Interreg
Baltic Sea Region

EUROPEAN UNION
EUROPEAN REGIONAL DEVELOPMENT FUND

WITH FINANCIAL SUPPORT OF THE RUSSIAN FEDERATION

PLATFORM BSR WATER

Руководство по интегрированной модели сотрудничества «Стоки – Осадок – Энергия»

BSR WATER – Платформа по интегрированному взаимодействию в сфере управления водными ресурсами, Университет г. Тарту, 2021

Выходные данные

Данная публикация была разработана в рамках европейского проекта **BSR WATER – Платформа по интегрированному взаимодействию в сфере управления водными ресурсами**, со-финансируемого Европейским Фондом Регионального Развития.

Консорциум проекта BSR WATER: Комиссия по устойчивому развитию Союза Балтийских городов (Финляндия), Комиссия по защите среды Балтийского моря – Хельсинкская Комиссия (ХЕЛКОМ) (Финляндия), Технический Университет Берлина (Германия), Университет г. Тарту (Эстония), Гданьский Технологический Университет (Польша), SYKLI Экологическая Школа Финляндии (Финляндия), Администрация г. Риги (Латвия), Администрация г. Хельсинки (Финляндия), Государственное геологическое унитарное предприятие г. Санкт-Петербурга «Минерал» (Россия), Государственное автономное учреждение Калининградской области «Экологический центр «ЕКАТ-Калининград» (Россия).

Исключительная ответственность за содержание данной публикации лежит на авторах. Это не обязательно отражает мнение Европейского Союза.

Контракт: BSR WATER – Платформа по интегрированному взаимодействию в сфере управления водными ресурсами №. C001

Наименование: Руководство по интегрированной модели сотрудничества «Стоки-Осадок-Энергия»

Версия: Август 2021

Авторы: Маркус Раудкиви, Университет г. Тарту, Стэфан Реттиг, Технологический Университет Берлина

Соавторы: Дмитрий Франк-Каменецкий (ХЕЛКОМ), Агнешка Илола (Комиссия по устойчивому развитию Союза Балтийских городов), Мария Андреева (Комиссия по устойчивому развитию Союза Балтийских городов), Кайса Риико (ХЕЛКОМ), Тааво Тенно (Университет г. Тарту). Благодарность всем партнерам проекта BSR WATER за помощь и поддержку.

Макет: Лаура Сарлин, Комиссия по устойчивому развитию Союза Балтийских городов

Изображение на обложке: © Shutterstock

Эта публикация является предметом интеллектуальной собственности консорциума проекта BSR WATER, а также ее авторов и соавторов. This publication is subject to the copyright of the BSR WATER consortium and its authors and contributors.

Как цитировать: Raudkivi, M., Rettig, S. (2021). Guidelines on integrated model for Water-Sludge-Energy cooperation. Deliverable 4.3 of the BSR WATER project, co-funded by the European Development Fund. University of Tartu.
www.bsrwater.eu/news/publication-guidelines-water-sludge-energy.

Примечание о проекте

Софинансируемый Европейским Союзом проект **BSR WATER – Платформа по интегрированному взаимодействию в сфере управления водными ресурсами** (2018–2021, www.bsrwater.eu) нацелен на усиление межотраслевого взаимодействия по рациональному управлению водными ресурсами путем предоставления возможности для транснационального обмена опытом, наилучшими практиками и решениями, а также путем обзора текущей и будущей региональной политики. Платформа объединяет экспертов, представляющих разнообразные проекты, которые через транснациональную кооперацию выработали множество воспроизводимых и уникальных решений, охватывающих широкий круг решений в водной сфере.

Кооперация на базе платформы основывается на практических достижениях и результатах семи проектов, направленных на решение большого спектра вопросов в сфере управления водными ресурсами. Итоги и практические выводы участвующих в платформе проектов (IWAMA, BEST, iWater, Manure Standards, Village Waters, Reviving Baltic Resilience, CliPLivE) способствуют долгосрочному развитию региональной экологической политики и рекомендаций, что будет способствовать дальнейшему укреплению связи между политикой и практикой в реализации передовых мер по защите водной среды, включая эффективное управление биогенами, иловым осадком и ливневыми водами, а также энергоэффективность как на национальном, так и на муниципальном уровнях.

1. Предисловие

В последнее десятилетие эффективное использование ресурсов стало важной задачей современного общества, поскольку мы стали более внимательно относиться к климату и заметили негативное влияние на окружающую среду нашего потребительского к ней отношения. Самые настоящие острова из пластика в морях и океанах, высокая степень загрязнения обширных территорий, связанных с добычей полезных ископаемых и другими видами деятельности, всё это говорит о том, что производство первичных ресурсов не может продолжаться так, как это происходит сегодня. Выход из сложившейся ситуации предлагает экономика замкнутого цикла. Речь идет о максимальном увеличении повторного использования, переработки и восстановления материалов и создании рынка сбыта этих вторичных ресурсов. При этом деятельность по переработке отходов должна осуществляться с учетом возможного её влияния на климат, в связи с чем инвестиции в устойчивую энергетику становятся важной составляющей экономики замкнутого цикла.

Одним из ключевых инфраструктурных объектов в повседневной жизни современного общества, где пересекается множество ресурсов из широкой распределительной сети и откуда они попадают, выходя из локальных систем, в окружающую среду, являются очистные сооружения. Сточные воды содержат в себе многочисленные ресурсы: от таких очевидных как питательные вещества и сама вода, до более сложных, таких как энергия, ценные металлы и химические соединения. Вместе с подлежащими переработке ресурсами переносится множество загрязнений: от патогенов и микроорганизмов до сложных и токсичных органических молекул. Для того, чтобы замкнуть круговорот многих ресурсов, необходимы эффективные технологии, подходы и бизнес-модели, позволяющие извлекать ценные компоненты из отходов и сточных вод, одновременно защищая население и природу от загрязнения, которое они переносят. Значительные изменения в работе очистных сооружений требуются не только для развития экономики замкнутого цикла, но и для борьбы с изменением климата. Согласно многочисленным исследованиям [1] - [3] муниципальные очистные сооружения являются одним из крупнейших источников парниковых газов и, следовательно, находятся под давлением требований значительных изменений для достижения климатических целей, установленных Европейским Союзом (ЕС).

Исторически цель очистных сооружений всегда заключалась в очистке стоков до допустимого качества и обеспечении приемлемых гигиенических и санитарных условий для жизни общества наиболее рентабельным способом. Очень дорогостоящие технологии, обладающие хорошей эффективностью, часто не используются, поскольку стоимость очистки сточных вод оплачивается населением, а их коллективный интерес отдает предпочтение самым дешевым из доступных вариантов. В то же время список веществ, которые должны отслеживать канализационные очистные сооружения (КОС), значительно увеличился благодаря увеличившемуся аналитическому потенциалу и

лучшему пониманию видов загрязнения вокруг нас: от органического углерода, соединений азота и фосфора до тяжелых металлов, отдельных органических веществ, следов фармацевтических препаратов и т. д. Стандарт того, что мы сегодня называем чистой водой, совершенно другой, и поэтому для его поддержания необходимо применять новые технологии и идеи.

При использовании новых подходов и технологий все часто сводится к затратам и финансовой целесообразности. А самые передовые технологии связаны с увеличением потребности в электроэнергии или использовании химических веществах. Таким образом, одним из способов снижения части затрат при внедрении передовых технологий очистки сточных вод является производство энергии на самих очистных сооружениях. На более крупных КОС уже используются анаэробное сбраживание и различные технологии использования биогаза для производства непосредственно электричества и тепла или производства биометанового топлива для продажи. Развитие такого рода деятельности может являться потенциальной возможностью уравновесить увеличивающиеся затраты на модернизацию очистки стоков, а некоторые технологии могут даже убить двух зайцев одним выстрелом - одновременно увеличить производство энергии и разложение органики. Однако реализуемость распределения произведенной энергии во многом зависит от политических решений, законодательства и местных стимулов, которые иногда могут препятствовать такому развитию.

Хотя национальные законы и не всегда оказывают необходимую поддержку, достижение нейтрального или положительного энергетического баланса становится целью, к которой начали стремиться многие очистные сооружения. Этого можно добиться с помощью грамотного обслуживания насосов и воздуходувок, эффективного производства и использования биогаза или даже последующих инвестиций в устойчивое производство энергии. Тесное сотрудничество с близлежащими предприятиями также может дать хороший импульс, поскольку в некоторых случаях увеличить производство биогаза можно путем организации поступления из вне больших объемов легко разлагаемых органических веществ.

С точки зрения изменения климата, еще одна потенциальная цель очистных сооружений - стать предприятиями с климатически нейтральным/положительным балансом. Такое внимание к теме изменения климата означает более глубокое понимание вопросов выбросов парниковых газов (ПГ) от различных процессов, происходящих на очистных сооружениях, и компенсации количества выбрасываемых парниковых газов с помощью действий, определяемых как положительные с точки зрения изменения климата. Такие действия среди прочих включают инвестиции в устойчивую энергетику и устойчивое производство топлива, так как возобновляемые источники энергии и топливо имеют отрицательный показатель по парниковым газам и, следовательно, положительный климатический баланс.

В то же время, поскольку экономика замкнутого цикла и восстановление питательных веществ имеют и другие, более важные аспекты, некоторые передовые предприятия этого сектора не только меняют свой энергетический или климатический баланс, но и претерпевают серьезные изменения в общем подходе к организации процесса. Это подразумевает полный ребрендинг существующей структуры, когда очистные сооружения позиционируют себя как предприятие по восстановлению ресурсов из отходов (Waste Resource Recovery Facility, WRRF). Как следует из самого названия, такие очистные сооружения делают более серьёзный упор на восстановление ресурсов, инвестируя огромные средства в рециклинг питательных веществ, производство энергии и передовые технологии очистки.

Какой бы из трех основных новых подходов ни выбрало предприятие КОС, новые технологии, подходы и успешное сотрудничество между различными секторами являются основой любых изменений. Эффективное промышленное сотрудничество может привести к снижению поступления опасных веществ на очистные сооружения и увеличению производства биогаза; сотрудничество с общественностью может изменить качество поступающих на очистные сооружения хозбытовых стоков, уменьшить количество мусора, микропластика и опасных органических веществ в сточных водах. Сотрудничество с другими муниципалитетами и очистными сооружениями может сделать переработку осадка более эффективной и увеличить производство биогаза на более крупных центральных очистных сооружениях, уменьшить количество притока разбавленных ливневых вод или обеспечить дополнительные финансовые меры поддержки. Политический подход или общественное мнение могут потребовать от КОС внедрения некоторых финансово обременительных технологий или подходов. Хотя если это негативное влияние уравновешивается дополнительными положительными финансовыми мерами (стимулами, налоговыми льготами), конечный эффект может стать для КОС рентабельным. Примерами такого развития могут служить высокотехнологичная очистка для разложения более сложных субстратов, очистка ливневых стоков в высокоиндустриальных районах или производство биометана для городской сети общественного транспорта.

В данном документе под названием «Руководство по интегрированной модели сотрудничества «Стоки – Осадок - Энергия» обозначены возможные точки взаимодействия для предприятий КОС. Эти точки взаимодействия разделены на точки «на входе» в систему и точки «на выходе» из системы, где первая категория касается разных потоков материалов, поступающих на очистные сооружения, а вторая - ресурсов или энергии, которые могут быть произведены на очистных сооружениях или даже реализованы за их пределами. Характеристика каждой точки взаимодействия содержит краткие рекомендации по её применению, потенциальный финансовый баланс и, в большинстве случаев, примеры действий. Точки взаимодействия «на входе» также включают в себя обзор различных важных

параметров и потенциальный общий эффект для работы очистных сооружений, что может помочь заинтересованным сторонам в принятии обоснованных решений.

