отстаивания 3,7 ч, образуется большое количество первичного осадка, который уплотняется в гравитационном уплотнителе (содержание сухого вещества в осадке достигает 4,8%), а затем направляется в метантенк. Избыточный активный ил после уплотнения в гравитационном уплотнителе проходит механическую обработку в шнековом фильтр-прессе до содержания сухого вещества порядка 6%. Расход полимеров составляет около 3,4 г/кг сухого вещества.

Сбраживанию способствует ультразвуковая обработка, которая позволяет увеличить выход газа и уменьшить количество осадка. Сбраживание осадка в мезофильных условиях происходит в течение 28 дней при температуре 37°C. Содержание твердой фазы осадка в метантенке составляет около 3,1%.

Сброженный осадок обезвоживается на центрифугах. После обезвоживания содержание сухого вещества обычно составляет 19,7%. Расход полимера – 11,4 г/кг сухого вещества. После сушки (в качестве топлива используется мазут) содержание сухого вещества достигает порядка 31,4%. Для этой цели используется контактная сушка.

На очистных сооружениях в Гданьске вырабатывается биогаз, который используется на высокопроизводительной ТЭЦ (теплоэлектроцентрали с электрическим КПД 40,5%) для производства электрической и тепловой энергии. Количество вырабатываемого электричества достаточно для нужд ТЭЦ и установки для сжигания, в результате чего покрывается 100% потребности очистных сооружений в электроэнергии. Часть электроэнергии продается. Полученное тепло используется на технологические нужды очистных сооружений. Биогаз может храниться до 10 ч, что обеспечит бесперебойную работу станции в случае чрезвычайной ситуации.

До настоящего времени часть осадка направлялась на компостирование и использовалась в качестве структурного материала на полигоне твердых бытовых отходов. После ввода в эксплуатацию установки по сжиганию весь осадок будет сжигаться. Использование отходов очистной станции в сельском хозяйстве не практикуется из-за ограниченного спроса на продукцию в регионе и относительно высокой концентрации тяжелых металлов. К захоронению осадка на полигонах ТБО в Польше с 2013 г. будут применяться еще более строгие требования (соответствующие Директивам ЕС).

Планы на будущее в сфере сбора и утилизации осадка сточных вод включают в себя сокращение количества хранимого осадка и в целом отказ от захоронения осадка к 2015 г. При этом будет увеличиваться количество осадка, обрабатываемого термическими методами.

Рис. 2-9: Очистные сооружения «Всхуд» в Гданьске. Фото: GiWK



2.5 ПРИМЕР: технические решения по обработке осадка партнера по проекту PURE – БРЕСТ, Брестское коммунальное унитарное производственное предприятие «Водоканал»

Население г. Бреста (Беларусь) составляет более 300 000 человек. Для биологической очистки на Брестских очистных сооружениях используется стандартный процесс очистки активным илом. В рамках проекта PURE предприятие осуществляет инвестиции в химическое осаждение фосфора. Планируется реконструкция очистных сооружений с привлечением займов международных финансовых институтов. С 2010 г. весь осадок с очистных сооружений направляется на расположенный неподалеку Брестский мусороперерабатывающий завод, собственником (а также эксплуатирующей организацией) которого является отдельное предприятие. Брестский «Водоканал» заключил с мусороперерабатывающим заводом договор об обработке первичного осадка и избыточного ила на платной основе. На заводе твердые бытовые отходы смешиваются с осадком и перерабатываются, после чего переработанный осадок сбрасывается на принадлежащий заводу полигон ТБО. После предварительной обработки на мусороперерабатывающем заводе концентрат подается в «голову» очистных сооружений. Эксплуатационные данные мусороперерабатывающего завода отсутствуют.

Ранее осадок из Брестских очистных сооружений хранился в илонакопителях, расположенных вдоль р. Буг. Общий объем илонакопителей составляет 100 000 м³.

В 2002 г. благодаря датскому финансированию в здании механической очистки установлены два ленточных фильтр-пресса для уменьшения объема осадка. В настоящее время реализуется польско-белорусский проект сотрудничества по очистке илонакопителей и предотвращению попадания осадка из илонакопителей в реку. Именно в рамках данного проекта в эксплуатацию введены передвижной и стационарный ленточные фильтр-прессы датского производства. Передвижная установка по обезвоживанию осадка расположена рядом с илонакопителями, стационарная – в здании механической очистки. Финансирование поступает из Национального фонда охраны окружающей среды и управления водными ресурсами Республики Польша в рамках соглашения между Фондом, Брестским городским исполнительным комитетом и Брестским «Водоканалом».

Первый илонакопитель очищен полностью, на данный момент ведется очистка второго. Сухой осадок вывозится на полигон ТБО Брестского «Водоканала», расположенный примерно в 30 км от р. Буг. Старые илонакопители будут рекультивированы и превратятся в зеленые зоны.

Рис. 2-10: Брестский «Водоканал». Фото: Пекка Сарккинен





3. УПЛОТНЕНИЕ ОСАДКА

Фото: Самули Корпинен, ХЕЛКОМ

3.1 ВВЕДЕНИЕ

Влажность осадка сточных вод составляет 97,0–99,5%. При уплотнении содержание сухого вещества в осадке при незначительных затратах энергии увеличивается за счет снижения содержания влаги. Уплотнение осадка может использоваться в качестве предварительной обработки перед сбраживанием или перед обезвоживанием на очистных сооружениях, которые работают без сбраживания (см. блок-схемы в главе 2.3).

Важно знать:

Некоторые сооружения по обезвоживанию могут обрабатывать осадок с очень высокой влажностью, поэтому иногда в уплотнении осадка нет необходимости. Рекомендуется получить консультацию производителя.

Гравитационному и/или механическому уплотнению может подвергаться первичный осадок, избыточный ил или их смесь. Уплотнению избыточного ила придается более важное значение, так как после вторичного отстаивания содержание сухого вещества в осадке составляет около 0,5–1,0%, а в первичном осадке – порядка 4,0%. На очистных сооружениях среднего и малого размера зачастую имеются лишь небольшие по объему первичные отстойники, либо их нет совсем. Основная часть осадка на таких очистных сооружениях представляет собой избыточный активный ил, поэтому первичный и вторичный осадок обрабатываются вместе, например, в гравитационном уплотнителе. Смесь первичного осадка и избыточного ила уплотняется более эффективно, чем избыточный ил. На каждом очистном сооружении применяются собственные технические решения для уплотнения осадка, и, например, даже крупные очистные станции могут иметь небольшие объемы первичных отстойников, поэтому комбинированное уплотнение может быть более экономичным. На некоторых небольших очистных сооружениях уплотнители не используются.

Для уплотнения, как и для обезвоживания осадка (см. главу 5), применяются вспомогательные неорганические или органические флокулянты (как правило, полимеры). Не для всех методов уплотнения требуются флокулянты. Для флокулянтов необходимы особые условия смешения, хранения и подачи, информацию о которых можно получить у производителя флокулянтов или илоуплотнителя. Оптимизация процессов дозирования и смешения флокулянтов помогает улучшить результат. Осадок (смесь осадков) на различных очистных сооружениях имеет свои особенности, поэтому для получения оптимального результата и повышения эффективности рекомендуется проведение лабораторных и промышленных испытаний.

Содержание сухого вещества, которое может быть достигнуто, расход электроэнергии и реагентов зависят от типа осадка. Разные источники дают различные сведения об этих параметрах. В данной публикации



Рис. 3-1: Фото: сайт shutterstock.com/John Kasawa

представлен синтез числовых данных, полученных из нескольких источников (отчет Рёуру в рамках проекта PURE; Burton, F.L et al., 2003 г.; DWA M-381E, 2003 г.) и касающихся уплотнения осадка, включая данные партнеров по проекту PURE. Результаты, полученные на очистных сооружениях партнеров PURE при применении соответствующих методов уплотнения, приведены в конце главы.

3.2 ГРАВИТАЦИОННЫЕ ИЛОУПЛОТНИТЕЛИ

Принцип работы, результаты и требования к площади

Гравитационное уплотнение — наиболее простой способ снижения влажности осадка сточных вод при малых затратах энергии. Осадок подается непосредственно в круглый резервуар, оснащенный медленно вращающимся скребком, который разрушает связь между частицами осадка, увеличивая осаждаемость и уплотнение ила.

Осадок подается в центральный конус резервуара. Важнейшими критериями при проектировании и эксплуатации илоуплотнителя являются нагрузка на квадратный метр и объем, который обеспечивает достаточное время пребывания осадка для уплотнения. Осевшая часть осадка собирается в нижней части резервуара и подается по отводящему трубопроводу на следующий этап очистки. Это может быть метантенк, сооружения для обезвоживания или второй (механический) уплотнитель. Иногда осадок без уплотнения и стабилизации может непосредственно использоваться в сельском хозяйстве: такой опыт имеется на небольших очистных сооружениях в Германии.

Для уплотнения первичного осадка не рекомендуется использовать флокулянт. Его необходимо использовать для уплотнения смеси осадков или только избыточного ила (Табл. 3-1).

При гравитационном уплотнении общий объем осадка при незначительном расходе энергии можно сократить на 90% от первоначального объема.

Для гравитационного уплотнения, как правило, требуется специальный резервуар, который обычно имеет круглую форму и изготавливается из бетона. Диаметр резервуара составляет 8–20 м. Гравитационные уплотнители могут размещаться на открытом воздухе, однако в густонаселенных районах и в непосредственной близости от жилых или офисных зданий во избежание выбросов содержащих сероводород (H_2S) газов с неприятным запахом может потребоваться устройство легкой кровли и вентиляции.

Уплотнение иногда может проводиться в первичном или вторичном отстойнике. В этом случае в отстойнике должна иметься зона осадка — глубокая зона (> 4 м) в начале вертикального первичного отстойника

Важно знать:

Гравитационный илоуплотнитель также служит гидравлическим буфером между процессами очистки сточных вод и обработки осадка. Часто гравитационные илоуплотнители проектируются как промежуточные резервуары, особенно, когда часть очистных сооружений, например, оборудование для обезвоживания, работает периодически. В этом случае гравитационные илоуплотнители зачастую предпочтительнее механических.

(как на очистных сооружениях «Виикинмяки» в Хельсинки (Финляндия)) или в средней части радиального вторичного отстойника, которая переходит в больший по размеру бункер, где и происходит гравитационное уплотнение (как на некоторых промышленных очистных сооружениях). Общее полученное содержание сухого вещества в этом случае меньше, а опасность создания анаэробных условий выше, чем при обычном гравитационном уплотнении. Возможность использования данного технического решения зависит от условий на очистных сооружениях.

Приемлемость илоуплотнителей для различных видов осадка и разных по производительности/типу очистных сооружений

С помощью гравитации возможно уплотнять все виды осадков. В зависимости от способности осадка к уплотнению может потребоваться добавление флокулянта. Уплотнению может подвергаться и сброженный осадок, однако зачастую его сразу обезвоживают. Этот метод подходит для средних и крупных очистных сооружений. Иногда осадок не уплотняется, а перекачивается непосредственно на обезвоживание, что не-

Табл. 3-1: Результаты гравитационного уплотнения осадков с использованием и без использования флокулянта (DWA-M 381E, 2007 г.), (Burton, F.L et al., 2003 г.)

	Без использования флокулянта	С использованием флокулянта (полимера)
Первичный осадок	5–10 % по сухому веществу	-
Смесь первичного осадка и избыточного ила	4–6 % по сухому веществу	5–8 % по сухому веществу
Избыточный ил	2–3 % по сухому веществу	3–4 % по сухому веществу



Рис. 3-2: Гравитационный илоуплотнитель в Любеке (Германия). Фото: Entsorgungsbetriebe Lübeck

обходимо учитывать при проектировании сооружений для обезвоживания осадка.

Эксплуатация, техническое обслуживание, экологические аспекты и безопасность

Гравитационный илоуплотнитель работает непрерывно и служит в качестве уплотнителя и промежуточного резервуара. Очистка и техническое обслуживание гравитационного илоуплотнителя обычно проводятся не чаще одного раза в 1–2 месяца. При «вспухании» ила очистка проводится чаще (в зависимости от частоты проявления данной проблемы, которую необходимо устранять и по другим причинам). На некоторых очистных сооружениях очистка проводится только после возникновения проблем.

Экологические аспекты связаны с потенциальным выбросом в атмосферу газов с неприятным запахом. Эти выбросы можно уменьшить путем химической обработки гидроксидом кальция (применяется на очистных

Важно знать:

Если объем первичного отстойника достаточно большой, в него можно подавать избыточный ил для совместного отстаивания. Это позволяет добиться содержания сухого вещества порядка 3,0–3,5% при очень низком расходе энергии и реагентов. Данное техническое решение приемлемо в том случае, если на очистных сооружениях имеется метантенк и объем первичного отстойника очень велик, а также если возможность использования полимеров ограничена.

сооружениях малого и среднего размера) либо путем устройства кровли и вентиляции (применяется на крупных очистных сооружениях). На очистных сооружениях, которые находятся в непосредственной близости от жилых районов или других густонаселенных мест, контроль запаха производится по требованию регулирующих органов.

Затраты, расход флокулянта и электроэнергии, рабочая сила

Инвестиционные затраты на гравитационный илоуплотнитель зависят в основном от объема резервуара и вида грунта. Затраты увеличиваются также при необходимости контроля запаха. Общие инвестиционные затраты достаточно высоки (150 000–400 000 €), эксплуатационные затраты, напротив, не столь велики. Срок эксплуатации бетонного резервуара составляет более 40 лет, основного оборудования – 20–25 лет, вспомогательного оборудования – 10–15 лет. Расход электроэнергии незначительный (2–6 кВт•ч/т сухого вещества). Расход флокулянта (если он используется) составляет около 0,5–3 кг на тонну сухого вещества. Для данного технологического процесса не требуется дополнительная рабочая сила или специальные знания.

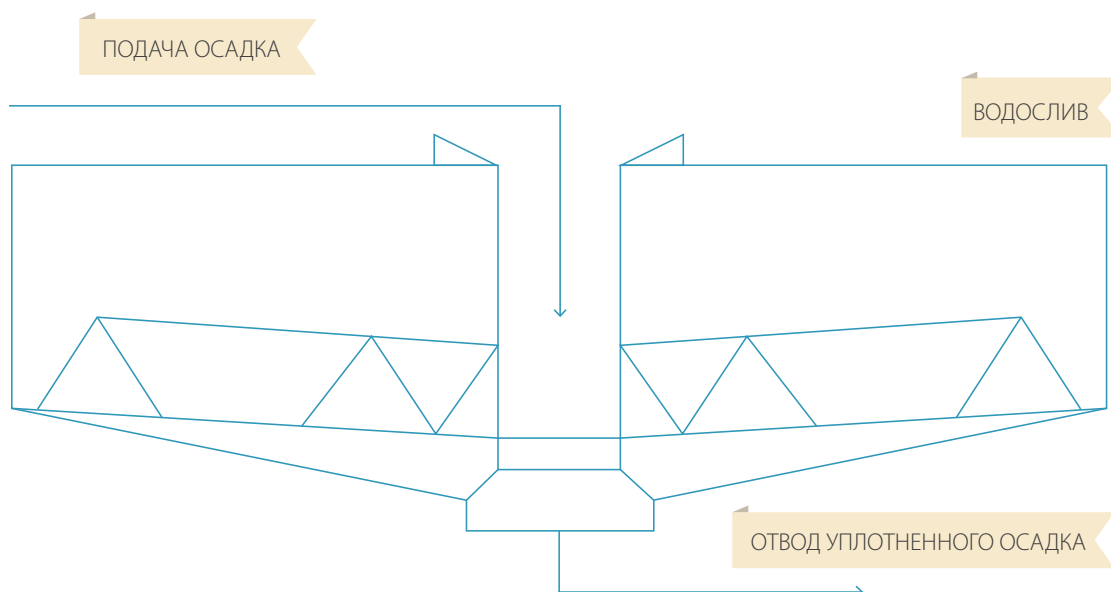


Рис. 3-3: Схема гравитационного илоуплотнителя

Использование в регионе Балтийского моря

Гравитационные илоуплотнители применяются почти на всех крупных и средних очистных сооружениях в регионе Балтийского моря, например, в Таллинне, Тарту и Пярну (Эстония), Эспоо, Турку и Оулу (Финляндия), Стокгольме (Швеция), Риге (Латвия), Вильнюсе и Каунасе (Литва), Варшаве и Гданьске (Польша), Санкт-Петербурге (Россия), Копенгагене (Дания), а также Берлине и Гамбурге (Германия).

Гравитационный уплотнитель может заменяться (например, как в Лахти (Финляндия) или Кохтла-Ярве (Эстония) либо дополняться другим оборудованием. Это, как правило, необходимо, если на очистных сооружениях проводится анаэробная обработка осадка. Иногда гравитационное уплотнение (или любые другие типы уплотнения) на очистных сооружениях среднего и малого размера не используется, как, например, в Эстонии, Латвии, Польше и Германии. В этих случаях при проектировании и выборе типа и производительности оборудования для обезвоживания осадка необходимо учитывать отсутствие этапа уплотнения.

3.3 МЕХАНИЧЕСКИЕ ИЛОУПЛОТНИТЕЛИ

Механическое уплотнение обычно используется для уплотнения избыточного ила. Его также возможно использовать для уплотнения первичного осадка или смеси первичного осадка с избыточным илом. Смесь осадков часто подвергается механическому уплотнению на очистных сооружениях с небольшим объемом первичного отстаивания или без метантенков.

При механическом уплотнении требуется использование флокулянтов и повышается расход электроэнергии. Флокулянт подается в илоуплотнитель, оснащенный мешалкой для перемешивания и устойчивого хлопьеобразования. Механический илоуплотнитель может работать в непрерывном режиме (24 часа в сутки/7 дней в неделю). Его можно также (особенно на очистных сооружениях средних размеров) использовать в несколько смен (например, 8 часов в сутки/5 дней в неделю или 16 часов в сутки/5 дней в неделю). В этом случае необходим промежуточный резервуар (см. раздел 3.2).

Механическое уплотнение чаще применяется на крупных и средних очистных сооружениях и в качестве предварительной обработки перед обезвоживанием без процесса сбраживания. Стоимость оборудования для механического уплотнения составляет от 70 000 до 150 000 €, срок эксплуатации – 15–20 лет. Обычно очистка уплотнителей проводится примерно один раз в 2 недели. Механическое уплотнение не вызывает каких-либо конкретных экологических проблем или проблем, связанных с безопасностью.



Рис. 3-4: Гравитационные илоуплотнители на ОСК «Здрое» в Щецине (Польша). Фото: ZWIK Szczecin

В последующих главах мы рассмотрим некоторые конкретные методы уплотнения. Существуют и другие методы (например, использование дисковых илоуплотнителей), однако их обсуждение не входит в задачи данной публикации.

3.3.1 Шнековые илоуплотнители

Принцип работы, результаты и требования к площади

Шнековый илоуплотнитель представляет собой наклонную клиновидную сетку. Шнек, медленно вращаясь с переменной скоростью, осторожно подает осадок вверх через сетку. Вода вытекает сквозь сетку. Степень уплотнения регулируется с помощью пластины на выходе и переменной скорости шнека. Очистка

сетки проводится во время работы автоматической системой промывки.

Шнековый илоуплотнитель позволяет уплотнять осадок городских сточных вод с 0,5–1% по сухому веществу до 4–7% по сухому веществу. Общий объем осадка при низком расходе энергии и воды для промывки можно уменьшить на 90% от первоначального объема.

Шнековые уплотнители, как правило, изготавлива-

ются из нержавеющей стали. Их мощность может варьироваться от 20 м³/ч до 100 м³/ч. Оборудование имеет закрытую конструкцию, что позволяет устранить неприятный запах. Необходимая площадь зависит от производительности илоуплотнителя и обычно составляет 2–4 м в ширину, 5–10 м в длину и 3–6 м в высоту (включая пространство для технического обслуживания). Данное оборудование всегда устанавливается в помещении.

Затраты, расход флокулянта и электроэнергии

Установленная мощность шнекового илоуплотнителя составляет около 4–10 кВт. Потребляемая мощность

оборудования занимает лишь незначительную часть от общего энергопотребления очистных сооружений (около 3–7 кВт ч/т сухого вещества). Расход электроэнергии зависит также от фактического времени работы оборудования. Расход флокулянта составляет порядка 2–6 кг на тонну сухого вещества. Для данного технологического процесса не требуется дополнительная рабочая сила или специальные знания.

3.3.2 Барабанные илоуплотнители

Принцип работы, результаты и требования к площади

Барабанный илоуплотнитель состоит из блока флокуляции с системой подачи флокулянта и вращающихся цилиндрических решеток. Флокулированный осадок подается на вращающиеся решетчатые барабаны, которые отделяют осадок от воды. Уплотненный осадок выкатывается из барабана, фильтрат вытекает через решетки.

Технические характеристики барабанных илоуплотнителей аналогичны характеристикам шнековых илоуплотнителей. Их производительность составляет от 10 м³/ч до 70 м³/ч и более в зависимости от объема осадка и требуемого выхода по сухому веществу. Общий объем осадка можно уменьшить на 90% от первоначального. При использовании барабанного илоуплотнителя осадок уплотняется до 5–7% по сухому веществу.

Барабанный илоуплотнитель изготавливается из нержавеющей стали и имеет полностью закрытую конструкцию, что позволяет минимизировать запах и воздействие на окружающую среду. Для облегчения доступа и технического обслуживания предусмотрены смотровые лючки и съемные боковые панели. Основ-

ными преимуществами барабанных илоуплотнителей являются низкая стоимость технического обслуживания, низкое энерго- и водопотребление, небольшая площадь и объем. Необходимая площадь зависит от производительности и, как правило, составляет 2–3 м в ширину, 7–15 м в длину и 3 м в высоту, включая пространство для технического обслуживания. Данное оборудование всегда устанавливается в помещении.

Затраты, расход флокулянта и электроэнергии, рабочая сила

Потребление электроэнергии барабанного илоуплотнителя сопоставимо с потреблением электроэнергии шнекового илоуплотнителя (3–7 кВт•ч/т сухого вещества). Установленная мощность составляет 4–10 кВт. Расход флокулянта не превышает 2–6 кг на тонну сухого вещества. Для данного технологического процесса не требуется дополнительная рабочая сила или специальные знания.



Рис. 3-5: Барабанный илоуплотнитель в Юрмале (Латвия) и Щецине (Польша). Фото: PIU Jūrmalas ūdens и ZWiK Szczecin

3.3.3 Ленточные илоуплотнители

Принцип работы, результаты и требования к площади

Ленточный уплотнитель (гравитационный ленточный сгуститель) создан на основе ленточного фильтр-пресса для обезвоживания, описанного в главе 5.3. Он состоит из отжимающей ленты, которая движется над роликами, приводимыми в движение мотором. После блока флокуляции осадок непрерывно и равномерно подается на установку по всей ширине ленты. Вода стекает через ленту, благодаря чему осадок достигает целевого содержания сухого вещества. Для улучшения дренажа лента оснащена равномерно распределенными лезвиями. Лента автоматически промывается фильтратом.

Производительность установки, как правило, составляет 24–180 м³/час. Общий объем осадка можно снизить до 90% от первоначального. Среднее содержание сухого вещества составляет около 5–7%. Необходимая площадь зависит от производительности и аналогична площади, необходимой для установки шнекового уплотнителя.



Ленточный уплотнитель изготавливается из нержавеющей стали и имеет полностью закрытую конструкцию, что позволяет минимизировать неприятный запах и воздействие на окружающую среду. Для облегчения доступа и технического обслуживания уплотнитель имеет съемную крышку. Преимуществами ленточного уплотнителя являются низкая стоимость обслуживания, низкие затраты электроэнергии и небольшая требуемая площадь (объем).

Затраты, расход флокулянта и электроэнергии, рабочая сила

Расход электроэнергии при эксплуатации ленточного илоуплотнителя незначителен. Установленная мощность варьируется в зависимости от производителя от 3 кВт до 10 кВт (около 3–7 кВт•ч/т сухого вещества). Расход реагента, как правило, составляет 2–6 кг флокулянта на тонну сухого вещества. Для использования ленточного уплотнителя не требуется дополнительная рабочая сила или специальные знания.



Рис. 3-6: Ленточный илоуплотнитель в Щецине (Польша) и Любеке (Германия). Фото: ZWIK Szczecin и Entsorgungsbetriebe Lübeck

3.3.4 Центрифуги

Центрифуги используются для уплотнения и обезвоживания осадка. Обезвоживающие центрифуги подробно описаны в главе 5.2. Обезвоживающие и уплотняющие осадок центрифуги имеют некоторые существенные различия в конструкции. Уплотняющие центрифуги предназначены для эффективного уплотнения при низком энергопотреблении и расходе флокулянта, тогда как обезвоживающие центрифуги предназначены для максимально эффективного снижения влажности.

Центрифуги изготавливаются из нержавеющей стали и имеют полностью закрытую конструкцию, что позволяет минимизировать неприятный запах и воздействие на окружающую среду. При вращении на высоких оборотах жидкая фракция отделяется от твердой. Содержание сухого вещества в осадке, уплотненном с

помощью центрифуги, составляет около 5–7%. Необходимая площадь зависит от производительности и аналогична площади, требуемой для установки барабанного уплотнителя.

Затраты, расход флокулянта и электроэнергии, рабочая сила

Расход флокулянта при обезвоживании на центрифуге незначителен (1,0–1,5 г/кг сухого вещества), однако расход энергии значительно выше по сравнению с другими методами механического уплотнения. В отличие от трех других методов, центрифуга может работать без добавления флокулянта, однако в этом случае эффект отделения жидкой фракции от твердой значительно ниже.

3.4 ПРИМЕР: технические решения по обработке осадка партнера по проекту PURE – РИГА, SIA Rīgas ūdens, очистные сооружения «Даугавгрива»

Рижские очистные сооружения являются крупнейшими в Латвии. Их суммарная производительность составляет около 1 000 000 эквивалентов по населению. На очистных сооружениях ежегодно образуется около 6857 тонн осадка сточных вод (по сухому веществу), который необходимо утилизировать. Очистные сооружения оснащены современной установкой для удаления азота (реконструкция проведена летом 2012 г.) и установкой для осаждения фосфора, частично финансируемой проектом PURE.

В первичном отстойнике образуется первичный осадок с содержанием сухого вещества от 4% до 5% (время отстаивания 2,5 часа). Избыточный ил подвергается механическому уплотнению на центрифуге с добавлением небольшого количества полимера (2–4 г/кг сухого вещества). Содержание сухого вещества в избыточном иле можно увеличить до 5–7%, после метантенка общее содержание сухого вещества составляет 3%. Биологическое сбраживание происходит при температуре 37°C в течение 14–20 дней.

Биогаз подается в резервуар объемом 2500 м³, где может храниться до 5 часов для обеспечения работы теплоэлектростанции (ТЭЦ). Мощность ТЭЦ составляет около 2 МВт (по электроэнергии), максимальный электрический КПД составляет 38,9%. Используемая на собственные нужды энергия на 45% состоит из электрической и на 55% из тепловой энергии. Эксплуатация ТЭЦ осуществляется отдельной компанией.

После сбраживания осадок кондиционируют полиме-



Рис. 3-7: ОСК «Даугавгрива» в Риге. Фото: SIA Rīgas ūdens

рами (из расчета 8 г/кг сухого вещества) и обезвоживают в центрифугах, однако полученное содержание сухого вещества составляет лишь 22%. Весь осадок используется в сельском хозяйстве, что является наиболее распространенным методом в Латвии. Предприятие не сталкивалось с проблемами, связанными с превышением предельных концентраций загрязняющих веществ.

Рис. 3-8: Перевозка осадка на ОСК «Даугавгрива». Фото: SIA Rīgas ūdens



3.5 ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ УПЛОТНЕНИЯ ОСАДКА: ОБОБЩЕНИЕ

При гравитационном уплотнении эксплуатационные затраты незначительны. При механическом уплотнении эксплуатационные затраты гораздо выше, однако выше и полученное содержание сухого вещества. Кроме механического уплотнителя, необходимы промежуточные резервуары. Поэтому экономически более целесообразным решением, возможно, является инвестирование в гравитационный уплотнитель.

Постоянно действующие механические уплотнители являются приемлемым решением в основном для крупных очистных сооружений с метантенками. Это позволяет загружать в метантенк осадок с более высоким содержанием сухого вещества, что сокращает расход энергии для нагрева осадка при сбраживании. Если продолжительность нахождения осадка в метантенке невелика, уплотнение может использоваться для улучшения результатов сбраживания.

Важно знать:

Характеристики осадка в зимнее и летнее время отличаются, поэтому расход полимеров может увеличиваться или уменьшаться. При переходе от теплого времени года к холодному или наоборот, и особенно в зимнее время, необходимо внимательно следить за ходом процессов уплотнения, сбраживания и обезвоживания осадка. В частности, может происходить «вспухание» ила.

Сравнение различных методов механического уплотнения представлено в Табл. 3–2. Приведенные значения характерны, в основном, для избыточного ила. Сравнение результатов уплотнения на очистных сооружениях партнеров по PURE приведено в Табл. 3–3.



Рис. 3-9: Фото: сайт shutterstock.com/Nostal6ie

Осветленная вода после уплотнения осадка возвращается в «голову» очистных сооружений или очищается вместе с фильтратом, образующимся при обезвожива-

нии. Концентрация биогенных элементов в осветленной воде после уплотнения осадка, как правило, является незначительной.

Табл. 3-2: Сравнение различных типов илоуплотнителей

Параметр	Шнековый илоуплотнитель	Барабанный илоуплотнитель	Ленточный илоуплотнитель	Центрифуга
Содержание сухого вещества	4–7 %	5–7 %	5–7 %	5–7 %
Расход полимеров	2–6 г/кг сухого вещества	2–6 г/кг сухого вещества	2–6 г/кг сухого вещества	1–1,5 г/кг сухого вещества
Расход электроэнергии	Низкая	Низкая	Низкая	Высокий
Необходимость в техническом обслуживании	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая
Производительность и примечания	20–100 м/ч	10–70 м/ч	24–180 м/ч	5–200 м ³ /ч, возможно использование без полимеров
Примеры в регионе Балтийского моря	Йоенсуу –Кухасало (Финляндия), Любек («Привалль»), (Германия), Гданьск (Польша)	Орхус («Эго») (Дания), Щецин («Здрое») (Польша), Юрмала (Латвия)	Щецин («Поможаны»), Вроцлав (Польша) Любек (ZKW) (Германия), Кохтла-Ярве (Эстония)	Рига (Латвия), Хенриксдален, Стокгольм (Швеция)

Табл. 3-3: Сравнение результатов уплотнения избыточного ила на очистных сооружениях партнеров по проекту PURE

Партнер по проекту PURE	Метод уплотнения избыточного ила	Достигнутое содержание сухого вещества	Расход флокулянта
Кохтла-Ярве	Ленточные илоуплотнители	6 %	4,0 г/кг сухого вещества
Рига	Центрифуга	5–7 %	2–4 г/кг сухого вещества
Юрмала	Барабанный илоуплотнитель	4–7 %	3,5 г/кг сухого вещества
Гданьск	Шнековый илоуплотнитель	6 %	3,4 г/кг сухого вещества
Щецин («Поможаны»)	Ленточный илоуплотнитель	6 %	3–5 г/кг сухого вещества
Щецин («Здрое»)	Барабанный илоуплотнитель	6,5 %	6,5 г/кг сухого вещества
Любек (ZKW)	Ленточный илоуплотнитель	5–6 %	1,5 г/кг сухого вещества



4. СТАБИЛИЗАЦИЯ ОСАДКА

Мидии и морские желуди из Финского залива. Фото: Эсси Кескинен, Metsähallitus

4.1 ПРИНЦИПЫ АНАЭРОБНОГО СБРАЖИВАНИЯ

Цель стабилизации осадка — сведение биологических и химических процессов к минимуму. Анаэробное сбраживание — один из старейших и до сих пор наиболее часто используемых методов стабилизации осадка. Впервые анаэробное сбраживание в метантенках стало применяться более ста лет назад в США. Содержащиеся в осадке концентрированные органические и неорганические вещества при дефиците кислорода разлагаются, превращаясь в метан и конечные неорганические продукты. Основными преимуществами сбраживания являются стабилизация осадка сточных вод, уменьшение его объема и производство биогаза.

Анаэробный процесс сбраживания может протекать как при мезофильных (около 35–40°C), так и при термофильных (53–57°C) температурах. Преимуществами термофильного сбраживания являются более высокий потенциал обработки, степень обезвоживания и гигиеническое качество обработанного осадка. К недостаткам можно отнести высокие затраты электроэнергии и более низкое качество супернатанта (жидкой фазы) за счет растворенных веществ. При термофильном сбраживании неприятный запах сильнее, а сам процесс менее стабилен по сравнению с мезофильным сбраживанием. Поэтому термофильное сбраживание применяется лишь на некоторых очистных сооружениях в мире. Примеры в регионе Балтийского моря: Брауншвейг (Германия) и Мальме (Швеция). После нескольких лет эксплуатации термофильного процесса на городских очистных сооружениях Мальме было принято решение использовать мезофильное сбраживание (LaCour et al., 2004 г.).

Обширные исследования термофильного сбраживания осадка городских сточных вод в лабораторных условиях и промышленных масштабах ведутся на протяжении уже более 30 лет, однако, к сожалению,

безрезультатно. Зачастую проблемой является высокое потребление электроэнергии; это означает, что термофильное сбраживание можно эффективно использовать лишь в теплых регионах. Поэтому далее мы остановимся на рассмотрении сбраживания при мезофильных условиях.

Существует два основных метода мезофильного сбраживания: влажный и сухой. Традиционно используется влажное сбраживание. Применение сухого сбраживания ограничено обработкой смешанных бытовых биоразлагаемых отходов и отходов садоводства. Сухое сбраживание не может использоваться для осадков, образующихся в результате очистки лишь городских сточных вод, поэтому здесь подробно не рассматривается.

Органический материал, подаваемый на влажное сбраживание, часто представляет собой смесь первичного осадка и избыточного ила, поэтапно или непрерывно поступающую в герметичный реактор (метантенк), который оснащен устройствами для нагрева и перемешивания осадка. Принцип технологического процесса анаэробного сбраживания представлен на Рис. 4-1.

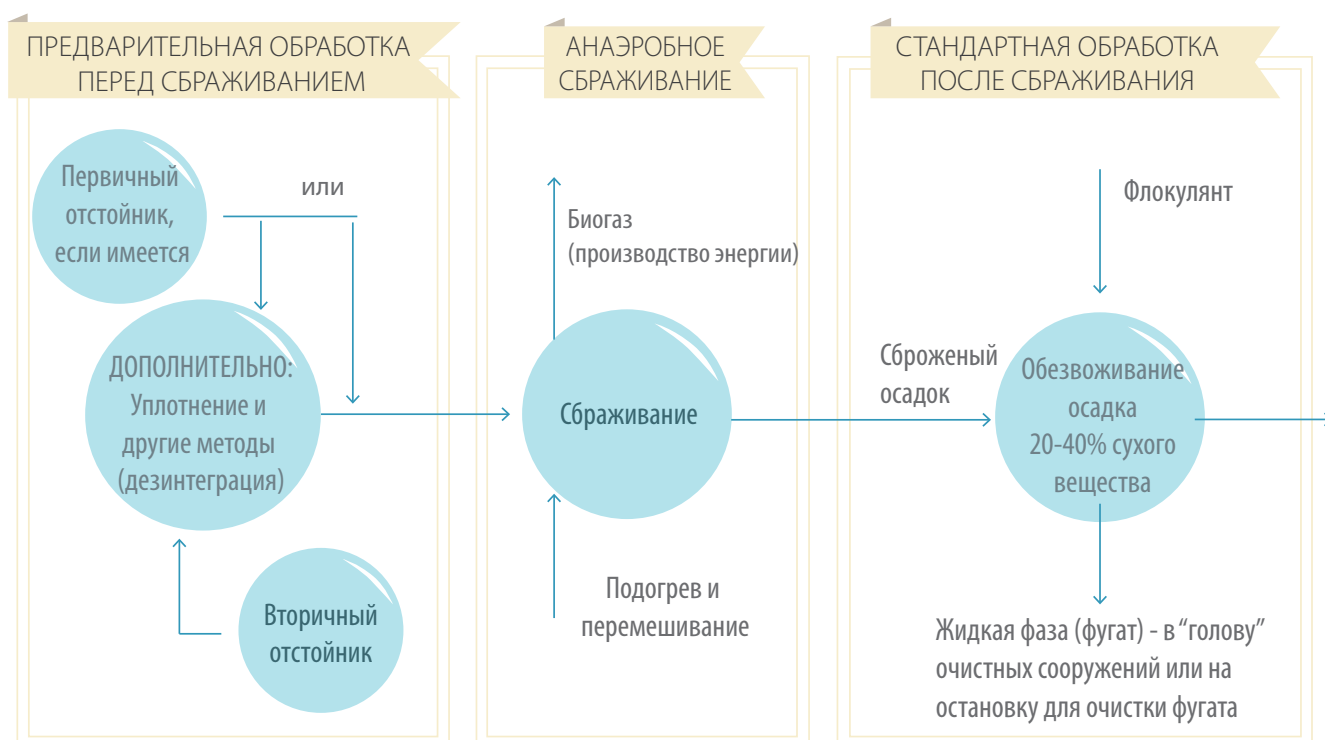


Рис. 4-1: Анаэробное сбраживание в цепи обработки осадка

4.2 МЕЗОФИЛЬНОЕ СБРАЖИВАНИЕ

Температура процесса мезофильного сбраживания, как правило, составляет примерно 35–40°C. Основными преимуществами являются высокая стабильность, хорошее качество supernatanta и надежность

Сбраживание происходит в одном или нескольких реакторах, которые могут работать в параллельном или последовательном режимах. Продолжительность сбраживания осадка, как правило, составляет 20–25 дней. Минимальное время – 14–15 дней, при сокращении времени сбраживания выход газа обычно уменьшается, хотя на некоторых очистных сооружениях при нахождении осадка в метантенке менее 14 дней выработка газа не снизилась. Это возможно в тех случаях, когда осадок имеет очень высокую степень биоразлагаемости, например, если высока доля первичного осадка или если гидролиз происходит уже в

первичном отстойнике при его больших объемах. Минимальное время сбраживания также можно сократить при использовании некоторых методов предварительной обработки.

На этапе сбраживания, как и на всех других этапах обработки осадка, важнейшую роль играют его свойства. Первичный осадок легче подвергается сбраживанию и обезвоживанию, чем избыточный ил, состоящий из бактерий активного ила. Поэтому при обработке избыточного ила необходимо увеличить время сбраживания.

4.2.1 Метантенк

Корпус метантенка всегда оснащен устройствами для перемешивания и нагрева, что обеспечивает поддержание постоянной температуры. Сброженный осадок удаляется из метантенка путем откачки либо самотеком по телескопическим трубам. Пена с поверхности также отводится самотеком по телескопическим трубам. Метантенки, как правило, представляют собой надземные бетонные или стальные резервуары (что зависит от объема метантенка и стоимости материала) с изоляцией для поддержания постоянной температуры.

Форма метантенка является важным критерием проектирования, и данный вопрос подробно рассматривается во многих справочниках для проектировщиков очистных сооружений. Например, для обеспечения соответствующего перемешивания и условий эксплуатации высота метантенка часто должна быть чуть больше его диаметра. В регионе Балтийского моря используются метантенки различной формы. Достаточно распространена (особенно в Германии) яйцевидная форма, в других странах часто используются метантенки цилиндрической формы.

В связи с длительным временем сбраживания осадка метантенки должны иметь большой объем. Кроме самого метантенка (метантенков), для выравнивания колебаний выхода биогаза необходим газгольдер, который также требует дополнительного пространства (см. раздел 4.5). Обычно диаметр метантенков и газгольдеров составляет 6–15 метров, поэтому для организации процесса сбраживания на крупных очистных сооружениях требуется примерно 25–35 x 30–40 м свободного места. Метантенки могут размещаться вне помещений, однако они должны иметь изоляцию. Насосы и

другое вспомогательное оборудование устанавливаются в помещениях, расположенных, как правило, под метантенками или в небольших отдельно стоящих зданиях насосной установки.



Рис. 4-2: Различные формы метантенков в Любеке (Германия) и Риге (Латвия). Фото: Entsorgungsbetriebe Lübeck и SIA Rīgas ūdens

4.2.2 Предварительная обработка и подача осадка на сбраживание

Предварительная обработка осадка во многом зависит от его типа и свойств. Наиболее распространенный метод предварительной обработки – уплотнение (см. главу 3). В частности, для достижения более высокого содержания твердых веществ механическому уплотнению подвергается избыточный ил.

Величина сухого вещества в смеси первичного осадка и избыточного ила до сбраживания должна составлять 4–7%, однако иногда надежнее использовать осадок с более низким содержанием сухого вещества. Увеличение содержания сухого вещества приводит к сокращению времени сбраживания и расхода электроэнергии для нагрева осадка. При этом объем метантенка можно существенно уменьшить. Освободившийся объем можно использовать для совместного сбраживания. Факторами, ограничивающими уплотнение, являются возможность подачи осадка насосом, конструкция метантенка и необходимость соответствующего перемешивания (см. раздел 4.2.4).

Для предварительной обработки дополнительно можно использовать химический, тепловой или механический методы. Все эти процессы преследуют одни и те же цели: увеличить выход газа и уменьшить необходимый для сбраживания объем осадка. При использовании некоторых процессов также можно добиться хороших результатов в подавлении роста нитчатых бактерий в метантенке. Многие из методов все еще находятся на стадии испытаний, однако самые перспективные уже получили коммерческое применение. Наиболее часто используются тепловой гидролиз (например, разработанный в Норвегии процесс Cambi) (Walley, 2007 г.), ультразвуковая обработка (Xie et al., 2005 г.) и механическая дезинтеграция (Machnicka et al.) (одним из примеров является HRF-фрагментация,

применяемая компанией Enviro Oy, Форсса (Финляндия)). Существуют и другие методы дезинтеграции.