В связи с тем, что данный документ тесно связан с примерами практической реализации моделей кооперации, обновленный перечень различных подходов к повторному использованию воды можно найти на онлайн портале Baltic Smart Water hub, применив в поиске **«cooperation model»: www.balticwaterhub.net/hub/tags/cooperation-model-134**.

Этот документ следует использовать в качестве руководства для определения возможных вариантов сотрудничества конкретных КОС, рассмотрения важных факторов и параметров, ознакомления с успешными примерами и потенциальными источниками дополнительной информации по региону Балтийского моря.

Содержание

1. Предисловие..... 4

2. Визуальная модель точек кооперации 10

3. Точки кооперации «на входе».....11

3.1. A – Стоки, поступающие на очистные сооружения 11

3.1.1. Рекомендация A.1 – Разделение ливневой и хозяйственно-бытовой систем канализации 11

3.1.2. Рекомендация A.2 – Прием контролируемо откачиваемых жидких стоков из септиков, туалетов с выгребными ямами и других местных санитарных систем без добавления большого количества химикатов..... 133

3.1.3. Рекомендация A.3 – Прием сточных вод от промышленных источников (пищевая промышленность) с высоким содержанием легко разлагаемых органических веществ 155

3.1.4. Рекомендация A.4 – Сотрудничество с близлежащими предприятиями по приему промышленных сточных вод для централизованной предварительной очистки или оказания помощи небольшим компаниям в предварительной очистке на месте..... 188

3.2. B – Биоразлагаемый материал для анаэробного сбраживания 221

3.2.1. Рекомендация B.1 – Прием илового осадка с небольших очистных сооружений и твердой фракции осадка из септиков для процессов обезвоживания или анаэробного сбраживания 221

3.2.2. Рекомендация B.2 – Приём внешнего биоразлагаемого материала для анаэробного сбраживания с целью увеличения производства биогаза 233

4. Точки кооперации «на выходе»: 255

4.1. C – Производство энергии на очистных сооружениях 255

4.1.1. Рекомендация C.1 – Увеличение производтсва энергии с помощью новых когенерационных двигателей..... 255

4.1.2. Рекомендация C.2 – Продажа излишков энергии в сеть..... 266

4.1.3. Рекомендация C.3 – Оснащение очистных сооружений теплообменниками для отвода тепла из сточных вод, дополнительных потоков или сточных вод .. 277

4.1.4. Рекомендация C.4 – Оборудование очистных сооружений солнечными панелями..... 288

4.1.5. Рекомендация C.5 – Оборудование очистных сооружений ветрогенераторными установками 30

4.1.6. Рекомендация C.6 – Производство гидроэлектроэнергии из сточных вод 32

4.2. D – Стоки с очистных сооружений 34

4.2.1. Рекомаендация D.1 – Повторное использование очищенных и чистых сточных вод на соседних промышленных предприятиях для очистки, охлаждения и других процессов 344

4.3. E – Переработанный иловый осадок или продукты, полученные в результате очистки (зола, струвит)..... 366

4.3.1. Рекомендация E.1 – Прямое использование обработанного илового осадка в сельском хозяйстве или при рекультивации 366

4.3.2. Рекомендация E.2 – Транспортировка обработанного осадка на станцию централизованной очистки 377

4.3.3. Рекомендация E.3 – Извлечение фосфора из золы, полученной при сжигании осадка 399

4.3.4. Рекомендация E.4 – Осаждение струвита или гидроксиапатита из сточных вод или осадка 41
4.3.5. Рекомендация E.5 – Магнитная сепарация виванита..... 433
5. Послесловие 44
Правовая оговорка.....46
Ссылки 47

2. Визуальная модель точек кооперации

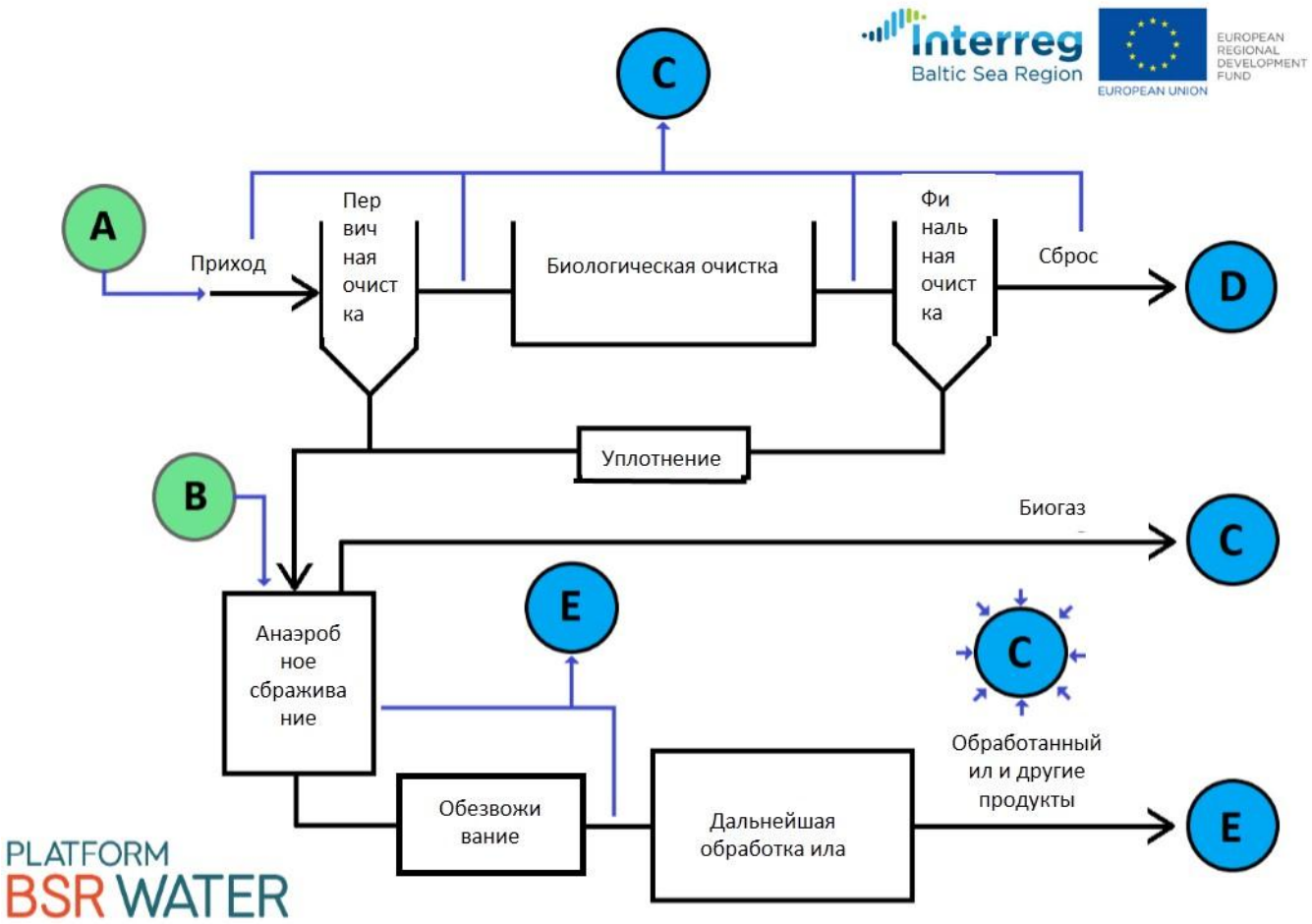

Рисунок 1 - Визуальная модель точек кооперации. Точки «на входе» отмечены зеленым (Точка A – поступление на очистные сооружения, Точка B – биоразлагаемый материал для анаэробного сбраживания), точки «на выходе» отмечены синим (Точка C – производство энергии на очистных сооружениях, Точка D – стоки с очистных сооружений, Точка E – обработанный ил или материал после очистки (зола, струвит)

3. Точки кооперации «на входе»

3.1. A – Стоки, поступающие на очистные сооружения

3.1.1. Рекомендация A.1 – Разделение ливневой и хозяйственно-бытовой систем канализации

Рекомендуется для таких предприятий как:

- очистные сооружения с комбинированной системой водоотведения и поступающим стоком, характеризующимся низкими температурами, разбавлением, пиковыми нагрузками, которые превышают возможности очистных сооружений по очистке или по пропускной способности.

Описание:

Комбинированная канализационная система для ливневых и хозяйственно-бытовых сточных вод создает довольно много потенциальных проблем для очистных сооружений. Раздельные канализационные системы становятся нормой, чтобы поддерживать оптимальный гидравлический режим на очистных сооружениях, уменьшать последствия разбавления стоков ливневыми водами, повышать температуру поступающих стоков и снижать опасность подтопления в городах. Хотя эта практика и широко распространена, разделение канализационных систем требует значительных капиталовложений, на инфраструктурные работы часто уходят годы, и это может вызвать ощутимый негативный общественный резонанс (масштабные дорожные работы и озабоченность по поводу экологической безопасности ливневых стоков). Хорошей отправной точкой является разделение сетей тогда, когда застраиваются новые микрорайоны или производится реконструкция существующих сетей.

Важные параметры и потенциальный эффект:

- Температура сточных вод
    - Температура хозяйственно-бытовых стоков по большей части достаточно стабильна, когда температура ливневых вод зависит от погоды. Зимой ливневые и талые сточные воды могут значительно снизить температуру воды, поступающей на очистные сооружения, что может отрицательно сказаться на эффективности биологического удаления азота.
- Микрозагрязнители (как пластик, так и химические вещества)
    - Помимо того, что сточные воды из городской среды содержат множество различных микрозагрязнителей, ливневые воды могут дополнительно транспортировать на очистные сооружения пестициды, остатки резиновых покрышек, масла, бензин и другие загрязняющие вещества.

Эти компоненты не должны попадать в окружающую среду без их предварительной очистки, и эта очистка может быть дешевле/эффективнее, если она будет производиться отдельно от хозяйственно-бытовых сточных вод и осадка.

Финансовая осуществимость:

Основная финансовая выгода может быть получена за счет уменьшения ежедневных гидравлических нагрузок, что может значительно снизить потребление энергии на аэрацию, перемешивание и перекачивание. Однако строительство отдельной канализационной системы требует долгосрочных инвестиций; поэтому данное решение не является рентабельным в краткосрочной перспективе.

3.1.2. Рекомендация A.2 – Приём контролируемо откаченных жидких стоков из септиков, туалетов с выгребными ямами и других местных санитарных систем без добавления большого количества химикатов

Рекомендуется для таких предприятий как:

- Более крупные очистные сооружения, не страдающие от резкого увеличения перекачиваемых из септиков стоков;
- Небольшие очистные сооружений с отдельным резервуаром для хранения стоков, способные контролировать добавление перекачиваемых из септиков отходов к сточным водам, поступающим на очистку.

Описание:

Во многих районах с низкой плотностью населения или ограниченной канализационной сетью домохозяйства оборудованы собственными местными системами канализации, такими как септики и туалеты с выгребной ямой. Хотя эти стоки рекомендуется очищать на специализированных очистных сооружениях, их по-прежнему часто вывозят на муниципальные КОС. Очистные сооружения, принимающие сточные воды, должны иметь дополнительную мощность очистки и возможность разделения жидкой и твердой фракций. Относительно небольшие объемы могут оказывать большое влияние на содержание органических веществ, взвешенных твердых частиц и азота и, следовательно, во избежание перегрузки резервуаров биологической очистки следует использовать такие методы как отделение твердых частиц, использование датчиков для определения содержания органических веществ, контролируемое смешивание с хозяйственно-бытовыми стоками и другие передовые технологии [4]. Твердая фракция, отделенная от шлама после септика, может быть использована при анаэробном сбраживании (информация по «точке кооперации» B).

Важные параметры и потенциальный эффект:

- Концентрация C, N, P (избыточная нагрузка по загрязняющим веществам)
    - Напрямую увеличивает расходы очистных сооружений, так как появляется необходимость как-то справляться с повышенной нагрузкой по биогенам. Для более крупных очистных сооружений с анаэробным сбраживанием дополнительные БПК и первичный ил могут быть весьма полезными.
- Токсичные вещества, попадающие в канализационные системы
    - Хотя и не рекомендуется принимать жидкие отходы с высоким содержанием химикатов (из биотуалетов), практика работы очистных сооружений по-прежнему показывает, что иногда очищенные стоки все еще могут содержать эти типы отходов, о которых не сообщается. Датчики, камеры и хороший учет могут снизить риски.
- Мусор и посторонние предметы

Финансовая осуществимость:

Такой тип сотрудничества может быть финансово осуществим, если дополнительный доход от приема шлама из септиков выше, чем стоимость очистки, и можно избежать более серьезных проблем, делающих очистку городских сточных вод неэффективной. Дополнительные датчики и лабораторные исследования уменьшают потенциальную прибыль, но могут сделать работу более безопасной и контролируемой. В некоторых случаях имеет смысл рассмотреть вопрос о плате за загрязнение.

3.1.3. Рекомендации A.3 – Прием сточных вод от промышленных источников (пищевая промышленность) с высоким содержанием легко разлагаемых органических веществ

Рекомендуется для таких предприятий как:

- Очистные сооружения с анаэробным сбраживанием или анаэробной очисткой сточных вод;
- Небольшие очистные сооружения, испытывающие трудности с биологической очисткой азота из-за низкого содержания органического углерода в исходных сточных водах.

Описание:

Для очистных сооружений с производством биогаза повышенный уровень поступающего легко разлагаемого углерода может напрямую увеличить производство биогаза, что, в свою очередь, позволяет добиться нейтрального или даже положительного энергобаланса в работе КОС. Однако пищевые остатки могут увеличить потребность в техническом обслуживании части оборудования и, следовательно, косвенно увеличить эксплуатационные затраты.

Принятие легко биоразлагаемых источников углерода также возможно и на небольших очистных сооружениях с низкими концентрациями БПК в стоках и дополнительным дозированием метанола для денитрификации. В этом случае более всего подходят небольшие КОС с более низким расходом стоков, поскольку слишком высокий входящий БПК может привести к избыточному образованию вторичного осадка и создать проблемы при его переработке.

Важные параметры и потенциальный эффект:

- БПК и соотношение БПК/ХПК, характеризующие биоразлагаемость
    - Увеличение производства биогаза: более высокий показатель БПК на входе позволяет получать больший объем как первичного, так и вторичного осадка, увеличивая общую массу осадка, поступающего на сбраживание, а, следовательно, и производство биогаза.
    - Для очистных сооружений со слишком низким содержанием органического углерода во входящем потоке принятие промстоков с высоким уровнем БПК может уменьшить или устранить необходимость во внешнем добавлении органического углерода посредством дозирования метанола. Это также может повысить эффективность биологического удаления фосфора и азота, и повысить качество очистки стоков.
- Имеющийся и дополнительный объемы метантенков
    - Прием большего количества органических веществ означает увеличение образования осадка, поэтому в метантенках должен быть запасной

объем, который можно использовать. В более долгосрочной перспективе возможно строительство дополнительных метантенков, если в случае новых инвестиций понадобятся стабильное поступление промстоков и, соответственно, долгосрочные договорные отношения.

- Концентрация биогенов (азот, фосфор)
    - Высокая дополнительная концентрация азота может увеличить энергозатратность процесса аэрации и, потенциально, дозирование метанола (зависит от того, сколько органических веществ удаляется с первичным осадком), что ведет к более высоким расходам.
    - Высокая дополнительная концентрация фосфора может увеличить потребность в химическом осаждении фосфора, увеличивая расходы на химикаты для осаждения, такие как $FeSO_4$ и $Al_2(SO_4)_3$.
- Опасные вещества, такие как тяжелые металлы, различные органические загрязнители, остатки фармацевтических препаратов, микропластик и т. д.
    - могут сделать обработанный иловый осадок непригодным для использования, нанести вред окружающей среде, вызвать необходимость третичной очистки для достижения необходимого качества,
    - может вызвать ингибирование биологической очистки или сбраживания, снизить эффективность и увеличить финансовые затраты. В очень критических случаях сильное ингибирование может вывести из строя биологическую очистку и привести к очень высоким концентрациям биогенов в сбрасываемых очищенных стоках, что приведет к высоким экологическим издержкам и потенциальным штрафам.

Финансовая осуществимость:

Финансовая осуществимость будет в основном обусловлена увеличением производства биогаза и энергии, а также уменьшением счетов за электроэнергию. Дополнительный приток, конечно, увеличит затраты на очистку, а стоки, поступающие от пищевой промышленности, могут также значительно увеличить затраты на техническое обслуживание оборудования. При этом в большинстве случаев такая практика очень рентабельна и характеризуется быстрой финансовой осуществимостью без длительной окупаемости инвестиций. Следует учесть и некоторую дополнительную информацию:

- Финансовая возможность увеличения производства биогаза во многом зависит от его использования. Использование ТЭЦ с высокими коэффициентами выработки электроэнергии может значительно повысить осуществимость, поскольку уменьшатся объемы электроэнергии, которую необходимо покупать в сети, или даже станет возможным продавать её обратно, если будет разработана схема приема электроэнергии от источников генерации.

- В то время как преобразование биогаза в биометан по-прежнему в большинстве расчетов приводит к потере денег по сравнению с производством электроэнергии, биометан может использоваться общественным транспортом, работающем на газе. Часто это бывает политическим решением (цели ЕС относительно экологичного транспорта), и при наличии хороших финансовых компенсационных мер также может иметь положительный финансовый эффект для очистных сооружений.

Пример: Очистные сооружения в Гревесмюлен, Германия

3.1.4. Рекомендация A.4 – Сотрудничество с близлежащими предприятиями по приему промышленных сточных вод для централизованной предварительной очистки или оказания помощи небольшим компаниям в предварительной очистке на месте

Рекомендуется для таких предприятий как:

- Муниципальные очистные сооружения с большим количеством небольших промпредприятий поблизости, нуждающихся в индивидуальной или предварительной очистке сточных вод.

Описание:

Промышленные стоки могут представлять большую угрозу для многих городских очистных сооружений, в основном из-за повышенной концентрации биогенов, тяжелых металлов или органических загрязнителей. Поэтому многие предприятия должны иметь собственную предварительную очистку для удаления наиболее проблемных компонентов из своих стоков, которые затем сбрасываются в городские канализационные системы. Однако эти технологии предварительной очистки могут быть довольно дорогими и сложными в эксплуатации, что приводит к серьезным проблемам для многих небольших производителей. К сожалению, нередко встречается разбавление промстоков или их незаконный сброс в обход правил системы общественной канализации.

В районах с множеством небольших производств или технологических/промышленных парков совместная или централизованная предварительная очистка является вариантом, который ранее практически не рассматривался. Это, конечно, не всегда может быть полезно из-за потенциально различных отраслей производства и, следовательно, различных потребностей в системах предварительной очистки, но на многих территориях сходные отрасли группируются вместе. Это может быть особенно полезно для горнодобывающих предприятий, где большинство компаний работают с одними и теми же материалами. Такая централизованная станция предварительной очистки может находиться в зоне промышленного парка или на окраине местной КОС и эксплуатироваться местными очистными сооружениями, что станет хорошей возможностью для сотрудничества. Персонал уже обладает знаниями и навыками, необходимыми для правильной работы технологий очистки, а также пониманием последующих процессов и результатов, которые необходимо будет достичь при предварительной очистке, чтобы обеспечить безопасность для общей очистки сточных вод. Поскольку более мелким предприятиям тогда не нужно закупать и постоянно эксплуатировать собственные технологические мощности предварительной очистки, с финансовой точки зрения эта система должна быть выгодна как для очистных сооружений, так и для промышленности.

Другим важным компонентом данной рекомендации является чисто техническое сотрудничество между промпредприятиями и местными очистными сооружениями, когда КОС либо сами осуществляют очистку, либо дают рекомендации по предварительной очистке, проводимой на предприятии. Это также может помочь повысить эффективность предварительной очистки и обеспечить больший контроль за поступающими на очистные сооружения стоками. Поскольку ни очистные сооружения, ни промышленность обычно не хотят создавать проблемы или платить штрафы за загрязнение, успешное сотрудничество будет выгодным для всех заинтересованных сторон.

Важные параметры и потенциальный эффект:

- Концентрации различных токсичных веществ
    - Любые промышленные стоки, поступающие после предварительной очистки, должны быть безопасными для биологической очистки, поскольку некоторые вещества могут вызывать ощутимое биологическое ингибирование и снижать эффективность удаления биогенов на очистных сооружениях. Точно так же загрязняющие вещества часто адсорбируются твердыми частицами, и образующийся осадок приобретает более высокие концентрации токсичных веществ.
    - Когда предварительная очистка стоков осуществляется кем-то другим, промышленные предприятия могут не контролировать степень их загрязнения или не следить за тем, чтобы системы эксплуатировались наиболее экологически приемлемым способом, поскольку они сами уже не видят влияния, оказываемого качеством стоков. Следовательно, могут потребоваться отлаженные механизмы обратной связи и поддерживания постоянного контракта с предприятиями.

Финансовая осуществимость:

Инвестиции в технологии предварительной очистки могут быть для небольших предприятий слишком высокими, поэтому, объединяя свои усилия с другими, они могут значительно снизить свою долю инвестиций. Любая технология предварительной очистки потребует её обслуживания и эксплуатации, следовательно, целесообразно передать эту функцию на аутсорсинг местному персоналу очистных сооружений, который уже выполняет аналогичные задачи. Это может снизить общие затраты на предварительную очистку для компании, а также обеспечить дополнительный доход для очистных сооружений. Поскольку очистные сооружения смогут лучше контролировать нагрузку загрязнения на общественную канализационную систему, это также поможет улучшить работу очистных сооружений в целом и снизить риск случаев ингибирования и потенциальных штрафов за загрязнение.

Для более крупных предприятий аутсорсинг или консультационные услуги очистных сооружений по предварительной очистке их сточных вод может снизить нагрузку загрязнения промстоками и оптимизировать систему предварительной очистки. Финансовая осуществимость может быть не такой простой, но, учитывая различные штрафы и новые правила, изменяющиеся в сторону еще более низкого уровня загрязнения окружающей среды, общий результат сотрудничества даже с финансовой точки зрения будет, по крайней мере, нулевым или даже слегка положительным.