При рассмотрении вопроса о необходимости предварительной обработки следует учитывать ее влияние на качество жидкой фазы. В связи с тем, что при такой обработке структура осадка разрушается на клеточном уровне, концентрация ХПК, БПК и азота в жидкой фазе может быть даже в несколько раз выше, чем без предварительной обработки.

Для работы метантенка желательна непрерывная или дозированная (но регулярная) подача осадка, поскольку это помогает поддерживать стабильные условия в реакторе. Равномерная подача и несколько точек ввода осадка в метантенк помогут снизить ударную нагрузку на микроорганизмы. Приемный резервуар и перемешивание осадка непосредственно перед его подачей в метантенк дают возможность избежать чрезмерной гидравлической нагрузки. При слишком высокой гидравлической нагрузке уменьшается время сбраживания, снижается необходимая щелочность и повышается расход тепловой энергии. Часто стабильный гидравлический поток жидкости в метантенке поддерживается, контролируется и обеспечивается за счет возвращения части жидкости из метантенка в резервуар для подачи сырого осадка (Burton et al., 2003 г., Hammer, 2001 г., Vesilind, 2003 г.).

Повысить производительность метантенков можно также путем уплотнения части загружаемого осадка для увеличения времени удержания твердых веществ. Наиболее часто используются рециркуляция части сброженного осадка и его совместное сбраживание с загружаемым первичным осадком и избыточным илом либо уплотнение избыточного ила (Burton et al., 2003 г.).



Рис. 4-3: Ультразвуковая дезинтеграция осадка сточных вод в Гданьске (Польша). Фото: GiWK

4.2.3 Подогрев

Чтобы обеспечить оптимальные условия для жизнедеятельности бактерий, важно поддерживать в метантенке постоянную температуру. Колебания температуры или недостаточная изоляция метантенка снижают выход биогаза.

Подогрев осадка и обогрев метантенка осуществляются с помощью обычных теплообменников и рециркуляции осадка, либо с помощью дозированной подачи. Биогаз, образующийся в процессе сбраживания, в основном используется для производства электроэнергии на ТЭЦ (теплоэлектростанциях). Одновре-



Рис. 4-4: Фото: сайт shutterstock.com/chris2766

4.2.4 Перемешивание

Эффективное перемешивание чрезвычайно важно для правильного протекания процесса сбраживания. Перемешивание содержимого метантенка повышает эффективность работы путем снижения термальной стратификации, диспергирования загружаемого сырого осадка, что обеспечивает лучший контакт с активной биомассой, и уменьшения пенообразования. Перемешивание также способствует растворению ингибирующих веществ, изменяет неблагоприятный pH и выравнивает температурные характеристики загружаемого осадка, тем самым увеличивая полезный объем реактора.

Тип мешалок имеет большое значение для эффективного анаэробного сбраживания. Оптимальный подбор оборудования для перемешивания зависит, например, от формы метантенка и содержания сухого вещества в осадке. Применяются различные системы перемешивания в метантенке; наиболее распространенные предусматривают: (i) закачку газа по всасывающим трубам (нескольким трубам большого диаметра, в которые выделяется биогаз, что способствует росту и перемешиванию биомассы); (ii) механическое перемешивание с помощью вращающихся импеллеров; (iii) перекачку и рециркуляцию содержимого метантенка с помощью установленных снаружи насосов, которые обычно отводят жидкость из верхней центральной части резервуара и снова закачивают ее через отверстия, распо-

Важно знать:

Изменение условий пребывания осадка в метантенке и нагрева осадка вызывает химические реакции. Образование МАФ (магния аммоний фосфата) и вивианита (фосфатно-железного комплекса), особенно в трубах и теплообменниках, может приводить к проблемам при эксплуатации.

менно вырабатываемая тепловая энергия расходуется для нагрева загружаемого осадка и обогрева корпуса метантенка. Если загружаемый сырой осадок в течение длительного периода на протяжении всего года имеет относительно низкую температуру (5–10°C), его, как правило, предварительно нагревают в резервуаре сырого осадка. Данный резервуар, в свою очередь, нагревается трубчатыми или пластинчатыми теплообменниками и устройствами для рециркуляции осадка до необходимого диапазона мезофильных температур 35–40°C.

При дозированной подаче каждая порция осадка нагревается в отдельных резервуарах паром или горячей водой и поэтапно подается в метантенк. При дозированной подаче рециркуляция осадка необязательна. В обоих случаях при необходимости путем сжигания биогаза в водогрейном котле вырабатывается дополнительная тепловая энергия.

ложенные по касательной в нижней части метантенка (Vesilind, 2003 г.). Круговое перекачивание рекомендуется лишь в дополнение к основному перемешиванию или в чрезвычайной ситуации.

Принципы перемешивания определяются на этапе проектирования и строительства. Кроме того, подробные инструкции по организации перемешивания в каждом конкретном случае включаются в инструкции по эксплуатации, предоставляемые поставщиком оборудования. Каждый тип мешалок имеет свои преимущества и недостатки, поэтому при выборе необходимо, в первую очередь, учитывать форму метантенка и параметры строящегося сооружения.

4.3 ДРУГАЯ ВАЖНАЯ ИНФОРМАЦИЯ О СБРАЖИВАНИИ

Эксплуатация, техническое обслуживание, экологические аспекты и безопасность

Метантенк работает непрерывно, однако загрузка сырого и выгрузка сброженного осадка производится в дневную смену. При непрерывной загрузке осадок может подаваться в приемный резервуар для первичного осадка и избыточного ила или непосредственно в метантенк. Если механическое уплотнение проводится лишь во время дневной смены, избежать перебоев в загрузке невозможно.

Анаэробный процесс сбраживания требует более серьезных биотехнических навыков, чем использование другого оборудования для обработки осадка, например, сооружений для уплотнения или обезвоживания. Данная технология, если ей не уделяется особое внимание, потенциально служит источником выброса в атмосферу газов с неприятным запахом. Поскольку биогаз взрывоопасен, необходимо также принимать специальные меры безопасности. Электрическое оборудование должно иметь взрывозащищенное исполнение. Кроме того, операторы и техники должны пройти соответствующее обучение по вопросам обычной эксплуатации и действий при нестандартных ситуациях, связанных с пуском, остановкой и техническим обслуживанием. На предприятии должен иметься систематический план обеспечения безопасности, предусматривающий, среди прочего, наличие нормативной документации по выдаче нарядов-допусков на проведение огнеопасных работ (например, сварки) и регулярную проверку соблюдения правил техники безопасности компетентными специалистами предприятия.

Экологические аспекты связаны с выбросами в атмосферу биогаза. При пуске и остановке, техническом обслуживании и чрезвычайных ситуациях для выпуска биогаза используется байпас, оснащенный скруббером или газовым факелом, в которых газ промывается либо сжигается до выпуска в атмосферу.

Затраты, расход электроэнергии и рабочая сила

Анаэробное сбраживание применяется в основном на средних и крупных очистных сооружениях. Инвестиционные затраты обычно варьируются в пределах



Рис. 4-5: Фото: сайт shutterstock.com/Hansenn

5–15 млн €, включая затраты на строительство ТЭЦ. На очень крупных предприятиях инвестиционные затраты могут быть значительно выше, порядка 50–80 млн € для очистных сооружений с эквивалентом численности населения более 1 000 000 жителей. Срок службы механического и электрического оборудования, как правило, составляет 15–20 лет, бетонных сооружений – 30–40 лет. Установленная мощность – около 100–150 кВт, расход электроэнергии – 100–400 кВт·ч/т сухого вещества, что компенсируется за счет производства электроэнергии из биогаза. Часть энергии, вырабатываемой при сбраживании, расходуется на ее производство, поэтому при оценке чистой экономической выгоды необходимо учитывать энергопотребление мешалок и насосов. Для управления процессом требуются 2–3 оператора; необходимы также дополнительные навыки и специальные знания анаэробных процессов и особенностей технического обслуживания взрывоопасных зон.

Использование в регионе Балтийского моря

Сбраживание широко используется на средних и крупных очистных сооружениях в регионе Балтийского моря. Кроме того, на некоторых небольших очистных сооружениях также планируется строительство метантенков. Точка безубыточности для строительства метантенка сместилась, поэтому его использование может быть экономически выгодным и для небольших очистных сооружений. Иногда несколько небольших городских агломераций договариваются о строительстве общего метантенка для сбраживания осадка, поступающего из 3–5 муниципалитетов.

В Эстонии метантенки установлены в Таллине и Курессааре. В Тарту ведется строительство метантенка. В Латвии метантенки имеются в Риге и Лимбажи. В Швеции и Финляндии эти сооружения установлены в крупных городах, таких как Стокгольм, Гетеборг, Хельсинки, Тампере, Эспоо, Куопио, Ювяскюля, Хямеэнлинна и т.д. В Польше метантенки имеются, например, в Гданьске, Люблине и Щецине. Сравнение методов сбраживания (и обезвоживания) на очистных сооружениях партнеров проекта PURE представлено в Табл. 5-1.

4.4 АНАЭРОБНОЕ СБРАЖИВАНИЕ: ОБОБЩЕНИЕ

Мезофильное сбраживание приемлемо в основном для средних и крупных очистных сооружений, хотя иногда также и для небольших очистных станций. Оно позволяет значительно сократить объем осадка и получать биогаз для энергопотребления. Метантенки должны иметь достаточный объем, обеспечивающий нахождение осадка в течение 20 дней. Для крупных очистных сооружений возможно менее длительное время пребывания осадка в метантенке. Содержание

сухого вещества необходимо оптимизировать путем эффективного перемешивания смеси.

Кроме инвестиционных затрат (которые зависят от размера очистных сооружений) и энергопотребления, необходимо учитывать тот факт, что при сбраживании образуется значительное количество жидкой фазы, что увеличивает нагрузку по азоту и ХПК на очистные сооружения.

4.5 ПРОИЗВОДСТВО И ОБРАБОТКА БИОГАЗА

Биогаз отбирается из верхней точки метантенка. Среднее содержание метана (CH_4) в нем составляет 58–64%, углекислого газа (CO_2) – 30–40%. В биогазе также присутствует небольшое количество воды и сероводорода (H_2S). В отдельных случаях, например, при высокой доле стоков пищевой промышленности или при совместном сбраживании, содержание метана (CH_4) может достигать 70%. Теплотворная способность метана (100%) составляет $10 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$, биогаза – $5,8\text{--}6,4 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$.

При правильной конструкции системы сбора, хранения и использования газа неприятный запах сводится к минимуму. Выход газа рассчитывается на основании скорости удаления летучих твердых соединений и зависит от качества субстрата и количества летучих твердых органических соединений. Кроме того, на него оказывают существенное влияние биологическая активность и условия перемешивания. Обычно объем получаемого из осадка сточных вод биогаза составляет около $400\text{--}450 \text{ м}^3$ на тонну летучих твердых соединений. Потенциал образования биогаза из первичного осадка гораздо выше, чем из избыточного ила. Непосредственное положительное влияние на производство биогаза в метантенке может оказывать время отстаивания в первичном отстойнике.

Производство биогаза можно увеличить путем добавления в метантенки (при наличии места) кофермен-

Важно знать:

Работа с биогазом всегда связана с риском взрыва. Все агрегаты должны иметь взрывозащищенное исполнение. На видном месте необходимо разместить предупреждающие знаки.

тов для совместного сбраживания, например, жира, неочищенных (и очень концентрированных) сточных вод и измельченных биоотходов, например, при сбраживании в течение более 25 дней. Важно заранее подвергнуть коферменты обработке и обеспечить наличие достаточных мощностей на очистных сооружениях. При использовании коферментов особенно сильно возрастает нагрузка на очистные сооружения по азоту. Коферменты должны использоваться лишь в тех случаях, если это разрешено экологическим за-

конодательством. Вполне возможно, что при их добавлении осадок нельзя будет использовать в сельском хозяйстве или для этого потребуются разрешение соответствующих органов.



Рис. 4-6: Газовый факел, газгольдер и метантенки в Любеке (Германия).
Фото: Entsorgungsbetriebe Lübeck

Эталоном для метантенков является показатель распада органических веществ в осадке. Распад 50% органического вещества считается показателем эффективной работы.

Метан является парниковым газом с гораздо более сильным эффектом, чем углекислый газ. Каждая биогазовая установка по соображениям безопасности должна быть оснащена газовым факелом, который дает возможность при любых обстоятельствах безопасно утилизировать излишек биогаза. Факельная установка должна быть рассчитана на максимальное количество биогаза.

4.5.1 Удаление и очистка газа

Биогаз удаляют из сброженного осадка путем отгонки воздухом в блок удаления газа перед выгрузкой осадка в резервуар для промежуточного хранения для последующей утилизации. В биогазе содержится некоторое количество воды и сероводорода ($<0,01\%$), что вызывает коррозию оборудования ТЭЦ, трубопроводов и газгольдеров. Рекомендуется удаление серы, необходима также установка одного (или нескольких) капельотделителей. При предъявлении высоких требований

Важно знать:

Во избежание взрыва при случайном смешивании газа с окружающим воздухом система сбора и распределения биогаза должна постоянно находиться под положительным давлением. Потенциально взрывоопасной является смесь воздуха и биогаза, содержащая метан в концентрации более 5%. Газгольдеры, трубопроводы и запорно-регулирующая арматура должны иметь такую конструкцию и проходить такое техническое обслуживание, чтобы при изменении объема газа в метантенке внутри реактора засасывался газ, а не воздух (Vesilind, 2003 г.).

к качеству биогаза необходима сушилка, которая дает возможность почти полностью удалить из него воду.

После обработки газ закачивается в газгольдер, минимальная продолжительность хранения в котором равна 1–2 часам. Большой объем газгольдера обеспечивает большую гибкость в использовании на ТЭЦ. Газгольдеры часто оснащаются двойной пластиковой мембраной.



Рис. 4-7: ТЭЦ с когенерационной установкой, газовым факелом и системой нагрева в Риге. Фото: SIA Rīgas ūdens

4.6 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ

Биогаз является возобновляемым источником энергии. ТЭЦ дает возможность использования биогаза для производства электрической энергии, чаще всего с помощью газовых двигателей или микротурбин. Электрический КПД современной ТЭЦ составляет более 40%. Избыток тепловой энергии и выхлопные газы можно использовать для подогрева загружаемого в метантенк осадка, обогрева реактора и сушки осадка. Можно также продавать тепловую энергию ближайшему поставщику.

Электрическую энергию можно использовать непосредственно на объекте или продавать за пределы очистных сооружений, в зависимости от системы, действующей в стране эксплуатирующей организации. Электрический КПД весьма важен: установки с КПД ниже 35% считаются устаревшими. С другой стороны,

ТЭЦ с высоким электрическим КПД имеет меньший КПД по тепловой энергии.

Дополнительная тепловая энергия также может быть очень полезной, особенно в зимнее время. Ее можно получить при помощи водогрейного котла, работающего на биогазе, природном газе или легком нефтя-

ном топливе. Инновационным методом является использование теплового насоса в сочетании с тепловой энергией, вырабатываемой на очистных сооружениях.

Современная ТЭЦ является лишь одной из возможностей для увеличения производства биогаза. Основой энергосбережения является оптимизация процесса сбраживания и рациональное использование энергии. Некоторые очистные сооружения (например, в Гамбурге) имеют возможность производить даже больше электрической и тепловой энергии, чем необходимо для собственных нужд, поэтому подают биогаз в газовую систему.

Для повышения производства биогаза следует увеличить объем первичных отстойников. Вполне возможно, что в результате этого для процесса денитрификации будет не хватать источника углерода, поэтому необходимо использовать внешний источник. Например, в качестве источника углерода может служить этанол, получаемый на пивоваренных заводах. Выход биогаза можно также увеличить следующими способами:

- предотвращение высокого возраста ила в аэротенке;
- оптимизация перемешивания, что даст возможность предотвратить образование «мертвых» зон в метантенке;
- оптимизация работы теплообменника и изоляция метантенка для лучшего распределения температур;
- дезинтеграция избыточного ила до сбраживания для повышения эффективности;
- дополнительное использование совместного сбраживания.



Рис. 4-8: ТЭЦ в Любеке (Германия) и Щецине (Польша). Фото: Entsorgungsbetriebe и Lübeck ZWIK Szczecin

Кроме того, для обеспечения постоянной работы ТЭЦ в оптимальном режиме можно использовать газовый резервуар достаточного объема и тепловой буфер.



Рис. 4-9: Энергоцентральный с ТЭЦ, газовым факелом и системой нагрева в Риге (Латвия). Фото: SIA Rīgas ūdens

4.7 АЭРОБНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ

В качестве альтернативы анаэробному сбраживанию осадок может стабилизироваться путем длительной аэрации, при которой летучие вещества разрушаются биологическим способом. Долгосрочная (длительная) аэрация проходит в аэротенках и поэтому называется «одновременным аэробным сбраживанием». Разрабатываются также методы аэробной стабилизации при более высоких температурах в отдельных резервуарах. В результате аэробного сбраживания получается осадок, который можно утилизировать различными способами.

Аэробная стабилизация может быть реализована за счет увеличения продолжительности биологической очистки до 25 дней с подачей достаточного количества кислорода (ATV-DVWK-M 368E, 2003 г.). Данный процесс не требует специальных знаний. Он крайне редко используется в регионе Балтийского моря, в основном на очистных сооружениях небольшого и среднего размера в Германии (Einfeldt, 2011 г.).

На средних и крупных очистных сооружениях можно применять и другие методы аэробной стабилизации,

например, аэробную термофильную стабилизацию (см. также раздел 6.2.2). Для процесса аэробной стабилизации необходимы постоянная мезофильная или термофильная температура и подача достаточного количества кислорода.

Недостатком аэробного сбраживания являются высокие затраты на интенсивную аэрацию, требующую значительного энергопотребления, и отсутствие производства биогаза.

4.8 ПРИМЕР: технические решения по обработке осадка партнера по проекту PURE – ЛЮБЕК, Entsorgungsbetriebe Lübeck, центральные очистные сооружения (ZKW)

В ганзейском городе Любеке (Германия) имеются две станции очистки сточных вод. Осадок из меньших по размеру очистных сооружений (эквивалент численности населения 30 000 жителей), расположенных в приморском курорте Травемюнде, подается на центральные очистные сооружения (эквивалент численности населения 350 000 жителей), которые являются третьими по величине в земле Шлезвиг-Гольштейн. Очистные сооружения оснащены современным оборудованием для 2-ступенчатой фильтрации, что способствует повышению эффективности биологического удаления азота и химического осаждения соединений фосфора. Достигаемые предельные концентрации в очищенном стоке на сегодняшний день гораздо ниже европейских и национальных немецких норм. Биологический процесс удаления фосфора на станции не применяется. Ежегодно образуется около 9000 тонн (по сухому веществу) сброженного и обезвоженного осадка сточных вод.

На очистных сооружениях имеется крупные первичные отстойники. Осадок из них с содержанием сухого вещества 2,5–4,0% подается непосредственно в метантенк без использования гравитационных уплотнителей. Избыточный ил с этапа биологической очистки (активный ил) уплотняется механически с помощью ленточных уплотнителей примерно до 5,5% по сухому веществу при низком расходе флокулянта (1–3 г/кг сухого вещества) и невысоких затратах энергии.

Осадок стабилизируется в метантенках в мезофильных условиях в течение не менее 18 дней при температуре 37–39°C и содержании сухого вещества 2,5%. В качестве дополнительного внешнего субстрата в течение дня дозируют жир из сепараторов. Полученный биогаз содержит примерно 62% метана, его сушат и десульфатируют, после чего подают в газгольдер объемом 4000 м³, что удобно для обеспечения непрерывной работы ТЭЦ. На 3 новых ТЭЦ на 844 кВт производится в целом 10 ГВт•ч электрической и тепловой энергии.

Электрический КПД при номинальной мощности достигает 41,7%, а уровень самообеспечения суммарной потребности очистных сооружений в электроэнергии составляет почти 100%. Суммарная потребность в тепловой энергии покрывается более чем на 100%.

Осадок сточных вод обрабатывают известью и железом и обезвоживают в камерных фильтр-прессах до влажности 36–39%. В настоящее время весь осадок используется в качестве удобрения на сельскохозяйственных угодьях. Транспортировкой и утилизацией осадка занимается другая компания.

Будущее использования осадка в сельском хозяйстве в Германии является весьма спорным вопросом. На сегодняшний день концентрации тяжелых металлов в осадке сточных вод не превышают предельно допустимых, за исключением меди, попадающей в осадок из хозяйственно-бытовых стоков. Новые нормативные требования могут препятствовать использованию осадка в сельском хозяйстве, однако ожидается, что Любек по-прежнему сможет продолжать утилизировать осадок подобным образом. Удаление осадка сточных вод на полигоны ТБО в Германии запрещено с 2005 г., так что единственной оставшейся альтернативой, кроме использования в сельском хозяйстве, является сжигание.

В ближайшие планы по обработке осадка входит ремонт конструкций метантенков (при необходимости) и установка вертикальных трубчатых мешалок. После этого внимание будет сосредоточено на будущем утилизации осадка, в том числе на поиске технических решений, касающихся новых устройств для обезвоживания.

Рис. 4-10: Центральные очистные сооружения г. Любека. Фото: Entsorgungsbetriebe Lübeck





5. ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ОСАДКА

Фото: сайт [shutterstock.com/Marteric](https://www.shutterstock.com/Marteric)

5.1 ВВЕДЕНИЕ

Обезвоживание — относительно простой процесс, направленный на увеличение содержания сухого вещества в осадке с помощью различного оборудования. Для образования хлопьев избыточного ила в блоке обезвоживания необходимо использовать флокулянт. Иногда в целях повышения эффективности флокулянта (полимера) и сокращения его расхода при обезвоживании к осадку также добавляют коагулянты, такие как соли железа или алюминия. Ведутся исследования по разработке безреагентных методов обезвоживания, однако получаемый эффект и степень надежности этих методов еще не достаточно высоки.

В данном разделе для каждого метода обезвоживания приведен примерный расход флокулянта, который в большей степени зависит от типа и свойств обезвоживаемого осадка, чем от оборудования для обезвоживания. Какой бы метод обезвоживания осадка вы ни выбрали, для получения более достоверной информации, которая позволит правильно подобрать тип и дозу флокулянта, а также оптимизировать работу оборудования, необходимо провести соответствующие лабораторные исследования и промышленные испытания осадка и фильтрата.

После обезвоживания содержание сухого вещества в осадке, как правило, составляет 19%–30%. В зависимости от влагоотдачи можно получить содержание сухого вещества в осадке до 40%. Например, при использовании камерных фильтр-прессов такого результата можно добиться с помощью добавления извести. Максимальное содержание сухого вещества может быть определено лабораторным путем. После достижения максимальной степени обезвоживания оставшуюся в осадке связанную на клеточном уровне воду можно удалить лишь с помощью сушки.

Одним из факторов, обуславливающим низкое содержание сухого вещества при обезвоживании, является использование биологического удаления фосфора. Бактерии, которые могут удалять фосфор из сточных вод, вырабатывают внеклеточные полимерные вещества (ВПВ), которые плохо подвергаются обезвоживанию. Их можно разрушить лишь путем дезинтеграции (см. раздел 4.2.2). ВПВ не только снижают эффективность обезвоживания, но и увеличивают расход флокулянта.

В последующих разделах описаны приемлемые технические решения для обезвоживания осадка. В на-

Важно знать:

На очистных сооружениях (особенно крупных) должно предусматриваться резервное оборудование для обезвоживания на случай поломки основного.

стоящее время наиболее популярными методами обезвоживания на городских очистных сооружениях являются центрифуги и ленточные фильтр-прессы, что связано с их надежностью в работе и экономической эффективностью. Камерные фильтр-прессы дороже других типов фильтр-прессов, поэтому используются на более крупных очистных сооружениях, например, в горнодобывающей промышленности. Гидравлические прессы, которые изначально были созданы для пищевой промышленности и отвечают строгим санитарно-гигиеническим требованиям, также относятся к дорогостоящему оборудованию.

Шнековые прессы подходят для обезвоживания содержащего волокнистый материал осадка сточных вод, поступающих с предприятий целлюлозно-бумажной промышленности. Они используются на некоторых городских очистных сооружениях в регионе Балтийского моря, особенно на очистных сооружениях малого и среднего размера в Финляндии (например, Винтасаари, Каннонкоски, Рануа, Туусниemi и Пылкэнмэки), Эстонии (несколько очистных сооружений, в том числе, например, Кохила, Выру, Калласте и Таппивере) и Швеции (более 20, например, Соллефтеа, Гносьё, Хаммердаль, Хотинг и Сорселе). Инвестиционные затраты и эксплуатационные расходы при использовании шнековых прессов невысоки, поэтому данный тип оборудования подходит для небольших очистных сооружений. Для обезвоживания осадка го-

Важно знать:

Биологическое удаление фосфора снижает влагоотдачу. Поэтому экономически более выгодным может быть химическое удаление фосфора, позволяющее сократить расходы на утилизацию и транспортировку осадка. С другой стороны, биологическое удаление фосфора дает возможность эффективнее восстановить фосфор из сточных вод (см. главу 11). Кроме того, при биологическом удалении фосфора образуется меньше осадка, чем при химическом осаждении.

Важно знать:

Высокий процент избыточного ила в обезвоживаемом осадке снижает влагоотдачу и значительно увеличивает расход полимера. Доза флокулянта также повышается при аэробной стабилизации и времени пребывания осадка в метантенке более 20 дней (Корр, 2010 г.).

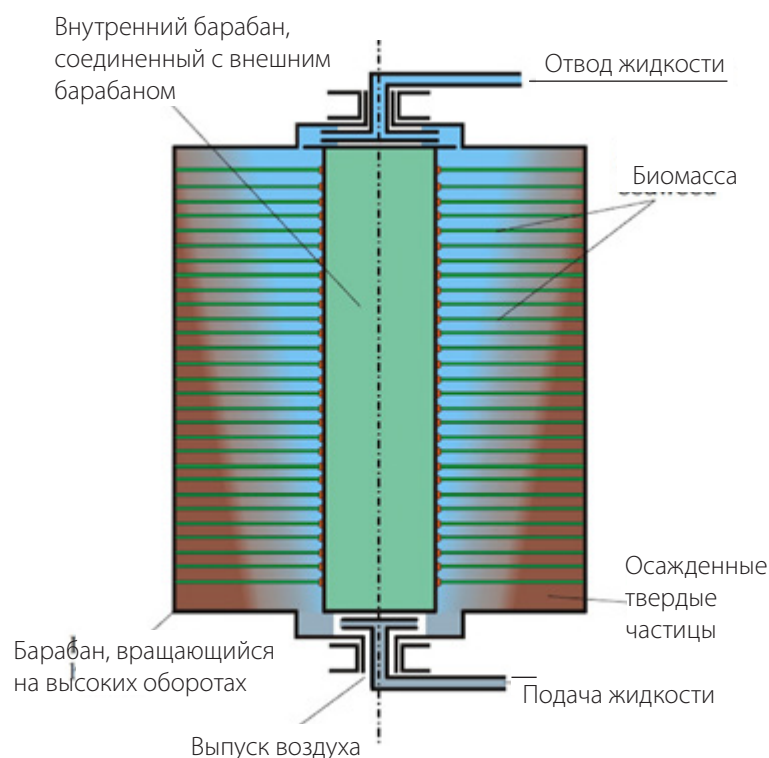


Рис. 5-1: Схема инновационного метода Rofites.
Рис.: Берлинский технический университет

родских сточных вод на средних и крупных очистных сооружениях такое оборудование менее приемлемо, чем центрифуги и ленточные фильтр-прессы. На некоторых станциях при использовании шнековых прессов в фильтрат попадает большое количество взвешенных частиц, что увеличивает соответствующую нагрузку на очистные сооружения.

Содержание сухого вещества в обезвоженном осадке, расход электроэнергии и реагентов при обезвоживании варьируется в зависимости от типа осадка. Разные источники дают различные сведения об этих параметрах. В настоящей публикации представлен синтез числовых данных по обезвоживанию, полученный из нескольких источников (отчет Röyry в рамках проекта PURE; Burton et al., 2003 г.; DWA-366 M, проект 2011 г.). Результаты, полученные на очистных сооружениях партнеров PURE, и примеры очистных сооружений, на которых применяется каждый из этих методов, приведены в конце главы.

Важно знать:

Степень обезвоживания осадка непосредственно зависит от его температуры. Исследования показали, что при температуре осадка около 48°C содержание сухих веществ в нем на 5% выше, чем при температуре 20°C (Корр, 2010 г.).

Инновационные методы:

Производители и ученые активно работают над разработкой систем обезвоживания осадка без использования флокулянта. Это особенно актуально в Германии, где обсуждаются вопросы использования полимеров для обезвоживания осадка, который впоследствии будет применяться в сельском хозяйстве. Кроме того, закупка флокулянта влечет высокие затраты. Рассматривается возможность применения различных технических решений; одним из примеров является разработанная Берлинским техническим университетом система Rofites, в которой не используются флокулянты. К сожалению, получаемый эффект обезвоживания по-прежнему недостаточно высок (Pian et al., 2011 г.).

Инновационные методы:

В качестве альтернативы механической очистке осадка на очистных сооружениях малого и среднего размера в южной части региона Балтийского моря (Германия, Дания, Швеция) используется технология биоплато (очистка на камышовых площадках). Минерализация и испарение на заросших камышами неглубоких прудах обеспечивают эффективное обезвоживание, сокращение объема и обеззараживание осадка. Конечный продукт может быть использован для озеленения и благоустройства территорий, а также в сельском хозяйстве.

В подходящих климатических условиях этот метод дает хорошие результаты без затрат внешней энергии и расхода реагентов. Некоторые затраты энергии, конечно, все же необходимы для закачки осадка в пруды и перекачки фильтрата обратно на очистные сооружения. Кроме того, требуется периодически осушать водоемы. Очистка на камышовых площадках может применяться как для несброженного, так и для сброженного осадка (или их смеси) (Nielsen, 2007 г., Schillinger, 2006 г.).

Для утилизации осадка также предлагается использовать так называемые плантации короткого цикла, засаженные непищевыми/некормовыми культурами. Как показывают исследования, для использования на таких плантациях подходят ивы и тополя – растения с высоким уровнем потребления воды и биогенных элементов. Суть данного метода заключается в передаче предварительно обработанного осадка фермерам, которые будут использовать содержащиеся в осадке биогенные элементы и воду для производства биомассы (BIOPROS, 2008 г.).

5.2 ЦЕНТРИФУГИ

Принцип работы и требования к площади

Стандартным типом центрифуг является декантерная центрифуга с непрерывной загрузкой и выгрузкой осадка. Модели центрифуг с высоким g (соответствующим максимальному центробежному ускорению или скорости вращения ротора) позволяют получить высокое содержание сухого вещества. Типичная конструкция декантерной центрифуги приведена на Рис. 5-2. Основными элементами центрифуги являются барабан с цилиндрической и конической секциями, конвейерный шнек внутри барабана и привод для создания вращательного движения. Корпус вокруг центрифуги служит для защиты и шумоподавления, а также для отвода кека и отделившейся осветленной жидкости (фугата) из устройства.

Выгрузка кека из барабана производится через отверстие, расположенное в суженной части конуса. Благодаря небольшой разнице в скорости вращения барабана и конвейера кек скатывается, уплотняется и поступает из цилиндрической части в конус для выгрузки. Отверстия для слива фугата имеют переливы, позволяющие регулировать уровень жидкости в чаше.

Основные факторы, влияющие на производительность декантерных центрифуг:

- центробежная сила;
- зона очистки и глубина барабана, т. е. площадь для «захвата» твердой фазы осадка;
- конструкция конической секции барабана и шнека;
- угол выноса и дифференциальная скорость шнека относительно барабана для соответствующего обезвоживания и перемещения осадка;
- гидродинамические характеристики конструкции, т. е. параметры, влияющие на турбулентность.

Необходимая площадь зависит от производительности и обычно составляет 2–5 м в ширину, 7–15 м в длину и 3–6 м в высоту, включая пространство для технического обслуживания. Данное оборудование всегда устанавливается внутри помещений.

Приемлемость центрифуг для различных видов осадка и разных по производительности/типу очистных сооружений

Центрифуги, как правило, используются для обезвоживания сброженного или аэробно стабилизирован-

ного осадка, однако их также можно применять для обезвоживания других видов осадков. Раньше центрифуги использовались, в основном, на крупных очистных сооружениях, в настоящее время они все чаще применяются и на очистных сооружениях среднего и малого размера. Процесс протекает компактно и замкнуто, аккуратно и надежно. В настоящее время на рынке представлены модели небольших типоразмеров. Существуют также передвижные установки, размещаемые в грузовых автомобилях. Их можно использовать для обезвоживания осадка на нескольких небольших очистных сооружениях, что дает возможность распределения расходов между эксплуатируемыми организациями.

Результат обезвоживания

Результат обезвоживания зависит, в основном, от типа осадка. Первичный осадок обезвоживается гораздо проще, чем смесь первичного осадка и избыточного ила, аэробно стабилизированный или сброженный осадок. С помощью центрифуги первичный осадок можно обезвоживать до 32–40% по сухому веществу, смесь первичного осадка и избыточного ила – до 26–32%, аэробно стабилизированный осадок – до 18–24%, сброженный осадок – до 22–30%.

Эксплуатация, техническое обслуживание, экологические аспекты и безопасность

Центрифуга может использоваться непрерывно (24 часа/7 дней в неделю). Для достижения стабильных условий рекомендуется использовать небольшой промежуточный резервуар, оснащенный мешалкой. Это

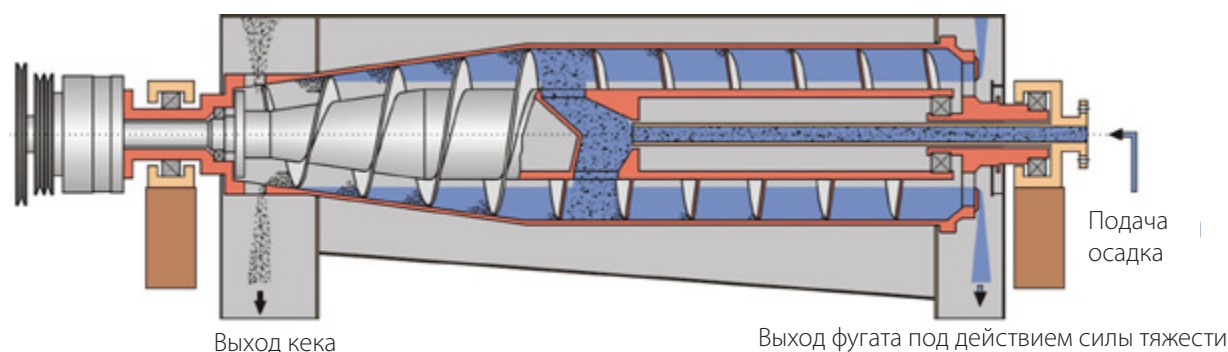


Рис. 5-2: Принципиальная схема декантерной центрифуги. Рис.: компания Flottweg SE

особенно выгодно для крупных очистных сооружений. На очистных сооружениях среднего и малого размера обезвоживание проводится в одну или две смены в сутки (8 или 16 часов в сутки 5 дней в неделю). Рекомендуется использовать промежуточный резервуар, однако возможна непосредственная загрузка осадка из метантенка в устройство для обезвоживания.

Центрифуги необходимо ежедневно промывать в течение 5–15 минут, как правило, между сменами. При непрерывной работе промывку проводить необязательно.

Техническое обслуживание состоит из промежуточного (после 2000–4000 часов работы или не реже одного раз в год) и основного (после 8000 часов работы) осмотра и ремонта. Во время промежуточного технического обслуживания производится замена сальников в двигателе, замена масла и смазка центрифуги. Во время основного технического обслуживания производится замена подшипников двигателя и проверка изнашиваемых сменных пластин и закаленных металлических поверхностей.

На центробежную силу, под действием которой частицы осадка отделяются от взвеси в барабане, влияют диаметр и скорость вращения барабана. Модели с высокой центробежной силой (обычно выше 2500 g):

- работают на более высоких оборотах и обычно имеют барабан меньшего диаметра, но большей длины, чем обычно используемые для подобного типа и количества осадка модели;
- имеют предназначенные для более высокой нагрузки структурные элементы, подшипники и приводы, что увеличивает стоимость;
- потребляют больше электроэнергии, хотя в последних моделях встроенные системы рекуперации энергии позволяют достичь некоторой экономии;
- обеспечивают более высокое содержание сухого вещества в обезвоженном осадке.

При обезвоживании первичного осадка предъявляются требования к крутящему моменту и вероятность коррозии выше, чем при обезвоживании избыточного ила. Возможность замены изнашиваемых пластин на конце шнека, а также закаленных металлических поверхностей в зонах сильного износа позволяет сократить затраты на техническое обслуживание.

Для ускорения и улучшения отделения жидкой фазы от твердой, получения соответствующей окончательной консистенции осадка и снижения содержания твердых веществ в фугате при обезвоживании осадка городских сточных вод требуется добавление флокулянта. Тип и свойства флокулянтов определяются индивидуально для каждого вида осадка и оборудования. Например, добавляемый в центрифугу флокулянт в связи с воздействием центробежной силы должен быть устойчив к сдвигу. Расход флокулянта невелик, а при увеличе-



Рис. 5-3: Декантерные центрифуги в Риге и Юрмале (Латвия). Фото: SIA Rīgas ūdens и PIU Jūrmalas ūdens

нии дозы производительность центрифуги может превышать проектную, хотя содержание твердых частиц в кеке может быть несколько ниже (Guyer, 2011 г.).

При использовании данного типа оборудования не возникает каких-либо особых экологических проблем. Многие модели имеют относительно высокий уровень шума, поэтому в соответствии с правилами охраны труда при их эксплуатации требуется носить средства защиты слуха.

Затраты, расход флокулянта и электроэнергии, рабочая сила

Инвестиционные затраты обычно варьируются в пределах 100 000–250 000 € в зависимости от производительности оборудования. Срок службы оборудования, как правило, составляет 15–20 лет, однако при отсутствии профилактического технического обслуживания подшипников и других быстроизнашивающихся деталей срок службы может сократиться до 10–15 лет.

Установленная мощность составляет примерно 20–90 кВт (в зависимости от производительности), потребление электроэнергии – около 30–35 кВт•ч/т сухого вещества, т.е. несколько выше, чем для других альтернативных методов обезвоживания осадка. Оно зависит также от фактического времени работы оборудования. Расход флокулянта колеблется от 4 кг до 14 кг на тонну сухого вещества. Расход флокулянта зависит от нескольких факторов, например, консистенции осадка, степени сбраживания, соотношения между первичным осадком и избыточным илом и содержания органиче-

ских веществ в осадке. Правильный выбор катионного полимера в качестве флокулянта уменьшает расход. Изменение условий на очистных сооружениях (или в метантенке) вызывает изменения в распределении заряда на поверхности осадка, что может увеличивать или уменьшать потребление полимеров. Для данного технологического процесса не требуется дополнительная рабочая сила или специальные знания.

Рис. 5-4: Декантерная центрифуга в разобранном виде на очистных сооружениях в Санкт-Петербурге (Россия). Фото: Лотта Руоканен, ХЕЛКОМ



5.3 ЛЕНТОЧНЫЕ ФИЛЬТР-ПРЕССЫ

Принцип работы и требования к площади

Основными элементами ленточного фильтр-пресса являются рама для интегрированной загрузки осадка, верхняя и нижняя фильтровальные ленты для гравитационного дренажа и отжима, система направляющих, система промывки и система выгрузки осадка. В современных моделях часто имеется встроенный кожух для защиты от разбрызгивания осадка и фильтрата и от выхода пара, тумана и газов с неприятным запахом. Конструкция может также включать в себя отдельную систему местной вытяжной вентиляции, расположенную над блоком ленточного фильтр-пресса.

Загружаемый в устройство осадок равномерно распределяется с помощью желоба по всей ширине фильтровальной ленты на участке гравитационного дренажа. Иногда в желобе имеются приваренные направляющие для более равномерного распределения осадка.

Существуют несколько вариантов ленточных фильтр-прессов, отличающихся конструкцией устройства загрузки осадка, зоны гравитационного сгущения и устройством отжима осадка. В горизонтальной секции обезвоживание должно проводиться быстро. Чтобы удалить максимальное количество воды дозирование флокулянта должно быть точным и эффективным. Этого легче добиться при использовании первичного осадка, а не избыточного ила. После предварительного обезвоживания на горизонтальном участке осадок поступает в зону отжима.

Секция гравитационного дренажа с коротким временем пребывания осадка может встраиваться непосредственно в нижнюю ленту пресса. Тем не менее, для уплотнения осадка городских сточных вод обычно требуется длительное время и осторожное обращение, поэтому крупная секция гравитационного дренажа может встраиваться над участком отжима. Иногда даже используется отдельный блок для гравитационного сгущения на движущейся ленте, устанавливаемый до или после ленточного фильтр-пресса. Конструкция ленточного фильтр-пресса приведена на Рис. 5-5.

Необходимая площадь зависит от производительности фильтр-пресса и обычно составляет 3–6 м в ширину, 5–10 м в длину и 3–6 м в высоту, включая пространство для технического обслуживания. Данное оборудование требует установки внутри помещений.

Важно знать:

При обезвоживании осадков с непостоянными свойствами к оборудованию предъявляются более строгие требования. Необходимо оптимизировать дозирование флокулянта. Также можно удлинить первый участок, чтобы обеспечить соответствующее предварительное обезвоживание. При отсутствии флокуляции осадок может «проскакивать» через зону отжима. По этой причине многие производители устанавливают требования к минимальному содержанию сухого вещества осадка, обезвоживаемого на ленточном фильтр-прессе (3%).

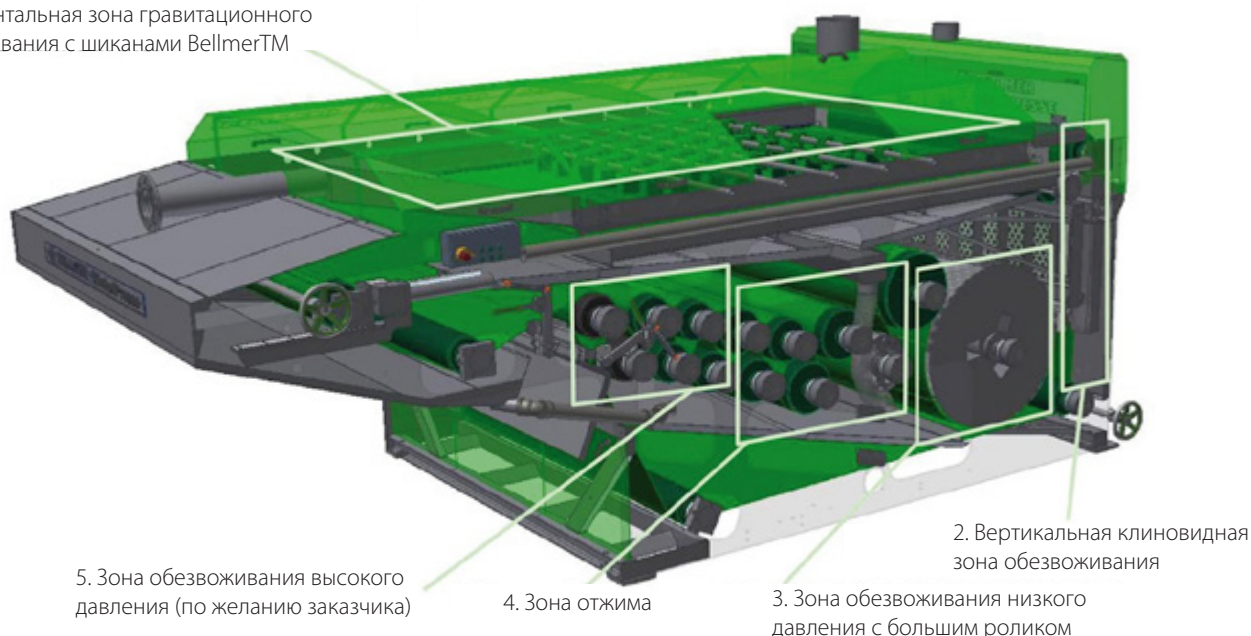
Результат обезвоживания

Эффект обезвоживания на фильтр-прессе несколько ниже, чем при использовании центрифуг. С помощью ленточного фильтр-пресса первичный осадок можно обезвоживать до 30–35% по сухому веществу, смесь первичного осадка и избыточного ила — до 24–30%, аэробно стабилизированный осадок — до 15–22%, сброженный осадок — до 20–28%.

Приемлемость ленточных фильтр-прессов для различных видов осадка и разных по производительности/типу очистных сооружений

Ленточные фильтр-прессы часто используются для сброженного осадка, однако их также можно применять для обезвоживания уплотненного осадка, не прошедшего промежуточный этап сбраживания. Не рекомендуется использовать этот метод обезвоживания для неуплотненного осадка.

1. Горизонтальная зона гравитационного обезвоживания с шиканами Bellmer™



2. Вертикальная клиновидная зона обезвоживания

3. Зона обезвоживания низкого давления с большим роликом

4. Зона отжима

5. Зона обезвоживания высокого давления (по желанию заказчика)

Рис. 5-5: Принципиальная схема ленточного фильтр-пресса. Фото: компания Bellmer GmbH

Ленточные фильтр-прессы широко применяются в регионе Балтийского моря. Они преобладают на очистных сооружениях малого и среднего размера, однако благодаря компактной закрытой конструкции их все чаще заменяют центрифугами. Тем не менее, на некоторых очистных сооружениях, обслуживающих эквивалент численности населения до 100 000 жителей, например, в Тарту (Эстония), ленточные фильтр-прессы продолжают использоваться. Устанавливаемые на грузовых транспортных средствах передвижные установки для обезвоживания осадка на небольших очистных сооружениях позволяют разделить затраты между эксплуатирующими организациями.

Эксплуатация, техническое обслуживание, экологические аспекты и безопасность

Ленточный фильтр-пресс предназначен для непрерывной работы (24 часа в сутки/7 дней в неделю). На практике, на многих средних по размерам очистных сооружениях обезвоживание проводится в одну или две смены (8 или 16 часов в сутки 5 дней в неделю). Рекомендуется использовать промежуточный резервуар, оснащенный мешалкой. Если фильтр-пресс не работает в непрерывном режиме, объем резервуара необходимо увеличить. Применение промежуточного резервуара позволяет обеспечить стабильные условия эксплуатации. При загрузке осадка в метантенк в непрерывном режиме возможна подача сброженного осадка из метантенка непосредственно на фильтр-пресс. При отсутствии сброса для поддержания оптимальных условий соотношение первичный осадок/избыточный ил должно оставаться постоянным.

Как и ленточный илоуплотнитель, ленточный фильтр-пресс нуждается в постоянной промывке. Промывка фильтратом производится автоматически. Очистка и

Важно знать:

К ленточному фильтр-прессу можно добавлять дополнительные секции для улучшения результата обезвоживания и получения более высокого содержания сухого вещества.

техническое обслуживание проводятся, как правило, через каждые 1–2 недели.

Ленточный фильтр-пресс достаточно надежен в эксплуатации при условии его регулярного профилактического осмотра и ремонта. Необходима замена масла в редукторах и смазка роликов ленты в соответствии с инструкциями поставщика оборудования. Требуется регулярный осмотр гидравлического блока, приводящего в движение ленту, и блока смазки роликов под давлением. Лента является изнашиваемым элементом, ее замена проводится один раз в 1–2 года, чаще всего, если осадок имеет высокие абразивные свойства.

Локальные панели управления и пульт дистанционного управления обеспечивают гибкость при настройке и контроле работы ленточного фильтр-пресса. Важными параметрами, влияющими на производительность, являются скорость движения ленты и глубина осадка на входе на участок гравитационного дренажа, а также автоматизированный контроль и управление выравниванием верхней и нижней ленты. Иногда, несмотря на контроль качества фильтрата в режиме реального времени, измерения являются неточными и не могут использоваться для автоматической настройки дозирования флокулянта. Производители предлагают специальные блоки для контроля дренажа воды через ленту в зоне уплотнения, однако они не столь надежны, чтобы использоваться для контроля дозирования флокулянта.

При применении данного типа оборудования не возникает каких-либо особых экологических проблем.

Затраты, расход флокулянта и электроэнергии, рабочая сила

Инвестиционные затраты обычно варьируются в пределах 80 000–250 000 € в зависимости от производительности оборудования. Срок службы, как правило, составляет 15–20 лет, замену лент и других быстроизнашивающихся деталей необходимо проводить один раз в 1–2 года. Инвестиционные затраты могут увеличиваться за счет приобретения препятствующего распространению запаха кожуха и увеличения пропускной способности различных участков ленточного фильтр-пресса.

Установленная мощность составляет примерно 20–50 кВт, потребление электроэнергии – около 20–30 кВт•ч/т сухого вещества. Потребление незначительно по сравнению с общим расходом электроэнергии на очистных сооружениях. Оно зависит также от фактического времени работы оборудования. Расход флокулянта обычно составляет 4–12 кг на тонну су-



Рис. 5-6: Ленточный фильтр-пресс на очистных сооружениях в Щецине (Польша). Фото: ZWiK Szczecin

хого вещества – в среднем несколько ниже по сравнению с центрифугой – и варьируется в зависимости от свойств осадка.

Для данного технологического процесса не требуется дополнительная рабочая сила или специальные знания.

5.4 КАМЕРНЫЕ ФИЛЬТР-ПРЕССЫ

Принцип работы и требования к площади

Камерный фильтр-пресс состоит из ряда камер с фильтрующими плитами, закрепленными на раме. Загрузка осадка осуществляется циклами. Фильтровальные камеры с загруженным в них осадком сжимаются с помощью гидроцилиндров в течение нескольких секунд под давлением до 60 бар. Обезвоженный осадок выгружают из камеры, открывая фильтровальные плиты и встряхивая ткань или плиты. Для обеспечения постоянно высоких результатов фильтрации и длительного срока службы фильтровальной ткани, камеры и саму ткань регулярно промывают.

Необходимая площадь зависит от производительности и, как правило, составляет 2–4 м в ширину, 7–15 м в длину и 3–6 м в высоту, включая пространство для технического обслуживания. Данное оборудование требует установки внутри помещений.

Результат обезвоживания

Результат обезвоживания в камерном фильтр-прессе, в основном, зависит от свойств осадка и условий его кондиционирования. При использовании органических флокулянтов результаты обезвоживания близки к результатам обезвоживания на центрифугах.

В камерных фильтр-прессах для кондиционирования можно использовать известковое молоко (15–25 кг/м³) и хлорид железа (5–12 кг/м³). В этом случае необходима проницаемая фильтрующая ткань. Очистка воздуха производится с помощью кислого раствора, очистка фильтровальной ткани – с помощью соляной кислоты через определенные промежутки времени (например, один раз в две недели). При обезвоживании с добавлением извести содержание сухого вещества может превышать 40%, однако в этом случае в осадке будет содержаться до 30–50% извести. Известковое молоко

оказывает обеззараживающий эффект, что в некоторых странах дает возможность использовать осадок в сельском хозяйстве (см. главу 6.3). Результат обезвоживания зависит также от типа и свойств осадка: при обработке известью/железом содержание сухого вещества может увеличиться до 45% для первичного осадка и смеси первичного осадка и избыточного ила, 35% для аэробно стабилизированного осадка и 40% для сброженного осадка.

Приемлемость камерных фильтр-прессов для различных видов осадка и разных по производительности/типу очистных сооружений

Камерный фильтр-пресс можно применять для обезвоживания первичного осадка и избыточного ила, возможно, после уплотнения и сбраживания, в различных процессах очистки стоков. Такой фильтр-пресс особенно подходит для очистки от неорганических взвешенных веществ и химических веществ.

Для обезвоживания осадка на коммунальных очистных сооружениях данный метод применяется, например, в

Германии. Камерные фильтр-прессы чаще используются в горнодобывающей промышленности и других отраслях, где высока доля неорганического материала в осадке. Данный метод обезвоживания подходит также для осадков, образующихся после химического осаждения фосфора.

Эксплуатация, техническое обслуживание, экологические аспекты и безопасность

Эксплуатация камерных фильтр-прессов обычно осуществляется в одну или две смены (8 или 16 часов в сутки 5 дней в неделю). Эта технология требует частой очистки в соответствии с инструкциями поставщика и несколько более частого технического обслуживания, чем центрифуги и ленточные фильтр-прессы. Затраты на персонал при использовании данного устройства обезвоживания являются высокими.

При применении данного типа оборудования не возникает каких-либо особых экологических проблем. При добавлении извести образуется аммиак, поэтому рекомендуется очистка воздуха.

Затраты, расход флокулянта и электроэнергии, рабочая сила

Расход полимеров при работе камерных фильтр-прессов аналогичен расходу при использовании цен-

трифуги или ленточного фильтр-пресса, потребление энергии – среднее между потреблением при использовании центрифуги и ленточного фильтр-пресса. Инвестиционные и эксплуатационные затраты на камерный фильтр-пресс относительно высоки по сравнению с центрифугой или ленточным фильтр-прессом в связи с более высокой стоимостью оборудования и расходами на персонал.

Инвестиционные расходы достигают 150 000–350 000 € в зависимости от производительности и материала оборудования. Срок службы установки, как правило, составляет 15–20 лет, замена фильтровальной ткани и других изнашиваемых деталей проводится несколько раз в течение срока службы.

Установленная мощность – примерно 20–50 кВт, расход электроэнергии данного устройства зависит от фактического времени работы оборудования (около 20–30 кВт•ч/т сухого вещества). Расход флокулянта, как правило, составляет 4–12 кг на тонну сухого вещества. Для эксплуатации, ремонта, контроля и очистки требуется присутствие оператора, необходима также специальная подготовка персонала у поставщика оборудования.

Мембранные фильтр-прессы

Мембранный фильтр-пресс является усовершенствованным вариантом камерного фильтр-пресса. При его использовании содержание сухого вещества можно повысить на 2–3% за счет дополнительной мембраны, расположенной между фильтровальной тканью и пластиной фильтра. Мембрана позволяет уменьшить время обезвоживания и увеличить концентрацию сухих веществ в осадке. Инвестиционные расходы на приобретение мембранного фильтр-пресса являются весьма высокими. Пластины имеют более крупный размер, поэтому в одном прессе устанавливается меньшее количество пластин и, следовательно, обезвоживается меньшее количество осадка.

Рис. 5-7: Камерный фильтр-пресс в Любеке (Германия). Фото: Entsorgungsbetriebe Lübeck



5.5 ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРЕССЫ

Принцип работы, результаты и требования к площади

Гидравлический пресс представляет собой инновационное решение для обработки осадка, которое может применяться для обезвоживания осадка городских сточных вод в особых случаях – при низкой влаготдаче осадка и (или) необходимости получения высокого содержания сухого вещества. Гидравлический пресс был разработан для разделения твердой и жидкой фаз биологических веществ. В Германии, Австрии и Швейцарии имеются несколько установок одного и того же поставщика, в регионе Балтийского моря используется одна такая установка (Стокгольм, очистные сооружения «Кэппала»).

Гидравлический пресс представляет собой вращающуюся цилиндропоршневую систему с гидравлическим приводом. Между нижней частью цилиндра и

поршнем установлены гибкие дренажные элементы, через которые фильтрат вытекает из пресса. Прессование состоит из следующих этапов: загрузка осадка,

циклическое обезвоживание, выгрузка кека. Весь процесс обычно занимает 70–120 минут, в зависимости от влаготдачи осадка. При непрерывной эксплуатации проводятся несколько циклов импульсного заполнения. Этапы обезвоживания повторяются до получения необходимого результата. Содержание сухого вещества в обезвоженном осадке обычно составляет от 25% до 40%. Производительность пресса варьируется от 130 кг до 500 кг сухого вещества в час. Необходимая площадь зависит от производительности и, как правило, составляет 2–4 м в ширину, 7–10 м в длину и 3–6 м в высоту, включая пространство для технического обслуживания. Данное оборудование требует установки внутри помещений (Bucher Unipektin AG, 2011 г.).

Приемлемость гидравлических прессов для различных видов осадка и разных по производительности/типу очистных сооружений

Гидравлические прессы, как правило, используются в основном для сброженного осадка, однако с их помощью также можно обезвоживать осадок другого типа. Содержание сухого вещества в исходном осадке должно составлять от 2 до 10% сухого вещества. Данный тип оборудования стоит гораздо дороже, чем ленточные фильтр-прессы или центрифуги, поэтому обычно применяется на крупных очистных сооружениях.



Инновационные методы:

При использовании процесса KEMICOND с гидравлическим прессом на очистных сооружениях в Стокгольме получен результат обезвоживания до содержания сухого вещества 50% (см. главу 6.3). Несмотря на то, что процесс KEMICOND проводится с гидравлическим прессом, его можно использовать и для других устройств механического обезвоживания.

Эксплуатация, техническое обслуживание, экологические аспекты и безопасность

Гидравлический пресс работает полностью в автоматическом режиме, однако в связи с тем, что загрузка производится периодически, необходим промежуточный резервуар. Работа может вестись в автоматическом режиме 24 часа в сутки/7 дней в неделю или в одну (две) смены (8 или 16 часов в сутки 5 дней в неделю). Гидравлический пресс требует частой очистки в соответствии с инструкциями поставщика и несколько более частого технического обслуживания по сравнению с другими вышеописанными сооружениями механического обезвоживания. При использовании данного типа оборудования не возникает каких-либо особых проблем, связанных с экологией или безопасностью.

Затраты, расход флокулянта и электроэнергии, рабочая сила

Инвестиционные затраты обычно варьируются в пределах 180 000–400 000 € в зависимости от производительности и материала оборудования. Срок службы, как правило, составляет 15–20 лет, замену сетчатых фильтров и других быстроизнашивающихся деталей необходимо производить несколько раз в течение срока службы.

Установленная мощность составляет примерно 20–50 кВт, энергопотребление данного оборудования не слишком высоко по сравнению с общим потреблением электроэнергии на очистных сооружениях (20–30 кВт•ч/т сухого вещества). Затраты электроэнергии зависят также от фактического времени работы оборудования. Расход флокулянта обычно составляет 5–12 кг на тонну сухого вещества. Для данного технологического процесса не требуется дополнительная рабочая сила или особые знания, тем не менее, необходима специальная подготовка операторов у поставщика оборудования.

Рис. 5-8: Гидравлические прессы. Фото: компания Bucher Unipektin AG, Швейцария

5.6 ПРИМЕР: технические решения по обработке осадка партнера по проекту PURE – ЮРМАЛА, PIU Jūrmalas ūdens, очистные сооружения «Слока»

Очистные сооружения в Юрмале (Латвия) обслуживают в общей сложности эквивалент численности населения около 37 500 жителей. Ежегодно требуется утилизация около 1000 тонн (по сухому веществу) осадка сточных вод. Очистные сооружения оснащены оборудованием для удаления азота и биологического удаления фосфора. В рамках проекта PURE на очистных сооружениях осуществлены инвестиции с целью достижения баланса в удалении азота и фосфора, например, закуплены измерительные устройства для оптимизации управления технологическим процессом.

На очистных сооружениях в Юрмале метантенка нет. Так как первичное отстаивание отсутствует, весь осадок классифицируется как избыточный ил и уплотняется механическим способом. Для этого используется один барабанный уплотнитель, который обеспечивает содержание сухого вещества в осадке порядка 4–7%. Расход полимера составляет 3,5 г/кг сухого вещества.

После уплотнения осадок обезвоживается на центрифуге, при этом влажность снижается до минимума (содержание сухого вещества в кеке достигает 18%). Потребление полимеров составляет около 5,4 г/кг сухого вещества. Компостирование и удаление осадка передано независимой компании. Предприятие не сталкивается с проблемами, связанными с превышением предельных концентраций тяжелых металлов в



Рис. 5-9: Центрифуга и барабанный уплотнитель, очистные сооружения Юрмалы. Фото: PIU Jūrmalas ūdens

осадке. В планах – разработка оптимального решения для уменьшения объема, утилизации и повторного использования осадка, что, в свою очередь, устранил необходимость в транспортных и складских расходах на ту часть осадка, которая передается для компостирования независимой компании.

Рис. 5-10: Очистные сооружения «Слока» в Юрмале. Фото: PIU Jūrmalas ūdens



5.7 ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОСАДКА: ОБОБЩЕНИЕ

Вопросы, касающиеся утилизации осадка, часто напрямую связаны с обезвоживанием. Расходы на транспортировку, утилизацию и, возможно, сушку также зависят от влагоотдачи осадка. Максимальная эффективность обезвоживания и содержание сухого вещества позволяют сократить расходы. Поэтому рекомендуется проводить подробный расчет результата обезвоживания, расхода электроэнергии и флокулянта и учесть полученные результаты при принятии решений и проведении тендеров. Для более точного расчета необходимо организовать пилотные испытания. Различные способы обезвоживания и возможность их

Важно знать:

Пилотные испытания необходимо проводить при условиях (температура, pH, скорость сбраживания и т.д.), аналогичных условиям будущей эксплуатации. Во время проведения испытаний на очистных сооружениях не должны вестись строительные работы.

использования для различных видов очистных сооружений приведены в Табл. 5-2. Сравнение результатов, полученных на очистных сооружениях партнеров по проекту PURE, приведено в Табл. 5-1.

Табл 5-1: Сравнение результатов сбраживания и механического обезвоживания осадков на очистных сооружениях партнеров по проекту PURE. BioP = биологическое удаление фосфора

Партнер по PURE	Тип осадка	Устройства для обезвоживания	BioP	Содержание сухого вещества	Расход флокулянта
Кохтла-Ярве	Сбраживание не проводится	Центрифуга	Да	22 %	8 г/кг сухого вещества
Рига	Сброженный ил	Центрифуга	Да	19 %	8 г/кг сухого вещества
Юрмала	Сбраживание не проводится	Центрифуга	Да	18 %	5.4 г/кг сухого вещества
Гданьск	Сброженный ил	Центрифуга	Да	19.7 %	11.4 г/кг сухого вещества
Щецин, «Поможаны»	Сброженный ил	Центрифуга	Да	20 %	8-12 г/кг сухого вещества
Щецин, «Здрое»	Сброженный ил	Камерный фильтр-пресс	Да	19 %	5.3 г/кг сухого вещества
Любек, ZKW	Сброженный ил	Камерный фильтр-пресс	Нет	37 %	500 г/кг сухого вещества (ИЗВЕСТЬ)

Табл. 5-2: Обзор методов обезвоживания и их использование в регионе Балтийского моря

	Центрифуга	Ленточный фильтр-пресс	Камерный фильтр-пресс		Гидрав- лический пресс
			Кондициони-рова- ние полимером	Кондициони- рование изве- стью	
Результат обезво- живания					20–35 % ¹
Аэробно стабилизирован- ный осадок	18–24 %	15–22 %	18–24 %	28–35 %	-
Сброженный оса- док	22–30 %	20–28 %	22–30 %	30–40 %	-
Расход флокулянта	4–14 г/кг сухого вещества	4–12 г/кг сухого вещества	5–12 г/кг сухого вещества	Известь 15–25 кг/м ³ и железо	5–12 г/ кг сухого вещества
Расход электро- энергии	Высокий	Низкий	Средний	Средний	Средний
Автоматический и непрерывный ход процесса	Да/да	Да/да	Нет/нет	Нет/нет	Да/нет
Инвестиционные расходы	Средние	Средние	Очень высокие	Очень высокие	Очень высо- кие
Размер очистных сооружений	Крупные, сред- ние, малые очист- ные сооружения (передвижные установки)	Крупные, средние, малые очистные сооружения (передвижные установки)	Крупные очистные сооружения	Крупные очист- ные сооружения	Крупные очистные сооружения
Примеры исполь- зования в регионе Балтийского моря	Хельсинки, Там- пере (Финляндия) Таллинн, Кохтла- Ярве (Эстония) Санкт-Петербург (Россия) Рига, Юрмала (Латвия) Гамбург (Герма- ния) Варшава, Гданьск, Щецин (Польша)	Тарту, Вильянди (Эстония) Пяляне (Фин- ляндия) Щецин, «Помо- жаны» (Польша) Люнебург (Гер- мания)	Некоторые очист- ные сооружения в Северной Германии	Киль, Любек (Германия)	Стокгольм, «Кэппала» (Швеция)



6. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ОСАДКА

6.1 ВВЕДЕНИЕ

Обеззараживание (дезинфекция) осадка городских сточных вод направлено на снижение числа патогенных микроорганизмов до определенного уровня, установленного санитарными нормами. Необходимость обеззараживания зависит от метода утилизации осадка, что особенно важно, если осадок будет использоваться в сельском хозяйстве или для благоустройства территорий. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), а также Германия и Швеция разработали собственные рекомендации в отношении обеззараживания (материалы Германии и Швеции частично представлены только на немецком и шведском языках) (SNV, 2003 г., Umweltbundesamt 2009 г., WHO, 2003 г.).

Для обеззараживания обычно применяются два метода обработки:

- нагревание осадка до температуры свыше 55–70°C в течение определенного периода времени;
- повышение pH осадка более 12 в течение определенного периода времени.

Во время обработки микроорганизмы погибают, что должно подтверждаться результатами соответствующих лабораторных исследований. Принципиальная схема обеззараживания осадка представлена на Рис. 6-1.

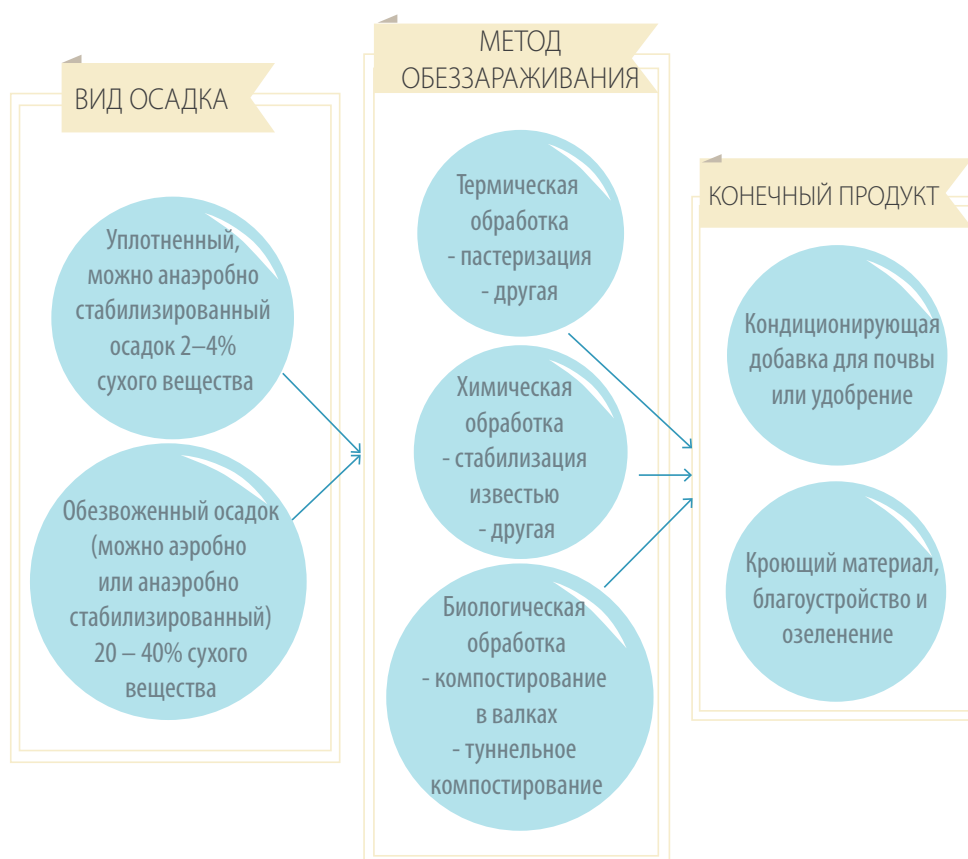


Рис. 6-1: Методы обеззараживания осадка сточных вод

6.2 ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

При термической дезинфекции температура осадка повышается до уровня, при котором бактерии погибают. Термическое обеззараживание рекомендуется (а иногда даже требуется), если в метантенке вместе с осадком хозяйственно-бытовых сточных вод сбраживаются остатки животного происхождения и отходы скотобоен.

Ниже перечислен ряд методов, с помощью которых можно обеспечить высокую температуру для обеззараживания:

- (предварительная) пастеризация;
- термическое кондиционирование;
- сушка;
- анаэробная термофильная стабилизация;
- аэробная термофильная стабилизация;
- аэробная термофильная предварительная обработка;
- компостирование.

6.2.1 Пастеризация

Наиболее распространенным методом термического обеззараживания является пастеризация, предложенная Луи Пастером еще в 1860-х гг. Данный метод обычно используется для консервирования пищевых продуктов. На очистных сооружениях водоотведения он применяется следующим образом: первичный осадок и избыточный ил нагреваются в резервуаре для обеззараживания до температуры 65°C–100°C. Время обработки при 65°C составляет 30 минут, при 70°C – 25 минут, при 80°C – 10 минут.

Условия пастеризации (температура и время обработки) регламентируются национальными нормами. Для полного уничтожения патогенных микроорганизмов пастеризация должна предшествовать этапу сбраживания. Тогда остатки погибших микроорганизмов будут использованы при сбраживании, что исключит вероятность повторного инфицирования. При проведе-

Важно знать:

Процесс пастеризации является весьма энергоемким. Затраты можно снизить путем предварительного уплотнения, что уменьшает объем нагреваемого осадка. Кроме того, сократить расход энергии можно при использовании теплообменников: теплота сброженного осадка используется для подогрева осадка, подаваемого в метантенк. Суммарное потребление тепловой энергии при пастеризации достигает порядка 11,9 кВтч/м³ (без учета потерь тепла в реакторе) (UBA, 2009 г.).

нии пастеризации после сбраживания создавалась бы благоприятная среда для повторного заражения осадка патогенными микроорганизмами (UBA, 2009 г.).



Рис. 6-2: Установка для пастеризации осадка в Кохтла-Ярве (Эстония). Фото: OÜ Järve Biopuhastus

6.2.2 Другие методы термической обработки

- Термическое кондиционирование – непродолжительный нагрев осадка в отдельном резервуаре, предшествующий этапу сбраживания и способствующий увеличению выхода биогаза и более эффективному распаду твердой фазы. Одним из вариантов данного процесса является тепловой гидролиз, который обычно используется для обработки избыточного ила. Совместная обработка первичного осадка и избыточного осадка увеличивает расход тепловой энергии.
- Сушка (см. главу 7) также предполагает нагрев осадка до определенной температуры, что обеспечивает обеззараживающий эффект. При сушке расход



Рис. 6-3: Фото: сайт shutterstock.com/Peter Gudella

Важно знать:

При перегрузке метантенков можно использовать предварительную аэробную термофильную обработку.

Важно знать:

При нагревании осадка до температуры выше 180°C в результате химических реакций могут образовываться токсичные продукты распада. После обезвоживания они снова подаются на очистные сооружения (с иловой водой), вызывая эксплуатационные проблемы и превышение предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ на выходе. Высокие температуры также могут усилить неприятный запах.

тепловой энергии намного выше, чем при пастеризации, однако уменьшение объема отходов позволяет снизить расходы на утилизацию. Сушка обычно используется в качестве предварительной обработки перед сжиганием (см. главу 8).

- Анаэробная термофильная стабилизация описана в главе 4. Она не применяется в регионе Балтийского моря. Вполне вероятно, что в будущем данный метод обеззараживания получит более широкое распространение, например, на установках по обработке биологических отходов, что зависит от требований со стороны регулирующих органов.
- Аэробная термофильная предварительная обработка со стабилизацией является слишком энергоемким процессом и поэтому пока не используется.
- Компостирование, в результате которого осадок также нагревается выше температуры, необходимой для обеззараживания, описано в главе 6.4.

6.3 ХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Обеззараживающий эффект может также достигаться при применении содержащих кальций реагентов (CaO или Ca(OH)_2) за счет повышения и поддержания величины pH осадка около 12 до момента прекращения биологической активности. Минимальное время обеззараживания при pH более 12 составляет 2 часа. Доза извести, как правило, регулируется путем измерения pH, расход зависит от жесткости и других химических свойств сточных вод.

Возможность использования для обработки различных видов осадка и результаты обработки

Известковое молоко (Ca(OH)_2) обычно добавляется к неуплотненному осадку с низким содержанием сухого вещества. При кондиционировании его добавляют к осадку перед обезвоживанием на камерном фильтр-прессе (см. раздел 5.4). Негашеная известь (CaO), как правило, вводится в обезвоженный осадок.

После обработки известью обычно нет необходимости понижать pH осадка. После обезвоживания любым методом, представленным в главе 5, осадок может использоваться в сельском хозяйстве или для благоустройства участков автомобильных, железных дорог

и парковых зон. Щелочность почвы обычно слишком низка, поэтому в культивируемые почвы часто вводят щелочные соединения для стимулирования роста растительности.

Требования к площади, эксплуатация, техническое обслуживание, экологические аспекты и безопасность

Пространство, необходимое для размещения установки по обработке осадка известью, зависит от ее производительности и обычно составляет 3–4 м в ширину, 5–10 м в длину и 3–6 м в высоту, включая зону технического обслуживания. Данное оборудование всегда устанавливается в помещении.

Эксплуатация и техническое обслуживание установки являются относительно простыми. В ее состав входят оборудование для дозирования реагента и резервуар-хранилище, а также устройства для перемешивания осадка с реагентами.

При использовании извести для обеззараживания необходимо учитывать следующее:

- общий объем осадка с учетом реагента увеличивается, следовательно, возрастают расходы на его утилизацию;
- повышается величина pH, что является положительным моментом при утилизации обработанного известью осадка в сельском хозяйстве;
- для предотвращения выбросов в атмосферу аммиака может потребоваться промывка осадка кислым раствором;

Важно знать:

В зависимости от национальных норм, после обработки осадка известью может требоваться измерение предельных концентраций загрязняющих веществ. Наряду с обеззараживанием применение извести может привести к загрязнению осадка присутствующими в товарном продукте веществами, поэтому необходимо контролировать качество извести.

- в связи с высокой щелочностью необходимо обеспечить химическую защиту;
- доза реагента достигает 300–400 кг на тонну сухого вещества.

См. некоторые дополнительные аспекты в главе 6.3.4.

6.3.1 Обеззараживание известковым молоком

Осадок с низким содержанием сухого вещества (2–4%), как правило, обрабатывают известковым молоком (5–10% $\text{Ca}(\text{OH})_2$), которое увеличивает pH смеси. В связи с тем, что реакция не является экзотермической, температура при такой обработке не повышается. Гашеная известь $\text{Ca}(\text{OH})_2$ растворяется в воде до образования известкового молока, а затем перемешивается с осадком в отдельном блоке перед его уплотнением и стабилизацией. Установка для смешения осадка с гашеной известью представляет собой открытый резер-

вуар, оснащенный вертикальной мешалкой.

На очистных сооружениях небольшого и среднего размера при отсутствии сооружений для обезвоживания, дезинфекция может проводиться путем добавления известкового молока (к аэробно/анаэробно стабилизированному осадку), смешения и выдерживания при таких условиях в течение определенного времени с последующим использованием осадка в сельском хозяйстве.

6.3.2 Кондиционирование известковым молоком и солями железа

В качестве реагентов при обезвоживании на камерном фильтр-прессе можно использовать известковое молоко и соли железа (см. раздел 5.4). При этом необходима специальная фильтровальная ткань. После обезвоживания осадок выдерживают в течение некоторого времени, после чего его можно использовать в сельском хозяйстве. В связи с высокой стоимостью камерного фильтр-пресса, данный метод подходит для средних и крупных очистных сооружений.

Побочные эффекты кондиционирования:

- изменение качественных показателей жидкой фазы,

или фугата осадка, накопление карбоната кальция в трубопроводах;

- отделенная от твердой фазы осадка жидкость увеличивает буферную способность сточной воды;
- при очистке фугата возникают дополнительные эксплуатационные трудности;
- соотношение концентраций кальция и натрия становится более сбалансированным, снижается вероятность «вспухания» ила;
- возможно засорение системы аэрации.



Рис. 6-4: Обработанный известковым молоком и обезвоженный осадок. Фото: Entsorgungsbetriebe Lübeck

6.3.3 Обработка негашеной известью

Стабилизация оксидом кальция, как правило, применяется для осадка с высоким содержанием сухого вещества (20–40%, т.е. обезвоженного осадка). Известковый порошок смешивают с обезвоженным осадком в закрытом смесителе не более 15–20 минут в связи с быстрым повышением температуры. Величина pH смеси возрастает до 12 и более. В ходе экзотермической реакции CaO с жидкой фазой осадка температура, как правило, поднимается до 60°C и выше, часть воды испаряется, а содержание сухого вещества несколько увеличивается.

Негашеную известь можно применять на очистных станциях любой производительности, на которых имеются сооружения для механического обезвоживания осадка (см. главу 5). Благодаря протеканию экзотермической реакции и повышению температуры, обработка негашеной известью является более эффективной, чем обеззараживание известковым молоком.

Смеситель для обеззараживания осадков с высоким содержанием сухого вещества негашеной известью является закрытой системой, например, с установленной горизонтальной лопастной мешалкой.

Затраты, расход реагента и электроэнергии, рабочая сила

Инвестиционные затраты на сооружения для обработки известью составляют около 200 000–400 000 €

в зависимости от производительности. Срок службы оборудования, как правило, составляет 15–20 лет. Основным источником эксплуатационных расходов является приобретение реагента для обеззараживания, количество которого составляет 300–400 кг CaO /т сухого вещества. Минимальный расход зависит от вида осадка и содержания сухого вещества и может быть определен экспериментальным путем при продолжительности обработки не менее 2 ч при $\text{pH} > 12$. Стоимость извести варьируется в зависимости от объема заказа и страны-производителя. При указанном выше удельном расходе затраты на закупку извести достигают порядка 20–40 €/т сухого вещества. Установленная мощность составляет примерно 10–20 кВт, потребляемая мощность – около 7–15 кВт·ч/т сухого вещества, что занимает лишь незначительную часть от общего энергопотребления очистных сооружений.

Для данного технологического процесса не нужна дополнительная рабочая сила или специальные знания. Кондиционирование известковым молоком и солями железа предполагает использование камерного фильтр-пресса (см. главу 5.4).

Использование в регионе Балтийского моря

В регионе Балтийского моря обработка известью используется редко. Один из примеров в Финляндии – компания Iisalmi Water, которая применяет стабилизацию обезвоженного осадка известкованием на очистных сооружениях «Вуохиниеми», а также компания Savonlinna Water. В регионе Балтийского моря кондиционирование известковым молоком и солями железа производится в Любеке и Киле (Германия). На очистных сооружениях в Щецине предусмотрено применение извести и последующего использования обеззараженного осадка в сельском хозяйстве, однако такая обработка не производится.

6.3.4 Другие реагенты

Существуют методы обеззараживания осадка различными другими реагентами, кроме извести. Обычно используются реагенты, увеличивающие pH. Всегда необходимо обрабатывать весь объем осадка. При применении конкретного метода обеззараживания важно соблюдать требования действующего законодательства.

Для обработки первичного осадка и уплотненного избыточного ила можно использовать процесс Kemicond. Одной из целей процесса Kemicond является обеззараживание, однако при его использовании отмечается также повышение влагоотдачи. Обработка проводится в отдельном смесителе за счет снижения pH до 4 путем добавления серной кислоты (H_2SO_4).

В кислой среде гелеобразная структура осадка разрушается, соли металлов (фосфат железа ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$) или оксид железа (II) (FeO)) растворяются. После этого осадок обрабатывается окислителем перекисью водорода (H_2O_2), ионы железа Fe^{2+} преобразуются в ионы железа Fe^{3+} , которые осаждают фосфаты в виде фосфата железа (III) (FePO_4).

При окислении гелеобразная структура осадка продолжает разрушаться, что повышает влагоотдачу при обезвоживании после процесса Kemicond. Химическая обработка завершается нейтрализацией осадка гидроксидом натрия (NaOH) и добавлением полимеров для повышения эффективности обезвоживания.

Во время обработки при сильном окисляющем воздействии перекиси водорода происходит обеззараживание осадка, после чего он практически не имеет запаха, его легко хранить и транспортировать. В некоторых странах существуют ограничения в отношении использования данного метода и утилизации обработанного данным методом осадка (сельское хозяйство и благоустройство до или после компостирования, в соответствии с рекомендациями поставщика Kemicond).

Требуемая площадь под установку оборудования зависит, в основном, от производительности. Для обеззараживания осадка необходимо оборудование для дозирования реагентов и перемешивания смеси, а также емкости для хранения. Обычно размер оборудования составляет 4–6 м в ширину, 8–10 м в длину и 4–6 м в высоту. В связи с использованием кислот, щелочей и окислителей важно обеспечить химическую защиту. Эксплуатационные расходы (стоимость реагентов) высоки, расход реагентов составляет около 220 кг H_2SO_4 на тонну сухого вещества и 27 кг H_2O_2 на тонну сухого вещества. В связи со значительными расходами данный процесс подходит лишь для крупных очистных сооружений.

Затраты, расход реагента и электроэнергии, рабочая сила

Инвестиционные затраты на данную технологию составляют около 400 000–700 000 € в зависимости от производительности оборудования. Их можно несколько снизить при передаче всех операций по эксплуатации и утилизации обработанного продукта подрядной организации. Срок службы оборудования, как правило, составляет 15–20 лет. Затраты на реагенты зависят от стоимости серной кислоты и перекиси водорода, которая варьируется в зависимости от объема заказа и страны-производителя. Расход серной кислоты составляет около 220 кг H_2SO_4 /т сухого вещества, перекиси водорода – около 27 кг H_2O_2 /т сухого вещества. При таком расходе затраты на закупку реагентов достигают порядка 50–60 €/т сухого вещества. Установленная мощность составляет порядка 15–25 кВт, потребляемая мощность – около 10–20 кВт•ч/т сухого вещества, что занимает лишь незначительную часть от

Инновационные методы:

обеззараживание – лишь «побочный эффект» процесса Kemicond. Данная обработка также предназначена для улучшения результатов обезвоживания. На очистных сооружениях в Стокгольме при использовании процесса Kemicond в сочетании с обезвоживанием на гидравлическом прессе достигается результат 50% по сухому веществу; на других очистных сооружениях при использовании процесса Kemicond в сочетании с обезвоживанием на камерном фильтр-прессе содержание твердых веществ составило 38%–45% (Brendler, 2006 г.). Кроме того, в сочетании с данным процессом можно применять центрифуги и ленточные фильтр-прессы.

общего энергопотребления очистных сооружений. Потребляемая мощность зависит также от фактического времени работы оборудования. Основную часть эксплуатационных расходов составляют расходы на приобретение реагентов, однако расход реагента можно оптимизировать путем проведения лабораторных исследований и пилотных испытаний. Для проведения процесса не требуется дополнительный персонал, однако необходимы знания по вопросам химической безопасности, что выходит за пределы обычной работы очистных сооружений.



Рис. 6-5: Фото: Янника Халдин, ХЕЛКОМ

Использование в регионе Балтийского моря

Данный метод используется лишь на нескольких очистных сооружениях в регионе Балтийского моря, например, на очистных сооружениях «Кэппала» в Стокгольме и на очистных сооружениях в Оулу (Финляндия) (в последнем случае эксплуатация установки и утилизация продукта переданы отдельной подрядной организации).