3.2. B – Биоразлагаемый материал для анаэробного сбраживания

3.2.1. Рекомендация B.1 – Прием илового осадка с небольших очистных сооружений и твердой фракции осадка из септиков для процессов обезвоживания или анаэробного сбраживания

Рекомендуется для таких предприятий как:

- Очистные сооружения с анаэробным сбраживанием или анаэробной очисткой сточных вод.

Описание:

Как упоминалось ранее, муниципальные очистные сооружения, принимающие осадок из септиков локальных систем очистки, должны иметь оборудование для отделения твердых частиц. Твердая фракция осадка из септиков может быть добавлена для загущения или анаэробного сбраживания. Вместе с осадком из септиков более крупные очистные сооружения могут также принимать обезвоженный отработанный ил от небольших очистных сооружений, расположенных поблизости (централизованные системы канализации). Этот поступающий материал можно использовать для увеличения производства биогаза, а дополнительный осадок идет на последующую обработку общего осадка. Такое сотрудничество между небольшими и крупными очистными сооружениями может устранить необходимость в малообъемных технологиях обработки илового осадка и обеспечить значительную экономию затрат на один килограмм его очистки.

Важные параметры и потенциальный эффект:

- Имеющийся и дополнительный объемы метантенков
    - Прием большего количества органических веществ означает увеличение образования осадка, поэтому в метантенках должен быть запасной объем, который можно использовать. В более долгосрочной перспективе возможно строительство дополнительных метантенков, если в случае новых инвестиций понадобятся стабильное поступление промстоков и, соответственно, долгосрочные договорные отношения.
- Концентрация биогенов (азот, фосфор)
    - Азот и фосфор в основном остаются в метантенке и часто возвращаются на биологическую очистку с возвратной водой после обезвоживания. Например, белки имеют очень высокое содержание азота, что может значительно увеличить затраты на биологическую очистку. При использовании дополнительного процесса очистки, такого как анаммокс, влияние высоких нагрузок по биогенам уменьшается.

- Опасные вещества, такие как тяжелые металлы, различные органические загрязнители, остатки фармацевтических препаратов и т. д.
    - могут сделать обработанный иловый осадок непригодным для использования, или даже нанести вред окружающей среде,
    - загрязняющие вещества могут попасть на биологическую очистку с возвратной водой, и вызвать ингибирование биологической очистки или сбраживания, снизить эффективность и увеличить финансовые затраты. В очень критических случаях сильное ингибирование может вывести из строя биологическую очистку и привести к очень высоким концентрациям биогенов в сбрасываемых очищенных стоках, что приведет к высоким экологическим издержкам и потенциальным штрафам.

Финансовая осуществимость:

Финансовая осуществимость будет в основном обусловлена увеличением производства биогаза и энергии, а также уменьшением счетов за электроэнергию. Дополнительный иловый осадок, конечно, увеличит затраты на очистку, а его перемещение между КОС, может также значительно увеличить затраты на техническое обслуживание оборудования. При этом в большинстве случаев такая практика очень рентабельна и характеризуется быстрой финансовой осуществимостью без высокой отдачи от инвестиций. Следует учесть и некоторую дополнительную информацию:

- Финансовая возможность увеличения производства биогаза во многом зависит от его использования. Использование ТЭЦ с высокими коэффициентами выработки электроэнергии может значительно повысить осуществимость, поскольку уменьшатся объемы электроэнергии, которую необходимо покупать в сети, или даже станет возможным продавать её обратно, если будет разработана схема приема электроэнергии от источников генерации.
- В то время как преобразование биогаза в биометан по-прежнему в большинстве расчетов приводит к потере денег по сравнению с производством электроэнергии, биометан может использоваться общественным транспортом, работающем на газе. Часто это бывает политическим решением (цели ЕС относительно экологичного транспорта), и при наличии хороших финансовых компенсационных мер также может иметь положительный финансовый эффект для очистных сооружений.

Пример: Очистные сооружения в Гревесмюлен, Германия

3.2.2. Рекомендация B.2 – Приём внешнего биоразлагаемого материала для анаэробного сбраживания с целью увеличения производства биогаза

Рекомендуется для таких предприятий как:

- Очистные сооружения с анаэробным сбраживанием или анаэробной очисткой сточных вод и неиспользуемыми метантенками.

Описание:

Один из самых простых вариантов достижения нейтрального/положительного энергобаланса очистных сооружений - увеличение производства биогаза в анаэробных метантенках. Наиболее распространенным способом достижения этой цели является приемка биоразлагаемых материалов из различных отраслей промышленности (отходы пищевой промышленности, отходы маслоуловителей из ресторанов, иловый осадок от небольших очистных сооружений). Научные исследования в области совместного сбраживания [5] показали, что общий объем произведенного биогаза больше, чем объем поступающих потоков по отдельности, что также обеспечивает более высокий выход биогаза из поступающего потока. Однако добавляемый биоразлагаемый материал может повлиять на свойства сбраживания и вызвать потенциальные проблемы, что часто требует более точной выверки рабочего процесса.

Важные параметры и потенциальный эффект:

- Имеющийся и дополнительный объемы метантенков
    - Прием большего количества органических веществ означает увеличение образования осадка, поэтому в метантенках должен быть запасной объем, который можно использовать. В более долгосрочной перспективе возможно строительство дополнительных метантенков, если в случае новых инвестиций понадобятся стабильное поступление промстоков и, соответственно, долгосрочные договорные отношения.
- Концентрация биогенов (азот, фосфор)
    - Азот и фосфор в основном остаются в метантенке и часто возвращаются на биологическую очистку с возвратной водой после обезвоживания. Например, белки имеют очень высокое содержание азота, что может значительно увеличить затраты на биологическую очистку. При использовании дополнительного процесса очистки, такого как анаммокс, влияние высоких нагрузок по биогенам уменьшается.
- Опасные вещества, такие как тяжелые металлы, различные органические загрязнители, остатки фармацевтических препаратов, микропластик и т. Д.
    - могут сделать обработанный иловый осадок непригодным для использования, или даже нанести вред окружающей среде,
    - загрязняющие вещества могут попасть на биологическую очистку с возвратной водой, и вызвать ингибирование биологической очистки или

сбраживания, снизить эффективность и увеличить финансовые затраты. В очень критических случаях сильное ингибирование может вывести из строя биологическую очистку и привести к очень высоким концентрациям биогенов в сбрасываемых очищенных стоках, что приведет к высоким экологическим издержкам и потенциальным штрафам.

Финансовая осуществимость:

Финансовая осуществимость будет в основном обусловлена увеличением производства биогаза и энергии, а также снижением счетов за электроэнергию. Дополнительное поступление отходов, конечно, увеличивают затраты на очистку. Более сложные отходы, такие как жиры из пищевой промышленности или биоотходы, также могут создавать значительные проблемы с различными частями оборудования и увеличивать затраты на техническое обслуживание. При этом в большинстве случаев такая практика очень рентабельна и приводит к быстрой финансовой осуществимости без высокой окупаемости инвестиций. Следует учесть и некоторую дополнительную информацию:

- Финансовая возможность увеличения производства биогаза во многом зависит от его использования. Использование ТЭЦ с высокими коэффициентами выработки электроэнергии может значительно повысить осуществимость, поскольку меньшие объемы электроэнергии необходимо покупать в сети или даже продавать обратно, если схема разработана для приема электроэнергии от источников генерации.
- В то время как преобразование биогаза в биометан по-прежнему в большинстве расчетов приводит к потере денег по сравнению с производством электроэнергии, общественный транспорт, работающий на газе, может быть снабжен биометаном. Часто это политическое решение (цели ЕС в отношении экологичного транспорта), а при наличии хороших финансовых компенсационных мер также может принести положительный финансовый эффект для очистных сооружений.

4. Точки кооперации «на выходе»:

4.1. C – Производство энергии на очистных сооружениях

4.1.1. Рекомендация C.1 – Увеличение производтсва энергии с помощью новых когенерационных двигателей

Рекомендуется для таких предприятий как:

- Очистные сооружения, использующие более старые биогазовые ТЭЦ с низким электрическим КПД;
- Очистные сооружения, создающие новую инфраструктуру для анаэробного сбраживания и/или использования биогаза.

Описание:

Биогаз, произведенный на очистных сооружениях, может быть использован на ТЭЦ для производства тепла и электроэнергии. Поскольку многие очистные сооружения часто имеют избыток тепловой энергии, не имея реального способа её распределения в сеть, производство электроэнергии должно стать основным направлением деятельности ТЭЦ. В то время как старые технологии имели максимальный электрический КПД, равный 10-20%, новые способны перерабатывать в электричество до 24-45% (и даже до 54% [6]) от общей высшей теплотворной способности. Такое увеличение производства электроэнергии снижает количество вырабатываемого тепла при том, что объем электроэнергии намного выше. Среди новых технологий с очень высоким электрическим КПД - газовые турбины с комбинированным циклом, поршневые двигатели, микротурбины и топливные элементы. Некоторые из них довольно новые, и первоначальные инвестиционные затраты могут быть очень высокими, но по мере того, как их использование становится все более и более распространенным, цены также становятся более доступными.

Финансовая осуществимость:

При покупке любого оборудования существует значительный срок окупаемости инвестиций, и его следует хорошо рассчитать заранее, исходя из дополнительно выработанной электроэнергии. Новая и эффективная ТЭЦ может помочь очистным сооружениям достичь энергетически нейтрального или даже положительного статуса, снизив общие эксплуатационные расходы и повысив общую финансовую стабильность. В большинстве случаев, при проведении предварительных расчетов осуществимости, предваряющих закупку оборудования, долгосрочная финансовая жизнеспособность проекта может быть почти наверняка гарантирована.

4.1.2. Рекомендация C.2 – Продажа излишков энергии в сеть

Рекомендуется для таких предприятий как:

- Очистные сооружения с позитивным/нейтральным энергобалансом;
- Очистные сооружения с периодически увеличивающейся выработкой энергии (солнечные панели, ветряные турбины, периодическое использование ТЭЦ).

Описание:

Переход к устойчивой энергетике означает, что централизованное производство электроэнергии становится менее доминирующим. Популярность распределенной генерации растет, и сети реконструируются для обеспечения двусторонних потоков электроэнергии. Возможность продавать электроэнергию, произведенную на очистных сооружениях, необходима не только предприятиям с положительным энергобалансом, но и КОС с периодическим её перепроизводством. Финансовая прибыль от продажи электроэнергии может быть значительной и поможет инвестировать больше средств в основной вид деятельности.

Однако важно учитывать, что законодательная база в большинстве стран не готова к распределенной генерации или к тому, что в качестве производителей электроэнергии выступают очистные сооружения. Таким образом, различные сборы, налоги и другие сдерживающие рычаги все еще могут затруднять переход к распределенному производству энергии. Однако эта ситуация в ближайшем будущем может измениться, поскольку текущая климатическая политика требует перемен.

Финансовая осуществимость:

Продажа в сеть излишков электроэнергии, уже произведенной на очистных сооружениях, должна автоматически быть дополнительным доходом, хотя из-за различных договорных отношений и налогов этот факт может быть не таким уж однозначным. Это также означает, что без дальнейшего изучения национального законодательства любые инвестиции, сделанные только для продажи электроэнергии в сеть, могут оказаться невозможными. В связи с быстро меняющимся законодательством распределенное производство энергии должно стать более распространенным в ближайшие годы, но окончательная осуществимость по-прежнему будет зависеть от общих рыночных цен. По мере того, как Европа движется к устойчивой энергетике, стабильность производства электроэнергии и ее цена, по оценкам, будет снижаться (так, солнечные панели вырабатывают электроэнергию только в течение дня, а ветряные турбины только в ветреные дни). Поскольку использование энергии биогаза не зависит от погодных условий, очистные сооружения могут обеспечить некоторую стабильность на рынке или получить прибыль от колебаний цен на электроэнергию.

4.1.3. Рекомендация C.3 – Оснащение очистных сооружений теплообменниками для отвода тепла из сточных вод, дополнительных потоков или сточных вод

Рекомендуется для таких предприятий как:

- Очистные сооружения с анаэробным сбраживанием;
- Очистные сооружение с поступающими стоками, характеризующимися высокой температурой;
- Очистные сооружения с внутренней/закрытой очисткой с низкими тепловыми потерями.

Описание:

Сточные воды часто называют одним из самых больших неиспользуемых источников тепла. После попадания в канализацию их обычная температура составляет от 10 ° C до 25 °C [7]. Этот источник можно использовать не только для обогрева зимой, но и для охлаждения летом, что делает применение системы регенерации тепла круглогодичным. Вырабатываемое тепло или холод можно использовать как для производственных, так и для административных зданий, или продавать на другие близлежащие объекты. Регенерация тепла может уменьшить общее потребление энергии на отопление и охлаждение более чем на 50% при том, что сами сточные воды не подвержены значительному влиянию операций по регенерации (изменения средней температуры сточных вод обычно не превышают 0,1°C [8]).

Хотя инвестиционная стоимость может быть довольно высокой, в зависимости от условий местного рынка, недавние исследования показали, что даже в более холодном климате срок окупаемости общих инвестиций может составить 11-12 лет [9]. В зависимости от климатических условий и источника тепла (поступающие, дополнительные и очищенные стоки) доступны различные технологии и установки. Теплообмен может быть даже более экономически целесообразным для очистных сооружений, принимающих более теплые сточные воды от нескольких промышленных процессов и предприятий.

Финансовая осуществимость:

Как говорилось ранее, инвестиции в регенерацию тепла обычно имеют довольно длительный период окупаемости, превышающий 10 лет. На это в значительной степени влияет как местный рынок, так и многие ситуационные параметры, поэтому перед тем, как вкладывать средства в какое-либо технологическое решение, следует провести оценку его производительности. Поскольку регенерация тепла может также ощутимо уменьшить «углеродный след» очистных сооружений, дополнительные выгоды в некоторых странах могут быть достигнуты за счет снижения налогов или других финансовых мер.

4.1.4. Рекомендация C.4 – Оборудование очистных сооружений солнечными панелями

Рекомендуется для таких предприятий как:

- Очистные сооружения с большими неиспользуемыми земельными участками или плоскими крышами;
- Очистные сооружения, стремящиеся к нейтральному или положительному энергетическому/климатическому балансу.

Описание:

Распределенная генерация энергии становится все более и более распространенной, поскольку предпринимаются попытки уменьшить зависимость от ископаемого топлива и производства электроэнергии невозобновляемыми источниками. Поскольку очистные сооружения часто имеют довольно большую и открытую площадь, солнечные панели для дополнительного производства электроэнергии являются жизнеспособным вариантом, позволяющим приблизиться к энергетической и климатической нейтральности. Солнечная энергия также может использоваться и в технологических целях (сушка с использованием солнечной энергии, усовершенствованная очистка посредством электролиза, производство водорослей для биотоплива [10]), но в этой рекомендации основное внимание уделяется использованию солнечных панелей для производства электроэнергии.

До сих пор солнечные панели использовались на очистных сооружениях в регионе Балтийского моря в основном для производства тепла. Производство электроэнергии было больше распространено в южных регионах. Электроэнергия, произведенная с помощью солнечных панелей, может использоваться на самом предприятии очистки сточных вод или продаваться в сеть, в зависимости от того, что лучше всего подходит для конкретных возможностей, финансовой ситуации и целей очистных сооружений.

Помимо обычных стационарных солнечных панелей на основе силикона, на рынке солнечной энергии широко распространены и новые подходы и инновации, одна из которых - складные солнечные панели, которые могут быть установлены поверх резервуаров для биологической очистки [11]. Хотя финансовая осуществимость инноваций обычно ниже (затраты значительно выше, чем обычно), эти варианты также могут оказаться жизнеспособными в ближайшем будущем.

Финансовая осуществимость:

Солнечная энергия становится все более доступной, и должна стать приемлемым решением для многих очистных сооружений. Поскольку в течение последнего десятилетия инвестиционные затраты на солнечные панели неуклонно снижались (с 0,378 доллара США/кВтч до 0,039 доллара США/кВтч [12]), во многих случаях

солнечная энергия сейчас дешевле, чем выработка электроэнергии из угля или других ископаемых видов топлива. Финансовая осуществимость для очистных сооружений может зависеть от местного рынка и ландшафта территории самого предприятия, но во многих случаях осуществимость должна быть достигнута в течение 6-9 лет даже в регионе Балтийского моря [13]. Поскольку политический климат все больше смещается в сторону возобновляемых источников энергии, время окупаемости может быть еще больше сокращено с предстоящими изменениями в законодательстве и налоговой базе.

4.1.5. Рекомендация C.5 – Оборудование очистных сооружений ветрогенераторными установками

Рекомендуется для таких предприятий как:

- Очистные сооружения с большими неиспользуемыми земельными участками, особенно в сельской местности;
- Очистные сооружения, стремящиеся к нейтральному или положительному энергетическому/климатическому балансу

Описание:

Энергия ветра является еще одним важным источником производства возобновляемой энергии, и в некоторых случаях её можно производить на очистных сооружениях. Хотя возведение ветряных турбин одновременно со строительством очистных сооружений не дает ощутимых преимуществ, расположение рядом с крупным постоянным (круглосуточным и круглогодичным – 7/24) потребителем энергии имеет свои преимущества. При хороших ветровых условиях возобновляемая энергия может быть напрямую использована на очистных сооружениях, делая ненужными батареи или аккумуляторы. Поскольку одной из основных проблем, связанных с ветроэнергетикой, является её нестабильность, ее можно рассматривать в качестве вторичного источника для покрытия потребностей в электроэнергии в некоторые дни. Потери энергии при использовании ветрогенераторов напрямую без транспортировки на большие расстояния или при накоплении энергии от периодической выработки и её хранении также ниже.

Поскольку очистные сооружения часто находятся на окраинах и имеют свободную территорию, для некоторых из них может стать возможным инвестирование в ветряные турбины, особенно если предприятие стремится получить статус энерго- и климатически нейтрального/положительного. Имея всего несколько турбин, можно было бы покрыть более 50% от общего потребления электроэнергии на большинстве очистных сооружений (большинство ветряных турбин имеют мощность 1,5–3 МВт) [14]. Опять же, этот вариант очень зависит от конкретной ситуации, и хотя солнечные панели можно использовать на большинстве очистных сооружений, энергия ветра подходит только для тех немногих, которые построены в определенных местах. Кроме того, как это всегда происходит в случае с ветряными турбинами, такие факторы, как мнение местного населения и другие культурные или политические возражения, могут стать важным препятствием на пути инвестиций в этот энергетический ресурс.

Наряду с солнечной, энергия ветра может использоваться на очистных сооружениях благодаря некоторым существующим на сегодняшний день интересным инновациям, таким как аэрация с помощью энергии ветра (в основном используется для аэрации

искусственных ветландов [15]), но в данной рекомендации они подробно не рассматриваются.

Финансовая осуществимость:

Первоначальные инвестиционные затраты на ветряные турбины очень высоки, а срок окупаемости очень зависит от местной ветровой ситуации и стоимости электроэнергии в сети [14]. Хотя, как и в случае с солнечной энергией, инвестиционные затраты на ветряные турбины значительно снизились за последнее десятилетие (примерно на 50%), средняя ветряная турбина по-прежнему стоит от 800 000 до 1 миллиона долларов США на 1 МВт установленной мощности. Технологические достижения повысили эффективность турбин примерно на 30% по сравнению с предыдущим десятилетием, но время окупаемости инвестиций в ветроэнергетику по-прежнему превышает 10 лет в лучшем случае и достигает 20 лет в сценариях со средней силой ветра [12]. Это означает, что инвестиции в ветроэнергетику сопряжены с довольно высоким риском и требуют очень тщательной оценки, при том, что быстрой окупаемости инвестиций тоже нет.

4.1.6. Рекомендация C.6 – Производство гидроэлектроэнергии из сточных вод

Рекомендуется для таких предприятий как:

- Очистные сооружения с разной высотой точек поступления стоков или принимающего водоема;
- Очистные сооружения, стремящиеся к нейтральному или положительному энергетическому/климатическому балансу.

Описание:

Хотя производство гидроэлектроэнергии на очистных сооружениях в настоящее время не очень распространено, исследования, проведенные в Европе, показали, что у этой технологии есть потенциал. Рост интереса в основном связан с новыми микротурбинами, которые можно использовать на разных объектах, как на очистных сооружениях, так и в канализационной сети. В последнее время с выработкой гидроэлектроэнергии естественными источниками было связано много негативных моментов из-за ущерба, наносимого водным экосистемам. Выработка электроэнергии канализационными сетями таких опасений не вызывает. Для очистки сточных вод это может даже иметь преимущества, такие как повышение концентрации растворенного кислорода при грамотном использовании соответствующей технологии [16]. Поскольку в моменты увеличения нагрузки производится больше гидроэлектроэнергии, эта технология также очень хорошо может покрывать пиковые потребности [17].

Реальная осуществимость и рентабельность такой технологии по-прежнему во многом зависит от естественной высоты рельефа. Как вверх по течению (перед очистными сооружениями, в канализационной сети), так и вниз по течению (между очистными сооружениями и принимающим водным объектом) возможна маломасштабная выработка гидроэлектроэнергии, при наличии достаточной разницы высот между двумя точками. Хотя эта разница высот (также называемая «напором») должна быть как можно больше, маломасштабные системы с напором всего 4 метра могут быть вполне работоспособными [17]. В Испании [18] и Швейцарии [17] были разработаны общенациональные методы оценки и расчета рентабельности, основанные на спутниковых данных, которые также могут быть адаптированы и для северных регионов.

Установленная мощность турбин на очистных сооружениях обычно составляет нескольких сотен и нескольких тысяч кВт, при том что были построены и небольшие системы, мощностью всего 13 кВт [17]. Поскольку размер и количество турбин очень хорошо масштабируются, эта рекомендация не должна сильно зависеть от размера и может быть выгодной как для очень небольших, так и для очень крупных очистных сооружений. Эта технология может быть особенно полезной для небольших сельских районов с централизованными очистными сооружениями в горных районах (Швеция).

Финансовая осуществимость:

Как и в случае с солнечной и ветровой энергией, стоимость инвестиций в гидроэнергетику снизилась за последние несколько десятилетий, что значительно уменьшило базовый уровень рентабельности. По-прежнему основными факторами при расчете финансовой целесообразности являются перепад высот и общая нагрузка (установленная мощность) на очистные сооружения. При меньших нагрузках и высотах стоимость установки малой гидроэлектростанции может составлять 1500-6000 евро/кВт, в то время как при более высоких нагрузках и высотах стоимость может быть значительно меньше - в диапазоне 200-800 евро/кВт. [19]. Как и в случае со всеми возможными вариантами производства энергии, окупаемость инвестиций также зависит от местного энергетического рынка и общих цен.