6.4 БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

6.4.1 Принцип работы и возможность использования для обработки различных видов осадка

Компостирование представляет собой аэробный процесс бактериального разложения с целью стабилизации органических отходов и производства гумуса (компоста). Компостирование является простым и проверенным методом обеззараживания (60°C в течение 3–6 дней) и получения полезных продуктов, таких как компост и удобрение. При этом необходимо учитывать требования национального законодательства, поскольку в некоторых странах необходимое время компостирования может значительно превышать шесть дней.

Выбор технологии компостирования обусловлен следующими критериями:

- низкие затраты, как инвестиционные, так и эксплуатационные;
- простота технологии, не требующая дополнительного обучения операторов.

Для компостирования осадка содержание сухого вещества в нем должно составлять не менее 15%. Для этого требуется сгущение и обезвоживание первичного осадка и избыточного ила (см. главы 3 и 5). Данный метод может применяться для осадка, подвергнувшегося анаэробной стабилизации (сбраживанию), а затем обезвоживанию. Смешивание с наполнителями (например, сухими опилками) помогает достичь необходи-

мого содержания сухого вещества и баланса углерода и азота.

Технологии, применяемые в регионе Балтийского моря, варьируются от простого компостирования в открытых валках с минимальным количеством конструкций до полностью закрытых камер с ускоренным процессом обработки и высоким качеством очистки воздуха. Данные технологии являются проверенными, их возможности и ограничения известны. Наиболее экономически выгодные технологии обработки осадка – компостирование в валках и туннельное компостирование. Эксплуатация и техническое обслуживание при применении обоих методов относительно просты и требуют лишь базовых знаний биологии и биохимии компостирования.

6.4.2 Компостирование в валках

Эксплуатация, техническое обслуживание, экологические аспекты и безопасность

Компостирование в валках требует укладки в валки, периодического перемешивания, а также контроля температуры и других ключевых параметров процесса компостирования. Иногда для обеспечения нормального протекания процесса компостирования предлагается применять добавки и микробную затравку, хотя на многих предприятиях водопроводно-канализационного хозяйства считают, что если рециркулировать часть осадка вместе с наполнителем, специальные добавки не требуются. Валки не требуют покрытия защитной пленкой или другим материалом.

Валки укладываются на открытой площадке с асфальтированным или другим покрытием с низкой проницаемостью, где имеется достаточно места для ворошения и выдерживания в период созревания. Валки обычно формируются путем перемешивания осадка с наполнителем (опилки, щепа или верхний слой почвы (торф)) фронтальным погрузчиком. Как правило, количество наполнителя, перемешиваемого с компостируемым осадком, составляет 40–50% от объема осадка. После созревания наполнитель отделяется от компостируемого осадка и рециркулируется. В связи с тем, что этот метод требует влажной среды и подачи кислорода, компостируемый осадок аэрируется путем ворошения валков один раз в две-четыре недели.

Оборудование, используемое для ворошения валков, играет важнейшую роль в обеспечении высокого качества конечного продукта, а также является одним из основных источников инвестиционных и эксплуатационных затрат. Оно включает в себя фронтальные погрузчики, вращающиеся барабаны, оборудование для просеивания наполнителя, а также транспортеры, шнеки и др. для подачи и разгрузки материала, в зависимости от условий на объекте. Хотя сельскохозяйственная техника для ворошения компоста использовалась еще с 1930-х гг., первое специализированное оборудование для ворошения компоста в промышленном масштабе появилось только в 1970-х гг. и стало широко применяться с начала 1990-х гг.

Требуемая для компостирования площадь в основном зависит от количества осадка сточных вод и значительно больше по сравнению с другими методами обеззараживания: 50–100 м × 150–200 м, включая хранилище для компоста.

Компостирование в валках применяется на очистных станциях малого и среднего размера, а также может использоваться на крупных очистных сооружениях при наличии достаточных площадей.

Затраты, расход реагента и электроэнергии, рабочая сила

Инвестиционные затраты обычно варьируются в пределах 500 000–3 000 000 €, в зависимости от производительности, размера и материала площадок для компостирования. Инвестиционные затраты могут быть несколько снижены путем передачи ворошения подрядным организациям или значительно снижены при передаче всего комплекса работ по получению и утилизации компостного продукта другим организациям. Срок службы оборудования, как правило, составляет 10–15 лет. Для поддержания аэробных условий в валке требуется подходящий для вторичного использования наполнитель, такой как древесная щепа (например, отходы строительства и сноса зданий). Древесная щепа, как правило, рециркулируется путем просеивания конечного продукта и добавления небольшого количества нового материала, чтобы компенсировать расход



Важно знать:

При нормальном режиме компостирования какие-либо особые экологические проблемы не возникают. В случае недостаточного ворошения или увлажнения материала в валках создаются анаэробные условия, что приводит к выбросам в атмосферу газов с неприятным запахом, содержащих сероводород.

с течением времени. Затраты, связанные с закупкой дополнительных материалов, составляют менее 10 €/т сухого вещества.

Данный процесс не требует расхода электроэнергии или реагентов, так как производится с помощью передвижного оборудования на дизельном топливе. Компостирование не требует дополнительной рабочей силы (несмотря на необходимость ворошения) или специальных знаний.



Рис. 6-6: Компостирование осадка сточных вод в Хельсинки (Финляндия) и Кохтла-Ярве (Эстония).
Фото: HSY Water и OÜ Järve Biopuhustus

Использование в регионе Балтийского моря

Данная технология компостирования широко распространена в регионе Балтийского моря. Она применяется в городских агломерациях с населением до 1 млн человек, например, в столичном регионе Хельсинки (Финляндия), в городах среднего размера, например, Кохтла-Ярве и Вильянди (Эстония), Юрмала (Латвия), Оулу (Финляндия) и т.д., а также на очистных сооружениях в Дании, Германии, Литве, Польше и Швеции. Компостирование в валках получает все большее распространение и в Российской Федерации.

6.4.3 Туннельное компостирование

Эксплуатация, техническое обслуживание, экологические аспекты и безопасность

Туннельное компостирование производится циклично в ряде туннелей, куда осадок загружается фронтальными погрузчиками или более сложными автоматическими системами, например, транспортерами. В настоящее время существует тенденция применения менее сложных систем и инвестирования в основном в оборудование для ворошения, бетонные туннели и систему аэрации. Туннели имеют 4–6 м в ширину, 6 м в высоту и 20–40 м в длину и общую промежуточную стену между двумя соседними туннелями; размеры самого здания, как правило, составляют 20–25 м в ширину, 6 м в высоту и 20–40 м в длину. После интенсивного компостирования в туннелях осадок часто выдерживается и стабилизируется в валках на площадках размером около 50–60 м × 80–100 м. Туннельное компостирование является старой и проверенной технологией и может применяться на средних и крупных очистных сооружениях с биологической очисткой сточных вод.

Применение туннельного компостирования экономически целесообразно на участках компостирования крупных очистных сооружений (для эквивалента численности населения 500 000–1 000 000 жителей), обрабатывающих большие количества осадка. При помощи туннелей время компостирования можно сократить до 10–15 дней.

Основные эксплуатационные особенности данного метода:

- ускорение процесса компостирования путем использования нескольких туннелей и мониторинга эффективности каждого из них;
- принудительная аэрация вакуумным давлением, позволяющая избежать неконтролируемого выброса газов в атмосферу. Аэрационные трубопроводы укладываются в основание туннеля и присоединяются к воздухоподводкам. Наружный воздух, проходя через слой осадка, засасывается в трубопроводы под избыточным давлением, тем самым ускоряя процесс компостирования;
- необходимость устройства вытяжной вентиляции. Собранный воздух имеет интенсивный запах и загрязнен аммиаком, поэтому в качестве минималь-

Важно знать:

Как и при компостировании в валках, в случае недостаточного ворошения или чрезмерного увлажнения материала, в туннеле могут создаваться анаэробные условия, что приводит к выбросам в атмосферу газов с неприятным запахом, содержащих сероводород.

ной обработки его пропускают через кислотный скруббер, а желательно и через дополнительный биофильтр.

Затраты, расход реагента и электроэнергии, рабочая сила

Инвестиционные затраты составляют обычно 1,5–5 млн € в зависимости от производительности, а также размеров и материала сооружений для компостирования. При использовании данной технологии, как и при компостировании в валках, для осуществления процессов ворошения материалов, а также загрузки и выгрузки осадка из туннелей применяются фронтальные погрузчики, для минимизации собственных капитальных вложений и затрат на персонал привлекают сторонние подрядные организации. Срок службы оборудования, как правило, составляет 15–20 лет.

Установленная мощность может варьироваться от 75 кВт до 120 кВт в связи с необходимостью вентиляции камер компостирования. Энергопотребление данного процесса может составлять значительную часть от общего энергопотребления очистных сооружений, примерно 100–200 кВт•ч/т сухого вещества. Оно зависит также от фактического времени работы оборудования. При туннельном компостировании не применяются реагенты. Несмотря на необходимость загрузки и выгрузки материала из туннелей, дополнительная рабочая сила или специальные знания для реализации процесса туннельного компостирования не нужны.

Часто на установках туннельного компостирования обрабатывается смесь осадка сточных вод, отдельно собранных хозяйственно-бытовых биологических отходов и отходов садоводства.

Использование в регионе Балтийского моря

Данная технология компостирования довольно широко применяется в некоторых странах региона Балтийского моря, однако редко (если вообще применяется) в Польше, Германии, Эстонии, Латвии и Литве. В России и Беларуси туннельное компостирование не практикуется. В Финляндии туннельное компостирование используется, например, в Ювяскюля, Варкаусе, Лахти, Рованиemi, Эспоо (туннели расположены в Нурмиярви), Йоутсено, Китеэ, Химанке и Мянтсяля. В Дании и Швеции на очистных сооружениях в густонаселенных районах также имеется несколько туннелей компостирования.

6.5 ПРИМЕР: технические решения по обработке осадка партнера по проекту PURE – КОХТЛА-ЯРВЕ, OÜ Järve Biopuhastus, очистные сооружения в Кохтла-Ярве

Очистные сооружения в г. Кохтла-Ярве (Эстония) обслуживают население порядка 200 000 человек. В год образуется около 2700 тонн осадка сточных вод (по сухому веществу). На станции имеются сооружения по удалению азота и химическому и биологическому удалению фосфора.

На очистных сооружениях Кохтла-Ярве нет первичных отстойников, поэтому весь образующийся осадок считается избыточным илом. Избыточный ил уплотняется механическим способом до содержания сухого вещества примерно 6%. Расход полимеров составляет около 4 г/кг сухого вещества.

После механического уплотнения осадок обрабатывают в реакторах для удаления патогенных микроорганизмов в процессе пастеризации, нагревая в течение 20–24 часов до 55°C. После этого осадок обезвоживается на центрифуге до содержания сухого вещества 22%. Расход полимера составляет около 8 г/кг сухого вещества. После обезвоживания осадка его смешивают с древесной щепой и укладывают в валки для компостирования.

Полученный компост используется для благоустройства территорий. Содержание тяжелых металлов в нем не превышает предельно допустимых концентраций. Однако, в связи с большим количеством промышлен-



Рис. 6-7: Очистные сооружения в Кохтла-Ярве. Фото: OÜ Järve Biopuhastus

ных сточных вод в Кохтла-Ярве, предприятие не имеет права продавать компост и поставляет его бесплатно.

В настоящее время на очистных сооружениях отсутствует анаэробное сбраживание и, следовательно, производство энергии, поэтому энергетический баланс является отрицательным. В ближайшем будущем на станции планируется строительство метантенка, который позволит вырабатывать энергию и сократить объем осадка.

Рис. 6-8: Компостирование осадка сточных вод в Кохтла-Ярве (Эстония). Фото: OÜ Järve Biopuhastus



6.6 ПРИМЕР: технические решения по обработке осадка партнера по проекту PURE – ХЕЛЬСИНКИ, HSY Water, очистные сооружения «Виикинмэки» и «Суоменойя»

В столичном регионе Хельсинки образуется более 100 млн м³ сточных вод в год (эквивалент численности населения 1,1 млн жителей), поступающих на очистку на две крупнейшие в Финляндии станции очистки сточных вод – «Виикинмэки» (Хельсинки) и «Суоменойя» (Эспоо), собственником которых является региональное ведомство по оказанию экологических услуг HSY Water. HSY Water является ассоциированным партнером PURE. Ежегодно в «Виикинмэки» образуется 65 000 т сухого осадка, в «Суоменойя» – 25 000 тонн.

Время первичного отстаивания в «Виикинмэки» составляет 2,8 ч, в «Суоменойя» – 2,1 ч. Общее содержание твердых веществ в первичном осадке составляет 3,6% и 1,3% соответственно. В «Суоменойя» первичный осадок перед сбраживанием уплотняется. Концентрация избыточного ила в «Виикинмэки» составляет 7,5 г/л. Общее содержание твердых веществ в осадке, подаваемом для сбраживания в метантенки, составило в среднем 4,1% (2011 г.).

В «Виикинмэки» установлены четыре метантенки, которые работают поочередно: два реактора первой ступени и два реактора второй ступени. Осадок нагревается лишь на второй ступени. В «Суоменойя» два реактора работают параллельно. Время сбраживания составляет 17 суток при температуре 37°C в «Виикинмэки» и 13 суток при температуре 35,5°C в «Суоменойя». Общее содержание твердых веществ после сбраживания составляет 2,3% и 2,7% соответственно.

Обезвоживание осуществляется на центрифугах (четыре центрифуги в «Виикинмэки» и три в «Суоменойя»). Общее содержание сухих веществ после обезвоживания на обеих станциях составляет 29%. Расход полимера – 4,5 г/кг сухого вещества в «Виикинмэки» и 6,1 г/кг сухого вещества в «Суоменойя».

Сброженный на «Виикинмэки» осадок транспортируется на площадку компостирования в Сиппоо, расположенную к востоку от Хельсинки. В осадок добавляют торф и компостируют в течение 6–9 месяцев в открытых биореакторах. В компост добавляется песок, минеральные и питательные вещества. После просеивания

компост продается для использования при благоустройстве и озеленении и в сельском хозяйстве. В настоящее время спрос на готовый продукт на рынке превышает предложение. Сброженный на «Суоменойя» осадок обрабатывается в Нурмиярви, к северу от Эспоо, где к осадку добавляют торф и рециркулируемый наполнитель и компостируют туннельным способом в течение трех недель (этим занимается подрядная организация). Компост применяется в качестве кроющего материала на полигоне ТБО принадлежащего HSY Центра обработки отходов в Эммэссуо. Дренажные воды, образующиеся при компостировании, возвращаются на очистные сооружения «Виикинмэки» и «Суоменойя».

Образующийся при сбраживании биогаз используется на ТЭЦ очистных сооружений для производства электрической и тепловой энергии. В 2011 г. производство биогаза составило 12,3 млн. м³ в «Виикинмэки» и 3,5 млн м³ в «Суоменойя». Суммарное количество тепловой энергии, произведенной из биогаза в «Виикинмэки», составило 27 500 МВт/ч, 4100 МВт/ч было получено от рекуперации тепла, что в общей сложности покрывает более 99% потребления. В «Суоменойя» произведено 9 560 МВт/ч тепловой энергии, из нее 97% из биогаза. В «Виикинмэки» было произведено около 25 000 МВт/ч электроэнергии (60% от потребления), в «Суоменойя» – свыше 4 500 МВт/ч (35% от потребления).

В 2011 г. на очистных сооружениях в «Виикинмэки» приступили к реализации обширного исследовательского проекта по удалению азота из фугата. С ноября 2012 г. биогаз, вырабатываемый на очистных сооружениях в «Суоменойя», будет продаваться отдельной компанией для переработки и подачи в сеть газоснабжения, а также использования в качестве автомобильного топлива.

Рис. 6-9. Очистные сооружения «Виикинмэки» в Хельсинки, построенные в скале. Фото: HSY Water



6.7 МЕТОДЫ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ОСАДКА: ОБОБЩЕНИЕ

Существующие методы обеззараживания осадка дают разные результаты и имеют различные побочные эффекты, что затрудняет выбор между ними. Цены на энергоносители и реагенты варьируются от страны к стране. Наличие площадей и затраты на компостирование на различных очистных сооружениях отличаются. Методы обеззараживания и возможность их использования для очистных сооружений различного размера приведены в Табл. 6-1. Сравнение методов обеззараживания на очистных сооружениях партнеров по проекту PURE приведено в Табл. 6-2.

Табл. 6-1: Обзор методов обеззараживания. В зависимости от нормативных требований и затрат (электроэнергия, персонал, закупка оборудования, реагенты), классификация может изменяться (на основе данных UBA, 2009 г.).

Небольшие ОСК	Средние ОСК	Крупные ОСК
Термическая обработка		
-	Пастеризация	Пастеризация
-	Аэробная термофильная стабилизация	Предварительная аэробная термофильная обработка
-	-	Термическое кондиционирование
		Аэробная термофильная стабилизация
Солнечная сушка (см. главу 7)	Солнечная сушка	Термосушка
Химическая обработка		
Обработка осадка с низким содержанием сухого вещества известковым молоком	Обработка осадка с низким содержанием сухого вещества известковым молоком	
-	Кондиционирование известковым молоком в камерном фильтр-прессе	Кондиционирование известковым молоком в камерном фильтр-прессе
Использование негашеной извести после обезвоживания (передвижная установка)	Использование негашеной извести после обезвоживания (передвижная или стационарная установка)	Использование негашеной извести после обезвоживания
Биологическая обработка		
Компостирование в валках и обезвоживание	Компостирование в валках и обезвоживание	Компостирование в валках и обезвоживание
-	Компостирование в туннелях и обезвоживание	Компостирование в туннелях и обезвоживание

Использование в регионе Балтийского моря

В странах региона Балтийского моря применяются различные методы обеззараживания. Наиболее распространено компостирование, обработка известью и пастеризация. В Финляндии и Эстонии используется компостирование, в то время как в Германии, в основном, применяется обеззараживание известью. Некоторые методы в регионе Балтийского моря не применяются, например, солнечная сушка, сушка осадка для его последующего использования в сельском хозяйстве, аэробная термофильная стабилизация и предварительная обработка, а также анаэробная термофильная стабилизация. Термические методы используются, однако редко с целью обеззараживания, в связи с высокой энергоемкостью обработки первичного осадка. Среди партнеров по PURE обеззараживание используется в Кохтла-Ярве (Эстония) и Любеке (Германия).

Табл. 6-2: Сравнение наиболее распространенных в регионе Балтийского моря методов обеззараживания осадка

	Компостирование	Обработка известью	Пастеризация
Пастеризация	Высокие	Низкие/средние	Средние
Энергопотребление	Низкое	Низкое	Высокое
Потребность в реагентах	Нет	Да	Нет
Необходимость в добавлении структурного материала	Да	Нет	Нет
Необходимость обезвоживания осадка	Да	Нет	Нет
Потребность в площади	Высокая	Низкая	Низкая
Результат обеззараживания	Средний/высокий	Средний/высокий	Очень высокий



7. СУШКА ОСАДКА

Мидии и рдест на песке. Фото: metsähallitus

7.1 ВВЕДЕНИЕ

Термическая сушка представляет собой технологию, которая направлена на резкое снижение влажности осадка сточных вод. Сушка в основном используется на крупных очистных сооружениях для увеличения теплотворной способности осадка при его последующем сжигании. Возможна сушка в случае использования осадка в сельском хозяйстве, однако этот способ используется нечасто в связи с высокой стоимостью. Испарение влаги из обработанного и обезвоженного осадка приводит к увеличению содержания сухого вещества, сокращению объема и массы осадка. Содержание сухого вещества в обезвоженном осадке до сушки, как правило, составляет 20–30%, после сушки – 50–90%.

Термическая сушка обычно включает в себя этап загрузки и выгрузки осадка, а также промежуточного хранения. Ей предшествует обезвоживание и накопление осадка в бункере. Для термосушки требуется оборудование для выработки и распределения тепла, термосу-

шилка, биологический фильтр для очистки топочных газов, устройство последующей обработки (например, установка для гранулирования) и хранилище конечного продукта. Принципиальная схема термической сушки представлена на Рис. 7-1.



Рис. 7-1: Принципиальная схема термической сушки

Инновационные методы:

Солнечная сушилка осадка сточных вод дает возможность сушки при очень низких эксплуатационных расходах. Пока это метод в регионе Балтийского моря не используется и применяется лишь на некоторых очистных сооружениях на севере Германии (Бредштедт). Часто для сушки используется дополнительная тепловая энергия, получаемая на очистных сооружениях от биогазовой установки или других источников (промышленность, геотермальная энергия), особенно в зимнее время. В настоящее время солнечная энергия для сушки используется на очистных сооружениях небольшого и среднего размера. В связи с ростом цен на энергоносители (нефть и газ), данная технология приобретает все большую популярность среди крупных очистных сооружений. Климат в северной части региона Балтийского моря (Финляндия, северная Швеция, Эстония) снижает эффективность применения данного метода, однако в других странах (Польша, Германия, Дания, Литва, Латвия и южная Швеция), солнечная сушка является возможной альтернативой. В таких странах, как Россия, где цены на газ являются довольно низкими, применение солнечной сушки осадка сточных вод не является экономически эффективным. Необходимо также учитывать такие факторы, как влажность воздуха, снеговые нагрузки и т.д. Требования к эксплуатации солнечных сушилок аналогичны требованиям к теплицам, расположенным в том же регионе. В целом эксплуатационные расходы незначительны, однако инвестиционные затраты являются весьма высокими.

7.2 ПРИНЦИП РАБОТЫ И МЕТОДЫ СУШКИ ОСАДКА

Термическая сушка основана на использовании тепла для испарения влаги из осадка после обезвоживания. Энергоемкость процесса обезвоживания значительно ниже, чем процесса сушки, поэтому необходимо добиться высокого содержания сухого вещества при обезвоживании. Процессы термической сушки делятся на две основные категории — непосредственный нагрев (конвективная сушка) и косвенный нагрев (контактная сушка). Данная классификация основана на способе передачи тепловой энергии осадку для его нагрева.

Сушка применяется для предварительно обезвоженного (20–30% сухого вещества) первичного осадка и (или) избыточного ила, а также сброженного осадка после обезвоживания. В связи с высокими инвестиционными затратами она обычно используется лишь на крупных очистных сооружениях.

При конвективной сушке передача тепла происходит при непосредственном контакте с горячим воздухом или горячим газом. Температура осадка повышается, влага испаряется. Стандартное оборудование состоит из барабанной или ленточной сушилки, где осадок выдерживается при температуре около 450–460°C (барабанная сушилка) или 120–160°C (ленточная сушилка) в течение 5–10 минут (барабанная сушилка) или 40–60 минут (ленточная сушилка).

Барабанная сушилка состоит из цилиндрического стального барабана, вращающегося на подшипниках и обычно установленного с небольшим наклоном к горизонту. В мешалке, расположенной до сушилки, загружаемый осадок смешивают с уже высушенным и рециркулируемым осадком. Смесь осадка и горячих газов перемещается к разгрузочной камере благодаря движению газов и вращению барабана. Во время перемещения осадок подбирается и переносится через сушилку. После сушки осадок просеивают, остаток на сите измельчается в мельнице, затем высушенный осадок засыпается в бункер или транспортный контейнер (Burton et al., 2003).

При контактной сушке осадок от сушильного агента (как правило, горячей воды, масла или пара) отделяет нагретая стенка. В качестве стандартного оборудования для контактной сушки применяются вертикальные лотковые сушилки, горизонтальные дисковые, лопастные или спиральные сушилки и сушилки с кипящим слоем. Например, в дисковых сушилках сушка происходит в течение 45–60 минут при температуре около 160–200°C с использованием пара в качестве сушильного агента и при температуре около 190–240°C с использованием масла в качестве сушильного агента. Во время сушки температура продукта составляет 85–95°C, температура отходящих газов — 95–110°C.

Наиболее широкое распространение среди сушилок контактного типа получили горизонтальные сушилки. Для перемещения осадка через сушилку используются лопасти, полые скребки или диски, установленные на одном или нескольких вращающихся валах. Сушильный агент (пар, масло или горячая вода) циркулирует через паровую рубашку сушилки и полую сердцевину

вращающегося вала. Осадок подается перпендикулярно валу и движется через сушилку по спирали в горизонтальном направлении. Сушилка выполняет двойную функцию передачи тепла и перемещения сухого вещества. Сушка происходит после дробления осадка и его контакта с нагретыми металлическими поверхностями в сушилке (Burton et al., 2003 г.). Часть сухого осадка (с содержанием сухого вещества 45–60%) циркулирует внутри сушилки для предотвращения прилипания подаваемого осадка к горячей металлической поверхности барабана.

Результаты сушки и конечный продукт



Рис. 7-2: Дисковая сушилка в Гданьске (Польша). Фото: GiWK

Термическая сушка может быть полной (до содержания сухого вещества более 85%) либо частичной (до содержания сухого вещества менее 85%). Готовый продукт представляет собой сыпучий материал или гранулы (пеллеты). Сыпучий продукт часто направляется непосредственно на сжигание (см. главу 8). Гранулированный продукт намного проще в обращении и может использоваться в качестве удобрения на сельскохозяйственных угодьях. Высушенный осадок (85–90% сухого вещества) можно хранить в бункерах или биг-бэгах. Содержание сухого вещества, необходимое для последующего сжигания осадка, зависит от энергетического баланса и определяется индивидуально. Минимальное содержание сухого вещества для моносжигания без дополнительного топлива составляет 45–60%. При транспортировке и дальнейшей обработке получаемого продукта пыль не образуется.

Термически высушенный материал обычно отвечает стандартным требованиям санитарно-гигиенических норм. Термосушка снижает объем и массу осадка сточных вод. Если содержание сухого вещества в осадке

составляет 25% до сушки и 95% после сушки, масса снижается примерно на 25% от первоначальной.

Термическая сушка повышает теплотворную способность осадка, что позволяет эффективнее использовать его при производстве энергии. Горение осадка при содержании сухого вещества более 50% является самоподдерживающимся.

Эксплуатация, техническое обслуживание, экологические аспекты и безопасность

Процесс сушки обычно происходит непрерывно 24 часа в сутки/7 дней в неделю, особенно если после сушки производится сжигание осадка. Эксплуатация и техническое обслуживание аппаратов для сушки осадка более сложные по сравнению с другим оборудованием по обработке осадка; более высокие технические требования предъявляются только к процессу сжигания осадка.

Иногда, даже если конечный продукт является гранулированным, может образовываться взвешенная пыль, поэтому при обращении с ним необходимы средства индивидуальной защиты. Существует также определенный риск пожара и взрыва в ходе технологического процесса, поэтому часть оборудования очистных сооружений должна быть выполнена во взрывозащищенном варианте. В связи с наличием мелких частиц и высокой степенью сухости термически высушенного осадка, при его транспортировке и хранении также существует опасность пожара и взрыва. Органическая взвешенная пыль в присутствии источника возгорания может быстро воспламеняться. Основные профилактические меры, позволяющие избежать рисков, связанных с образованием пыли:

- очистка всех зон от пыли;
- установка противовзрывных отверстий или клапанов в системе вентиляции;
- установка взрывозащищенного электрооборудования;

ния;

- инертирование систем транспортировки и хранения осадка азотом;
- уравнивание потенциалов и заземление всех токопроводящих каналов и резервуаров.

Основные экологические проблемы – образование пыли и запах из сушильной установки. Интенсивность последнего может быть значительно снижена при использовании фильтров для топочных газов, в то время как выбросы газов с неприятным запахом можно уменьшить при использовании скруббера.

Затраты, расход реагентов, электрической и тепловой энергии, рабочая сила

Капитальные затраты и особенно эксплуатационные расходы на термическую сушку являются относительно высокими, в основном из-за потребности в большом количестве энергии для нагрева. Поэтому предпочтительнее в сушильных аппаратах использовать дешевую вторичную тепловую энергию, вырабатываемую первичным источником или получаемую из биогаза или образующегося на полигонах ТБО «свалочного» газа. Наличие источника вторичной тепловой энергии является определяющим фактором при выборе местоположения сушильного аппарата. Экономически выгодно использовать избыточную тепловую энергию, образующуюся в процессе анаэробного сбраживания или сжигания отходов либо получаемый из местной сети централизованного теплоснабжения или парников. С учетом принципов устойчивого развития ископаемое топливо для сушки осадка применять не следует.

Инвестиционные затраты на сушильный аппарат варьируются обычно в пределах 500 000–2 000 000 € в зависимости от производительности и материалов оборудования. Срок службы оборудования, как правило, составляет 15–20 лет. Установленная мощность может колебаться в пределах 150–200 кВт в связи с работой главных приводов, вентиляторов и т.д. Потребление электроэнергии в процессе сушки составляет примерно 70–100 кВт/ч на тонну сухого вещества в зависимости от типа оборудования и фактического времени его работы. Это относительно высокий расход по сравнению с общим энергопотреблением очистных сооружений. Реагенты, как правило, для процесса сушки осадка не нужны. Дополнительная рабочая сила не требуется, однако необходимы дополнительные навыки и специальные знания тепловых процессов и технического обслуживания взрывоопасных зон.



Рис. 7-3: Сушка и сжигание осадка в Щецине (Польша). Фото: ZWIK Szczecin

7.3 ПРИМЕР: технические решения по обработке осадка партнера по проекту PURE – Щецин, Zakład Wodociągów i Kanalizacji Sp z.o.o. w Szczecinie ZWiK

Очистные сооружения «Поможаны»

В г. Щецине (Польша) имеются две современные станции очистки сточных вод. Проектная производительность очистных сооружений «Поможаны» составляет 418 000 человек, объем осадка – 6300 тонн (по сухому веществу) в год (в настоящее время 5000–5500 тонн), что почти в два раза больше, чем на второй станции очистки сточных вод г. Щецина – «Здрое». На очистных сооружениях «Поможаны» предусмотрены сооружения по удалению азота и биологическому и химическому удалению фосфора.

На станции имеются первичные отстойники, время отстаивания в которых составляет 2 часа. Содержание сухого вещества в первичном осадке составляет 2,5%. Осадок уплотняется в гравитационных уплотнителях до содержания сухого вещества в осадке порядка 6%. Избыточный ил уплотняется механическим способом на ленточном фильтр-прессе до 6% по сухому веществу. Расход полимера для работы ленточного фильтр-пресса составляет около 3–5 г/кг сухого вещества.

Избыточный ил и первичный осадок подаются в метантенк (содержание сухого вещества – 3,5%). Сбраживание происходит в мезофильных условиях при температуре 37°C в течение 20 дней. Биогаз используется на трех ТЭЦ (когенерационных установках) мощностью 350 кВт с электрическим КПД, равным 37%. Степень самообеспечения составляет 70%, газ может храниться в течение 25 часов.



Рис. 7-4: Метантенки и газгольдеры, очистные сооружения «Поможаны», Щецин (Польша). Фото: ZWiK Szczecin

Сброженный осадок обезвоживается на ленточных фильтр-прессах до содержания сухого вещества примерно 20%. Расход полимеров при этом составляет 8–12 г/кг сухого вещества. Обезвоженный осадок сушится в ленточной сушилке до содержания сухого вещества 96%, а затем подается в печь. Зола после сжигания вывозится на полигон ТБО.

В ближайшие годы планируется оптимизировать процессы сбраживания и обезвоживания, возможно, путем дезинтеграции осадка.

Рис. 7-5: Очистные сооружения «Поможаны», Щецин. Фото: ZWiK Szczecin



Очистные сооружения «Здрое»

Станция очистки сточных вод «Здрое» в г. Щецине является меньшей из двух. Очистные сооружения предназначены для обслуживания в общей сложности 177 000 человек. Однако в настоящее время общее количество образующегося осадка составляет лишь 1680 тонн (по сухому веществу) в год. «Здрое» имеют сооружения для биологического удаления азота, а также биологического и химического удаления фосфора.

Первичный осадок собирается в первичном отстойнике, время отстаивания в котором составляет 1,5 часа. Затем осадок уплотняется до 5% сухого вещества в гравитационных уплотнителях. Избыточный ил уплотняется механическим способом на барабанном уплотнителе до концентрации сухого вещества более 5%. Расход полимера в общей сложности составляет 6,5 г/кг сухого вещества. Уплотненный осадок подается на сбраживание при температуре 30°C–35°C. Содержание сухого вещества после сбраживания составляет 3,5% при времени сбраживания 24 дня.

Сброженный осадок обезвоживается на центрифугах до 19% сухого вещества. Расход полимера составляет

около 5,3 г/кг сухого вещества. Обезвоженный осадок сушат на ленточной сушилке до 95% сухого вещества. Одним из источников энергии для сушки является вырабатываемая ТЭЦ тепловая энергия. ТЭЦ (один блок мощностью 238 кВт) имеет электрический КПД порядка 35%. Очистные сооружения способны производить около 40% необходимой электрической энергии.

Обезвоженный и высушенный осадок сжигают в печи очистных сооружений «Поможаны». Возможен также вывоз его на ТБО или использование в сельском хозяйстве (последний вариант – после обеззараживания известью).

Проводимые в ближайшие годы испытания покажут, можно ли улучшить результаты обезвоживания, например, путем применения солей железа для обезвоживания или дезинтеграции осадка.

Рис. 7-6: Очистные сооружения «Здрое», Щецин. Фото: ZWiK Szczecin



7.4 ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ СУШКИ ОСАДКА: ОБОБЩЕНИЕ

Табл. 7-1: Обзор методов непосредственного и косвенного нагрева, применяемых для сушки осадков сточных вод

Метод	Основные характеристики	Примечания
Непосредственный нагрев (конвективная сушка) (45–90% сухого вещества)	Осадок непосредственно соприкасается с сушильным агентом. Обычно применяются барабанные или ленточные сушилки.	Инвестиционные затраты составляют 0,5–0,9 млн €. Установленная мощность – 150–200 кВт. Расход электроэнергии – 70–100 кВт•ч/кг сухого вещества.
Косвенный нагрев (контактная сушка) (45–90% сухого вещества)	Осадок не соприкасается с сушильным агентом. Обычно применяются лотковые, лопастные сушилки и сушилки с кипящим слоем	Для снижения расходов может быть использована вторичная тепловая энергия. Необходимо техническое обслуживание взрывоопасных зон.

Использование в регионе Балтийского моря

Термическая сушка широко распространена и традиционно применяется в Центральной Европе как на крупных очистных сооружениях, так и на очистных сооружениях среднего размера. В регионе Балтийского моря опыт использования термической сушки, накоплен, например, в Копенгагене (Дания), Хетлингене и Гамбурге (Германия), в последнее время сушка осадка также применяется в Финляндии (Экокем, Риихимяки) и в Польше (например, в Кракове, Гданьске, Лодзи, Щецине на очистных сооружениях «Поможаны»). Солнечная сушка используется в Бредштедте (Германия).



8. СЖИГАНИЕ ОСАДКА

Фото: Лотта Руоканен, ХЕЛКОМ

8.1 ВВЕДЕНИЕ

Благодаря наличию высокой концентрации фосфора и азота осадок сточных вод является хорошим удобрением. Тем не менее, он может представлять собой источник загрязнения. Кроме различных органических веществ, в нем могут содержаться тяжелые металлы, которые загрязняют окружающую среду. Это одна из причин того, почему в последние годы все большее распространение получает сжигание осадка. Сжигание также дает возможность получить положительный баланс энергии и эффективно использовать теплотворную способность осадка. Основным фактором, побуждающим к использованию данного метода, является тот факт, что количество образующегося на городских очистных сооружениях осадка несоизмеримо велико по сравнению со свободными площадями, на которых осадок может подвергаться утилизации или другой обработке (например, компостированию).

В настоящее время в национальное законодательство государств-членов ЕС уже перенесена (или переносится) новая Рамочная директива по отходам (Директива 2008/98/ЕС), которая стимулирует повторное использование содержащихся в осадке органических веществ и ограничивает его вывоз на полигоны ТБО. Вероятно, что требование, касающееся повторного использования содержащихся в осадке веществ, будет способствовать его применению в сельском хозяйстве при условии одобрения со стороны фермеров, а также компетентных экологических и сельскохозяйственных регулирующих органов. Ограничение вывоза органических веществ на полигоны ТБО будет стимулировать или обязывать предприятия канализационно-водопрводного хозяйства сжигать осадок при невозможности его утилизации другим методом.

Например, в Гамбурге и на мусоросжигающем комплексе «Рулебен» в Берлине ежегодно сжигается более



Рис. 8-1: Завод по моносжиганию осадка сточных вод VERA в г. Гамбурге. Фото: Vera Klärschlammverbrennung GmbH

150 000 т осадка. Кроме того, сжигание часто применяется в Польше, в том числе в городах партнеров по проекту PURE – Гданьске и Щецине, а также в г. Санкт-Петербурге в России.

8.2 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СЖИГАНИЮ ОСАДКА И ВОЗМОЖНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

Сжигание осадка может производиться как совместно с другими источниками энергии (например, твердыми бытовыми отходами или ископаемыми видами топлива), так и отдельно при добавлении другого вида топлива лишь в качестве вспомогательного. Проектные решения для сжигания осадка в котлах зависят от смеси и теплотворной способности различных видов топлива. Сжиганию может подвергаться сброженный, обезвоженный и высушенный осадок. Осадок может сжигаться без сушки и без сбраживания, однако в этом случае часто требуется вспомогательное топливо.

При моносжигании соотношение осадка и вспомогательного топлива (угля, нефти или природного газа) зависит от содержания сухого вещества и зольности осадка. При содержании сухого вещества в осадке 90% и более можно использовать незначительное количество вспомогательного топлива (или не использовать его совсем). Тем не менее, вспомогательное топливо требуется для пуска, а часто и для нормальной непрерывной работы установки, так как оно дает возможность справиться с колебаниями содержания сухого вещества в поступающем на сжигание осадке. При сжигании осадка совместно с другими видами топлива для поддержания процесса горения обычно достаточ-

но теплотворной способности угля, твердых бытовых отходов или других твердых видов топлива, поэтому добавление вспомогательного топлива не требуется.

В целом, содержание сухого вещества и теплотворная способность осадка, а также других видов топлива должны быть как можно более высокими. Обычно теплотворная способность сухого вещества осадка составляет 3–5 МДж/кг сухого вещества, что зависит, в основном, от зольности. Конечно, теплотворная способность осадка зависит и от его влажности, а также от того, является ли он сброженным. Оптимальное содержание сухого вещества зависит от теплотворной способности другого используемого топлива: если сред-



Рис. 8-2: Установка по сжиганию осадка в Санкт-Петербурге. Фото: Лотта Руоканен

няя теплотворная способность другого топлива очень высока, можно сжигать обезвоженный осадок, не подвергавшийся термической сушке, с содержанием сухого вещества 20–30%. В г. Боттропе рядом с Эссеном (Германия) действует установка по сжиганию осадка городских сточных вод вместе с углем (Schmelz, 2011 г.), а на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности осадок сточных вод часто сжигается вместе с остатками древесины.

Одной из важных задач при сжигании осадка является обеспечение максимальной турбулентности в топке. Для этого в топку подается избыточный воздух. С другой стороны, избыток воздуха потребляет много тепла, следовательно, количество подаваемого воздуха необходимо оптимизировать, и нагревать его отходящими газами до подачи в топку. Данный процесс называется рекуперацией.

8.2.1 Совместное сжигание

Совместное сжигание смеси различных твердых, жидких и газообразных видов топлива применяется на протяжении десятилетий и может считаться апробированной технологией. Сжигание осадка хозяйственно-бытовых или промышленных сточных вод более распространено в Германии и Финляндии по сравнению с другими странами в регионе Балтийского моря.

В Германии осадок сжигается совместно с углем или твердыми бытовыми отходами. При этом зола содержит так мало фосфора и много других примесей, что повторное использование фосфора является нецелесообразным. В Швеции и Финляндии осадок промышленных сточных вод сжигается вместе с корой или другими древесными материалами. Если бы в этих котлах совместно сжигался осадок хозяйственно-бытовых сточных вод, что еще не происходит, зола содержала бы значительное количество фосфора, который можно было бы из нее извлекать.

Сжигание совместно с другими видами топлива или отходами часто дает экономическую выгоду от увеличения масштабов производства, поскольку котел рас-

следует отметить, что твердые бытовые отходы можно сжигать во вращающихся цементных печах, и эта практика широко применяется в цементной промышленности в Германии и ряде других стран, однако такая технология не подходит для сжигания осадков сточных вод. Это связано с тем, что осадок ведет себя не так, как другие виды твердого топлива, а формируется в шары, которые катятся через печь и полностью не сгорают.

Эксплуатация, техническое обслуживание, экологические аспекты и безопасность

Сжигание обычно проводится непрерывно в течение 24 часов в сутки 7 дней в неделю в связи со слишком высокими расходами, которые требуются при ежедневном или еженедельном отключении установки для сжигания. К эксплуатации и техническому обслуживанию оборудования предъявляются гораздо более высокие требования, чем к другим сооружениям по обработке осадка. В связи с высокой температурой и избыточным давлением котлы являются объектом технического регулирования, для их эксплуатации требуется отдельное разрешение ответственной лицензированной организации.

Экологические проблемы сжигания осадка связаны с выбросами отходящих газов и утилизацией золы (см. раздел 9.4). Выбросы отходящих газов в атмосферу можно контролировать с помощью систем очистки для удаления твердых частиц и газообразных веществ, например, оксидов серы и азота.

считан не менее чем на 25 000 тонн сухого вещества/год, а оптимальная производительность совместного сжигания со всеми используемыми видами топлива составляет 200 000–250 000 тонн сухого вещества/год. Общая энергоэффективность установок для совместного сжигания составляет 70–85% благодаря высокой средней теплотворной способности смеси топлив и производству как тепловой энергии (которая может быть использована для систем, процессов или централизованного теплоснабжения), так и электрической энергии.