Хотя срок окупаемости гидроэнергетической установки на очистных сооружениях очень сложно рассчитать, и он больше всего варьируется по сравнению с выработкой ветровой и солнечной энергии, для случаев с высоким потенциалом следует рассчитывать на период окупаемости в 6-10 лет [20].

4.2. D – Стоки с очистных сооружений

4.2.1. Рекомендация D.1 – Повторное использование очищенных и чистых сточных вод на соседних промышленных предприятиях для очистки, охлаждения и других процессов

Рекомендуется для таких предприятий как:

- Очистные сооружения с хорошим качеством сточных вод, расположенные вблизи промышленных зон;
- Очистные сооружения с передовыми технологиями очистки (доочисткой), выпускающие очень чистые стоки.

Описание:

Поскольку текущая европейская политика в значительной степени направлена на экономику замкнутого цикла, повторное использование отходов и сточных вод является ключевым фактором новой парадигмы. Одна из основных возможностей - повторное использование очищенных стоков в различных отраслях промышленности, где стандарт качества не такой высокий как для питьевой воды, например, для охлаждения, очистки или множества других процессов. В моделях повторного использования вода, которая уже была откачана из естественных источников, должна использоваться как можно больше раз перед её возвращением в окружающую среду: предприятие не должно брать воду непосредственно из природных источников, если есть другие возможности [21].

Повторное использование сточных вод для промышленных систем охлаждения - не новая концепция, во многих регионах с более ощутимой нехваткой воды этой теме уделяют большое внимание уже с конца восьмидесятых годов [22]. Тесно связанные с глобальным изменением климата периоды засухи становятся все более и более распространенными даже в регионе Балтийского моря, что требует разработки новых мер и адаптации решений, уже используемых в засушливых районах по всему миру.

В то же время, из-за растущей озабоченности по поводу микрозагрязнителей, в продвижении идеи повторного использования стоков особого прогресса, как ожидалось, не наблюдается. В связи с последними исследованиями, доказавшими опасность, которую представляют фармацевтические препараты, пер- и полифторированные алкильные вещества, микропластик и другие загрязнители, не полностью удаленные из сточных вод с помощью существующих методов очистки, практика повторного использования сточных вод не получила широкого распространения в регионе.

Однако эта ситуация может скоро измениться, поскольку все больше и больше внимания уделяется передовым технологиям очистки сточных вод, таким как

озонирование, обработка гранулированным или порошкообразным активированным углем (GAC/PAC), микрофильтрация, фракционирование пены и другие. Хотя большинство этих технологий требует значительных инвестиционных и эксплуатационных затрат, комбинированное использование методов окисления и абсорбции показало очень высокую, до 99%, степень разложение многих микрозагрязнителей [23]. Таким образом, очищенные сточные воды приобретают очень высокий показатель очистки и в большинстве случаев должны быть более высокого качества, чем поверхностные/природные воды, используемые во многих отраслях промышленности. Это очень важный момент для сотрудничества, поскольку часть затрат на эти технологии может быть покрыта за счет доходов, полученных от продажи очищенных сточных вод.

Финансовая осуществимость:

Бизнес-модели повторного использования стоков еще недостаточно развиты, и их реализуемость не доказана. Основным источником доходов для очистных сооружений должно стать снижение платы за сброс сточных вод, поскольку часть стоков продается соседним предприятиям, а не сбрасывается. При разумном ценообразовании чистые сточные воды с КОС также должны быть дешевле для промышленности, чем вода, перекачиваемая из природных источников, что также принесет им финансовую выгоду. В некоторых отраслях промышленности, где используется пресная вода из озер или рек, качество очищенных стоков может быть лучше качества воды из природных водоёмов, и их использование снизит затраты на техническое обслуживание.

4.3. E – Переработанный иловый осадок или продукты, полученные в результате очистки (зола, струвит)

4.3.1. Рекомендация E.1 – Прямое использование обработанного илового осадка в сельском хозяйстве или при рекультивации

Рекомендуется для таких предприятий как:

- Небольшие очистные сооружения с эффективными технологиями очистки илового осадка, расположенные в сельской местности;
- Очистные сооружения среднего размера с обработанным илом очень высокого качества.

Описание:

Хотя прямое использование сточных вод и обработанного осадка в последние десятилетия стало менее популярным из-за появления микрозагрязнителей, быстро развивающаяся научная база и меняющееся общественное мнение делает его по-прежнему жизнеспособным вариантом для небольших очистных сооружений. Восстановление фосфора является одной из основных новых целей очистки стоков, в то время как большинство новых решений и методов в этом направлении можно использовать на средних или крупных очистных сооружениях. При достаточном анализе и грамотном применении небольшие очистные сооружения все еще могут направлять осадок для использования в сельском хозяйстве, рекультивации или озеленении. Во многих странах для очистных сооружений разработаны специальные процессы сертификации, позволяющие производить официально признанный продукт из обработанного илового осадка, например, система REVAQ в Швеции [24].

Законодательство о прямом использовании очищенного осадка в странах региона Балтийского моря сильно отличается, и из-за растущей озабоченности по поводу микрозагрязнителей прямое использование в будущем может стать более сложным. Эта практика также может быть рискованной для очистных сооружений, поскольку некоторое количество очищенного осадка может не соответствовать требованиям качества, установленным для прямого использования, и подлежать прямой утилизации. Тем не менее, эту практику следует рассматривать как жизнеспособный вариант для небольших очистных сооружений, особенно в сельской местности, где транспортировка осадка на более крупное предприятие невозможна.

4.3.2. Рекомендация E.2 – Транспортировка обработанного осадка на станцию централизованной очистки

Рекомендуется для таких предприятий как:

- Небольшие очистные сооружения в районах с невысокой степенью урбанизации;
- Очистные сооружения среднего размера в непосредственной близости от более крупных КОС с передовыми технологиями.

Описание:

Поскольку прямое использование осадка, о котором говорилось ранее, регулируется всё строже, для соответствия требованиям часто необходимо использование более совершенных технологий. Так как восстановление питательных веществ из сточных вод и осадка постепенно становится приоритетом, по крайней мере, в регионе Балтийского моря, многие более крупные очистные сооружения инвестируют большие средства, чтобы соответствовать новой парадигме. Однако для малых и средних очистных сооружений это не всегда возможно, поскольку многие технологии применимы только в крупном масштабе. В то время как споры между централизованной и децентрализованной системами очистки стоков ведутся довольно активно [25], централизованные системы очистки осадка и восстановления питательных веществ более жизнеспособны как финансово, так и с точки зрения эффективности.

Несмотря на то, что транспортировка осадка стоит дорого и вызывает прямые выбросы парниковых газов, она, тем не менее, может стать целесообразным вариантом для небольших очистных сооружений, поскольку централизованная переработка илового осадка с небольших очистных сооружений может оказаться, в целом, более благоприятной для климата и финансово выгодной практикой. Затраты на транспортировку в наибольшей степени зависят от сухой массы осадка - общий объем и масса транспортируемого осадка зависят от содержания воды. Использование различных процессов сгущения, обезвоживания или даже сушки позволяет значительно снизить транспортные расходы [26].

Финансовая осуществимость:

Бизнес-модели и особенности централизованной обработки осадка могут сильно различаться в зависимости от используемых процессов и технологий. В некоторых случаях нестабилизированный обезвоженный осадок можно транспортировать с небольших очистных сооружений на более крупные для сбраживания и последующей обработки. В рамках этой бизнес-модели принимающие КОС могут получить финансовую выгоду от производства дополнительной энергии, а очистным сооружениям меньшего размера не придется вкладывать средства в технологию обработки осадка или оплачивать затраты на его утилизацию дополнительно к транспортировке. В этих случаях финансовая целесообразность обычно сводится

к получению оптимального содержанию сухого вещества в осадке, его теплотворной способности и расстоянию между двумя очистными сооружениями.

Другой вариант - транспортировать стабилизированный или высушенный осадок с малых/средних очистных сооружений на более крупные для сжигания и/или восстановления питательных веществ. Хотя эта бизнес-модель, особенно в части восстановления питательных веществ, пока не так распространена, она имеет большой потенциал для многих густонаселенных районов. Финансовая выгода может быть получена за счет тепловой энергии, производимой при сжигании, или переработанного на КОС «питательного продукта». Хотя в текущей рыночной ситуации ни одно из этих решений не может быть достаточным, чтобы покрыть инвестиционные или эксплуатационные расходы предприятий, есть надежда на новое законодательство и стимулы на уровне ЕС, которые помогут сделать эти статьи доходов реальными.

4.3.3. Рекомендация E.3 – Извлечение фосфора из золы, полученной при сжигании осадка

Рекомендуется для таких предприятий как:

- Крупные очистные сооружения с технологией сжигания осадка.

Описание:

Извлечение фосфора из золы, полученной при сжигании осадка сточных вод (ЗОС), является очень многообещающим новым подходом с потенциально самой высокой эффективностью извлечения фосфора по сравнению с другими направлениями деятельности по рециркуляции питательных веществ [27]. Однако такие технологии как влажная химическая, термохимическая или электрохимическая экстракция, применимы только на очень больших очистных сооружениях. Также существует технология централизованной регенерации питательных веществ, когда золу можно подавать с нескольких крупных очистных сооружений. По сравнению с иловым осадком, зола намного компактнее и может транспортироваться с меньшими затратами [28]. ЗОС имеет высокие общие концентрации фосфора, обычно от 5 до 11%, а в некоторых случаях и до 20% [27]. Учитывая растущую обеспокоенность по поводу микрозагрязнителей, восстановление питательных веществ из ЗОС может снизить эти риски, поскольку почти все органические загрязнители полностью разлагаются в процессе сжигания. Хотя ЗОС потенциально может использоваться напрямую, обычно рекомендуются дальнейшие процессы экстракции из-за высоких концентраций тяжелых металлов и низкой биодоступности фосфора в золе.

По сравнению с осаждением струвита и другими методами извлечения питательных веществ из осадка и сточных вод, технологии извлечения фосфора из ЗОС еще не настолько развиты, поскольку полномасштабное применение требует огромных инвестиций и сопряжено со значительными рисками [28]. Тем не менее, в настоящее время разрабатывается ряд многообещающих предложений, таких как: TetraPhos®, Ash2Phos®, EcoPhos® и PHOS4Green для влажной химической экстракции; AshDec® для термохимической экстракции; RecoPhos® для термоэлектрической экстракции [29]. Более конкретную информацию о регенерации питательных веществ из ЗОС также можно найти в другой публикации, выпущенной проектом BSR WATER, которая называется «Палитра решений по переработке питательных веществ в регионе Балтийского моря» [30].

Финансовая осуществимость:

Хотя извлечение фосфора из золы может происходить непосредственно на очистных сооружениях, постепенно развиваются централизованные сооружения для извлечения фосфора, которым золу после сжигания осадка очистные сооружения могут передавать или продавать. Это снижает объем материала, необходимого для захоронения, и

снижает общие затраты. Потенциально новой статьёй дохода может стать продажа золы (хотя могут возникнуть проблемы, связанные с местным законодательством). В настоящее время переработанные фосфорные продукты конкурируют на рынке с фосфатными продуктами, полученными из полезных ископаемых, и в большинстве случаев финансовая целесообразность отсутствует из-за низких цен на первичный фосфор. Это стало причиной, по которой первая крупная компания, использующей ЗОС для регенерации фосфора, объявила о банкротстве в 2012 году [31]. Для поддержки регенерации фосфора необходимы изменения в законодательстве, общественном мнении и/или реакции рынка, чтобы снизить риски, тормозящие в настоящее время полномасштабные инвестиции в эту отрасль.

4.3.4. Рекомендация E.4 – Осаждение струвита или гидроксиапатита из сточных вод или осадка

Рекомендуется для таких предприятий как:

- Очистные сооружения с улучшенным биологическим удалением фосфора (EBPR) и анаэробным сбраживанием;
- Очистные сооружения с острыми проблемами, связанными с образованием отложений струвита и большими затратами на техническое обслуживание.

Описание:

Осаждение различных минералов с высоким содержанием фосфора в настоящее время является одной из наиболее развитых технологий рециркуляции питательных веществ из сточных вод и осадка. Два наиболее распространенных осаждаемых минерала - это струвит и гидроксиапатит, оба из которых имеют свои преимущества и особые, применимые к ним технологии [32]. Для осаждения этих минералов из сточных вод, осадка или надосадочной жидкости/фильтрата анаэробного сбраживания можно также использовать различные технологические решения. Эти процессы осаждения происходят в щелочных условиях и часто требуют наличия вспомогательных компонентов, таких как кварц, кварцевый песок, кальцит, переработанный струвит и т. д., для облегчения кристаллизации [33].

Струвит, известный как $MgNH_4PO_4$ $6H_2O$ или как MAP, является потенциальным ресурсом для извлечения фосфора, и одной из основных причин засорения труб на большинстве очистных сооружений. Целевое осаждение струвита, особенно из более теплого второстепенного потока (сточные воды из метантенка), в настоящее время имеет наибольший потенциал для извлечения фосфора из сточных вод. На большинстве станций очистки стоков побочная вода направляется обратно на биологическую очистку с промежуточными процессами анаммокса, чтобы уменьшить обратную нагрузку по азоту. Осаждение струвита может снизить обратную нагрузку как по азоту, так и по фосфору; потенциально использоваться для производства минерального удобрения и снизить как затраты на техническое обслуживание, так и эксплуатационные расходы на очистных сооружениях. Осаждение струвита зависит от pH, температуры и концентрации магния, аммония и фосфата в стоках [33].

Гидроксиапатит, также известный как $Ca_5(PO4)_3OH$ или HAP, является еще одним потенциальным ресурсом для извлечения фосфора, который вместо магния и аммония включает кальций. Поскольку ионы аммония не требуются, процесс также подходит для извлечения фосфора из сточных вод, где низкая концентрация $NH4^+$ является одним из основных препятствий для осаждения струвита [34]. Формирование кристаллов HAP зависит от концентрации фосфата, кальция и бикарбоната, а также от pH [35].

Более конкретную информацию об осадках MAP и HAP можно найти в другой публикации, подготовленной проектом BSR WATER, которая называется «Палитра решений по переработке питательных веществ в регионе Балтийского моря» и включает подробные объяснения процесса кристаллизации и обзор различных технологий и поставщиков, присутствующие в настоящее время на рынке (AirPrex®, Pearl®) [30].

Финансовая осуществимость:

Осаждение струвита в настоящее время является наиболее распространенной технологией извлечения фосфора. Хотя общий коэффициент извлечения фосфора ниже, чем из золы (15-40% из сточных вод, 40-60% из осадка или надосадочной жидкости [36]), первоначальные инвестиционные затраты обычно ниже, а другие преимущества этой технологии, такие как повышенная обезвоживаемость, более низкие затраты на обслуживание полимеров и труб, помогают повысить рентабельность процессов. Например, данные процесса AirPrex® показали, что концентрация сухих веществ в обезвоженном осадке увеличилась примерно на 2-4%, а расход полимера снизился на 35% [37].

Некоторые из специализированных поставщиков технологий осаждения струвита предоставляют довольно много информации о финансовой стороне и работающих бизнес-моделях, чтобы привлечь новых клиентов и популяризировать переработку питательных веществ в ЕС. Например, AirPrex® (Centrisys CNP) уже имеет 13 полномасштабных внедрений, оценивая первоначальные инвестиционные затраты в сумму около 3 миллионов евро, а годовую экономию в 400 000 евро даже без продажи готового продукта из струвита [37]. Аналогичные данные приводятся для предложения Pearl® (Ostara), обещающие окупаемость капиталовложений через 3-7 лет, которая будет уменьшаться с увеличением размеров очистных сооружений. Бизнес-модель Pearl® также включает продажу произведенного струвита обратно компании Ostara, где производится официально зарегистрированное удобрение под названием CrystalGreen® [38].

4.3.5. Рекомендация E.5 – Магнитная сепарация виванита

Рекомендуется для таких предприятий как:

- Очистные сооружения с химическим удалением фосфора ($FeSO_4$) и анаэробным сбраживанием

Описание:

В то время как большинство технологий производства HAP (гидроксиапатита) или MAP (струвита) в значительно большей степени применимы на очистных сооружениях с улучшенным биологическим удалением фосфора, магнитная сепарация вивианита - это технология, разработанная для очистных сооружений, использующих химическое удаление фосфора. Вивианит, также известный как Fe_3 $(PO_4)_2$ $8H_2O$, представляет собой минерал с магнитными свойствами, который может образовываться при разложении богатого железом осадка [39]. Вивианит образуется в органическом материале, богатом железом, в несульфидных условиях [40]. Хотя это и открывает реальные возможности для применения технологии рециркуляции фосфора, по состоянию на 2021 год компании KEMIRA пока не удалось полномасштабно протестировать свою технологию магнитной сепарации вивианита.

По результатам экспериментальных испытаний технология в целом показала хорошие перспективы. Хотя количество железа, добавляемого во время химического осаждения фосфора, должно быть увеличено, это в то же время может снизить количество H_2S, образующегося во время сбраживания. Отрицательного воздействия на производство биогаза или обезвоживание осадка отмечено не было [41], при том что сам минерал имеет ограниченную биодоступность и потребует повторной обработки перед возможным использованием в качестве удобрения [42].

Более конкретную информацию о магнитной сепарации вивианита и других новых инновационных экспериментальных технологиях для рециклинга фосфора (таких как процесс RAVITA) можно найти в другой публикации, выпущенной проектом BSR WATER, которая называется «Палитра решений для рециркуляции питательных веществ в регионе Балтийского моря» [30].

Финансовая осуществимость:

Поскольку магнитная сепарация вивианита является инновацией в регионе и не имеет полномасштабного внедрения, технико-экономических обоснований для её использования пока нет. Процесс Vivimag компании KEMIRA демонстрирует потенциал для извлечения веществ с помощью дозированного добавления реагентов вместе с повторной переработкой вивианита, в результате чего можно сократить количество добавляемых химикатов и затраты на техническое обслуживание, производя при этом удобрения [43]. Полномасштабное применение этой технологии пока отсутствует.

5. Послесловие

С точки зрения экономики замкнутого цикла, очистные сооружения - одно из самых доступных для серьезных изменений звеньев цепочки распределения ресурсов. Речь идет как об извлечении важных ресурсов из потока отходов, так о производстве энергии и биотоплива (биометана). **Всестороннее понимание и целостный подход к очистке отходов и сточных вод могут снизить эксплуатационные расходы очистных сооружений и их «углеродный след», а также повысить эффективность их работы в интересах населения.** Многие рекомендации, изложенные в этом документе, могут быть с пользой и выгодой реализованы очистными сооружениями как по отдельности, так и в комплексе, что может превратить обычную станцию по очистке стоков в передовое предприятие по восстановлению ресурсов из отходов.

Хотя многие из этих рекомендаций на первый взгляд имеют почти гарантированную финансовую выгоду и могут быть легко адаптированы, реальная ситуация намного сложнее. Очистные сооружения часто принадлежат муниципалитетам и связаны очень строгими и конкретными требованиями законодательства, поскольку в первую очередь служат интересам населения. Это означает, что плата за воду очень жестко контролируется другими игроками и во многих странах напрямую связана с затратами на производство и очистку воды. При этом стоимость дополнительных технологий или этапов очистки, не предусмотренных местным законодательством, не может быть включена в плату/тариф, так как это может неоправданно повысить цены на воду в конкретном регионе. Хотя эти строгие правила существуют для того, чтобы обеспечить всех чистой и дешевой водой, сегодня это также ведет к тому, что очистные сооружения не могут позволить себе экологически выгодные инвестиции или инновации, если это прямо не оговаривается законом.

Существующая система, строго базирующаяся на взимании платы, также оказывает сильное негативное влияние на производство энергии на очистных сооружениях. Во многих странах, если предприятие получает непредусмотренные доход за свои дополнительные усилия, оно также может снизить тариф на воду для населения. Это означает, что инициатива и дополнительная работа часто наказуемы, так как не всегда приносят финансовую выгоду. Хотя эти проблемы иногда можно и обойти, передав производство энергии внешней компании и проведя четкую границу между очисткой стоков и любыми другими видами деятельности. **Текущая политическая ситуация и законодательная система сильно препятствует развитию мощностей по восстановлению ресурсов из отходов или стремлению КОС к положительному энергетическому/климатическому балансу.**

Давление со стороны населения и общественности также может оказывать свое негативное влияние, требуя применения потенциально невыполнимых для очистных сооружений технологий и решений. Одним из лучших примеров этого является

переработка биометана из биогаза, что в большинстве случаев по-прежнему является негативным с финансовой точки зрения действием, поскольку электричество от прямого использования биогаза по-прежнему, как правило, более выгодно. Однако необходимость производства биометана или компримированный газ исходит из целей ЕС по развитию устойчивого транспорта, и поэтому многим муниципалитетам нужен местный источник биотоплива.

Для поддержки общей тенденции в направлении переработки отходов, экономики замкнутого цикла и распределенного производства энергии следует учитывать следующие ключевые идеи:

- Существующие системы, используемые для расчета цен на воду, должны быть в значительной степени изменены с включением или исключением различных статей затрат и доходов, связанных с целями экономики замкнутого цикла и защиты окружающей среды. Устойчивое производство энергии и материалов должно быть отделено от расчета тарифов на воду;
- Усовершенствованная переработка для разложения микрозагрязнителей должна быть включена в законодательные системы ЕС или в местные законы, что позволит учитывать их при расчетах тарифов на воду, если цена на воду не намного выше, чем в среднем по стране/в ЕС;
- Необходимо легализовать и поддержать новый подход к восстановлению ресурсов из отходов, необходимо разработать устойчивые бизнес-модели и включить их в законодательство;
- Следует поощрять успешное сотрудничество между промышленными предприятиями и очистными сооружениями;
- Необходимо сделать более реалистичным устойчивое распределенное производство энергии и поддерживать прямые и обратные покупки и продажи электроэнергии на основе текущего производства и потребностей;
- Производство вторичного сырья (регенерация материалов) должно стать максимально приоритетным, необходимо сформировать положительные системы финансовой поддержки, позволяющие конкурировать с обилием поступающего из-за пределов ЕС первичного сырья, произведённого без соблюдения принципов устойчивости;
- Инвестиционные фонды ЕС и отдельных стран должны выделять средства на крупные региональные проекты по восстановлению ресурсов из отходов, способствующие переходу к экономике замкнутого цикла.