Доля осадка при сжигании совместно с другими видами топлива, как правило, составляет 5–15%, а при сжигании в котлах с колосниковой решеткой должна быть

менее 20% массовой доли топливной смеси. Инвестиционные затраты на оборудование для совместного сжигания достигают 60–100 млн € в зависимости от его производительности. Дополнительные инвестиционные затраты составляют порядка 3–5 млн €. Установ-

ки для совместного сжигания, как правило, находятся в собственности и ведении отдельного предприятия котельного хозяйства или мусоросжигающего завода, а не предприятия водопроводно-канализационного хозяйства.

8.2.2 Отдельное сжигание (моносжигание)

Моносжигание осадка, как правило, предназначено лишь для термического разрушения осадка без рекуперации энергии, так как чистая теплотворная способность осадка не дает возможности производства избыточной энергии. Теплотворная способность сброженного осадка еще ниже. Обычно теплотворная способность сухого вещества осадка составляет около 3 МДж/кг сухого вещества. Поэтому установка для моносжигания осадка состоит лишь из систем загрузки, перемешивания и подачи топлива, топки с горелками вспомогательного и пускового топлива (нефть, природный газ, уголь или получаемый при сбраживании биогаз).

Инвестиционные затраты на установку для моносжигания ниже, чем для совместного сжигания, однако эксплуатационные расходы намного выше в связи с необходимостью использования вспомогательного топлива и отсутствия выручки от реализации тепловой и электрической энергии.

Количество и суммарная мощность установок для моносжигания осадка в регионе Балтийского моря намного меньше, чем установок для совместного сжигания. Тем не менее, моносжигание осадка больше подходит для извлечения фосфора, в этом случае зола содержит фосфор и меньше других примесей, таких как тяже-

лые металлы, в отличие от золы, образующейся при совместном сжигании. Количество тяжелых металлов и других остающихся в золе инертных примесей зависит от концентрации их в осадке.

Инвестиционные затраты на котел для отдельного сжигания осадка обычно составляют порядка 20–40 млн € в зависимости от его производительности. Такая установка может принадлежать и находиться в ведении либо отдельного предприятия (мусоросжигательного завода) либо крупных очистных сооружений (или объединения нескольких средних по размеру станций очистки сточных вод).

8.3 МЕТОДЫ СЖИГАНИЯ ОСАДКА

Для совместного сжигания осадка применяются как котлы с колосниковой решеткой, так и печи с кипящим слоем. На практике единственным приемлемым методом моносжигания осадка является технология кипящего слоя.

8.3.1 Сжигание в котлах с колосниковой решеткой

Принцип действия

Осадок сточных вод, как правило, считается отходами. В большинстве установок по получению энергии из отходов используются котлы с колосниковой решеткой. Производители предлагают различные типы решеток, которые отличаются способом подачи топлива в топку: механическим или гидравлическим.

Подача первичного и вторичного воздуха в котел и на различные зоны горения в установках различных производителей также несколько отличается. Температура горения в топке постепенно повышается и, как правило, достигает 850–1000°C. В зависимости от конструкции, решетка охлаждается первичным воздухом или водой. Более подробную информацию можно получить непосредственно у производителя.

Расход электроэнергии и рабочая сила

Установленная мощность работы воздухоподогревателей для подачи первичного и вторичного воздуха и оборудо-



Рис. 8-3: Сжигание осадка в Щецине (Польша). Фото: ZWiK Szczecin

вания для очистки отходящих газов составляет 300–500 кВт. Расход электроэнергии при данном процессе может быть значительным (около 400–1200 кВт•ч/т сухого вещества) по сравнению с общим энергопотреблением очистных сооружений. Оборудование должно работать непрерывно. Для сжигания осадка

не требуются реагенты. Для организации сжигания необходимы 4–5 операторов, а также дополнительные навыки и специальные знания тепловых процессов, особенностей эксплуатации сосудов под давлением, технического обслуживания взрывоопасных зон и т. д.

Использование в регионе Балтийского моря

Совместное сжигание осадка и твердых бытовых отходов в котлах с колосниковой решеткой является хорошо известным и апробированным в Центральной Европе методом, однако он не очень широко применяется в регионе Балтийского моря, за исключением Германии, где практикуется сжигание осадка вместе с углем, например, в Билефельде, Фарге (Бремен), Дуйсбурге и Вельтхайме.

8.3.2 Сжигание в кипящем (псевдоожигенном) слое

Принцип действия

Метод сжигания в кипящем слое может быть использован для 100% осадка (моносжигание) или для смеси 10–50% осадка и другого вида топлива (как правило, твердого) (совместное сжигание). Сжигание в кипящем (псевдоожигенном) слое происходит в печи, которая состоит из воздухораспределительной решетки с соплами, футерованной топки и кипящего слоя песка.

Топливо подается механическим или гидравлическим способом в печь над кипящим слоем. Псевдоожигение осуществляется первичным воздухом, который нагнетается через решетку с соплами. В нижней части печи в кипящем слое песка высотой 1 м происходит сушка, испарение, воспламенение и горение осадка и топлива.

Температура в свободном пространстве над слоем (надслоевым пространством) обычно составляет 850–950°C. Надслоевое пространство над псевдоожигенным слоем предназначено для удержания газов в зоне горения. В самом кипящем слое температура ниже — около 650°C или несколько выше. Сжигание осуществляется двухступенчато с помощью подвода воздуха

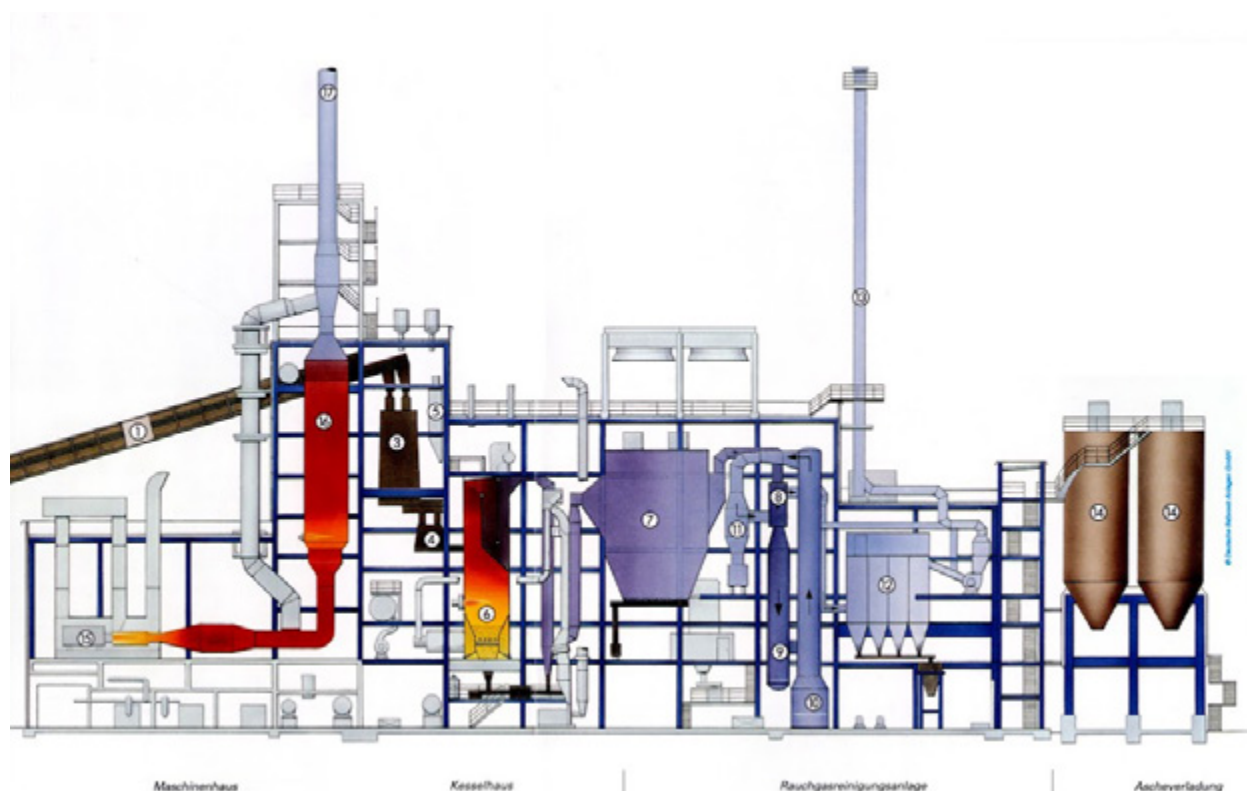


Рис. 8-4: Схема сжигания осадка в кипящем слое в гамбурге. Рис.: Vera Klärschlammverbrennung GmbH

в двух различных уровнях: первичного воздуха снизу под решетку со слоем песка, вторичного воздуха в над-слоевое пространство. Остатки угля и более крупные частицы топлива сжигаются в слое песка.

При сжигании топлива в кипящем слое часть песка отводится через систему удаления золы, а другая часть выносится вместе с отходящими газами. Для поддержания требуемого уровня в печи используется бункер песка с системой подачи. При необходимости предусмотрена рециркуляция песка устройствами, расположенными рядом с системой удаления золы. Более подробную информацию можно получить у производителя.

Затраты, расход электроэнергии и рабочая сила

Инвестиционные затраты на установку для сжигания осадка достигают порядка 20–40 млн € в зависимости

от ее производительности, типа рекуперации энергии и других факторов. Срок службы оборудования, как правило, составляет 20–25 лет.

Установленная мощность работы воздуходувок для подачи первичного и вторичного воздуха, рециркуляции кипящего слоя и оборудования для очистки отходящих газов составляет 400–600 кВт. Расход электроэнергии (порядка 400–1200 кВт•ч/т сухого вещества) при данном процессе может быть значительным по сравнению с общим энергопотреблением очистных сооружений, кроме того, оборудование должно работать непрерывно. Для сжигания осадка не требуются реагенты. Для организации процесса сжигания необходимы 4–5 операторов и дополнительные навыки и специальные знания тепловых процессов, особенностей эксплуатации оборудования под давлением, технического обслуживания взрывоопасных зон и т. д.

Использование в регионе Балтийского моря

Сжигание осадка и твердых бытовых отходов в кипящем слое является хорошо известным и апробированным методом на промышленных предприятиях в регионе Балтийского моря. Оно применяется на нескольких крупных очистных сооружениях для моносжигания осадка: в Копенгагене (Дания), Санкт-Петербурге (Россия) и, например, в Кракове, Гданьске, Лодзи, а также на очистных сооружениях «Поможаны» в Щецине (Польша). За пределами региона Балтийского моря данная технология используется, например, в Великобритании, Нидерландах, Швейцарии, Австрии, Франции и Италии.

8.4 ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ СЖИГАНИЯ: ОБОБЩЕНИЕ

Табл. 8-1: Сжигание в котлах с колосниковой решеткой и в кипящем слое

Метод	Основные характеристики	Применимость	Примечания
Сжигание в котле с колосниковой решеткой	Сжигание при температуре 850–1000°C в печи, состоящей из колосниковой решетки и футерованной топки.	Не подходит для моносжигания осадков сточных вод. Применяется для совместного сжигания осадка при доле осадка <20%.	Инвестиционные затраты – 60–100 млн €. Установленная мощность 300–500 кВт. Для организации процесса требуются 4–5 операторов и специальные знания. Эксплуатация установки обычно не осуществляется работниками очистных сооружений.
Сжигание в кипящем слое	Сжигание в печи при температуре 850–950°C. Установка состоит из воздущераспределительной решетки с соплами, футерованной топки и слоя песка.	Подходит как для моносжигания, так и для совместного сжигания осадка. В регионе Балтийского моря применяется на некоторых крупных очистных сооружениях в Германии, России и Польше.	Инвестиционные затраты – 20–40 млн €. Установленная мощность – 300–500 кВт. Для организации процесса требуются 4–5 операторов и специальные знания. При моносжигании эксплуатация установки может осуществляться работниками очистных сооружений.



9. УТИЛИЗАЦИЯ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД И ЗОЛЫ ОТ СЖИГАНИЯ

Фото: сайт [shutterstock.com/Hywit Dimyadi](https://www.shutterstock.com/Hywit_Dimyadi)

9.1 ВВЕДЕНИЕ

До недавнего времени осадок сточных вод вывозили на свалки, хранили в огромного размера илонакопителях, в жарком климате сушили на солнце, сбрасывали в океан. В последние годы разработаны методы полезного использования обезвоженных осадков и золы от их сжигания. Наиболее передовые из данных методов, как правило, заключаются в повторном использовании компостированного или сброженного осадка в сельском хозяйстве в качестве удобрения и для благоустройства территорий, а также использования соединений фосфора и (или) азота осадка в качестве дополнительного удобрения.

В Европе и в странах региона Балтийского моря существуют различные стратегии утилизации осадка. В таких странах, как Нидерланды, Бельгия и Швейцария, сельскохозяйственное использование осадка сточных вод запрещено или ограничено, поэтому осадок сжигают. В других странах (например, в Финляндии, Эстонии и Норвегии) компостированный осадок применяется для благоустройства зеленых зон. В некоторых странах, например, в Исландии, Мальте и Греции, весь осадок вывозится на полигоны ТБО. В России и Беларуси распространен сбор осадка в илонакопителях.

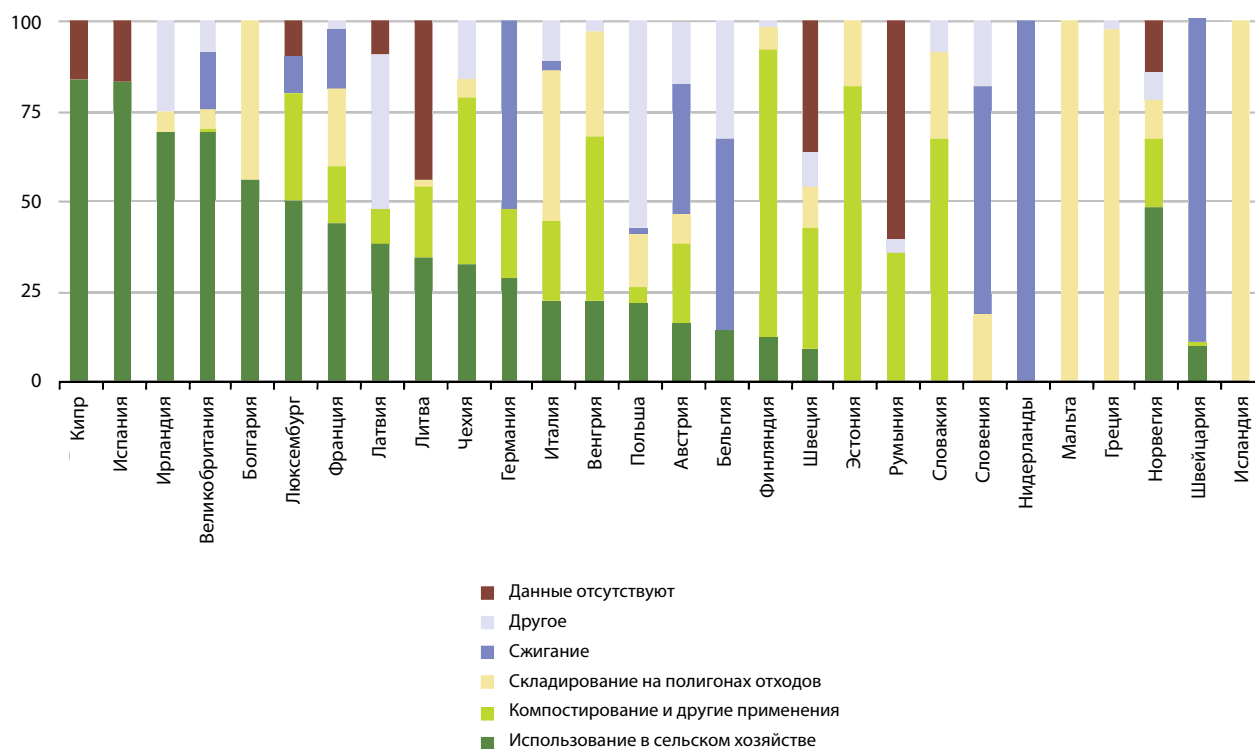
В осадке сточных вод содержатся не только высокие концентрации биогенных элементов, таких как фосфор, азот и углерод, но и загрязняющие вещества, такие как тяжелые металлы (например, кадмий, ртуть) и органические загрязнители (например, полихлорированные бифенилы (ПХБ)). Их концентрации в осадках сточных вод зависят от характера поступающих на очистку хозяйственно-бытовых и промышленных

сточных вод. Высокие концентрации меди и цинка часто поступают с хозяйственно-бытовыми сточными водами, в то время как кадмий, хром, ртуть и свинец – с промышленными. При низкой концентрации вредных веществ осадок в принципе можно применять в сельском хозяйстве. Практическое использование того или иного метода чаще всего обусловлено действующими национальными нормами и политическими целями.

Благодаря высокому содержанию органических веществ в осадке (подвергавшемуся сбраживанию или нет), сухой осадок можно сжигать, тем самым уменьшая его объем. Можно также использовать осадок для получения электрической или тепловой энергии (см. главы 7 и 8). Вопрос об утилизации золы после сжигания осадка по-прежнему остается открытым.

Во многих странах доля осадка, сбрасываемого на полигоны ТБО, уменьшается, а в некоторых странах такой метод утилизации запрещен (см. главу 12). При вывозе на полигон теряется потенциал осадка как источника биогенных элементов и энергии.

Рис. 9-1: Методы утилизации осадка городских сточных вод по типу его обработки, 2009 г.* (% от общей массы). Источник: Eurostat



* Бельгия, Германия, Люксембург, Нидерланды и Австрия, 2008 г.; Чешская Республика, Ирландия, Латвия и Словакия, 2007 г.; Греция и Швейцария, 2006 г.; Италия, Кипр и Великобритания, 2005 г.; Франция и Венгрия, 2004 г.; Исландия, 2003 г.; Швеция, 2002 г.; Финляндия, 2000 г.; Дания и Португалия – данные отсутствуют.

9.2 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Осадки городских сточных вод в сельском хозяйстве используются в регионе Балтийского моря уже более 40 лет. В разных странах Европы и региона Балтийского моря проявляют различную степень интереса к сельскохозяйственному применению осадка. Даже подходы в пределах одной и той же страны, например Германии, могут сильно отличаться: в северной части Германии доля сельскохозяйственного использования осадка составляет более 60%, в то время как на юге страны — менее 20%. Представители сельскохозяйственного сектора, политики и общественность высказывают серьезные сомнения по поводу допустимости применения осадка в сельском хозяйстве, учитывая наличие загрязнителей и вероятность микробиологического заражения. Ожидается, что в ближайшем будущем новые технологии позволят восстанавливать биогенные элементы из осадка для использования в сельском хозяйстве.

В 50-х–60-х гг. XX века законодательно-нормативные требования, касающиеся утилизации осадков в сельском хозяйстве, были менее строгими. Со временем накопились знания о потенциальных негативных последствиях такого применения в связи с содержанием тяжелых металлов и органических загрязняющих веществ. Были усовершенствованы лабораторные методы исследований, обнаружены новые вещества, поэтому следует ожидать введения новых, более жестких ограничений.

Концентрации тяжелых металлов в осадках сточных вод за последние 20 лет во многих странах снизились. В Великобритании, например, их содержание сократилось на 59–85% (Palfrey, 2011 г.), а в Германии — на 20–90% (Bergs, 2010 г.). Особенно очевидно снижение концентраций таких опасных элементов, как ртуть, кадмий, свинец и хром. Диапазон концентраций тяжелых металлов в странах ЕС в целом высок, и данные имеются не для всех стран региона Балтийского моря (Табл. 9-1). В регионе Балтийского моря существуют установленные на законодательном уровне предельно допустимые концентрации (ПДК) тяжелых металлов (глава 12).

Концентрации тяжелых металлов и биогенных элементов зависят от процесса очистки сточных вод. При высокой степени очистки количество загрязнений, а также содержание биогенных элементов в осадке увеличивается. В удобрениях, получаемых промышленным способом, в зависимости от способа производства, также могут присутствовать загрязняющие вещества. Некоторые виды минеральных удобрений имеют высокие концентрации кадмия и урана. В законодательстве ряда стран допускается более высокое



Рис. 9-2: Применение осадков сточных вод для культивации лесов в Латвии. Фото: SIA Rīgas ūdens

содержание кадмия при достаточно высокой концентрации фосфора (Германия, Bergs 2008 г.). Для осадка сточных вод присутствие соединений кадмия и урана, как правило, не характерно.

Для экологически безопасного сельскохозяйственного использования осадков требуется их соответствующая предварительная обработка. В сельском хозяйстве можно применять жидкий осадок без обезвоживания (это практикуется в Германии), однако для охраны подземных вод от загрязнений необходимо контролировать количество вносимого в почву осадка. Рекомендуется использовать обезвоженный или высушенный осадок. Для очистных сооружений небольшого и среднего

Табл. 9-1: Концентрации тяжелых металлов в осадках сточных вод в мг/кг сухого вещества (Palfrey, 2011 г.)

	Cd	Cu	Ni	Zn	Pb	Hg	Cr
Среднее по ЕС (2006 г.)	1,9	207	27	715	52	1.5	50
Диапазон концентраций в странах ЕС	0,4–6,9	73–356	11–66	332–1 235	8.9–114	0,2–4,6	14–127

размера в качестве предварительной обработки осадка, предназначенного для сельского хозяйства, возможна солнечная сушка и технология биоплато (камышовых площадок). В северных районах климат слишком холодный для солнечной сушки осадка (см. главу 7).

Использование осадка сточных вод в качестве удобрения зачастую допускается лишь в определенное время года при внесении непосредственно в почву. Для удаления патогенных микроорганизмов рекомендуется (однако не всегда требуется) обработка осадка такими методами, как компостирование или химическая стабилизация известью. Законодательно-нормативные требования в отношении осадка подробно описаны в главе 12.

Кроме содержания тяжелых металлов и патогенных микроорганизмов, использование осадка сточных вод в сельском хозяйстве может лимитироваться присутствием органических соединений, таких как полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), адсорбируемые органические халиды (АОХ) и полихлорированные дифенилы (ПХД). В последние годы возникли новые проблемы, касающиеся наличия стойких органических соединений (гормоны, остатки других лекарственных средств, составы для противопожарной обработки тканей и т. д.) в сточных водах. В Германии также рассматривается вопрос о введении

в будущем норм в отношении предельно допустимых концентраций остаточных полимеров. Проблема органических микрозагрязнений в настоящее время остается открытой и требует контроля со стороны эксплуатирующих очистные сооружения организаций и регулирующих органов в регионе Балтийского моря.

Цены на промышленные удобрения для фермеров по сравнению с осадком сточных вод зависят от конкурентной ситуации в каждой стране, а также от возможных субсидий, предоставляемых производителям промышленных удобрений, как, например, в России. В целом, за последние 3–5 лет отмечен рост среднего уровня цен на удобрения.

Заинтересованность в производстве удобрений из осадков сточных вод растет, по крайней мере, за пределами региона Балтийского моря, например, в Норвегии и Нидерландах. Там предлагается обрабатывать осадок либо путем сушки и гранулирования либо путем сжигания и использования золы в качестве удобрения или сырья для производства удобрений (см. раздел 10.4 и главу 12). Доля сельскохозяйственного использования осадка может снизиться при внедрении новых технологий извлечения фосфора (см. главу 11). В настоящее время извлечение фосфора из осадка не является экономически выгодным.

9.3 ВЫВОЗ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД НА ПОЛИГОНЫ ТБО

В Европейском Союзе широко применяется практика вывоза на полигоны ТБО осадка, который не может быть использован в сельском хозяйстве и озеленении. После достижения определенной высоты полигоны требуют рекультивации, и осадок подходит для этой цели.

При использовании осадка для рекультивации полигонов ТБО к его качеству не предъявляются особые требования, за исключением того, что он не может быть в жидкой форме, что соответствует общему ограничению сброса любых других жидких отходов на полигоны. Недавно введенные в странах ЕС ограничения и запреты на вывоз биоразлагаемых материалов на полигоны ТБО в конечном итоге также ограничат вывоз осадка на полигоны и использование компостированного осадка для рекультивации полигонов. Это приведет к необходимости поиска новых экономически выгодных решений утилизации осадка в сельском хозяйстве, озеленении парковых зон, благоустройства участков автомобильных и железных дорог и т.п., а также сжигания и обработки золы.



Рис. 9-3: Зола от сжигания осадка в Санкт-Петербурге (Россия) и продукция из нее. Фото: Лотта Руоканен

9.4 УТИЛИЗАЦИЯ ЗОЛЫ, ПОЛУЧЕННОЙ ПРИ МОНОСЖИГАНИИ ОСАДКА

При сжигании осадков сточных вод образуется зола (см. главу 8). Для дальнейшей переработки и повторного использования пригодна лишь зола, полученная при моносжигании осадка, или зола в смеси с другими золами с высоким содержанием фосфора и других биогенных элементов. Зола, полученная в результате совместного сжигания, имеет очень низкую концентрацию фосфора и иногда слишком высокий уровень загрязнения, например, если осадок сжигается вместе с твердыми бытовыми отходами, поэтому ее сбрасывают на полигоны ТБО. Проблемы утилизации осадка, сжигаемого на цементных заводах, не существуют в связи с тем, что зола используется для производства продукта.

После сжигания осадка концентрация биогенных элементов увеличивается примерно в два раза, в зависимости от содержания органического вещества в осадке до его сжигания. Предполагаемое содержание фосфора в золе при моносжигании осадков колеблется от 8% до 20%. Органические микрозагрязнители при сжигании разрушаются, ртуть удаляется при очистке отходящих газов. К сожалению, концентрации других тяжелых металлов увеличиваются, что может препятствовать непосредственному внесению осадка в почву в качестве удобрения.

После сжигания фосфор химически связывается в золе, его биодоступность снижается. Возможности обработки и использования золы от сжигания осадков сточных вод в сельском хозяйстве представлены в главе 11. В связи с тем, что способы такой утилизации находятся на стадии разработки, в настоящее время золу следует удалять и хранить в специальных накопителях. Разработка способов утилизации золы является актуальной темой исследований и одной из главных проблем экономически эффективного использования осадка сточных вод в ближайшие годы.

В регионе Балтийского моря в настоящий момент действует ряд законодательно-нормативных актов, которые ограничивают использование золы в сельском хозяйстве (см. главу 12). Осадок сточных вод классифицируется в качестве отходов, а зола от сжигания отходов — как опасные отходы, поэтому для экономически эффективного повторного использования или переработки содержащихся в золе веществ требуется специальное разрешение. Данное требование распространено в большинстве стран региона Балтийского моря, что является серьезным препятствием для более широкого применения золы, полученной от моносжигания осадка, в сельском хозяйстве. Тем не менее, в Германии (и за пределами региона Балтийского моря в Нидерландах) в последние годы предприняты первые шаги для решения этой проблемы и повторного использования фосфора, извлеченного из золы от отдельного сжигания осадка. Вывоз золы от моносжигания осадка сточных вод на полигоны ТБО (или специально выделенные зоны хранения для ее повторного использования в будущем) также может быть ограничен и (или) регулироваться специальными требованиями, так как зола от сжигания осадка считается сопоставимой с золой от сжигания отходов.

9.5 МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ: КРАТКИЙ ОБЗОР

- Существует несколько способов утилизации осадка; стратегии утилизации осадка в регионе Балтийского моря не являются единообразными.
- Сельскохозяйственное использование осадка или его сжигание с утилизацией золы позволяет использовать потенциал осадка в качестве материала или энергетического ресурса. Данные методы утилизации являются достаточно распространенными в регионе.
- Компостируемый или обеззараженный другими методами осадок в некоторых странах региона применяется для создания зеленых зон (например, при озеленении парков).
- Биодоступность биогенных элементов в осадке зависит от процесса очистки сточных вод.
- Загрязняющие вещества, присутствующие в осадке, ограничивают возможность его использования в сельскохозяйственных целях: хотя концентрации тяжелых металлов в осадке во многих странах снижаются, появился ряд новых проблем.
- В сельском хозяйстве может быть использована зола от моносжигания осадка с высоким содержанием фосфора и при отсутствии других загрязняющих веществ.
- Концентрация биогенных элементов в золе является низкой, и для их извлечения требуется дополнительная обработка, методы которой еще находятся на стадии разработки.
- В некоторых частях региона до сих пор применяются илоскопители, что препятствует устойчивому управлению осадком, так как в этом случае его невозможно использовать в качестве материала, источника биогенных элементов и энергетического ресурса, а утечки из илоскопителей представляют потенциальную опасность для водной среды.
- Сброс осадка на полигоны ТБО в ЕС в ближайшие годы уменьшится в связи с введением новых нормативных требований и возрастающего интереса к восстановлению биогенных элементов из осадка.

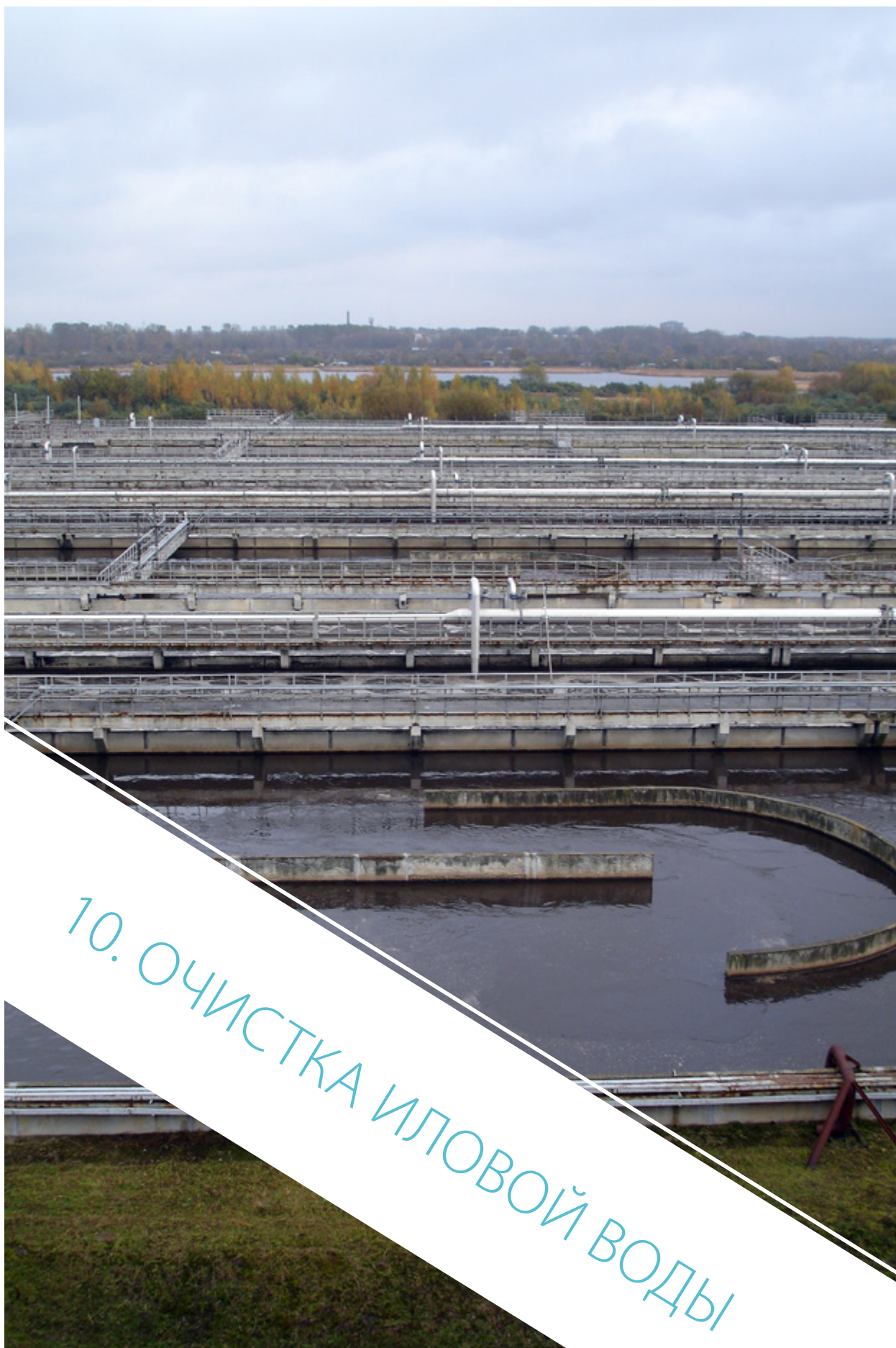


Фото: Лотта Руоканен

10.1 ВВЕДЕНИЕ

Иловая вода — жидкая фаза, отделившаяся при анаэробном сбраживании, перелив из метантенка, фильтрат от обезвоживания осадка, а также конденсат, образующийся при термической сушке, в которых содержатся высокие концентрации азота, фосфора и взвешенных частиц. В связи с этим на многих очистных сооружениях был изучен и внедрен ряд методов очистки иловой воды. К иловой воде также относятся дренажные воды, отделившиеся при последующей обработке (компостировании) или хранении осадка на иловых площадках. Иловая вода может поступать на станцию очистки сточных вод, например, от других региональных сооружений по обработке отходов и осадков.

Жидкая фаза, выделявшаяся при сбраживании, часто является сильно концентрированной в связи с тем, что в ходе микробиологического процесса образуются высокие концентрации аммония. Кроме того, в ней содержится большое количество растворенного фосфора, особенно при его биологическом удалении. Для иловой воды характерны высокие концентрации аммонийного азота и взвешенных веществ при высокой щелочности. Иловая вода имеет высокую химическую потребность в кислороде (ХПК), однако не содержит большого количества легкоокисляющихся органических веществ (БПК). Фосфор адсорбируется взвешенными частицами. Кроме того, способность взвешенных веществ к оседанию довольно мала.

Большинство методов очистки иловой воды направлено на снижение содержания азота, так как процесс очистки сточных вод чувствителен к высоким концентрациям азота, особенно если иловая вода не подается на очистку непрерывно. Непрерывность подачи зависит от метода обезвоживания и организации рабочих смен. В том случае, если иловая вода поступает в течение 24 часов в сутки/7 дней в неделю, но имеются эксплуатационные трудности или процесс удаления

азота недостаточно эффективен, рекомендуется использовать отдельную установку для ее очистки. При применении камерного фильтр-пресса или другого оборудования, работающего с перерывами, в решении проблемы поможет промежуточный резервуар иловой воды.

Нагрузку, вызванную иловой водой, можно снизить с помощью химической и механической либо биологической очистки. Количество образующейся жидкой фазы можно определить на основании проведения качественного анализа и измерения количественного состава подаваемого в метантенок осадка при условии стабильности процесса сбраживания. На состав жидкой фазы влияет эффективность обезвоживания осадка и вид осадка.

Важно знать:

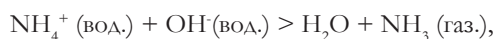
При использовании извести для кондиционирования отдельная очистка фильтрата не рекомендуется в связи с накоплением карбоната кальция.

10.2 ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ИЛОВОЙ ВОДЫ

Существуют различные физические и химические методы очистки иловой воды. В основном, они направлены на удаление азота, например, путем использования цеолита или отгонки аммиака.

Принцип действия и результаты

Наиболее распространенным процессом химической очистки для удаления азота является отгонка аммиака. Аммиак удаляется из воды по равновесной реакции между аммонийным азотом ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) и аммонием (NH_3):



где (вод.) — водный раствор. Отгонка происходит за счет увеличения величины pH среды. Чем выше pH, тем выше содержание $\text{NH}_4^+\text{-N}$ в

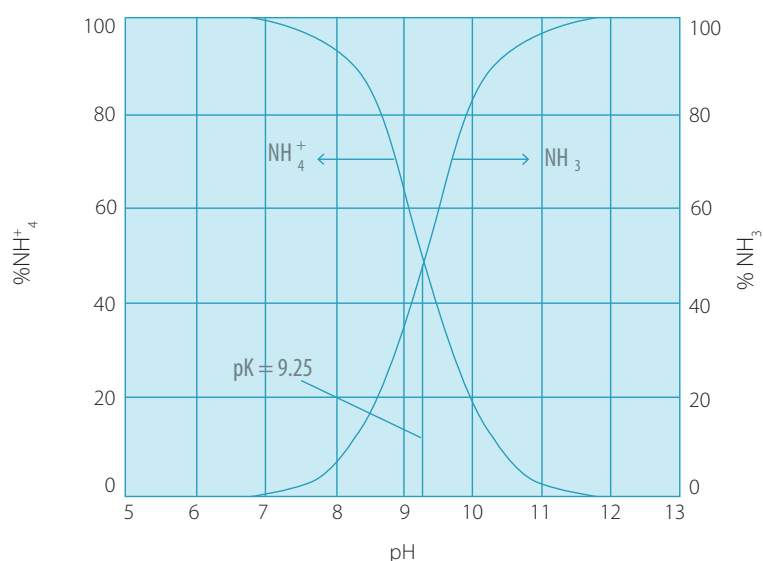


Рис. 10-1: Соотношение между аммонийным азотом (NH_4^+) и аммонием (NH_3) при изменении pH

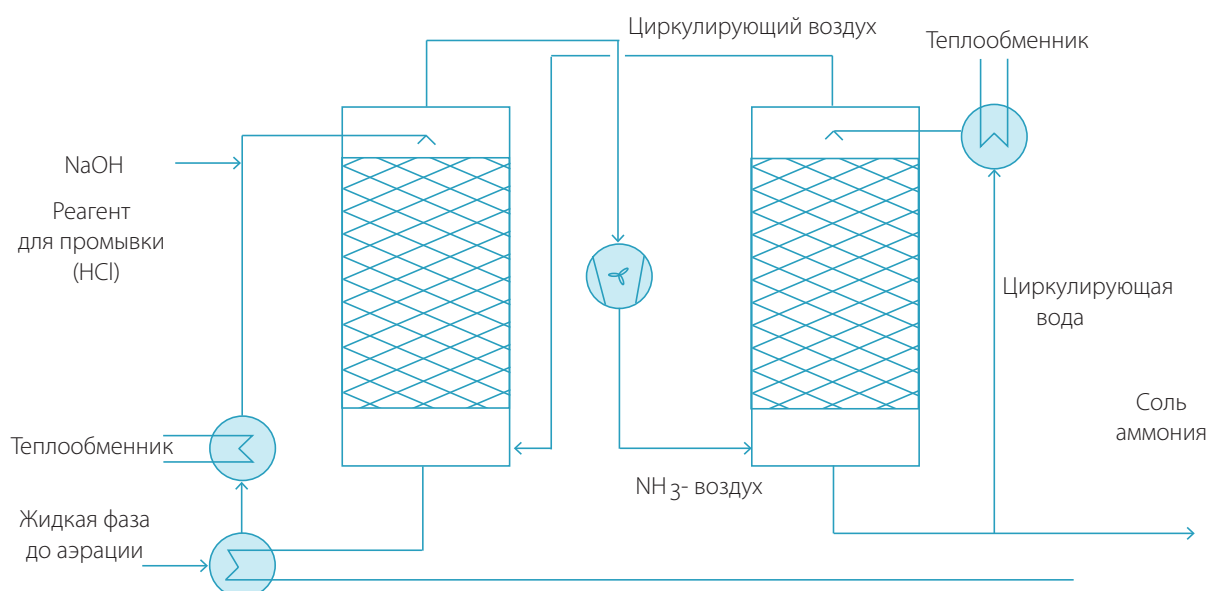


Рис. 10-2: Принципиальная схема отгонки аммиака

виде аммиака. При высоком значении pH ($\text{pH} > 10$) большая часть аммонийного азота содержится в виде NH_3 (Рис. 10-1).

При отгонке аммиака pH иловой воды и температура (на некоторое время) повышаются, при этом равновесие реакции сдвигается вправо, что увеличивает содержание свободного аммиака. После этого иловая вода пропускается через дегазатор, и газообразный аммиак выделяется в воздушную среду. Затем воздух поступает в скруббер, где аммиак переходит в жидкую форму. При использовании кислоты образуются соли аммония (хлористый аммоний) (Рис. 10-2), которые вместе с концентрированной жидкостью можно реализовывать на коммерческой основе в качестве удобрения.

Эксплуатация, техническое обслуживание, экологические аспекты и безопасность

Данный технологический процесс обычно проводится непрерывно 24 часа в сутки/7 дней в неделю. При циклической работе оборудования для обезвоживания необходим промежуточный реактор для выравнивания колебаний потока.

Управление процессом очистки иловой воды требует несколько больших знаний в области химии, чем эксплуатация сооружений для обработки осадка. Выброс аммиака может представлять опасность для окружающей среды и человека. При засорении насадки дегазатора требуется повышенное внимание к технике без-

опасности, поскольку насадку необходимо очищать вручную.

Затраты, расход реагента и электроэнергии, рабочая сила

Инвестиционные затраты на процесс отгонки аммиака достигают 2–4 млн € в зависимости от производительности оборудования. Срок службы оборудования, как правило, составляет 15–20 лет.

Стоимость реагентов очень высока и зависит от буферной способности воды, концентраций различных веществ в жидкой фазе, а также предполагаемого конечного продукта.



Рис.10-3: Фото: сайт shutterstock.com/Hansenn

Использование в регионе Балтийского моря

В Финляндии процесс отгонки аммиака используется компанией Biovaka Oy на заводах по производству биогаза из осадков сточных вод и биологических хозяйственно-бытовых отходов в г. Турку («Топиноя») и г. Вехмаа. Завод «Топиноя» обрабатывает лишь осадок городских сточных вод, поступающий с очистных сооружений г. Турку, в то время как предприятие в г. Вехмаа вместе с осадками городских сточных вод обрабатывает также навоз, поступающий с крупных ферм. Процесс отгонки аммиака в основном используется на промышленных предприятиях в технологических процессах с очень высокими концентрациями азота. При очистке сточных вод он применяется редко.