На основании 6-го оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата [44]: «Совершенно очевидно, что в результате деятельности человека повысилась температура атмосферы, океана и суши». Генеральный секретарь ООН Антониу Гутерриш назвал этот доклад «красным кодом человечества» [45]. Более чем когда-либо прежде, сегодня необходимы быстрые действия и законодательная поддержка для перехода к более устойчивому обществу. Технологии и знания, необходимые для серьезных изменений в секторе очистки сточных вод, уже существуют, и многие решения описаны в данном документе. Эти руководящие

принципы показывают, как предприятие по очистке сточных вод может стать моделью для сотрудничества «Стоки-Осадок-Энергия» и примером устойчивого восстановления ресурсов из отходов. На этом пути все еще есть некоторые препятствия (устаревшие правовые системы, низкая цена на первичные материалы и т.д.), которые необходимо устранить, чтобы сделать такой подход возможным. И, похоже, наш регион в настоящее время уже работает над выполнением многих из этих задач. Тем не менее, успешное сотрудничество между промышленными предприятиями и очистными сооружениями является основой новой модели и направлением развития, рекомендуемым для внедрения всеми КОС, независимо от их местоположения, размера или технологического уровня.

Правовая оговорка

Мы не даем никаких гарантий относительно правильности и полноты информации и результатов, изложенных в этом руководстве. Претензии об ответственности, относящиеся к материальному или нематериальному ущербу, вызванному использованием или неиспользованием представленной информации или применением неверной или неполной информации, категорически исключены.

Ссылки

[1] V. Parravicini, K. Svardal, and J. Krampe, “Greenhouse Gas Emissions from Wastewater Treatment Plants,” in Energy Procedia, 2016, vol. 97, pp. 246–253.

[2] X. Zhan, Z. Hu, and G. Wu, “Greenhouse Gas Emission and Mitigation in Municipal Wastewater Treatment Plants,” Water Intell. Online, vol. 16, p. 9781780406312, 2017.

[3] D. Fighir (Arsene), C. Teodosiu, and S. Fiore, “Environmental and Energy Assessment of Municipal Wastewater Treatment Plants in Italy and Romania: A Comparative Study,” Water, vol. 11, no. 8, p. 1611, Aug. 2019.

[4] K. Tayler, Faecal Sludge and Septage Treatment - A guide for low- and middle-income countries. Rugby, UK: Practical Action Publishing, 2018.

[5] M. Maktabifard, E. Zaborowska, and J. Makinia, “Achieving energy neutrality in wastewater treatment plants through energy savings and enhancing renewable energy production,” Reviews in Environmental Science and Biotechnology, vol. 17, no. 4. Springer Netherlands, pp. 655–689, 01-Dec-2018.

[6] Ipieca, “Combined cycle gas turbines,” 2013. [Online]. Available: https://www.ipieca.org/resources/energy-efficiency-solutions/power-and-heat-generation/combined-cycle-gas-turbines/. [Accessed: 17-Feb-2021].

[7] J. Frijns, J. Hofman, and M. Nederlof, “The potential of (waste)water as energy carrier,” Energy Convers. Manag., vol. 65, pp. 357–363, Jan. 2013.

[8] D. Cecconet, J. Raček, A. Callegari, and P. Hlavínek, “Energy Recovery from Wastewater: A Study on Heating and Cooling of a Multipurpose Building with Sewage-Reclaimed Heat Energy,” Sustain. 2020, Vol. 12, Page 116, vol. 12, no. 1, p. 116, Dec. 2019.

[9] U. Sohail, C. Kwiatek, A. S. Fung, and D. Joksimovic, “Techno-Economic Feasibility of Wastewater Heat Recovery for A Large Hospital in Toronto, Canada,” Proceedings, vol. 23, no. 1, p. 1, Aug. 2019.

[10] M. Taha and R. Al-Sa’ed, “Potential application of renewable energy sources at urban wastewater treatment facilities in Palestine – three case studies,” Desalin. Water Treat., vol. 94, pp. 64–71, Oct. 2017.

[11] European Commission, “HORIZON 2020: Solar folding roof helps power water treatment,” CORDIS, 2021. [Online]. Available: https://cordis.europa.eu/article/id/430452-solar-folding-roof-helps-power-water-treatment. [Accessed: 04-Aug-2021].

[12] International Renewable Energy Agency, “Renewable Power Generation Costs in 2019,” 2020.

[13] D. Lugo-Laguna, A. Arcos-Vargas, and F. Nuñez-Hernandez, “A European Assessment of the Solar Energy Cost: Key Factors and Optimal Technology,” Sustain. 2021, Vol. 13, Page 3238, vol. 13, no. 6, p. 3238, Mar. 2021.

[14] Environmental Protection Agency Office of Wastewater Management, “US EPA Renewable Energy Fact Sheet: Wind Turbines,” 2013.

[15] B. Kirke, “Wind-Powered Aeration for Wastewater Treatment, Aquaculture and Lake Destratification,” Wind Eng., vol. 19, no. 1, 1995.

[16] P. D. Zakkour, M. R. Gaterell, P. Griffin, R. J. Gochin, and J. N. Lester, “Developing a sustainable energy strategy for a water utility. Part II: a review of potential technologies and approaches,” J. Environ. Manage., vol. 66, no. 2, pp. 115–125, Oct. 2002.

[17] C. Bousquet, I. Samora, P. Manso, L. Rossi, P. Heller, and A. J. Schleiss, “Assessment of hydropower potential in wastewater systems and application to Switzerland,” Renew. Energy, vol. 113, pp. 64–73, Dec. 2017.

[18] A. M. García, J. A. R. Díaz, J. G. Morillo, and A. McNabola, “Energy Recovery Potential in Industrial and Municipal Wastewater Networks Using Micro-Hydropower in Spain,” Water 2021, Vol. 13, Page 691, vol. 13, no. 5, p. 691, Mar. 2021.

[19] B. Ogayar and P. G. Vidal, “Cost determination of the electro-mechanical equipment of a small hydro-power plant,” Renew. Energy, vol. 34, no. 1, pp. 6–13, Jan. 2009.

[20] M. Rotilio, C. Marchionni, and P. De Berardinis, “The Small-Scale Hydropower Plants in Sites of Environmental Value: An Italian Case Study,” Sustain. 2017, Vol. 9, Page 2211, vol. 9, no. 12, p. 2211, Nov. 2017.

[21] Ellen MacArthur Foundation, “Water and circular economy - White Paper,” 2018.

[22] M. Rebhun and G. Engel, “Reuse of waste water for industrial cooling systems,” 1988.

[23] K. Kosek et al., “Implementation of advanced micropollutants removal technologies in wastewater treatment plants (WWTPs) - Examples and challenges based on selected EU countries,” Environ. Sci. Policy, vol. 112, pp. 213–226, Oct. 2020.

[24] M. S. Tobias Persson, “REVAQ Certified WWTPs in Sweden for Improved Quality of Recycled Digestate Nutrients IEA Bioenergy Task 37,” 2015.

[25] G. Libralato, A. Volpi Ghirardini, and F. Avezzù, “To centralise or to decentralise: An overview of the most recent trends in wastewater treatment management,” J. Environ. Manage., vol. 94, no. 1, pp. 61–68, Feb. 2012.

[26] United States Environmental Protection Agency, “Biosolids Technology Fact Sheet,” Washington, Sep. 2000.

[27] B. Cieślik and P. Konieczka, “A review of phosphorus recovery methods at various steps of wastewater treatment and sewage sludge management. The concept of ‘no solid waste generation’ and analytical methods,” Journal of Cleaner Production, vol. 142. Elsevier Ltd, pp. 1728–1740, 20-Jan-2017.

[28] C. Schaum, Phosphorus: Polluter and Resource of the Future - Removal and Recovery from Wastewater, vol. 17. IWA Publishing, 2018.

[29] European Sustainable Phosphorus Platform, “ESPP – DPP – NNP phosphorus recovery technology catalogue,” 2020.

[30] Markus Raudkivi and Taavo Tenno, “Palette of Solutions for Nutrient Recycling in the Baltic Sea Region,” Helsinki, Jul. 2021.

[31] DutchNews, “Europe’s only phosphorus firm Thermphos declared bankrupt - DutchNews.nl,” dutchnews.nl, 21-Nov-2012.

[32] Shaddel, Bakhtiary-Davijany, Kabbe, Dadgar, and Østerhus, “Sustainable Sewage Sludge Management: From Current Practices to Emerging Nutrient Recovery Technologies,” Sustainability, vol. 11, no. 12, p. 3435, Jun. 2019.

[33] J. D. Doyle and S. A. Parsons, “Struvite formation, control and recovery,” Water Research, vol. 36, no. 16. Elsevier Ltd, pp. 3925–3940, 2002.

[34] H. Dai, X. Tan, H. Zhu, T. Sun, and X. Wang, “Effects of commonly occurring metal ions on hydroxyapatite crystallization for phosphorus recovery from wastewater,” Water (Switzerland), vol. 10, no. 11, Nov. 2018.

[35] X. Chen, H. Kong, D. Wu, X. Wang, and Y. Lin, “Phosphate removal and recovery through crystallization of hydroxyapatite using xonotlite as seed crystal,” J. Environ. Sci., vol. 21, no. 5, pp. 575–580, 2009.

[36] L. Egle, H. Rechberger, J. Krampe, and M. Zessner, “Phosphorus recovery from municipal wastewater: An integrated comparative technological, environmental and economic assessment of P recovery technologies,” Sci. Total Environ., vol. 571, pp. 522–542, Nov. 2016.

[37] B. Ortwein, “Bernhard. 2018. ‘AirPrex® Sludge Optimization and Struvite Recovery from Digested Sludge.’ in Phosphorus: Polluter and Resource of the Future – Removal and Recovery from Waste,” in Phosphorus: Polluter and Resource of the Future – Removal and Recovery from Wastewater, IWA Publishing, 2018.

[38] A. Gysin, D. Lycke, and S. Wirtel, “The Pearl® and WASSTRIP® processes (Canada),” in Phosphorus: Polluter and Resource of the Future – Removal and Recovery from Wastewater, 2018.

[39] P. Wilfert, A. I. Dugulan, K. Goubitz, L. Korving, G. J. Witkamp, and M. C. M. Van Loosdrecht, “Vivianite as the main phosphate mineral in digested sewage sludge and its role for phosphate recovery,” Water Res., vol. 144, pp. 312–321, Nov. 2018.

[40] M. Rothe, A. Kleeberg, and M. Hupfer, “The occurrence, identification and environmental relevance of vivianite in waterlogged soils and aquatic sediments,” Earth-Science Reviews, vol. 158. Elsevier B.V., pp. 51–64, 01-Jul-2016.

[41] T. Prot et al., “Full-scale increased iron dosage to stimulate the formation of vivianite and its recovery from digested sewage sludge,” Water Res., vol. 182, p. 115911, Sep. 2020.

[42] E. Schütze, S. Gypser, and D. Freese, “Kinetics of Phosphorus Release from Vivianite, Hydroxyapatite, and Bone Char Influenced by Organic and Inorganic Compounds,” Soil Syst., vol. 4, no. 1, p. 15, Mar. 2020.

[43] Wetsus, “ViviMag,” 2018. [Online]. Available: https://www.vivimag.nl/about. [Accessed: 17-Feb-2021].

[44] IPCC, “Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,” 2021.

[45] United Nations, “Secretary-General Calls Latest IPCC Climate Report ‘Code Red for Humanity’, Stressing ‘Irrefutable’ Evidence of Human Influence |,” Meetings Coverage and Press Releases, 09-Aug-2021.