10.3 БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ИЛОВОЙ ВОДЫ

Биологические методы очистки иловой воды аналогичны методам удаления азота в целом. Наиболее распространенным из них является традиционный процесс денитрификации-нитрификации (ДН-процесс), при котором денитрификация усиливается при добавлении источника углерода, который необходим для достижения оптимального соотношения между азотом и углеродом. На практике данный метод не дал удовлетворительных результатов, поэтому разрабатываются альтернативные методы, которые, однако, пока не являются полностью апробированными.

10.3.1 Процесс денитрации-нитрации

Процесс денитрации-нитрации подобен процессу денитрификации-нитрификации. Аммоний окисляется до нитритов и затем восстанавливается до молекулярного азота. Общее потребление энергии при этом ниже по сравнению с традиционным процессом удаления азота (экономия до 40%), и требуется лишь 60% источника углерода. Применение процесса возможно

в связи с тем, что нитрификация не происходит. Концентрация аммония, температура, присутствие кислорода и pH важны для процесса (Beier et al., 2008 г.) В настоящее время на основе процесса денитрации-нитрации разработаны различные коммерческие технологии, например, SHARON®, SAT и PANDA.

10.3.2 Деаммонификация

Процесс деаммонификации был разработан в 1990 г. и получил широкое распространение на очистных сооружениях Нидерландов. В ходе деятельности бактерий планктомицетов (*Planctomycetes*), способных использовать нитриты и аммоний в бескислородных условиях, образуется молекулярный азот (N_2), источник углерода при этом не требуется.

Технологический процесс может быть реализован двумя различными способами:

- Двухступенчатая деаммонификация с использованием двух резервуаров. Данный процесс был разработан на основе денитрификации. В первом резервуаре образуются нитриты, во втором нитриты и аммоний используются бактериями для образования молекулярного азота. В первом резервуаре осуществляется аэрация, тогда как во втором — только перемешивание (в бескислородных условиях). Недостатком метода является высокая концентрация нитритов в первом резервуаре, которую невозможно регулировать, что снижает стабильность процесса.
- Одноступенчатая деаммонификация. Образование нитритов и деаммонификация происходят в одном и том же резервуаре. Управление системой осуществляется путем регулирования концентраций кислорода или pH среды. Примерами коммерческого применения данного процесса являются технологии DEMON® и Canon®.

Процесс нитрации-деаммонификации предназначен для очистки активным илом при оптимальном диапазоне рабочих температур 30–40°C и минимальной температуре 25°C. В качестве предварительной обработки необходимо удаление взвешенных веществ и снижение ХПК для выравнивания качества воды на входе.

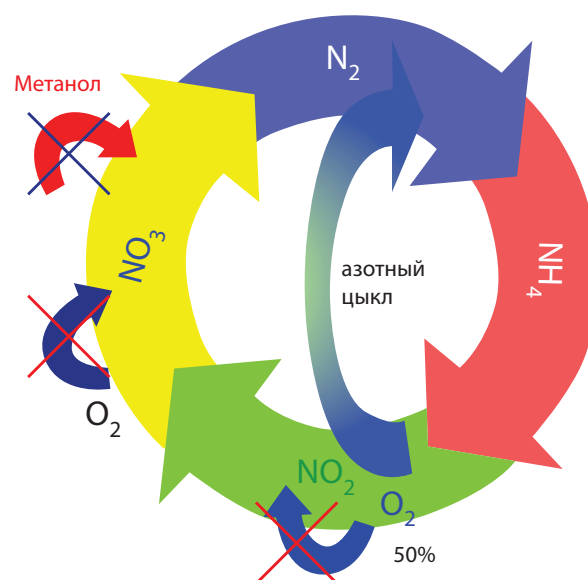


Рис. 10-4: Круговорот азота в процессе нитрации-деаммонификации

Используется два вида ила: гранулированный, образующийся в ходе технологического процесса с возрастом 100–200 суток, и ил после биологической очистки с возрастом 2–10 суток. Гранулированный ил вводится в качестве исходного ила. При благоприятных условиях он начинает расти. Управление технологическим процессом осуществляется путем корректировки pH.

Преимуществами процесса нитрации-деаммонификации являются экономия энергии (на 60%) и снижение эксплуатационных расходов по сравнению с процессом денитрификации/нитрификации, отсутствие необходимости во внешнем источнике углерода и реагентах для контроля щелочности, а также небольшой объем образующегося осадка.

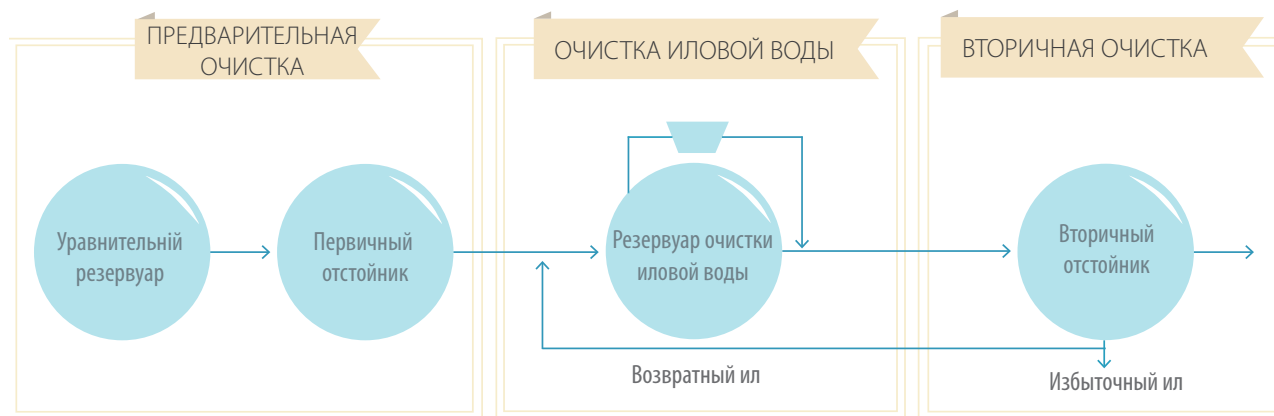


Рис. 10-5: Очистка иловой воды с помощью процесса нитрации-деаммонификации

Наиболее сложной задачей при применении данных методов является управление технологическим процессом, который должен быть стабильным:

- поддержание постоянной рабочей температуры до 30°C;
- очистка иловой воды от взвешенных веществ при их высоком содержании.

Еще одним методом биологической очистки иловой воды является процесс нитрификации-денитрификации в последовательном реакторе периодического действия (Sequential Batch Reactor, SBR), который нашел свое коммерческое применение в процессе BAVE®.

Эксплуатация, техническое обслуживание, экологические аспекты и безопасность

Биологическая очистка иловой воды обычно происходит непрерывно, так же как и анаэробный процесс сбраживания в метантенке, откуда в основном поступает иловая вода. Если сооружения для обезвоживания работают в циклическом режиме, для выравнивания

колебаний необходим промежуточный реактор. Эксплуатация систем очистки иловой воды требует несколько более обширных биотехнических знаний, чем эксплуатация сооружений для обработки осадка. В ходе очистки иловой воды не возникают какие-либо серьезные экологические проблемы и проблемы безопасности.

Затраты, расход реагента и электроэнергии, рабочая сила

Инвестиционные затраты на биологическую очистку иловой воды обычно варьируются в пределах 1–2 млн € в зависимости от производительности оборудования. Срок службы оборудования, как правило, составляет 15–20 лет.

Установленная мощность – порядка 20–40 кВт, потребление электроэнергии при данном технологическом процессе незначительно по сравнению с общим расходом электроэнергии очистных сооружений. Для данного процесса не требуется дополнительная рабочая сила или специальные знания.

Использование в регионе Балтийского моря

В регионе Балтийского моря в настоящее время предъявляются более жесткие требования к содержанию азота на выходе из очистных сооружений. Нагрузка на очистные сооружения по азоту аммонийному от иловой воды может составлять до 20%. Способность сооружений биологической очистки часто бывает недостаточной для удаления высоких концентраций азота, поступающих с иловой водой, поэтому ее очистку предпочтительнее проводить отдельно.

Процессы биологической очистки иловой воды в промышленных масштабах применяются в странах региона с 2005 г. Одним из примеров является биологическая очистка иловой воды осадка сточных вод и хозяйственно-бытовых биологических отходов домохозяйств в г. Сейнякки (Финляндия) компанией Lakeuden Etappi. В г. Коккола (Финляндия) введен в эксплуатацию новый завод, на котором в качестве сырья используются лишь осадки сточных вод. На коммунальных очистных сооружениях «Химмерфьердсверкет» (Швеция) применяется процесс нитрации-деаммонификации с использованием материала-носителя, а на очистных сооружениях в г. Линчепинге (Швеция) (с 2009 г.) и г. Хельсинки (Финляндия) ведутся испытания процесса SHARON. На очистных сооружениях в г. Хельсинки для очистки части иловой воды процесс нитрации-деаммонификации используется, начиная с весны 2012 г. В Роттердаме, Утрехте, Зволле и других городах Нидерландов широкое распространение получил процесс SHARON.

10.4 ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ИЛОВОЙ ВОДЫ: ОБОБЩЕНИЕ

Табл. 10-1: Сравнение различных методов очистки иловой воды. ДН-процесс = процесс денитрификации-нитрификации

Метод	Основные характеристики	Цель применения	Примечания
ДН-процесс	Традиционный ДН-процесс. Для эффективно-го удаления азота необходимо внешний источник углерода.	Ранее использовался для очистки жидкой фазы (иловой воды), отделяющейся при сбраживании первичного осадка и избыточного ила. В настоящее время вытеснен более эффективными и надежными методами.	Инвестиционные затраты – 1,5–3 млн €. Высокие эксплуатационные расходы в связи с высокой стоимостью источника углерода (например, метанола).
Процесс нитрации-денитрации	Процесс, протекающий без нитрификации. Меньше потребление электроэнергии и меньшая потребность в источнике углерода.	Иногда используется для очистки жидкой фазы в качестве предварительного этапа процесса деаммонификации.	Инвестиционные затраты – 1,5–3 млн €. Эксплуатационные расходы намного ниже по сравнению с ДН-процессом.
Процесс нитрации-деаммонификации	Процесс очистки активным илом. Из нитритов и аммония образуется молекулярный азот. Оптимальный диапазон рабочих температур – 30–40°C, минимальная температура – 25 °.	Используется для очистки жидкой фазы, отделяющейся при сбраживании первичного осадка и избыточного ила. Применяется на средних и крупных очистных сооружениях.	Инвестиционные затраты – 1–2 млн €. Низкие эксплуатационные расходы повышают привлекательность данного процесса. Установленная мощность 20–40 кВт.
Отгонка аммиака	Химический процесс производства богатого азотом удобрения (аммиачная соль).	Используется для очистки жидкой фазы, отделяющейся при сбраживании первичного осадка и избыточного ила. Применяется на средних и крупных очистных сооружениях.	Инвестиционные затраты – 2–4 млн €. Чрезвычайно высокие эксплуатационные расходы могут служить причиной отказа от использования данного метода.

При использовании, в частности, процесса деаммонификации возможно снизить расход энергии и дополнительного источника углерода, а также объем образующегося осадка, что ведет к снижению выбросов углекислого газа в атмосферу.



Аурелия ушастая в Балтийском море. Фото: Metsähallitus

11.1 ВВЕДЕНИЕ

Фосфор является важнейшим питательным элементом, который вносится в почву преимущественно под полевые культуры. Фосфор также используется при производстве потребительских товаров, например, стиральных порошков. Недостаток фосфора сдерживает рост растений, в то время как попадание соединений фосфора в реки, озера и моря приводит к чрезмерному росту водорослей (эвтрофикации), вызывающему множество негативных последствий в водных экосистемах. С другой стороны, запасы фосфоритов ограничены: их добывают лишь в нескольких регионах, например, в Западной Сахаре (Марокко), Китае и США. По имеющимся прогнозам, ежегодные темпы роста мирового потребления фосфора (в виде P_2O_5 , содержащегося в удобрениях) в течение следующих 5 лет составят 2,5%, причем в структуре потребления резко возрастет доля Азии и Южной Африки (USGS, 2012 г.).

В некоторых исследованиях говорится о «фосфорном кризисе», что означает, что максимум добычи фосфоритов (апатитов) уже был достигнут либо будет достигнут в ближайшее время. Другие исследования доказывают, что в мире существуют и другие источники фосфора, однако еще не существует экономически целесообразной технологии извлечения из них этого элемента. По имеющимся прогнозам, цены на фосфориты (апатиты) будут увеличиваться (см. Рис. 11-1), что приведет к росту цен на продукты питания.

Наиболее рациональным способом сохранения данного ресурса является ограничение его использования, например, в составе стиральных порошков, как это делается в некоторых странах (РНhöchstMengV 1980 г. (Германия) и поправки к Директиве ЕС ЕС 648/2004 по моющим средствам). Извлечение фосфора, возможно, частично позволит снизить его производство из апатитов и импорт. Источниками фосфора являются:

- сточные воды, осадки сточных вод и золы от моно-сжигания;
- костная мука и аналогичные продукты;
- навоз;
- пищевые отходы.

В последние годы в ряде стран (например, в Скандинавии и Германии (Министерством образования и науки и Министерством охраны окружающей среды Германии в 2005 г.) начата реализация ряда научно-исследовательских инициатив по извлечению фосфора из осадка сточных вод. Отдельные страны включили утилизацию фосфора в свои долгосрочные стратегические планы и программы новых технологий. Управление по охране окружающей среды Швеции (SEPA) в долгосрочной перспективе поставило целью к 2015 г. довести восстановление фосфора из сточных вод до 60% (SEPA, 2002 г.). Германия в 2003 г. заявила о том, что поставила своей целью разработку новых техно-

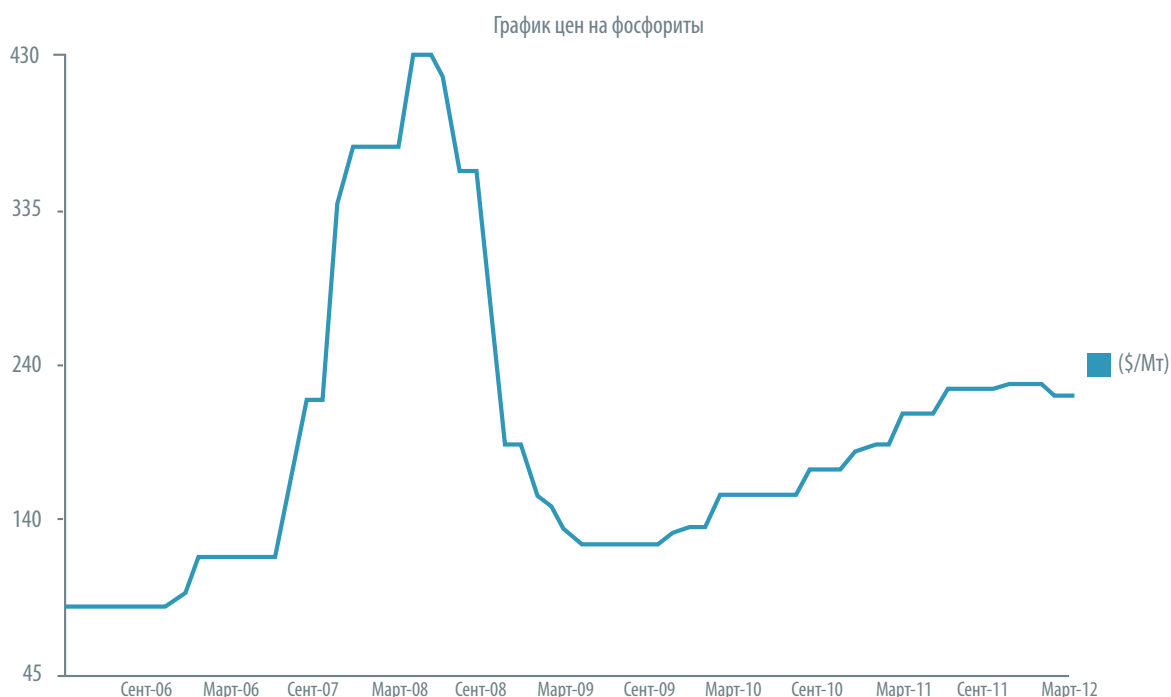


Рис. 11-1: Динамика изменения цен на фосфориты за последние годы. Источник: www.mongabay.com

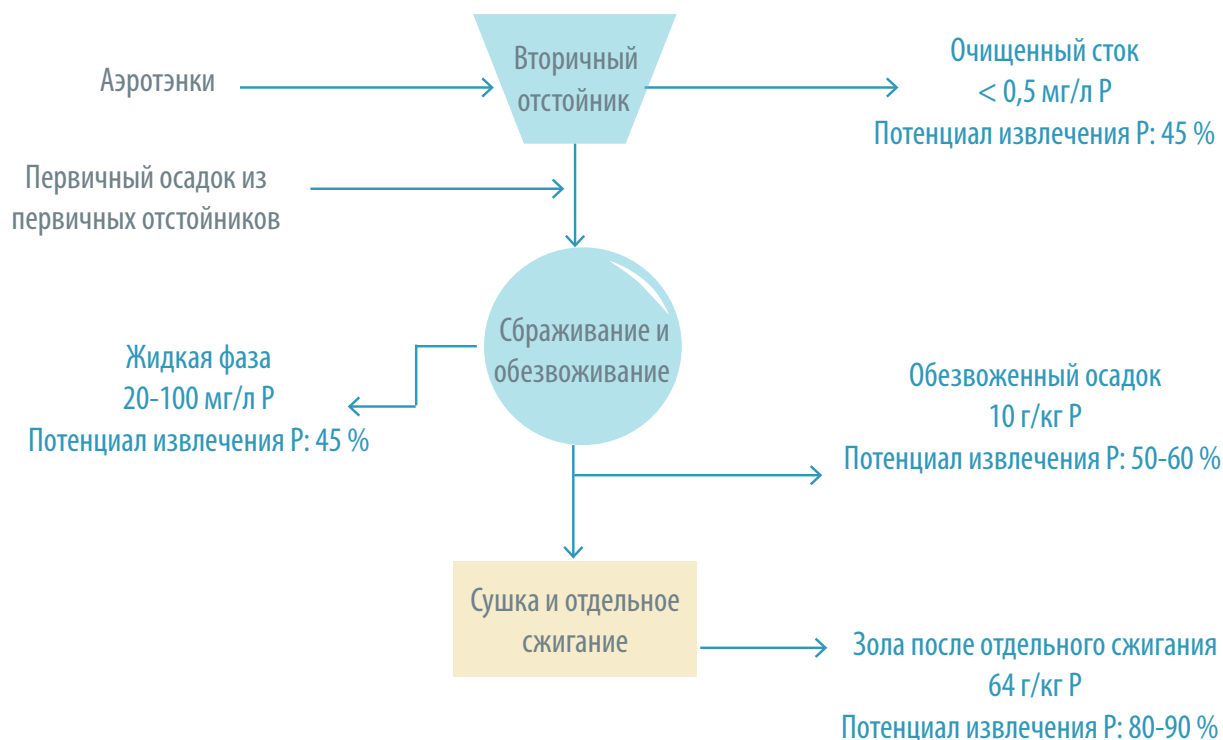


Рис. 11-2: Возможности извлечения фосфора (P), концентрации фосфора и потенциал извлечения (числовые данные: Jardin, 2010 г. и Adam, 2009 г.)

логий восстановления фосфора (CEEP, 2003 г.). Правительством Финляндии в 2010 г. были приняты обязательства выйти на лидирующие позиции в области утилизации биогенных элементов (МММ, 2011 г.).

Для экономически эффективного извлечения фосфора из сточных вод необходимо решить следующие задачи:

- восстановление максимального количества фосфора с высокой биодоступностью;
- снижение концентрации тяжелых металлов;
- снижение концентрации вредных органических соединений;

- обеспечение экономической эффективности процесса восстановления фосфора.

Содержание азота, углерода и микроэлементов в осадке не так важно, как содержание фосфора. В настоящее время возможности извлечения фосфора на станциях очистки сточных вод ограничены (см. Рис. 11-2).

Хотя методы повторного использования биогенных элементов все еще считаются новейшими технологиями и разрабатываются в основном в Европе, США и Канаде, количество пилотных и демонстрационных установок быстро растет. Описанные ниже методы не могут считаться полностью апробированными: при эксплуатации ряда демонстрационных установок возникли серьезные затруднения, в результате чего их пришлось закрыть. Таким образом, данные технологии не могут быть рекомендованы для широкого применения. Кроме того, все они являются дорогостоящими и на настоящий момент экономически неэффективными. Некоторые методы были разработаны специально для решения проблем, возникающих в ходе эксплуатации, поэтому они эффективны лишь при определенных, очень специфических условиях. Базовые условия на каждой станции очистки сточных вод разные, они зависят от используемых технологических процессов очистки сточных вод и обработки осадка.



Рис. 11-3: Удобрение. Фото: сайт shutterstock.com/Kymmcleod

Инновационные методы:

Процесс, применяемый для удаления соединений фосфора на очистных сооружениях, влияет на биодоступность при его использовании в качестве удобрения. При биологическом удалении фосфора из сточных вод его биодоступность велика, особенно в том случае, если осадок напрямую используется в сельском хозяйстве. На очистных сооружениях возможно применение процессов восстановления фосфора, описанных в разделе 11.2. Биологическое удаление фосфора в процессе очистки сточных вод может привести к ряду проблем: снижение эффективности обезвоживания осадка, «вспухание» ила, отложение струвита в трубопроводах.

Существуют два различных метода восстановления фосфора: извлечение его из золы, образующейся при моносжигании осадков, либо извлечение из сточных вод и осадков химическим способом. В существующих на настоящий момент концепциях максимальная теоретическая степень извлечения фосфора из сточных вод составляет около 45% (Jardin, 2010 г.), а из осадка – 50–60% (Adam, 2009 г.), в то время как степень извлечения фосфора из золы может составить 80% (Jardin, 2010 г.) или даже 90% (Adam, 2009 г.). Химическое

осаждение фосфора солями железа или алюминия ведет к уменьшению биодоступности. Тем не менее, во многих случаях даже при использовании химического осаждения фосфора образующийся осадок может утилизироваться в сельском хозяйстве (как это происходит, например, в Германии). Возможно, новые методы восстановления фосфора из золы в будущем позволят повысить биодоступность химически осажденного фосфора (см. раздел 11.3).

11.2 ИЗВЛЕЧЕНИЕ ФОСФОРА ИЗ СТОЧНЫХ ВОД ИЛИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Потенциал извлечения фосфора из сточных вод и осадков сточных вод значительно ниже, чем из золы, образующейся при моносжигании осадка. Извлекать фосфор можно из избыточного ила, иловой воды, обезвоженного осадка, а также из очищенных сточных вод на выходе с очистных сооружений (см. Рис. 11-2). Последнее не рекомендуется в связи с большим объемом очищенной воды и низкой концентрацией фосфора.

Процессы, которые можно применять в дополнение к стандартным методам очистки сточных вод, обобщены в работе К. Адама (2009 г.):

- **осаждение** (процессы PRISA и AirPrex);
- **кристаллизация** (процессы Ostara PEARL, Unitika PHOSNIX, процесс Darmstadt с использованием гидратов силиката кальция и DHV Crystalactor).

В настоящее время на базе процессов OSTARA PEARL, Unitika PHOSNIX, AirPrex и DHV Crystalactor уже действуют пилотные и демонстрационные установки с производительностью от 20 м³/ч до 250 м³/ч. Полученные результаты обнадеживают, однако для повышения экономической эффективности и расширения возможностей использования извлеченного фосфора необходимы дальнейшие опытно-конструкторские разработки.

При применении указанных выше методов в трубопроводах, насосах и на поверхностях резервуаров образуются отложения химических веществ. Прежде чем данные технологии можно будет считать апробированными, необходимо найти решение этой проблемы (Adam, 2009 г.). Несколько демонстрационных установок действуют в Японии, Канаде, США, Германии и Нидерландах, как правило, в виде дополнительного процесса, отделенного от основного. В 90-х гг. прошлого века в Нидерландах велись промышленные испытания установки Geestmerambacht

DHV Crystalactor® (извлечение фосфора с помощью Ca(OH)₂ и NaOH), однако ее пришлось закрыть в связи с высокими эксплуатационными расходами.

В г. Берлине (Германия), где сооружения для биологического удаления фосфора действуют с 1998 г., серьезной проблемой являлось отложение в трубопроводах МАФ (магний аммоний фосфата, или струвита). Попытки решить проблему не увенчались успехом, а затраты на очистку и техническое обслуживание были чрезвычайно высоки. После проведения первых испытаний процесса AirPrex в 2002–2009 гг., в 2010 г. создана промышленная установка. Появилась возможность коммерческого применения струвита, который в настоящее время продается в качестве сырья для производства удобрений (Lengemann, 2011 г.).

Принцип работы и результаты

Сущность технологического процесса заключается в подаче воздуха и введении хлорида магния (MgCl₂) для осаждения струвита (МАФ). Проектная производительность реактора составляет 100 м³/ч, в сутки образуется 2–3 т МАФ (Lengemann, 2011 г.).

Первая демонстрационная установка Ostara PEARL (извлечение фосфора с помощью Mg(OH)₂ и NaOH) с пропускной способностью 20 м³/ч начала работать в мае 2007 г. в г. Эдмонтоне (Канада). В США подобные реакторы находятся в г. Портленде (штат Орегон) и г. Саффолке (штат Виржиния) (введены в эксплуатацию

в 2009 г. и 2010 г. соответственно). Четвертый реактор введен в эксплуатацию в г. Йорке (штат Пенсильвания) в 2010 г. (Ostara, 2010 г.). Струвит образуется в количестве порядка 500 кг/сут. Конечный продукт продается под брендом Crystal Green® для использования в качестве удобрения медленного выпуска на полях для гольфа и газонах. Для извлечения биогенных элементов в виде струвита используются реакторы с кипящим слоем. Инвестиционные затраты на приобретение такой установки, по информации поставщика, достигают 2–3 млн €.

В Японии действуют 3 реактора Unitika PHOSNIX (извлечение фосфора с помощью $Mg(OH)_2$ и $NaOH$) производительностью 6–20 м³/ч. Данный процесс отделен от основного и предназначен для очистки жидкой фазы, образующейся в ходе ряда технологических процессов, включая сбраживание в метантенке и удаление биогенных элементов. Осадок перекачивается в нижнюю часть реактора, куда для его осаждения и поддержания $pH=8,5-8,8$ добавляются реагенты – гидроксиды натрия и магния ($NaOH$ и $Mg(OH)_2$). Образующиеся кристаллы опускаются на дно колонны, откуда регулярно удаляются. Отделившиеся тонкодисперсные частицы струвита подаются назад в реактор в качестве инокулята. Кристаллы струвита размером 0,5-1,0 мм формируются через десять дней. В течение суток продукт обезвоживается в фильтрующей установке с элементами рукавного типа или подсушивается при температуре окружающей среды. Установка успешно работает, струвит продается в качестве сырья для производства удобрений (Nawa, 2009 г.).

Существует также ряд процессов «влажного» извлечения фосфора из осадка с различным содержанием сухого вещества под действием кислоты, давления, температуры и окислителей. Наиболее распространенными из них являются процессы KREPRO, LOPROX, Aqua Reci и Seaborne/Gifhorn (Adam, 2009 г.). Результаты обнадеживают, однако существует необходимость в продолжении исследований. Химический состав извлеченного фосфора хорошо известен, поэтому необходимы технические решения для создания продукции на его основе. В марте 2010 г. была введена в эксплуатацию промышленная установка Seaborne/Gifhorn (извлечение фосфора с помощью MgO , $NaOH$, Na_2S , H_2SO_4 и флокулянта), однако ее работа была прекращена в связи с техническими трудностями. Капиталоемкость данной установки составила около 7,5 млн € (Bayerle, 2009 г.).

Процесс Mephrec представляет собой **термический метод** извлечения фосфора из обезвоженного осадка, а также из золы, полученной при моносжигании (Adam, 2009 г., Scheidig, 2009 г., Petzet and Cornel, 2011 г.). Он основан на процессах плавки и газификации при температуре около 2000°C с добавлением металлургического кокса или аналогичных продуктов при образовании шлака, содержащего большую часть фосфора. Обезвоженный осадок смешивается с цементом и сжигается в шахтной печи. Для формирования шлама к нему добавляется металлургический кокс, известняк или доломит.



Рис. 11-4: Извлекаемый фосфор может применяться для улучшения качества почв и повторного использования биогенных элементов. Фото: сайт shutterstock.com/Singkham

11.3 ИЗВЛЕЧЕНИЕ ФОСФОРА ИЗ ЗОЛЫ

В золе, образующейся при моносжигании осадка (см. главы 8 и 9), содержатся высокие концентрации фосфора, но в химически связанном виде. При сжигании органическое вещество сгорает, что ведет к разрушению всех вредных органических соединений. Ртуть удаляется в системе очистки отходящих газов. Концентрации всех других тяжелых металлов, однако, выше, чем в обезвоженном или высушенном осадке. Сброс золы на полигон ТБО означает потерю ценного ресурса и поэтому не рекомендуется. В золе от совместного сжигания осадка в связи со смешиванием с отходами или углем концентрация фосфора часто слишком низка для его извлечения.

Принцип действия

Существуют различные возможности утилизации фосфора из моносжигаемого осадка:

- использование золы после обработки, направленной на увеличение биодоступности (например, RecoPhos);
- отделение тяжелых металлов и обработка, направленная на повышение биодоступности, (обработка кислотами и основаниями: PASH, BioCon; термохимические процессы – AshDec и Mephrec (Petzet and Cornel, 2010 г.).

По информации, полученной от поставщиков различных технологий, если фосфор в золе не будет преобразован в более растворимую форму, чем та, в которой он находится после моносжигания осадка, он будет усваиваться растениями лишь через 3–5 лет после внесения в почву (Hermann, 2012 г.). Тем не менее, на юге Нидерландов имеется завод по моносжиганию осадка, который поставляет золу производителю фосфора Thermphos International B.V. При использовании процесса термической обработки Ash-Dec имеется возможность преобразовать фосфор в более растворимую и биодоступную для растений форму (Hermann, 2012 г.). Процесс в основном заключается в моносжигании осадка при температуре около 1000°C с добавлением хлоридов магния и калия и последую-

щей **химической обработкой** золы. Данный процесс находится на стадии перехода к промышленным масштабам. Поставщик технологии (компания Outotec) в настоящее время работает над концептуальным дизайном двух промышленных проектов.

Ряд процессов еще находится на этапе разработки и испытаний, например, процессы SEPHOS, PASCH и BioCon, основанные на «влажном» химическом разрушении, и Thermophos, основанный на термическом разрушении (для дополнительной информации см. Adam, 2009 г.).

Термическая обработка может проводиться либо на очистных сооружениях, либо на электростанции (Scheidig et al., 2009 г.). В последнем случае система очистки отходящих газов может быть встроена в систему очистки отходящих газов электростанции, которая, как правило, является более экономичной, чем автономные системы очистки.

Инновационные методы:

Технологии находятся еще на стадии разработки. Зола, образующаяся при моносжигании осадка, может храниться в накопителях для использования в будущем. При проектировании установок для моносжигания следует предусмотреть возможности такого хранения.

11.4 ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФОСФОРА: ОБОБЩЕНИЕ

В настоящее время существует множество различных методов и технологий, которые частично реализованы, некоторые даже в промышленном масштабе. Почти все методы имеют определенные недостатки, например, высокую стоимость и меньшую эффективность, чем предполагалось. В ряде стран ведутся многочисленные исследования, поэтому ожидается, что возможные технические решения будут найдены в ближайшем будущем. Коммерческая реализация данных технологий может начаться уже через несколько лет, хотя это также зависит от мировых цен на фосфориты.



Рис. 11-5: Попадающий в водотоки фосфор вызывает эвтрофикацию, которая проявляется, в частности, в виде избыточного роста нитчатых водорослей. Фото: Самули Корпинен, ХЕЛКОМ



12. ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО В РЕГИОНЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В СФЕРЕ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ

Холодные зимы влияют на порядок обращения с осадком в регионе Балтийского моря. Фото: Самули Корпинен, ХЕЛКОМ

В настоящей главе дана краткая характеристика законодательно-нормативной базы Европейского Союза в сфере обработки осадка. Наибольшее внимание уделено Директиве ЕС по осадкам сточных вод. Кроме того, рассмотрено национальное законодательство государств региона Балтийского моря, как являющихся, так и не являющихся членами ЕС. Выявлен ряд правовых ограничений, которые касаются различных возможностей обращения с осадком.

12.1 ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО СТРАН ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА В СФЕРЕ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Действие нормативно-правовых документов Европейского Союза распространяется на все государства региона Балтийского моря, за исключением России и Беларуси. Государственное регулирование способов обработки и утилизации осадка, в основном, осуществляется с помощью Директив, которые включаются в национальные правовые системы государств-членов ЕС. В заключительных положениях каждой из Директив указан срок реализации поставленной цели (в случае, если Директива устанавливает конкретные задачи, например, Директива о полигонах), а также правила в отношении предоставления отчетности и обмена информацией.

Директивы принимались на протяжении двух последних десятилетий, в связи с чем в них содержатся требования различной степени строгости. Некоторые государства-члены ЕС уже успели заменить два или более закона, направленных на реализацию одной Директивы. Как следствие, в ряде стран ЕС в настоящее время действуют более строгие требования по обработке осадка, чем в других, поэтому назрела необходимость в пересмотре некоторых Директив, особенно устаревших.

Ниже представлены нормативно-правовые документы ЕС в сфере обработки и утилизации осадков сточных вод, действующие по состоянию на 1 сентября 2011 г. (перечислены в хронологическом порядке, в соответствии с датой принятия):



Рис. 12-1: Захоронение осадка регламентируется соответствующими нормативно-правовыми документами.
Фото: сайт shutterstock.com/Pedro Miguel Sousa

1. ДИРЕКТИВА СОВЕТА от 12 июня 1986 г. об охране окружающей среды и, в частности, почвы, при использовании осадка сточных вод в сельском хозяйстве (86/278/ЕЕС) – **Директива по осадкам сточных вод**
2. ДИРЕКТИВА СОВЕТА от 21 мая 1991 г. об очистке городских сточных вод (91/271/ЕЕС) – **Директива об очистке городских сточных вод**
3. ДИРЕКТИВА СОВЕТА от 12 декабря 1991 г. о защите вод от загрязнения нитратами из сельскохозяйственных источников (91/676/ЕЕС) – **Директива о нитратах**
4. ДИРЕКТИВА СОВЕТА от 26 апреля 1999 г. о полигонах захоронения отходов (1999/31/ЕС) – **Директива о полигонах**
5. ДИРЕКТИВА ЕВРОПЕЙСКОГО ПАРЛАМЕНТА И СОВЕТА от 4 декабря 2000 г. по сжиганию отходов (2000/76/ЕС) – **Директива по сжиганию**

6. РЕШЕНИЕ КОМИССИИ от 3 мая 2000 г, заменяющее Решение 94/3/ЕС, в котором определялся перечень отходов в соответствии со статьей 1(а) Директивы Совета 75/442/ЕЕС об отходах, и Решения Совета 94/904/ЕС, в котором определялся перечень опасных отходов в соответствии со статьей 1 (4) Директивы Совета 91/689/ЕЕС об опасных отходах (2000/532/ЕС)

7. ДИРЕКТИВА ЕВРОПЕЙСКОГО ПАРЛАМЕНТА И СОВЕТА от 27 сентября 2001 г. по поддержке производства электричества возобновляемыми источниками энергии на внутреннем рынке электроэнергии (2001/77/ЕС) – Директива по возобновляемой энергетике

8. РЕГЛАМЕНТ (ЕС) ЕВРОПЕЙСКОГО ПАРЛАМЕНТА И СОВЕТА от 13 октября 2003 г. по удобрениям (№ 2003/2003) – Регламент по удобрениям

9. ДИРЕКТИВА ЕВРОПЕЙСКОГО ПАРЛАМЕНТА И СОВЕТА от 19 ноября 2008 г. об отходах, отменяющая определенные Директивы (2008/98/ЕС) – Рамочная директива об отходах

10. ДИРЕКТИВА ЕВРОПЕЙСКОГО ПАРЛАМЕНТА И СОВЕТА от 16 декабря 2008 г. по стандартам качества окружающей среды в области водной политики, вносящая поправки и впоследствии отменившая Директивы Совета 82/176/ЕЕС, 83/513/ЕЕС, 84/156/ЕЕС, 84/491/ЕЕС, 86/280/ЕЕС, а также вносящая изменения в Директиву 2000/60/ЕС Европейского Парламента и Совета (2008/105/ЕС) – Директива о веществах, борьба с загрязнением которыми требует первоочередных мер.

Ниже рассмотрено несколько Директив, начиная с наиболее общих. Особенно важной и касающейся конкретно осадков является Директива по осадкам сточных вод (86/278/ЕЕС).

Рамочная Директива об отходах (2008/98/ЕС)

С нормативно-правовой точки зрения, Рамочная директива об отходах является основополагающим правовым актом, устанавливающим порядок обращения со всеми видами отходов, в том числе осадками сточных вод, и обязывающим государства-члены ЕС принять меры для предотвращения и снижения образования отходов и их потенциального вредного воздействия. Статья 4 Директивы устанавливает иерархию управления отходами, в соответствии с которой приоритет должен отдаваться предотвращению образования отходов, а затем, в порядке убывания важности, снижению производства отходов, их повторному использованию, утилизации и рекуперации энергии. В статье также определены принципы использования и утилизации отходов, порядок составления планов управления отходами и проведения процедур утверждения и мониторинга.



Рис. 12-2: Директива по осадкам сточных вод требует лабораторного исследования осадка и почвы.
Фото: Ян-Эрик Люфт, Entsorgungsbetriebe Lübeck

Еще одной важной функцией Рамочной директивы об отходах является определение соответствующей терминологии («отходы», «биологические отходы», «опасные отходы») и утверждение перечня отходов, приведенного в Решении Комиссии 2000/532/ЕС¹. Согласно Директиве, биологическими отходами являются био-разлагаемые отходы садоводства, пищевые и кухонные отходы домашних хозяйств, предприятий общественного питания, торговых предприятий, а также сопоставимые отходы предприятий пищевой промышленности. Таким образом, осадки сточных вод не являются биологическими отходами. Кроме того, учитывая тот факт, что осадок не включен ни в одну из групп исключений, можно предположить, что к нему применимы все положения данной Директивы, а также других Директив, регламентирующих обращение с отходами, если в их тексте явно не указано иное. Директива устанавливает, что в дополнение к ней применяются конкретные нормативные акты, регулирующие определенные виды отходов (например, осадки сточных вод). В заключительных положениях Директива обязывает государства-члены ЕС до 12 декабря 2010 г. ввести в действие соответствующие национальные нормативно-правовые акты.

Директива об очистке городских сточных вод (91/271/ЕЕС)

Как следует из названия Директивы, она регламентирует все этапы процесса очистки сточных вод, то есть в некоторой степени и обращение с осадком сточных вод. Статья 14 подтверждает принципы Рамочной директивы об отходах и указывает, что осадок по мере возможности необходимо повторно использовать, однако не определяет конкретных требований, за исключением того, что «способы утилизации должны свести к минимуму негативное воздействие на окружающую среду».

¹С поправками, внесенными в 2001 г. рядом других решений; полный вариант вступил в силу 1 января 2002 г.

Та же статья запрещает сброс осадка в открытые водоемы, сброс осадка с судов и слив осадка из трубопроводов после 1 января 1999 г. Директива дополнительно обязывает государства-члены ЕС к 31 мая 2005 г. организовать вторичную очистку городских сточных вод от биогенных элементов в процессе биологической очистки и вторичного отстаивания.

В соответствии со статьей 16 *Директивы об очистке городских сточных вод*, отчетность по утилизации осадка подается один раз в 2 года (соответствующие органы на национальном уровне обязаны передавать информацию в Комиссию). Государствам-членам ЕС предписано выполнить требования Директивы не позднее 30 июня 1993 г.²

Директива по осадкам сточных вод (86/278/ЕЕС)

Данная Директива, несмотря на то, что в ней регламентировано исключительно использование осадка³ в сельском хозяйстве, является единственным касающимся конкретно осадка сточных вод на уровне ЕС и наиболее важным правовым актом. Осадок хозяйственно-бытовых и городских сточных вод, септиков или других аналогичных объектов может использоваться в сельском хозяйстве лишь в соответствии с требованиями данной Директивы. Кроме того, в статье 2(b) изложены приемлемые методы обработки осадка, используемого в сельском хозяйстве: биологическая, химическая или тепловая обработка, длительное хранение или любой другой соответствующий процесс, который позволит значительно снизить степень сбраживания осадка и опасность для здоровья в результате его применения. Необработанный осадок допускается использовать лишь при внутрипочвенном инжектировании или запашке в почву в соответствии со специальными условиями, установленными государствами-членами ЕС.

Директива по осадкам сточных вод устанавливает предельно допустимые концентрации (ПДК) тяжелых металлов в почве и в осадке, а также среднегодовую нагрузку на почву. Превышать любой из показателей ПДК запрещается⁴. Кроме того, Директива запрещает использование осадка на пастбищах и почвах, предназначенных под плодовоовощные культуры (за исключением плодовых деревьев). В Приложениях ПА и ПВ Директивы изложены правила проведения лабораторных исследований (хотя в Директиве прямо не указано, кто должен осуществлять данные исследова-

ния): исследования осадка проводятся один раз в полгода или один раз год, если их результаты в течение года останутся стабильными. Необходимо выполнять анализ следующих параметров: влажность, содержание органического вещества, рН, концентрации азота, фосфора и тяжелых металлов.

Лабораторные исследования почвы проводятся лишь с целью определения рН и концентрации тяжелых металлов, периодичность пробоотбора определяется самими государствами-членами ЕС. Следует отметить, однако, что не все из анализируемых параметров накладывают ограничения на применение осадка. Определение некоторых параметров проводится с целью получения информации или дальнейшей оценки. Статья 10 обязывает государства-члены ЕС вести учет количества образовавшегося и переданного для использования в сельском хозяйстве осадка, его состава и свойств, типа обработки, наименований и адресов организаций-получателей и участков внесения осадка, и передавать такую информацию в соответствующие органы власти.

Директива оставляет возможность принятия более строгих мер. Государствам-членам ЕС в течение 3 лет необходимо было ввести в действие законы для реализации данной Директивы (т. е. не позднее 12 июня 1989 г.) и отчитываться перед Комиссией каждые 3 года.

Директива о полигонах захоронения отходов (1999/31/ЕС)

В целом, Директива о полигонах захоронения устанавливает строгие эксплуатационные и технические требования, касающиеся захоронения отходов на полигонах ТБО, что ограничивает возможность хранения там осадков сточных вод. Данный правовой акт предусматривает меры и процедуры для предотвращения и снижения негативного воздействия полигонов ТБО на окружающую среду, а также любой опасности для здоровья человека и определяет различные категории отходов (бытовые/опасные/неопасные/инертные), требования к устройству полигонов, на которых можно утилизировать каждую категорию, стандартную процедуру приема отходов на полигон, а также систему получения разрешений для функционирования полигона.

Директивой установлено, что в ее задачи не входит разработка требований в отношении поверхностного

²Для стран, вступивших в ЕС позже, были предусмотрены другие сроки реализации, иногда с более длительным переходным периодом. Тем не менее, в настоящее время данная Директива, как и остальные упомянутые в этой главе, успешно включены в национальное законодательство государств-членов ЕС в регионе Балтийского моря.

³Более конкретные требования в отношении производства удобрений из осадков сточных вод, их вида и маркировки можно найти в Регламенте ЕС 2003/2003 по удобрениям.

⁴Тем не менее, Директива разрешает государствам-членам ЕС изложить требования к предельной норме внесения в почву осадков при условии соблюдения требований в отношении содержания в осадке тяжелых металлов и к среднегодовым нагрузкам, либо только к одному из данных параметров.

внесения осадков (в том числе осадков сточных вод) с целью повышения плодородности или рекультивации почв. Директива запрещает принятие на полигон ТБО жидких отходов (осадок сточных вод не отнесен к категории жидких отходов). Директива о полигонах также обязывает подвергать обработке отходы, предназначенные для утилизации на полигонах; «обработка», в соответствии со статьей 2(h), означает любые физические, термические или биологические процессы (включая сортировку), которые изменяют характеристики отходов с целью уменьшения их объема или опасного воздействия, облегчают обращение с отходами или повышают степень извлечения.

Кроме того, Директива устанавливает, что каждое государство-член ЕС не позднее 2003 г. обязано реализовать национальную стратегию с целью уменьшения количества поступающих на полигоны ТБО биоразлагаемых отходов (которые определены как «любые отходы, которые способны подвергаться анаэробному или аэробному разложению», что включает также осадок сточных вод) путем раздельного сбора, компостирования, производства биогаза или извлечения и повторного использования веществ/рекуперации энергии. Стратегия устанавливает следующие цели:

- не позднее 2006 г. сократить общее количество биоразлагаемых бытовых отходов, имеющих по состоянию на 1995 г., до 75%;
- не позднее 2009 г. — до 50%;
- не позднее 2012 г. — до 35%.

Отчеты предоставляются через каждые 3 года. Госу-



Рис. 12-3: Концентрации нитратов и опасных веществ в открытых водоемах регламентируются соответствующими нормативно-правовыми документами.

Фото: сайт shutterstock.com/Chepko Danil Vitalevich

дарства-члены ЕС должны были ввести в действие законы, необходимые для реализации Директивы, в течение 2 лет, т. е. не позднее 16 июля 2001 г.

Директива о нитратах (91/676/ЕЕС) и Директива о веществах, борьба с загрязнениями которыми требует первоочередных мер (2008/105/ЕС)

Две данные Директивы регламентируют в основном сброс отходов на полигоны ТБО. Первая требует выявления на территории государств-членов ЕС зон, уязвимых к действию нитратов. Данные зоны определены как области, в которых концентрации нитратов в воде равны или превышают предельное значение, установленное в Директиве ЕС о питьевой воде. Соответствующие требования определены в Директиве 75/440/ЕЕС о качестве вод открытых водоемов, предназначенных для забора питьевой воды на территории государств-членов ЕС. В целях сокращения загрязнения вод соединениями азота необходимо разработать и реализовать программы действий в зонах, уязвимых к действию нитратов, а также ограничить внесение в почву минеральных удобрений (с учетом характеристик конкретной зоны).

Директива о веществах, борьба с загрязнениями которыми требует первоочередных мер, устанавливает ограничения на концентрации в открытых водоемах 33 вредных веществ, содержание которых в водах Европы вызывает серьезную озабоченность. К ним относятся, например, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), которые в основном являются побочными продуктами сжигания, и полибромированные дифенилэфиры (ПБДЭ), которые используются в составе огнезащитных средств, а также тяжелые металлы, концентрации которых лимитированы Директивой по осадкам сточных вод 86/278/ЕС (кадмий, ртуть, никель и свинец, из которых первые два определены как опасные вещества, борьба с загрязнением которыми требует первоочередных мер) и 8 других загрязняющих веществ, например, ДДТ (дихлор-дифенил-трихлорэтан) и некоторые другие пестициды. Директива требует определения так называемых «зон смешивания», прилегающих к точкам сброса в водотоки, где концентрация веществ, борьба с загрязнением которыми требует первоочередных мер, может превышать установленный Директивой ЕС стандарт качества питьевой воды. Соответствующие требования определены в Директиве 75/440/ЕЕС о качестве вод открытых водоемов, предназначенных для забора питьевой воды на территории государств-членов ЕС.

Директива по сжиганию отходов (2000/76/ЕС) и Директива по возобновляемой энергетике (2001/77/ЕС)

Директива по сжиганию отходов регламентирует ряд требований к мусоросжигательным заводам, а также установкам, специально предназначенным для сжигания

осадков сточных вод. Она также устанавливает требования в отношении всех выбросов с данных установок, например, атмосферных выбросов, твердой фазы, образующейся при сжигании (зола) и при очистке отходящих газов, жидкой фазы, образующейся при очистке отходящих газов (вода из скруббера), и фильтрата из накопителей золы. Для эксплуатации установки по сжиганию осадка, согласно данной Директиве, необходимо получить экологическое разрешение соответствующих органов.

Государствам-членам ЕС разрешено самостоятельно определить меры наказания за несоблюдение данных требований. Положения Директивы распространяются на действующие предприятия с 28 декабря 2005 г. Национальные законы, нормативные акты и административные положения, необходимые для реализации данной Директивы, должны быть введены в действие не позднее 28 декабря 2002 г.

Директива по сжиганию отходов регламентирует сжигание бытовых отходов, опасных отходов и частично биологических отходов, однако не регламентирует деятельность мусоросжигательных заводов, обрабатывающих лишь растительные отходы лесного хозяйства, сельского хозяйства и пищевой промышленности, древесных и пробковых отходов. Директива не стимулирует государства стремиться к рекуперации энергии, что идет вразрез с иерархией управления отходами в Рамочной директиве об отходах. В свою очередь, общие рамки для содействия увеличению доли возобновляемых источников энергии в производстве электроэнергии установлены в принятой позднее *Директиве по возобновляемой энергетике* (2001/77/ЕС).

Другие нормативные акты и стандарты

Согласно определению, изложенному в REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) – Регламенте о регистрации, оценке, получении разрешений и ограничении оборота химических веществ, отходы не считаются химическим веществом, поэтому большинство требований Регламента на отходы и, в частности, на осадок, не распространяется. Тем не менее, поставщики химических веществ должны подтвердить свою способность управлять рисками на всех этапах жизненного цикла продукта, в том числе на стадии его превращения в отходы. Европейское агентство по химическим веществам (European Chemicals Agency, ECHA) рассмотрело инструктивно-методический документ по отходам и извлеченным веществам и приняло его в мае 2010 г. Как только извлеченные вещества перестают быть отходами, на них снова распространяются требования REACH⁵.

Момент, в который отходы «перестают быть отхода-

ми», является предметом длительных дискуссий. В соответствии со статьями 6(1) и 6(2) Рамочной директивы об отходах, некоторые указанные отходы перестают быть отходами тогда, когда они подверглись восстановлению и соответствуют ряду критериев, разработанным согласно определенным правовым условиям, в частности:

- а) данное вещество или продукт обычно используются для конкретных целей;
- б) для таких веществ или продуктов имеется рынок сбыта или спрос;
- в) вещество или продукт отвечают техническим требованиям для конкретных целей и соответствуют действующему законодательству и стандартам, применимым к данному виду продукции, а также
- д) применение такого вещества или продукта не приведет к общим неблагоприятным экологическим последствиям или воздействию на здоровье человека.

С целью разработки ряда стандартизированных методов испытаний, надлежащего использования и утилизации осадков и отходов, а также правильного выполнения требований законодательства ЕС, **Европейским комитетом по стандартизации (CEN)** в 1993 г. был создан **Технический комитет 308 (TC308)**. Комитет CEN TC 308 отвечает за разработку стандартов для аналитической характеристики осадков и кодексов надлежащей практики по различным методам применения и способам утилизации осадка. Европейские стандарты должны включаться в сборники национальных стандартов без изменений. Другими соответствующими комитетами являются **ISO/TC190** «Качество почвы», **CEN/TC223** «Почвоулучшители и почвенные субстраты» и **CEN/TC292** «Характеристика отходов».

Последние события в правовой сфере

Наиболее важным последним событием в отношении обработки осадка является внесение изменений и дополнений в Директиву по осадкам сточных вод. **3-й проект** (с 2000 г.) представляет собой почти полный пересмотр Директивы. Наиболее важные новые аспекты касаются введения четких требований для определения (1) методов глубокой (расширенной) обработки или (2) методов традиционной обработки, главным образом, с целью обеззараживания осадка и снижения интенсивности запаха.

После обработки осадка глубокими (расширенными) методами его можно использовать на сенокосно-пастбищных угодьях под кормовые культуры, на пашнях,

⁵ В странах ЕС осадок считается отходами. Тем не менее, существуют некоторые расхождения в толковании правового статуса компоста и удобрений, полученных из осадка. В Германии и Финляндии, если такой продукт соответствует требованиям законодательства об удобрениях, его маркируют как «отходы производства». В Латвии и Литве его маркируют как «продукт» – органическое удобрение или компост, произведенный на основе официального разрешения. Поэтому в этих четырех странах на данные продукты могут распространяться требования REACH.

для плодовоовощных культур, которые соприкасаются с землей и употребляются в пищу в сыром виде, плодовых деревьев, виноградников, плантаций деревьев и лесонасаждений, парков, зеленых зон, городских садов, любых городских общественных зон и рекультивации земель. Осадок, обработанный традиционными методами, разрешается использовать для таких целей, если он вносится путем глубокого внутрипочвенного инъектирования при условии соблюдения временных ограничений на выпас скота, сбор урожая и доступ населения. После традиционной обработки использование осадка сточных вод в парках, зеленых зонах и городских садах, а также любое использование в лесах запрещается.

Кроме того, в 3-м проекте ужесточены требования к концентрациям тяжелых металлов по сравнению с действующими в настоящий момент нормами; предлагается ввести новые показатели, зависящие от содержания фосфора. В отличие от положений текущей Директивы, предельно допустимые концентрации предлагается установить также для органических микрозагрязнителей и диоксинов.

В 2010 г. Европейская Комиссия отказалась от идеи разработки отдельного законодательства о биологических отходах, и, следовательно, новые решения, стимулирующие более эффективную обработку биологических отходов, должны были приниматься путем пересмотра действующего законодательства, в частности, *Директивы по осадкам сточных вод*. Таким образом, 3-й проект частично потерял свою актуальность. В недавно разработанном **«Рабочем документе по осадку и биологическим отходам»** предложена трехуровневая система правового регулирования для:

1) компоста и «дигестата» высокого качества (источником которых являются отдельно собранные отходы) – вносятся в почву без дальнейшего контроля и регламентируются *Критериями перехода биологических отходов в сырье*;

2) осадка и биологических отходов, используемых в сельском хозяйстве – регламентируются *пересмотренной Директивой об осадке сточных вод*, которая установит для них минимальные стандарты качества;

3) биологических отходов и осадков низкого качества, использование которых ограничено несельскохозяйственными землями – регламентируются *национальным законодательством*.

Что касается новых предложений по пересмотру *Директивы по осадкам сточных вод*, предложение об установлении предельно допустимых концентраций тяжелых металлов в зависимости от содержания фосфора было предварительно отклонено, так как предельно допустимые нормы должны носить общий характер и не зависеть от одного конкретного агрономического параметра. Кроме того, были предложены следующие ограничения: достаточная стабилизация осадка (препятствующая образованию интенсивного запаха), обеззараживание, запрет на использование осадка сточных вод на насыщенных водой, затопленных, замёрзших или заснеженных почвах и периодичность внесения.

Критерии перехода отходов в сырье, упомянутые выше, находятся на стадии разработки. Первая редакция «Рабочего документа» опубликована в феврале 2011 г.

12.2 НАЦИОНАЛЬНОЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО ПО ОБРАЩЕНИЮ С ОСАДКОМ СТОЧНЫХ ВОД В СТРАНАХ РЕГИОНА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

В данном разделе подробно рассмотрено законодательство каждой из стран в регионе Балтийского моря в сравнении с нормативно-правовыми документами ЕС. С учетом сходства законодательства страны сгруппированы следующим образом: 1) три скандинавских государства – Дания, Финляндия и Швеция, а также Германия, которая установила самые жесткие требования в отношении обработки осадка; 2) Польша и страны Балтии; 3) два государства, не являющиеся членами ЕС, в регионе Балтийского моря – Россия и Беларусь.

Анализ законодательства каждой из стран в сфере обращения с осадком базируется на следующих факторах:

- общие экологические правовые акты и компетентные органы;
- нормативно-правовые документы по сельскохозяйственному использованию осадка:
 - типы осадков;

- обязательные или предпочтительные методы обработки;
- предельно допустимые концентрации тяжелых металлов, содержание патогенных микроорганизмов и органических соединений;
- максимально допустимые нормы внесения осадка или конкретного элемента (например, общего фосфора) в год;

- поверхности, на которых использование осадка запрещено;
- лабораторные исследования осадка и почв и периодичность пробоотбора.
- нормативно-правовые документы о возможности другого использования осадка, например, в лесном хозяйстве, при благоустройстве, рекультивации, озеленении;
- конкретные правила, касающиеся сжигания и захоронения осадка на полигонах ТБО.

Информация по каждой группе стран собрана в две сопоставительные таблицы – одна по предельно допустимым концентрациям тяжелых металлов, а вторая по обзору ключевых требований законодательства – в целях более наглядной демонстрации сходства, различия и степени строгости правовых мер, выбранных в каждой стране для регулирования обращения с осадком сточных вод. Более подробный анализ законодательства каждой страны можно найти в приложениях к данной публикации (на английском языке).

12.2.1 Скандинавские страны и Германия

Табл. 12-1: Сравнительный анализ предельно допустимых концентраций тяжелых металлов, установленных действующим законодательством Финляндии, Швеции, Дании и Германии при использовании осадков в сельскохозяйственных целях. Если в государстве действуют несколько нормативных актов с различными требованиями в отношении концентраций тяжелых металлов, в качестве источника данных для таблицы выбран нормативный акт, реализующий положения Директивы по осадку сточных вод.

Страна (анализируемое вещество)	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
	в мг/кг сухого вещества							
ФИНЛЯНДИЯ (в осадке)	3	300	600	2	100	150	1 500	-
ШВЕЦИЯ (в осадке)	2	100	600	2,5	50	100	800	-
ДАНИЯ (в осадке)	0,8	100	1 000	0.8	30	120	4 000	25 садоводство
ГЕРМАНИЯ (в осадке)	10 (5)*	900	800	8	200	900	2500 (2000)*	-
Директива ЕС 86/278 (в осадке)	20–40	-	1 000 – 1 750	16–25	300–400	750– 1 200	2 500 – 4 000	-
ФИНЛЯНДИЯ (в почве, pH>5,8 (при стабилизации известью 5,5))	0,5	200	100	0,2	60	60	150	-
ШВЕЦИЯ (в почве)	0,4	60	40	0.3	30	40	100–150	-
ДАНИЯ (в почве)	0,5	30	40	0.5	15	40	100	-
ГЕРМАНИЯ (в почве)	1,5 (1)*	100	60	1	50	100	200 (150)*	-
Директива ЕС 86/278 (в почве, pH 6–7)	1–3	-	50–140	1–1.5	30–75	50–300	150–300	-
в г/га/год								
ФИНЛЯНДИЯ (среднегодовая нагрузка на почву)	1,5	300	600	1	100	100	1 500	-
ШВЕЦИЯ (среднегодовая на- грузка на почву)	1,75	100	600	2,5	50	100	800	-
ДАНИЯ (среднегодовая на- грузка на почву)	Законодательством Дании ПДК не установлены							
ГЕРМАНИЯ (среднегодовая на- грузка на почву)	Законодательством Германии ПДК не установлены							
Директива ЕС 86/278 (ежегод- ные нагрузки)	150	-	12 000	100	3 000	15 000	30 000	-

*Для легких почв с содержанием глины <5% и pH 5–6

Табл.12-2: Краткий обзор требований действующего законодательства Финляндии, Швеции, Дании и Германии в сфере обращения с осадками сточных вод в сравнении с Директивами ЕС (--- = «не установлено»)

Страна \ Параметр	Методы обработки (при использовании в сельском хозяйстве)	Применение необработанного осадка (при использовании в сельском хозяйстве)	Предельно допустимое содержание патогенных микроорганизмов (при использовании в сельском хозяйстве)	ПДК органических соединений (при использовании в сельском хозяйстве)
ФИНЛЯНДИЯ	Сбраживание, стабилизация известью или другой метод, значительно снижающий содержание патогенных микроорганизмов	Запрещено	---	---
ШВЕЦИЯ	Биологическая, химическая, тепловая обработка, длительное хранение или другой процесс, значительно снижающий опасность для здоровья	Допускается при внесении в почву в течение суток после распределения по поверхности	---	---
ДАНИЯ	Стабилизация, компостирование, пастеризация	Запрещено	Отсутствие <i>Salmonella</i> ; содержание фекальных стрептококков менее 100 на 1 г	Диэтилгексилфталаты (ДЭГФ), полиароматические углероды (ПАУ) (9), нонилфенол этоксилаты (НФЭ), линейные алкилбензол сульфонаты (ЛАС)
ГЕРМАНИЯ	---	Запрещено	---	Адсорбируемые органические халиды (АОХ), полихлорированные дифенилы (ПХД) (6), полихлорированные дибензодоксины (ДХДД)/ полихлорированные дибензофураны (ПХДФ)
ЕС	Биологическая, химическая, тепловая обработка, длительное хранение или другой процесс, значительно снижающий опасность для здоровья	Государства-члены ЕС могут изложить условия использования необработанного осадка (при внутрипочвенном инъецировании или запашке в почву)	---	---

Предельная норма внесения осадка (при использовании в сельском хозяйстве)	Периодичность пробоотбора (при использовании в сельском хозяйстве)	Использование в лесном хозяйстве, лесоводстве, при рекультивации земель, озеленении Сжигание/ сброс на полигоны ТБО	Сжигание/ сброс на полигоны ТБО
Определяется на основании качественного состава почвы и потребности культивируемых культур в питательных веществах	Осадок: 12 раз в год в течение первого года, затем 4 раза в год Почва: перед первым внесением	Решение Министерства сельского и лесного хозяйства – те же ПДК, что и для сельского хозяйства + мышьяк	Сбор, обработка и использование «свалочного» газа. Сжигание: предпочтительно с рекуперацией энергии
Макс. содержание общего Р: в соответствии с классом почвы в зависимости от обеспеченности подвижными формами Р и общим содержанием NH ₄ -N: 150 кг/га при периодичности внесения не менее 1 года	Осадок: 1, 4 или 12 раз в год Почва: перед первым внесением	Рекомендации SEPA	Захоронение на полигонах ТБО с 2005 г. запрещено Сжигание: по разрешению региональных органов власти
7 т сухого вещества /га при периодичности внесения не менее 1 года	Осадок: для тяжелых металлов – каждые 3 месяца, органических соединений – ежегодно Почва: перед первым внесением	В сельском хозяйстве – по решению местных органов власти; в зеленых зонах – пастеризованный осадок	---
5 т сухого вещества/га при периодичности внесения не менее 3 лет	Осадок: для тяжелых металлов, органических соединений – 2 раз в год, Почва: перед первым внесением, каждые 10 лет	Запрет на использование в лесах, лесопарковых и зеленых зонах	С 2005 г. на полигоны ТБО принимаются лишь отходы с содержанием органического вещества менее 5%
Государства-члены ЕС самостоятельно устанавливают максимально допустимую норму внесения осадка	Осадок: 1–2 раз в год Почва: перед первым внесением (государства-члены ЕС могут устанавливать более частую периодичность пробоотбора)	Не регламентировано Директивой по осадкам сточных вод (86/278/ЕЕС)	Директива о полигонах (1999/31/ЕС) Директива по сжиганию (2000/76/ЕС)

12.2.2 Страны Балтии и Польша

Табл. 12-3: Краткий обзор требований действующего законодательства Эстонии, Латвии, Литвы и Польши в сфере обращения с осадками сточных вод в сравнении с Директивами ЕС

Страна / Параметр	Методы обработки (при использовании в сельском хозяйстве)	Применение необработанного осадка (при использовании в сельском хозяйстве)	Предельно допустимое содержание патогенных микроорганизмов (при использовании в сельском хозяйстве)	ПДК органических соединений (при использовании в сельском хозяйстве)
ЭСТОНИЯ	Анаэробное/аэробное сбраживание, включая компостирование; химическая или термическая обработка	Допускается только для благоустройства территорий, озеленения и рекультивации при внесении в почву в течение 2 суток после распределения по поверхности	Бактерии группы кишечной палочки <1000 КОЕ, отсутствие яиц гельминтов в 1 л	---
ЛАТВИЯ	Хранение, анаэробное сбраживание, аэробная стабилизация и стабилизация известью, компостирование, пастеризация, сушка при температуре 100°C	Определено нормативными требованиями, однако сфера применения не указана	---	---
ЛИТВА	Биологическая, химическая или термическая обработка, длительное хранение или другие процессы, значительно снижающие опасность для здоровья	Запрещено, как и осадок III категории или класса С	<i>Escherichia coli</i> , <i>Clostridium perfringens</i> , яйца и личинки гельминтов, патогенные энтеробактерии ⁶	---
ПОЛЬША	Стабилизация + биологические, химические, тепловые или другие процессы, значительно снижающие опасность для здоровья	Запрещено	Отсутствие <i>Salmonella</i> в 100 г, а также яиц аскариды, власоглавы и токсокары	---
ЕС	Биологическая, химическая, тепловая обработка, длительное хранение или другой процесс, значительно снижающий опасность для здоровья	Государства-члены ЕС могут изложить условия использования необработанного осадка (при внутрипочвенном инжестировании или запашке в почву)	---	---

⁶Требуется проведение анализа на отсутствие всех перечисленных видов паразитов, хотя для каждого из них установлены отдельные требования, с учетом распределения осадка по 3 классам.

Предельная норма внесения осадка (при использовании в сельском хозяйстве)	Периодичность пробоотбора (при использовании в сельском хозяйстве)	Использование в лесном хозяйстве, лесоводстве, рекультивации земель, озеленении	Сжигание/сброс на полигоны ТБО
---	Осадок: 2, 4, 6 или 12 раз в год в течение первого года, затем 4, 3, 2, 1 раз в последующие годы Почва: перед первым внесением + каждые 5 лет	При использовании осадка при благоустройстве территорий, озеленении и рекультивации применяются те же требования, что и при использовании в сельском хозяйстве; применяются все требования.	---
Макс. содержание общего Р: 40 кг/га при периодичности внесения не менее 1 года, общего $\text{NH}_4\text{-N}$: 30 кг/га при периодичности внесения не менее 1 года	Осадок: 1, 2, 3, 4 или 12 раз в год Почва: перед первым внесением	При использовании осадка в лесном хозяйстве и рекультивации земель в том же нормативном акте установлены особые условия + макс. содержание; при озеленении – дополнительные ПДК по тяжелым металлам	Захоронение на полигонах ТБО: в нормативном акте по сельскому хозяйству установлены особые условия Сжигание: ---
Макс. содержание общего Р: 40 кг/га при периодичности внесения не менее 1 года, общего N: 170 кг/га при периодичности внесения не менее 1 года	Осадок: 1, 4 или 12 раз в год Почва: перед первым внесением, в дальнейшем в зависимости от результатов	При использовании для рекультивации и в качестве удобрения для сельскохозяйственных культур, выращиваемых с целью их дальнейшего использования в качестве энергетического сырья, в том же нормативном акте установлены особые условия + максимальное количество 100 т/га/год	Захоронение на полигонах ТБО: (Национальный стратегический план управления отходами) снижение количества биологических отходов, вывозимых на полигоны ТБО Сжигание: ---
3 т/га при периодичности внесения не менее 1 года	Осадок: 2, 3 или 6 раз в год Почва: перед первым внесением	Любое другое использование, кроме применения в сельском хозяйстве, зеленых зонах, рекультивации, компостировании запрещено + максимальное количество 15 т/га/год	Захоронение на полигонах ТБО: (Закон об отходах) снижение количества биологических отходов, вывозимых на полигоны ТБО Сжигание: ---
Государства-члены ЕС самостоятельно устанавливают максимально допустимую норму внесения осадка	Осадок: 1-2 раз в год Почва: перед первым внесением (государства-члены ЕС могут устанавливать более частую периодичность пробоотбора)	Не регламентировано Директивой по осадкам сточных вод (86/278/ЕЕС)	Директива о полигонах (1999/31/ЕС) Директива по сжиганию (2000/76/ЕС)

Табл. 12-4: Сравнительный анализ установленных действующим законодательством Эстонии, Латвии, Литвы и Польши предельно допустимых концентраций тяжелых металлов при использовании осадков в сельскохозяйственных целях

Страна (анализируемое вещество)	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
	в мг/кг сухого вещества							
ЭСТОНИЯ (в осадке)	20	1 000	1 000	16	300	750	2 500	-
ЛАТВИЯ (в осадке)	10	600	800	10	200	500	2 500	-
ЛИТВА (в осадке: I категория/II категория)	1,5/20	140/400	75/1000	1/8	50/300	140/750	300/2 500	-
ПОЛЬША (в осадке)	20	1 000	500	16	300	750	2 500	-
Директива ЕС 86/278 (в осадке)	20–40	-	1 000–1750	16–25	300–400	750–1200	2 500–4000	-
ЭСТОНИЯ (в почве)	3	100	50	1,5	50	100	300	-
ЛАТВИЯ (в почве)*	0,5–0,9	40–90	15–70	0.1-0.5	15–70	20–40	50–100	-
ЛИТВА (в почве: песчаная, песчанистый суглинок/суглинок, глинистая)	1/1.5	50/80	50/80	0.6/1.0	50/60	50/80	160/260	-
ПОЛЬША (в почве: легкая/средняя/тяжелая)	1/2/3	50/75/100	25/50/75	0,8/1,2/1,5	20/35/50	40/60/80	80/120/180	-
Директива ЕС 86/278 (в почве, 6<pH<7)	1–3	-	50–140	1–1,5	30–75	50–300	150–300	-
в г/га/год								
ЭСТОНИЯ (среднегодовая нагрузка на почву)	150	4 500	12 000	100	3 000	15 000	30 000	-
ЛАТВИЯ (среднегодовая нагрузка на почву: песчаная, песчанистый суглинок/суглинок, глинистая)	30/35	600/700	1 000/1200	8/10	250/300	300/350	5 000/6000	-
ЛИТВА (среднегодовая нагрузка на почву: песчаная, песчанистый суглинок/суглинок, глинистая)	100/150	7 000/10 000	8 000/12 000	50/100	2 000/3 000	10 000/15 000	20 000/30 000	-
ПОЛЬША (среднегодовая нагрузка на почву)	Законодательством Польши ПДК не установлены							
Директива ЕС 86/278 (ежегодные нагрузки)	150	-	12 000	100	3 000	15 000	30 000	-

*Установленные в Латвии ПДК тяжелых металлов в почве различаются в зависимости от вида почв (песчаная почва/песчанистый суглинок, суглинок/глинистая почва) и pH (5–6; 6,1–7 и >7), поэтому по каждому тяжелому металлу имеется 6 различных ПДК. В данной таблице они представлены в виде диапазона значений от минимального (для песчаных почв/песчанистых суглинков с pH 5–6) до максимального (для суглинков/глинистых почв с pH >7).

12.2.3 Россия и Беларусь

Табл. 12-5: Сравнительный анализ установленных действующим законодательством России и Беларуси предельно допустимых концентраций тяжелых металлов при использовании осадков в сельскохозяйственных целях в сравнении с Директивами ЕС. В России и Беларуси используются одни и те же стандарты, требования которых в данной таблице сравниваются с требованиями Директивы по осадкам сточных вод

Страна (анализируемое вещество)	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
	в мг/кг сухого вещества							
РОССИЯ (в осадке: группа I/группа II)	15/30	500/1 000	750/ 15 000	7,5/15	200/ 400	250/500	1 750/ 3 500	42131
Директива ЕС 86/278 (в осадке)	20–40	-	1000–1750	16–25	300–400	750–1 200	2 500– 4 000	-
РОССИЯ (в почве, pH>5,5)								
Максимальные допустимые концентрации	-	6**	3*	2.1	4*	32/6*	23*	2
Временно допустимые концентрации (песчанистый суглинок/глинистая почва)	0,5/2	-	33/132	-	20/80	32/130	55/220	55/10
Директива ЕС 86/278 (в почве, pH 6-7)	1–3	-	50–140	1–1.5	30–75	50–300	150–300	-
в г/га/год								
РОССИЯ (среднегодовая нагрузка на почву)	Российским законодательством ПДК не установлены							
Директива ЕС 86/278 (ежегодные нагрузки)	150	-	12 000	100	3 000	15 000	30 000	-

*Показатели для нестабильной формы химических элементов

**Показатель для нестабильной формы Cr (III)

Табл. 12-6: Краткий обзор требований действующего законодательства России и Беларуси в сфере обращения с осадками сточных вод в сравнении с Директивами ЕС (N = азот)

Пара-метр	Методы обработки (при использовании в сельском хозяйстве)	Применение необработанного осадка (при использовании в сельском хозяйстве)	Предельно допустимое содержание патогенных микроорганизмов (при использовании в сельском хозяйстве)	ПДК органических соединений (при использовании в сельском хозяйстве)	Предельная норма внесения осадка (сельское хозяйство) (при использовании в сельском хозяйстве)	Периодичность пробоотбора (при использовании в сельском хозяйстве)	Использование в лесном хозяйстве, лесоводстве, рекультивации земель, озеленении	Сжигание/сброс на полигоны ТБО
Страна	Биологическая, тепловая обработка, аэробная стабилизация, длительное хранение, пастеризация, компостирование	Конкретные требования не установлены	<i>Escherichia coli</i> >100/1000*, <i>Salmonella</i> , яйца гельминтов и цисты патогенных простейших кишечника	Органическое вещество >20%, общий N>0,6% сухого вещества, $P_2O_5 >1,5\%$ сухого вещества	Макс. содержание общего N - 300 кг/га при периодичности внесения не менее 1 года; макс. количество сухого вещества: тяжелые почвы - 10 т/га при периодичности внесения не менее 5 лет, легкие песчаные почвы - 7 т/га при периодичности внесения не менее 3 лет	Осадок: не определено Почва: перед первым внесением осадка	Допускается использование в промышленном садоводстве, лесоводстве, при озеленении и рекультивации почв и захоронение на полигонах ТБО	Захоронение на полигонах ТБО: осадок принимается на городские полигоны ТБО, обработка не требуется Сжигание: ---
ЕС	Биологическая, химическая, тепловая обработка, длительное хранение или другой процесс, значительно снижающий опасность для здоровья	Государства-члены ЕС могут изложить условия использования необработанного осадка (при внутриочечном или инженерном тировании или запашке в почву)	---	---	Государства-члены ЕС самостоятельно устанавливают допустимую норму внесения осадка	Осадок: 1–2 раз в год Почва: перед первым внесением (государства-члены ЕС могут устанавливать более частую периодичность пробоотбора)	Не регламентировано Директивой по осадкам сточных вод (86/278/EEC)	Директива о полигонах (1999/31/ЕС) Директива по сжиганию (2000/76/ЕС)

*Для осадка группы I / группы II

12.3 ВЫВОДЫ

Законодательно-нормативная база в области обращения с осадком в странах региона Балтийского моря делится на три категории: Директивы и другие правовые акты ЕС; национальное законодательство государств-членов ЕС, направленное на реализацию данных Директив; стандарты и нормативные акты не входящих в ЕС государств. Все вышеперечисленное можно изучать с точки зрения двух аспектов: формы правовых актов и их содержания. Хотя значимость содержания является очевидной, при оценке правовых ограничений важно также учитывать форму (тип) правового документа.

Национальные нормативно-правовые акты, направленные на реализацию Директив ЕС, и государственные стандарты государств, не входящих в ЕС

Большинство нормативно-правовых актов в сфере обработки осадка, принятых в государствах-членах ЕС, разработаны для реализации Директив ЕС, в первую очередь – Директивы по осадкам сточных вод, и по этой причине они схожи между собой по форме и структуре. Как в финском Решении, так и в немецком Постановлении об утилизации осадков сточных вод в сельском хозяйстве из сферы рассмотрения исключены произведенные из осадка удобрения. Весьма схожи между собой шведское и датское Распоряжения, однако в Дании использование осадка для сельскохозяйственных целей регламентируется и контролируется не одним, а двумя законами.

В странах Балтии картина совершенно иная. Лишь принятое в Эстонии Положение об осадке сточных вод по структуре аналогично финскому Решению. Кроме того, все три страны Балтии – Эстония, Латвия и Литва – регламентируют в одном юридическом документе сразу несколько способов утилизации осадка. Наряду с использованием осадка в сельском хозяйстве, его можно применять для рекультивации земель, благоустройства, озеленения, в лесном хозяйстве, а также в качестве удобрения при выращивании непищевых культур. В латвийском законодательстве регламентируется утилизация как осадка сточных вод, так и компоста. В Польше часть предъявляемых к осадку требований включена в общий Закон об отходах, в то время как остальные – в конкретный указ об осадках сточных вод.

В России и Беларуси законодательство в сфере осадка формируется совершенно иным образом. В отличие от других стран региона, российские нормы, регламентирующие использование осадка в сельском хозяйстве, имеют форму не законов, нормативно-правовых актов, распоряжений или решений, а государственных стандартов, что делает их по своему характеру больше похожими на документы Европейского комитета по стандартизации (CEN).

Требования и ограничения в сфере обработки и утилизации осадка

Правовые ограничения в сфере обращения с осадком в странах региона Балтийского моря можно разделить на общие для всех стран и специфические, которые



Рис. 12-4: Фото: Йоханна Карху, ХЕЛКОМ

присутствует в законодательстве лишь некоторых стран, а иногда только одной из них. Общие ограничения включают:

- методы предварительной обработки;
- предельно допустимые концентрации тяжелых металлов в осадке и почве;
- виды культур и поверхностей, для которых можно применять осадок;
- контроль за соблюдением нормативно-правовых требований.

Самые низкие предельно допустимые концентрации тяжелых металлов как в осадке, так и в почве установлены в скандинавских странах. В Швеции и Германии **сброс осадка на полигоны ТБО** запрещен, в то время как в Дании и Финляндии такой способ утилизации используется исключительно редко, хотя официально не запрещен. Поэтому принято считать, что скандинавское и немецкое законодательство в сфере осадка является наиболее строгим. В свою очередь, в странах Балтии и Польше также разработаны подробные емкие требования, в отношении, например, **методов обработки или поверхностей, на которых использование осадка не допускается**, что усложняет утилизацию осадка, по крайней мере, с формальной точки зрения. Российские нормы очень

схожи в этом смысле с польскими и прибалтийскими, и в них изложены еще более усложненные методы расчета норм вносимого в сельскохозяйственные почвы осадка в зависимости от различных факторов.

В отношении таких аспектов, как **годовые нормы внесения осадка, поверхности, на которые допускается вносить осадок, или другие способы использования осадка, кроме сельскохозяйственных**, разработаны более конкретные требования. Директива ЕС по осадкам сточных вод разрешает устанавливать предельные годовые нормы внесения осадка (как сухое вещество), среднегодовые концентрации тяжелых металлов, либо и то и другое одновременно. Предельные годовые нормы установлены в Дании, Швеции и Польше (7 т/га при периодичности внесения не менее 1 года, 5 тонн/га при периодичности внесения не менее 3 лет и 3 т/га при периодичности внесения не менее 1 года соответственно). Остальные страны приняли решение регламентировать лишь среднегодовую концентрацию тяжелых металлов в почве. Россия — хотя она и не является членом ЕС — также установила предельные годовые нормы внесения осадка (как сухое вещество) (10 т/га при периодичности внесения не менее 5 лет для тяжелых почв и 7 т/га при периодичности внесения не менее 3 лет для легких песчаных почв).

Поверхности, на которых запрещено применение осадка сточных вод, как правило, включают пастбища и почвы, предназначенные под плодовоовощные культуры. Кроме того, в законодательстве большинства стран в список территорий, на которых запрещено применение осадка, также включены национальные

парки и природоохранные зоны, территории вблизи водных объектов (что, например, подробно изложено в латвийских нормативно-правовых актах), затопленные территории и водно-болотные угодья, замерзшие и покрытые снегом почвы. **В географическом аспекте** применение осадка сточных вод ограничено лишь в Польше, где, согласно законодательству, осадок может быть использован для сельскохозяйственных целей только на территории воеводства, в котором он был произведен. Что касается **временных ограничений**, в большинстве стран существует запрет на внесение осадка в вегетационный период (в некоторых странах период между внесением осадка и началом культивирования конкретно определен). В литовских нормативно-правовых актах четко изложено, что осадок запрещается применять с 15 декабря по 1 марта.

В большинстве стран региона использование осадка разрешено при выращивании несельскохозяйственных культур, в лесном хозяйстве, для благоустройства, озеленения и рекультивации земель, иногда при тех же ограничениях по концентрации тяжелых металлов, которые применяются к осадку, утилизируемому в сельском хозяйстве. Лишь законодательство Польши и Германии запрещает применение осадка в лесном хозяйстве. В Германии Постановление об осадках сточных вод также запрещает использование осадков в лесоводстве и при озеленении. В Дании для озеленения могут применяться лишь пастеризованные осадки сточных вод, а на их использование в природных лесах необходимо получить разрешение местных органов власти.



Рис. 12-5: Применение осадков в сельском хозяйстве регламентируется Директивой по осадкам сточных вод. Фото: сайт shutterstock.com/Gerard Koudenburg



13. ОСНОВНЫЕ СТИМУЛЫ И ПРЕПЯТСТВИЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ОСАДКАМИ СТОЧНЫХ ВОД

Красные водоросли, мидии и морские желудки в Балтийском море.
Фото: Самули Корпинен, ХЕЛКОМ.

Оперативные решения и будущие проблемы в сфере обработки осадка зависят не только от вопросов управления водными ресурсами, но и от ограничений, стимулов и политики в области сельского хозяйства, энергетики и т.п. Поэтому их необходимо рассматривать в более широком контексте политического руководства и управления. Тем не менее, предприятия водопроводно-канализационного хозяйства в регионе Балтийского моря уже сегодня имеют возможность двигаться вперед, к современной концепции получения ресурсов из биомассы, производства возобновляемой энергии и утилизации биогенных элементов.

13.1 ЗАТРАТЫ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ СТИМУЛЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОБРАЩЕНИЯ С ОСАДКАМИ СТОЧНЫХ ВОД

Затраты на сбор и утилизацию осадка могут составлять до 50% от общих текущих расходов очистных сооружений, поэтому оптимизация обработки и утилизации осадка позволит значительно повысить экономическую эффективность управления водными ресурсами в целом (Starberg et al., 2005 г.).

Затраты на транспортировку, утилизацию и сушку осадка напрямую зависят от эффективности его обезвоживания и достигнутого содержания сухого вещества (подробную информацию см. в разделе 5.7). Поэтому рекомендуется точно определять результаты обезвоживания, затраты на электроэнергию и реагенты путем проведения пилотных испытаний различных вариантов и учитывать их при принятии решений и проведении тендеров.

Рост цен на энергоносители, а также льготные тарифы на поставку в сеть и прочие механизмы поддержки возобновляемых источников энергии стимулируют применение анаэробного сбраживания и производства биогаза на очистных сооружениях. Тем не менее, основной целью сбраживания всегда являлась стабилизация осадка; более того, для максимального увеличения объема вырабатываемой энергии необходима дополнительная оптимизация и разработка других процессов (Arnold, 2010 г.). Хотя выход биогаза можно увеличить при использовании таких методов предварительной обработки, как ультразвуковая дезинтеграция, это влечет инвестиционные и эксплуатационные затраты. С другой стороны, внедрение оптимальных технических решений даст возможность достичь значительной экономии. Например, по оценкам компании Ultrawaves GmbH, установка по ультразвуковой дезинтеграции летучих твердых соединений на очистных сооружениях г. Бамберга (Германия) позволила сэкономить порядка 1,5 млн €, так как ее использование устранило необходимость в строительстве нового метантенка (Nickel, 2011 г.).

Сравнение различных технических решений в более широком экологическом контексте часто ведет к противоречивым результатам. Например, оценки жизненного цикла показывают, что, несмотря на экономию средств на приобретение электрической и тепловой энергии, сжигание осадка является более капиталоемким по сравнению с другими методами утилизации осадка, если учитывать выбросы парниковых газов

и выбросы в пересчете на диоксид углерода (Barber, 2009 г.). При широко распространенном анаэробном сбраживании, особенно с глубокой предварительной обработкой, выбросы в пересчете на диоксид углерода незначительны, однако возникают другие проблемы: примеси силоксанов, серы или галогенов вызывают коррозию оборудования, непредвиденные колебания и нестабильность технологического процесса (Arnold, 2010 г.).

Кроме того, на затраты по обработке осадка на очистных сооружениях влияют, в большинстве случаев, возможности утилизации осадка на местах. В большинстве стран в регионе Балтийского моря требуется обеззараживать осадок, предназначенный для применения в сельском хозяйстве. При компостировании наличие свободных площадей и, следовательно, затраты в различных странах и на различных очистных сооружениях могут существенно отличаться.

Предприятия водопроводно-канализационного хозяйства могут передавать осадок на утилизацию подрядным организациям, которые занимаются окультуриванием почв или производством удобрений, а биогаз продавать предприятиям энергосетей.



Рис. 13-1: Фото: сайт shutterstock.com/Hraska

13.2 СОДЕРЖАНИЕ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ И КАЧЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ОСАДКА

Осадок сточных вод необходимо стабилизировать, а в некоторых случаях и обеззараживать для уничтожения патогенных микроорганизмов. Кроме микроорганизмов, осадок в небольших количествах содержит множество химических веществ. Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов уже на протяжении ряда лет регламентируются как законодательством ЕС, так и национальным законодательством, что позволило значительно сократить их количество в осадке городских сточных вод. В последнее время ведутся активные дискуссии по поводу содержания в городских сточных водах и осадке опасных органических соединений.

В случае тяжелых металлов, высокие концентрации меди и цинка часто поступают с хозяйственно-бытовыми сточными водами, в то время как кадмий, хром, ртуть и свинец — с промышленными. Концентрации тяжелых металлов в осадках сточных вод за последние 20 лет во многих странах снизились. При сжигании органические микрозагрязнители разрушаются, а ртуть удаляется в системе очистки отходящих газов, однако концентрации всех других тяжелых металлов увеличиваются, что может препятствовать непосредственному внесению золы в почву в качестве удобрения. Некоторые источники минеральных удобрений имеют высокие концентрации кадмия и урана, в то время как для осадка сточных вод присутствие этих соединений, как правило, не характерно (см. главы 9 и 11).

Органические соединения попадают в осадок, в основном, из хозяйственно-бытовых сточных вод, однако могут поступать и с промышленными сточными водами при их очистке на очистных сооружениях. Присутствие таких микрозагрязнителей может препятствовать применению осадка при окультуривании почвы или утилизации биогенных элементов. Лекарственные вещества и антипирены, например, а также продукты их распада и преобразования многочисленны, поэтому ограничение или даже мониторинг отдельных веществ является технически сложным и дорогостоящим. Среди стран Балтийского моря лишь в национальном законодательстве Дании и Германии существуют ограничения по некоторым органическим соединениям при использовании осадка сточных вод в сельском

хозяйстве. Кроме того, стандарт, ограничивающий содержание некоторых органических соединений, принят в Швеции.

Для оценки рисков необходимо выявить потенциальную вероятность наносимого вреда, в том числе возможные пути воздействия источника (например, осадка сточных вод) на реципиенты (окружающую среду или население). Традиционно, контроль содержания вредных веществ в сточных водах и осадке базируется на проведении химических анализов и установлении предельно допустимых концентраций отдельных веществ или их групп. Проблема еще более усложняется процессами физико-химической и микробиологической трансформации, выноса и удерживания отдельных загрязняющих веществ, протекающими в осадке, как во время его обработки, так и после внесения в почву (Aubain et al., 2002 г.). Некоторые методы, необходимые для уничтожения патогенных микроорганизмов при применении осадка на сельскохозяйственных угодьях (обеззараживание, ограничение по времени применения, видам культур или поверхностям), также помогают уменьшить воздействие микрозагрязнителей.

Было предложено оценивать комбинированное воздействие и экотоксичность всех потенциально опасных параметров более экономически эффективным методом, чем оценка по одному параметру. Для этого предлагалось использовать, например, комплексную оценку сточных вод, (WEA), которая применяется для некоторых промышленных стоков в Германии и Дании. Возможность более широкого использования WEA для городских сточных вод и их осадков рассматривалась в рамках проекта «Контроль за концентрациями опасных веществ в регионе Балтийского моря» (Control of hazardous substances in the Baltic Sea region, CONIBA) (Nakari et al., 2011 г.). Эта возможность также изучалась Группой мониторинга и оценки HELKOM (Monitoring and Assessment Group, MONAS) (HELCOM MONAS, 2011 г.). EUREAU положительно оценила предложение о внедрении метода WEA в регионе Балтийского моря и отметила необходимость усиления контроля за источниками загрязнения, т.е. предотвращения попадания опасных веществ в канализационные коллекторы и на очистные сооружения. Метод



WEA как таковой должен сочетаться с химическими анализами для выявления источников опасных загрязнений и при их обнаружении в сточных водах с планированием превентивных мер. В рамках проекта СОНИВА разработаны руководящие документы и рекомендации для анализа и сравнения различных мер по экономически эффективному сокращению содержания отдельных опасных химических веществ в городских сточных водах (Mathan et al., 2012 г.).

Как правило, сжигание осадка целесообразно, если сельскохозяйственные угодья, куда вносится полученная из осадка продукция, имеют ограниченную площадь и располагаются на далеком расстоянии, а также в случае негативного отношения общественности к использованию осадка сточных вод в сельском хозяйстве. Обсуждение вопроса о высоких концентрациях потенциально опасных органических соединений в осадке также способствовало неприятию обществом использования осадка в сельскохозяйственных целях (Aubain et al., 2002 г.).

Хотя при сжигании опасные органические соединения разрушаются и производится энергия, ценные питательные вещества переходят в золу и теряются в связи с тем, что зола обычно классифицируется как опасные отходы. Недостатком сжигания также являются атмосферные выбросы, попадание загрязняющих веществ в почву и, возможно, в воду и необходимость получения экологического разрешения (см. главу 12). Тем не менее, в странах, где использование осадка в сельском хозяйстве, благоустройстве и озеленении весьма развито, накоплен значительный опыт в обеспечении соответствующего качества сточных вод, поступающих на очистные сооружения. Если целесообразнее применять сжигание, то обеспечение высокого качества очистки осадка не считается таким важным моментом.

13.3 УТИЛИЗАЦИЯ ФОСФОРА И ОСАДКА

На протяжении десятилетий такой ценный ресурс, как фосфор, сбрасывался в водотоки с недостаточно очищенными сточными водами. С 70–80-х гг. XX века эффективность очистки городских сточных вод в регионе Балтийского моря непрерывно растет. Тем не менее, до сих пор не налажено рациональное использование биогенных элементов, извлекаемых из сточных вод. Для повышения эффективности утилизации фосфора его необходимо воспринимать не как загрязняющее вещество, а как подлежащий извлечению ресурс. Более эффективная утилизация фосфора также будет способствовать снижению нагрузок на окружающую среду.

В период с 1950 г. по 2000 г. потребление удобрений в мире увеличилось в шесть раз, а концентрации фосфора в экосистемах выросли не менее чем на 75% (UNEP, 2011 г.). Цикл кругооборота фосфора выглядит следующим образом. Добываемая фосфорная руда поступает на предприятия химической промышленности, где из нее производят удобрения. Количество добываемых во всем мире фосфатов, используемых в сельском хозяйстве для получения удобрений, составляет порядка 90%. С зерном, овощами и мясом фосфор попадает на предприятия пищевой промышленности, а оттуда в составе пищевых продуктов на потребительские рынки. После употребления продуктов в пищу фосфор оказывается в сточных водах. На пути от шахты к домашнему хозяйству теряется 80% фосфора.

В настоящее время предпринимаются меры по снижению потерь фосфора в сельском хозяйстве, например, путем улучшения качества почв и предотвращения эрозии. В то же время, рост численности населения и изменение привычек питания с увеличением потребления мяса и молочных продуктов ведет к повышению мирового спроса на фосфор (Schröder et al., 2011 г.). Таким образом, важнейшими аспектами, которым следует уделять первостепенное внимание, является необходимость повышения эффективности использования фосфора и увеличения объемов его извлечения для

последующей утилизации. ЕС стремится уменьшить свою зависимость от фосфора путем снижения потерь (повышения эффективности) и увеличения объемов извлечения (утилизация); фосфор уже определен в качестве приоритетного ресурса (EEA, 2011 г.).

Сегодня в ЕС более 40% осадка сточных вод вносится в почву (Milieu, 2008 г.), однако часть содержащихся в нем питательных веществ не усваивается, по той причине, что фосфор связан в малорастворимых солях железа или алюминия (Schröder et al., 2011 г.). В положении национального законодательства об удобрениях и в Общей сельскохозяйственной политике ЕС (Common Agriculture Policy, CAP) определены некоторые условия субсидирования фермеров. Для выделения субсидии фосфор в продукте, предназначенном для использования в качестве почвоулучшителя или удобрения, должен иметь определенный уровень растворимости. В то же время, все технологии извлечения фосфора находятся еще на экспериментальном или демонстрационном этапе и сталкиваются с некоторыми техническими проблемами, поэтому не являются экономически выгодными. Единственным примером экономически эффективного извлечения фосфора в регионе Балтийского моря является Германия (см. главу 11). Таким образом, маловероятно, что предприятия водопроводно-канализационного хозяйства в регионе

будут направлять свои усилия на дальнейшую разработку продукции из осадка и изменение химической формы фосфора, например, перевода его в более легко растворимую форму. Тем не менее, поступали предложения ввести экономические стимулы для повышения утилизации фосфора, например, в виде налогов на использование или запрещения использования железа в качестве осадителя фосфатов на очистных сооружениях (Schröder et al., 2011 г.). Это, однако, противоречит строгим требованиям, касающимся удаления фосфора, и экологическим целям, направленным на резкое снижение его количества, сбрасываемого в уязвимое Балтийское море и водотоки его водосборного бассейна.

Важно, чтобы до начала производства компоста или других получаемых из осадка продуктов (не только тех, которые предназначены для сельского хозяйства, но и тех, которые будут использоваться для благоустройства, рекультивации земель и озеленения) предприятие или группа предприятий водопроводно-канализационного хозяйства изучили ситуацию на местных рынках. Еще один нюанс заключается в существовании различных условий, применяемых к использованию удобрений, и необходимости получения разрешения на внесение продукта в почву. Это не должно затрагивать само предприятие, потому что внесением осадка в почву, как правило, занимаются другие субъекты хозяйствования, например, фермеры, однако может влиять на конъюнктуру рынка.

В странах региона Балтийского моря применяются различные стратегии утилизации осадка: в Финляндии и Эстонии более 80% осадка компостируется и используется при благоустройстве и озеленении, в Латвии и Литве более 30% используется в сельском хозяйстве, в

Германии более 50% сжигается (Milieu et al., 2008 г.). В большинстве стран на полигоны ТБО вывозится лишь небольшая часть осадка, хотя в Швеции, Польше и Эстонии доля вывозимого осадка в настоящее время превышает 10%. Количество сбрасываемых на полигоны органических отходов будет лимитироваться, в ближайшем будущем захоронение осадка сточных вод и полученного из него компоста в ЕС будет полностью запрещено. Это влечет необходимость разработки других вариантов утилизации осадка. В странах региона, не входящих в ЕС, по-прежнему широко применяются такие методы, как хранение в илонакопителях и сброс на полигоны ТБО, хотя на многих очистных сооружениях уже реализуются или планируются к реализации такие методы обработки осадка, как сжигание, анаэробное сбраживание и компостирование. Рентабельность использования того или иного метода зачастую определяется национальной политикой в области энергетики.

Предлагается разработать отдельную Директиву, касающуюся извлечения фосфора и продовольственной безопасности, где будут заложены определенные экономические стимулы, например, взимание налога за «потерю» фосфора и субсидирование при его утилизации и переработке (Schröder, 2011 г.). Некоторые страны поставили своей целью извлечение фосфора (см. главу 11.1), например, Швеция к 2015 г. стремится довести объем извлекаемого из городских сточных вод фосфора до 60%. Крупнейший производитель фосфорных и калийных удобрений ICL Fertilizers Europe планирует довести долю извлеченного фосфора в своей сырьевой структуре до 10–15% (SCOPE, 2012 г.; ICL Fertilizers Europe, 2012 г.).



Рис. 13-2: Фото: Минна Пыхяля

13.4 ЗАКОНОДАТЕЛЬНО-НОРМАТИВНАЯ БАЗА – ДИРЕКТИВЫ ЕС И НАЦИОНАЛЬНОЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО

В настоящее время общие ограничения на возможные способы обращения с осадками и их утилизации касаются методов предварительной обработки, предельно допустимых концентраций содержащихся в осадке и почве тяжелых металлов, выбора культур и поверхностей, где можно применять осадок, и контроля за соблюдением нормативных требований (см. главу 12). Управление осадками в восьми из девяти стран Балтийского моря регламентируются широким спектром постановлений ЕС.

В соответствии с рамочной Директивой ЕС по отходам, осадок сточных вод относится к отходам. Директивой об очистке городских сточных вод с 1999 г. запрещен сброс осадка в открытые водоемы, сброс осадка с судов и из трубопроводов. Кроме того, по возможности осадок необходимо повторно использовать, а методы его утилизации должны оказывать минимальное негативное воздействие на окружающую среду.

В сельском хозяйстве осадок из городских очистных сооружений может использоваться лишь в соответствии с третьей Директивой – Директивой по осадкам сточных вод. В ней указаны приемлемые методы обработки осадка, предназначенного для применения в сельском хозяйстве: биологическая, химическая или термическая обработка, длительное хранение или любой другой соответствующий процесс, который позволит значительно снизить степень сбраживания осадка и опасность для здоровья в случае его применения. Четвертая Директива – Директива по полигонам – запрещает удаление жидких отходов на полигоны ТБО, а также требует сокращения количества биоразлагаемых отходов, включая осадки сточных вод, поступающих на полигоны ТБО за счет раздельного сбора, компостирования, производства биогаза или материалов, рекуперации энергии и повторного использования. Директива по сжиганию отходов регулирует эксплуатацию установок по сжиганию, требуя получение разрешения от национальных природоохранных органов и устанавливая предельно допустимые концентра-

ции для всех выбросов/сбросов с таких установок. Помимо пяти вышеперечисленных, действуют и другие Директивы, которые влияют на управление осадком городских сточных вод, и касаются, например, регламентирования содержания в нем химических веществ.

Наиболее важным недавним событием в отношении обработки осадка является процесс внесения изменений и дополнений в Директиву по осадкам сточных вод. 3-й проект (2000 г.) представляет собой почти полный пересмотр Директивы. Проект предлагает введение четких требований для определения методов глубокой (расширенной) и обычной обработки, а также снижения интенсивности запаха. В 2010 г. Европейская Комиссия, однако, отказалась от идеи разработки отдельного законодательства об управлении биологическими отходами, поэтому 3-й проект частично потерял свою актуальность. В недавно разработанном «Рабочем документе по осадку и биологическим отходам» предлагается трехуровневая система правового регулирования для компоста («дигестата») высокого качества, осадка и биологических отходов, используемых в сельском хозяйстве, а также биологических отходов и осадков более низкого качества, использование которых ограничено несельскохозяйственными землями.

Требования, изложенные в действующем национальном законодательстве различных стран Балтийского моря, отличаются. В отношении предельно допустимых концентраций тяжелых металлов, например, наиболее строгим является законодательство скандинавских стран и Германии. Подробные требования по методам обработки и поверхностям, на которых не допускается использовать осадок, разработаны в законодательствах Эстонии, Латвии, Литвы (страны Балтии) и Польши. При использовании осадка в сельском хозяйстве и озеленении существует ряд ограничений в отношении поверхностей, где применение осадка не допускается, и сроков его внесения. Кроме того, требования и правила российских государственных стандартов (ГОСТ и СанПиН), которые также действуют на территории Беларуси, аналогичны требованиям в законодательстве стран Балтии.



Рис. 13-3: Фото: сайт shutterstock.com

13.5 ПОЛИТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ И ДРУГИЕ НОРМАТИВНЫЕ ПРАКТИКИ

Кроме Директив, у Европейского Союза имеются и другие инструменты управления. Так, межгосударственная Комиссия по защите морской среды Балтийского моря (ХЕЛКОМ) занимается реализацией различных регламентирующих документов и рекомендаций на основе экосистемного подхода с целью оздоровления уязвимой морской среды и сокращения загрязнения. Все девять прибрежных стран обязаны выполнять рекомендации ХЕЛКОМ, в том числе и Россия, которая подписала Хельсинскую конвенцию.

Балтийское море уязвимо к сбросу биогенных элементов больше, чем другие морские зоны Европы. Одной из важнейших обязанностей Хельсинкской комиссии является выработка рекомендаций о мерах по устранению конкретных источников загрязнения и проблемных областей с учетом региональной специфики Балтики. Рекомендации реализуются участниками через национальное законодательство. С начала 1980-х гг. Комиссия приняла более 260 рекомендаций по защите Балтийского моря, 120 из которых являются действующими⁷.

Ожидается, что рекомендация по устойчивому управлению осадком (см. раздел 1.2), которую ХЕЛКОМ может разработать в ближайшем будущем, установит требования к минимальным устойчивым результатам процесса обработки осадка, независимо от используемых на очистных сооружениях технических решений. Разработка руководящих принципов и целей для рационализации подробных требований к использованию произведенной из осадка продукции, например, в сельском хозяйстве, позволит улучшить текущую ситуацию. Такая концепция устойчивого управления осадком также может включать рекомендации о стимулировании мелкосерийного производства электроэнергии, дальнейшей утилизации фосфора в сельском хозяйстве с продукцией, произведенной из осадка, а также руководящие принципы оценки рисков, связанных с содержанием опасных веществ в осадке.

Проще и экономически выгоднее уменьшать концентрации фосфора на входе на очистные сооружения, чем на выходе. Подсчитано, что содержание фосфора в хозяйственно-бытовых сточных водах можно снизить путем внедрения технологий производства бесфосфатных стиральных порошков. В стиральных порошках содержится до 25% средней нагрузки по фосфору (Шведское химическое агентство, 2010 г.). Сейчас в стиральных порошках фосфаты, как правило, заменяют на многоосновные карбоновые кислоты и глины (например, цеолиты). В некоторых странах

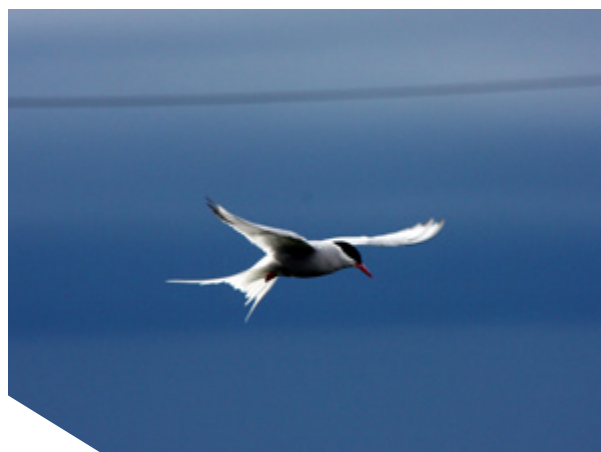


Рис. 13-4: Фото: Янника Халдин, ХЕЛКОМ

Балтийского моря использование бесфосфатных стиральных порошков уже широко распространено. В 2007 г. ХЕЛКОМ была принята Рекомендация 28Е/7 (ХЕЛКОМ, 2007 г.) о замещении полифосфатов в стиральных порошках. В декабре 2011 г. Европейский Парламент поддержал законопроект о почти полном запрете⁸ на применение соединений фосфора в бытовых стиральных порошках с июня 2013 г. Ожидается, что с января 2017 г. аналогичные ограничения начнут действовать и для моющих средств, применяемых в бытовых посудомоечных машинах. В связи с увеличением объема использования цеолитов прогнозируется увеличение объема осадков, тем не менее, при снижении концентраций фосфора в очищенных сточных водах расход реагентов, необходимых для их осаждения, также снизится. Практический результат данных требований еще предстоит выяснить.

В ответ на сложности, с которыми ЕС столкнулся в ходе своих действий в рамках мер по улучшению экологического состояния европейских вод к 2015 г. в соответствии с Рамочной Директивой о воде 2000 г., была принята «Программа сохранения водных ресурсов Европы» (Blueprint для Safeguard Europe's Water). К концу 2012 г. в рамках Программы будут введены эко-

⁷http://www.helcom.fi/Recommendations/en_GB/front/

⁸ Регламент (ЕС) № 259/2012 Европейского Парламента и Совета от 14 марта 2012 г., изменяющий и дополняющий Регламент (ЕС) № 648/2004 в отношении использования фосфатов и других соединений фосфора в бытовых стиральных порошках и средствах для посудомоечных машин (текст, относящийся к странам ЕЭС).

⁹http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/end_of_waste.htm

логические инфраструктурные меры (система мер для интернализации издержек от использования и загрязнения водных ресурсов), разработаны меры для решения проблемы эффективности водных ресурсов и выявлены препятствия на пути инноваций (ЕС, 2012 г.).

Европейская федерация национальных ассоциаций предприятий водопроводно-канализационного хозяйства EUREAU опубликовала свою позицию в отношении Программы (EUREAU, 2012 г.). Одним из восьми направлений является обеспечение устойчивой обработки осадков, с упором на то, что фосфор следует рассматривать как ресурс – источник биогенных элементов и энергии. Тем не менее, по мнению EUREAU, отсутствие единой нормативно-правовой базы вызывает отсутствие доверия экономических субъектов в данной сфере и влечет за собой отсутствие финансирования. В связи с тем, что пересмотр Директивы

ЕС по осадкам сточных вод был отложен, отсутствует четкий правовой инструмент для поддержки извлечения органического вещества из сточных вод. EUREAU считает, что в контексте стратегии ЕС в сфере отходов и Рамочной Директивы ЕС об осадках сточных вод, дискуссия о том, в какой же момент осадок прекращает быть отходами и становится сырьем, дает возможность при достижении высоких критериев качества признать некоторую произведенную из осадка продукцию, например, компост, полезным удобрением. Это может стать стимулом для повышения качества переработанного осадка и общественного одобрения. Критерии момента перехода из категории отходов в категорию сырья⁹ также должны базироваться на качестве конечного продукта (путем изложения технических требований), а не запрещении такого сырья, как осадок.



Рис. 13-5: Фото: Йоханна Карху, ХЕЛКОМ

14. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Adam, C. 2009.** Techniques for P-recovery from wastewater, sewage sludge and sewage sludge ashes – an overview. In BALTIC 21. Seminar on Phosphorus recycling and good agricultural management practice. 29.–30.9.2009. Berlin.
- Arnold, M. 2010.** Is waste water our new asset? VTT Impulse 2/2010. http://www.digipaper.fi/vtt_impulse/56725/
- ATV-DVWK-A 131E 2000.** Dimensioning of Single-Stage Activated Sludge Plants, German water and waste water association (прежнее название ATV-DVWK, в настоящее время называется DWA). См. <http://www.dwa.de,> ISBN 978-3-935669-96-2, 2000.
- ATV-DVWK-M 368E 2003.** Biological Stabilisation of Sewage Sludge, German water and waste water association (Прежнее название ATV-DVWK, в настоящее время называется DWA). См. <http://www.dwa.de,> ISBN 978-3-937758-71-8, 2003.
- Aubain, P., Gazzo, A., le Moux, J., Mugnier, E. 2002.** Disposal and recycling routes for sewage sludge. Synthesis report 22 February 2002. Arthur Andersen, EC DG Environment – B/2. <http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/synthesisreport020222.pdf>
- Barber, W. P. F. 2009.** Influence of anaerobic digestion on the carbon footprint of various sewage sludge treatment options. Water and Environment Journal 23: 170-179.
- Barjenbruch, M., Berbig C., Ilian J., Bergmann M. 2011.** Sewage sludge dewatering without flocculant aid. (Schlammmentwässerung ohne Flockungshilfsmittel). WWT-online.de 10/2011. http://www.wwt-online.de/sites/www-online.de/files/schlammmentw%C3%A4sserung_ohne_flockungshilfsmittel.pdf, последнее обновление 30.5.2012 (на немецком языке).
- Bayerle, N. 2009.** Phosphorus recycling in Gifhorn with a modified Seaborne process. (P-Recycling in Gifhorn mit dem modifizierten SeaborneProzess). Proceedings of BALTIC 21 Phosphorus Recycling and Good Agricultural Management Practice, 28.–30.9.2009. Berlin (на немецком языке).
- Beier M., Sander M., Schneider Y., Rosenwinkel K.-H. 2008.** Energy-efficient nitrogen removal. (Energieeffiziente Stickstoffelimination). Ежемесячный журнал DWA, KA, 55 2008 (на немецком языке).
- Bergs C.-G. 2010.** New demand by sewage sludge and fertiliser regulation. (Neue Vorgaben für Klärschlamm nach der Klärschlamm-(AbfKlärV) und Düngemittelverordnung (DüMV)). VKU Infotag Klärschlamm, 9.11.2010 (на немецком языке).
- Berliner Wasserbetriebe 2012.** <http://www.bwb.de/content/language2/html/4951.php>, последнее обновление 22.5.2012.
- BIOPROS 2008.** Short rotation plantations. Guidelines for efficient biomass production with the safe application of wastewater and sewage sludge. См. www.biopros.info, последнее обновление 18.9.2012.
- BMBF&BMU 2005.** <http://www.phosphorrecycling.de>, последнее обновление 20.09.2012
- Brendler, D. 2006.** Use of the KEMICOND-Method with chamber filter presses – Results;. (Einsatz des KEMICOND-Verfahrens auf Kammerfilterpressen – Ergebnisse aus der Praxis). Der Kemwaterspiegel 2006, <http://www.kemira.com/regions/germany/SiteCollectionDocuments/Brosch%C3%BCren%20Water/Wasserspiegel%202006.pdf>. (на немецком языке).
- Burton, F.L., Stancel H.D., Tchobangoulos, G. 2003.** Wastewater engineering, treatment and reuse. Metcalf and Eddy Inc, 4th edition. McGraw Hill.
- CEEP 2003.** SCOPE Newsletter # 50. <http://www.ceep-phosphates.org/Files/Newsletter/scope50.pdf>. Centre Européen d'Etudes des Polyphosphates.
- CEEP 2012.** SCOPE Newsletter # 84. <http://www.ceep-phosphates.org/Files/Newsletter/ScopeNewsletter84.pdf>. Centre Européen d'Etudes des Polyphosphates.
- DWA-M 366DRAFT 2011.** Mechanical dewatering of sewage sludge. (Maschinelle Schlammmentwässerung). Entwurf German water and waste water association (DWA). См. <http://www.dwa.de>, ISBN 978-3-942964-05-0, 2011. (на немецком языке).

- DWA-M 381E 2007.** Sewage sludge thickening, German water and waste water association (DWA), <http://www.dwa.de>, ISBN 978-3-941897-43-4, 2007.
- Ener-G. About Digester Gas Utilisation.** <http://www.energ.co.uk/about-digester-gas-utilisation>
- Einfeldt, J. 2011.** Sludge handling in small and mid-size treatment plants. PURE workshop on sustainable sludge handling. Lübeck 7.9.2011. См. http://www.purebalticsea.eu/index.php/pure:presentations_from.
- European Commission, DG Environment 2011.** Conclusions of the Expert Seminar on the sustainability of phosphorus resources, 17 февраля 2011 г. Брюссель. http://ec.europa.eu/environment/natres/pdf/conclusions_17_02_2011.pdf
- European Commission, DG Environment 2012.** A Blueprint to safeguard Europe's Waters. http://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/index_en.htm, http://ec.europa.eu/environment/water/pdf/blueprint_leaflet.pdf.
- European Environment Agency EEA 2011.** Resource efficiency in Europe – Policies and approaches in 31 EEA member and cooperating countries. EEA Report 5/2011.
- European Federation of National Associations of Water and Waste Water Services EUREAU 2012.** EUREAU position on the Water Blueprint. http://eureau.org/sites/eureau.org/files/documents/2012.02.28-EUREAU_PP_Blueprint.pdf
- Guyer, J.P. 2011.** An introduction to Sludge Handling, Treatment and Disposal. CED Engineering.
- Hammer, M.J. and Hammer, M.J. Jr 2001.** Water and Waste water technology.
- HELCOM 2007.** Recommendation 28E/5. Municipal wastewater treatment. Helsinki Commission, HELCOM Baltic Sea Action Plan, Helsinki. http://www.helcom.fi/Recommendations/en_GB/rec28E_5/
- HELCOM 2007.** Recommendation 28E/7. Measures aimed at the substitution of polyphosphates (phosphorus) in detergents. Helsinki Commission, HELCOM Baltic Sea Action Plan, Helsinki. http://www.helcom.fi/Recommendations/en_GB/rec28E_7/
- HELCOM 2011.** Monitoring and Assessment Group (MONAS), Meeting 15/2011, 4-7 October 2011. Document 6/4 Application of Whole Effluent Assessment in the Baltic Sea region (COHIBA Project), Document 13/1 Minutes of the 15th Meeting of the HELCOM Monitoring and Assessment Group (HELCOM MONAS). См. <http://meeting.helcom.fi/web/monas/1>.
- Hermann, L. (Outotec Oyj, Oberusel) 2012.** Информация, полученная в ходе личной беседы.
- ICL Fertilizers 2012.** <http://www.iclfertilizers.com/fertilizers/Amfert/pages/environment.aspx>. Последнее обновление 10.9.2012.
- Ilian J. 2011.** Sewage sludge dewatering with the 'Rotations-Filtrertechnik'. (Klärschlamm entwässerung durch Rotations-Filtrertechnik), Sewage sludge forum, Rostock, 17.11.2011 (на немецком языке).
- Jardin, N. 2011.** P-Recovery out of sewage sludge and sewage sludge ashes-Status of development (Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm und Klärschlammasche – Stand der Entwicklung). Ruhrverband, DWA Klärschlamm tage Fulda, 30.3.2011. (на немецком языке).
- Kopp, J. 2010.** Properties of Sewage sludge. (Eigenschaften von Klärschlämmen). Presentation on the VDI conference, 2010. (на немецком языке).
- La Cour Jansen J, Gruvberger C, Hanner N, Aspegren H and A. Svärd 2004.** Digestion of sludge and organic waste in the sustainability concept for Malmö, Sweden. Water SciTechnol. 2004; 49(10): 163-9.
- Lengemann, A. 2011.** Berliner Wasserbetriebe, MAP – Recovery example: from a problem to marketing. (MAP – Recycling am Beispiel – von einem Problem bis zur Vermarktung), Klärschlammforum Rostock, 17.11.2011. (на немецком языке).
- Machnicka, A., Grübel, K., Suschka, J. 2009.** The use of hydrodynamic disintegration as a means to improve anaerobic digestion of activated sludge. Water SA Vol. 35 No. 1 January 2009. См. <http://www.wrc.org.za/>.
- Mathan, C., Marscheider-Weidemann, F., Menger- Krug, E., Andersson, H., Dudutyte, Z., Heidemeier, J., Krupanek, J., Leisk, Ü., Mehtonen, J., Munne, P., Nielsen, U., Siewert, S., Stance, L., Tettenborn, F., Toropovs, V., Westerdahl, J., Wickman, T., Zielonka, U. 2012.** Recommendation report. Cost-effective management options to reduce discharges, emissions and losses of hazardous substances. WP5 Final Report. Control of hazardous substances in

the Baltic Sea region – COHIBA project. Federal Environment Agency of Germany (UBA). См. http://www.cohiba-project.net/publications/en_GB/publications/.

Milieu Ltd , WRc and Risk & Policy Analysts Ltd (RPA) 2008. Study on the environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land, volume 2. DG ENV.G.4/ETU/2008/0076r. http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/part_ii_report.pdf

MMM 2011. Suomesta ravinteiden kierrätyksen mallimaa. Työryhmämuistio 2011:5. ISBN 978-952-453-649-3, ISSN 1797-4011. Helsinki. http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/tyoryhmamuistiot/newfolder_25/5xN59IPQI/trm2011_5.pdf. (на финском языке).

www.mongabay.com, <http://www.mongabay.com/images/commodities/charts/chart-phosphate.html>, последнее обновление 22.5.2012.

Nakari, T., Schultz, E., Sainio, P., Munne, P., Bachor, A., Kaj, L., Madsen, K. B., Manusadžianas, L., Mielzynska, L., Parkman, H., Pockeviciute, D., Pöllumäe, A., Strake, S., Volkov, E., Zielonka, U. 2011. Innovative approaches to chemicals control of hazardous substances. WP3 Final report. Control of hazardous substances in the Baltic Sea region – COHIBA project. Finnish Environment Institute SYKE. См. http://www.cohiba-project.net/publications/en_GB/publications/.

Nawa, Y. 2009. P- recovery in Japan the PHOSNIX process. A Poster from BALTIC 21 Phosphorus Recycling and Good Agricultural Management Practice, September 28- 30, 2009. http://www.jki.bund.de/fileadmin/dam_uploads/_koordinierend/bs_naehrstofftage/baltic21/8_poster%20UNITIKA.pdf, последнее обновление 22.5.2012.

Nickel, K., Velten, S., Sörensen, J., Neis, U. 2011. Sludge Disintegration: Improving Anaerobic and Aerobic Degradation of Biomass on Wastewater Treatment Plants. Presentation at the PURE Workshop on sustainable sludge handling. Lübeck 7.9.2011. См. http://www.purebalticsea.eu/index.php/pure:presentations_from.

Nielsen, S. 2007. Sludge treatment in reed bed systems and recycling of sludge and environmental impact. Orbicon. http://www.orbicon.com/media/UK_Artikel_Sludge_treatment_recycling_smn.pdf, last access 18.9.2012.

Ostara 2010. Ostara Group, Questions and answers. http://www.ostara.com/files/u2/Ostara_Q_A.pdf

Palfrey, R. 2011. Amendment of the EC sewage sludge directive (Novellierung der EG-Klärschlammrichtlinie – Folgenabschätzung), DWA Klärschlammtage Fulda, 29.3.2011. (на немецком языке).

Petzet, S., Cornel, P. 2011. Recovery of phosphorus from waste water. Presentation at the PURE-workshop in Lübeck. 7.9.2011. См. http://www.purebalticsea.eu/index.php/pure:presentations_from.

Petzet S., Cornel, P. 2010. New ways of Phosphorus recovery out of Sewage sludge ashes (Neue Wege des Phosphorrecyclings aus Klärschlammaschen). Technical University Darmstadt, DWA KA 4/2010. (на немецком языке).

PhöchstMengV 1980. Verordnung über Höchstmengen für Phosphate in Wasch- und Reinigungsmitteln (Phosphathöchstmengenverordnung), 4.6.1980. (на немецком языке).

Scheidig, K. 2009. Präsentation und Diskussion des Mephrec-Verfahrens, 9. Gutachtersitzung zur BMBF/BMU-Förderinitiative P-Recycling, http://www.jki.bund.de/fileadmin/dam_uploads/_koordinierend/bs_naehrstofftage/baltic21/Scheidig.pdf, 30.9.2009, last access 14.8.2012. (на немецком языке).

Schmelz, K-Georg, 2011. Sludge handling in Bottrop. Presentation at the PURE Workshop on sustainable sludge handling. Lübeck 7.9.2011. См. http://www.purebalticsea.eu/index.php/pure:presentations_from.

Schillinger, H. 2006. Sewage sludge treatment by dehydration and mineralisation in reed beds. International workshop on “Innovations in water conservation”. 21.-23.2.2006. Tehran water and wastewater company, Iran. <http://www.rcuwm.org.ir/En/Events/Documents/Workshops/Articles/7/15.pdf>, последнее обновление 18.9.2012.

Schröder, J.J., Cordell, D., Smit, A.L., Rosemarin, A. 2011. Sustainable Use of Phosphorus, EU Tender ENV.B.1/ETU/2009/0025, Wagenigen UR Report 357.

SEPA 2002. Swedish Environmental Protection Agency (Naturvårdsverket). Action plan for recycling of phosphorus from sewage. Main report to the good sludge and phosphorus cycles. (Aktionsplan för återföring av fosfor ur avlopp. Huvudrapport till bra slam och fosfor i kretslopp). Raport 5214. (на шведском языке, аннотация на английском языке).

SNV 2003. Statens Naturvårdverk. Risk för smittspridning via avloppslamm. SNV Rapport 5215. Stockholm. (на шведском языке).

Starberg, K., Karlsson, B., Larsson, J. E., Moraeus, P. & Lindberg, A. 2005. Problem och lösningar vid processoptimering av rötkamardriften vid avloppsreningsverk. Svenskt Vatten AB. Svenskt Vatten Utveckling (SVU) / VA-forsk 2005-10. http://boffe.com/rapporter/Avlopp/Slam/VA-Forsk_2005-10.pdf. (на шведском языке).

Swedish Chemical Agency 2010. Phosphates in detergents. Questions and answers.

Umweltbundesamt 2009. Requierements of hygienisation for the amendment of the sewage sludge regulation (Anforderungen an die Novellierung der Klärschlammverordnung unter besonderer Berücksichtigung von Hygieneparametern) <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3742.pdf>. (на немецком языке).

UNEP Yearbook 2011. Emerging issues in our global environment, Phosphorus and food production. <http://www.unep.org/yearbook/2011>

US Geological Survey (USGS) 2012. Annual Publications about Mineral Commodity Summaries – Phosphate Rock, http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate_rock/mcs-2012-phosp.pdf, последнее обновление 22.5.2012.

Vesilind, P. Aarne 2003. Wastewater Treatment Plant Design. Water Environment Federation.

Walley, P. 2007. Optimising thermal hydrolysis for reliable high digester solids: loading and performance, European Biosolids and Organic Resources Conference, 2007, Aqua Enviro, Manchester, UK.

WHO 2003. Guidelines for the Safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture Microbial Risk Assessment Section by S. A. Petterson & N. J. Ashbolt.

Xie, Xing, Ghani, Ooi and Ng, 2005. Ultrasonic disintegration technology in improving anaerobic digestion of sewage sludge under tropic conditions, Paper Presented to 10th European Biosolids and Biowaste Conference, UK. November 2005.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Табл. 2-1: Общий объем осадка в тоннах сухого вещества в год, образующегося в различных странах региона Балтийского моря (в соответствии с отчетами, переданными в Комиссию ЕС, и прогнозами соответствующих государств-членов ЕС) (Milieu, WRc и RPA 2008 г.).....	12
Табл. 3-1: Результаты гравитационного уплотнения осадков с использованием и без использования флокулянта (DWA-M 381E, 2007 г.), (Burton, F.L et al., 2003 г.).....	20
Табл. 3-2: Сравнение различных типов илоуплотнителей.....	27
Табл. 3-3: Сравнение результатов уплотнения избыточного ила на очистных сооружениях партнеров по проекту PURE	27
Табл. 5-1: Сравнение результатов сбраживания и механического обезвоживания осадков на очистных сооружениях партнеров по проекту PURE. BioP = биологическое удаление фосфора	50
Табл. 5-2: Обзор методов обезвоживания и их использование в регионе Балтийского моря.	51
Табл. 6-1: Обзор методов обеззараживания. В зависимости от нормативных требований и затрат (электроэнергия, персонал, закупка оборудования, реагенты), классификация может изменяться (на основе данных UBA, 2009 г.).	64
Табл. 6-2: Сравнение наиболее распространенных в регионе Балтийского моря методов обеззараживания осадка	65
Табл. 7-1: Обзор методов непосредственного и косвенного нагрева, применяемых для сушки осадков сточных вод	72
Табл. 8-1: Сжигание в котлах с колосниковой решеткой и в кипящем слое	78
Табл. 9-1: Концентрации тяжелых металлов в осадках сточных вод в мг/кг сухого вещества (Palfrey, 2011 г.).....	81
Табл. 10-1: Сравнение различных методов очистки иловой воды. ДН-процесс = процесс денитрификации-нитрификации.....	89
Табл. 12-1: Сравнительный анализ предельно допустимых концентраций тяжелых металлов, установленных действующим законодательством Финляндии, Швеции, Дании и Германии при использовании осадков в сельскохозяйственных целях. Если в государстве действуют несколько нормативных актов с различными требованиями в отношении концентраций тяжелых металлов, в качестве источника данных для таблицы выбран нормативный акт, реализующий положения Директивы по осадку сточных вод.	103
Табл. 12-2: Краткий обзор требований действующего законодательства Финляндии, Швеции, Дании и Германии в сфере обращения с осадками сточных вод в сравнении с Директивами ЕС (--- = «не установлено»).....	104
Табл. 12-3: Краткий обзор требований действующего законодательства Эстонии, Латвии, Литвы и Польши в сфере обращения с осадками сточных вод в сравнении с Директивами ЕС.....	106
Табл. 12-4: Сравнительный анализ установленных действующим законодательством Эстонии, Латвии, Литвы и Польши предельно допустимых концентраций тяжелых металлов при использовании осадков в сельскохозяйственных целях	108
Табл. 12-5: Сравнительный анализ установленных действующим законодательством России и Беларуси предельно допустимых концентраций тяжелых металлов при использовании осадков в сельскохозяйственных целях в сравнении с Директивами ЕС. В России и Беларуси используются одни и те же стандарты, требования которых в данной таблице сравниваются с требованиями Директивы по осадкам сточных вод	109
Табл. 12-6: Краткий обзор требований действующего законодательства России и Беларуси в сфере обращения с осадками сточных вод в сравнении с Директивами ЕС (N = азот)	108

www.purebalticsea.eu

The publication reflects the authors views and the Managing Authority cannot be held liable for the information published by the project partners.