



Меры по энергосбережению и снижению выбросов парниковых газов при очистке городских и промышленных сточных вод

Информационный бюллетень

По поручению



Федерального министерства
охраны окружающей среды, охраны природы и
ядерной безопасности



МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ
РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Опубликовано:

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Федеративной Республики Германия

Издатель:

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Немецкое Общество по Международному Сотрудничеству (ГИЦ) ГмбХ

Штаб-квартира GIZ:

Бонн и Эшборн, Германия

Представительство в Москве:

Николаямская, д. 50, стр. 1
109004 Москва, Россия
+7 495 926 15 78
giz-russia@giz.de
www.giz.de

Проект: «Климатически нейтральная хозяйственная деятельность: внедрение НДТ в Российской Федерации».

Проект реализуется по поручению Федерального министерства окружающей среды, охраны природы и ядерной безопасности Германии (BMU). Партнер проекта в Российской Федерации – Министерство природных ресурсов и экологии РФ. Проект является частью программы Германской инициативы по климатосберегающим технологиям (DKTI) и финансируется из средств Международной инициативы по защите климата (IKI).

Сайт проекта: www.good-climate.com

Ответственные за публикацию:

Короленко Ирина Александровна, заместитель руководителя проекта
irina.korolenko@giz.de

Герлах Юлия Владимировна, руководитель компонента проекта «Законодательные основы НДТ»
julia.gerlach@giz.de

Текст подготовлен: aqua consult Baltic OÜ («Аква консалт балтик ОЮ»)

Авторы: Тааво Тенно, Петер Хартвиг, Клаус Нелтинг, Санчита Кхаделвал, Дайзи Рист

Электронная версия публикации:

URL ссылки: Данная публикация содержит ссылки на внешние сайты. Ответственность за информацию на данных внешних сайтах лежит полностью на их владельцах и издателях. GIZ несёт ответственность за содержание данной публикации.

Данная публикация распространяется бесплатно и не предназначена для продажи или других коммерческих целей.

Москва, июль 2021 г.

Содержание

1	Баланс парниковых газов	5
1.1	Общие сведения	5
1.2	Рамочные условия	5
1.3	Углеродный след	6
1.4	Методология	6
1.5	Пример оценки технологии на бумажной фабрике «Шёллерсхаммер»	9
2	Энергетическая эффективность	12
2.1	Потребление энергии на очистных сооружениях	12
3	Регистрация показателей и сопоставительный анализ	15
3.1	Проверка энергопотребления	15
3.1.1	Удельное общее потребление электроэнергии	17
3.1.2	Удельный расход электроэнергии на аэрацию	18
3.1.3	Удельный биогаз	19
3.2	Анализ энергопотребления	23
3.2.1	Описание текущего состояния	24
3.2.2	Создание матрицы потребителей и энергетического баланса текущего состояния	25
3.2.3	Определение идеальных значений для очистных сооружений	28
3.2.4	Оценка текущего состояния и определение необходимых мер	30
3.2.5	Определение возможных путей энергосбережения и экономической эффективности предпринимаемых мер	31
3.2.6	Формирование пакетов мер по приоритетности	32
3.2.7	Составление отчета	32
3.3	Сравнение показателей городских очистных сооружений, проведенное DWA	33
4	Технологии для снижения выбросов парниковых газов	34
4.1	Косвенные выбросы парниковых газов (оптимизация энергопотребления)	34
4.1.1	Анаэробная и аэробная стабилизация сброженного осадка сточных вод	34

4.1.2	Предварительная анаэробная очистка промышленных сточных вод (снижение энергии аэрации и выделения биогаза)	36
4.1.3	Деаммонификация (снижение метана и необходимость аэрации)	37
4.1.4	Совместное сбраживание (увеличение выхода биогаза)	38
4.1.5	Рекуперация тепла из сточных вод (канализация или вход в очистные сооружения)	38
4.1.6	Рекуперация гидравлической энергии в сточных водах очистных сооружений (турбины)	39
4.1.7	Солнечная сушка осадка сточных вод	39
4.1.8	Десульфуризация биогаза путем микроаэрации	40
4.1.9	Оптимизация аэрации на этапах аэробной очистки	40
4.2	Прямые выбросы парниковых газов	42
4.2.1	Сжигание биогаза на факеле или на ТЭЦ	42
4.2.2	Выбросы метана при анаэробном сбраживании	43
4.2.3	Выбросы метана при анаэробной очистке сточных вод (растворенный метан в стоках реактора)	43
4.2.4	Выбросы оксида азота при удалении азота	44
5	Резюме	45
6	Список литературы	47

1 **Баланс парниковых газов**

1.1 **Общие сведения**

Мировой прогресс неразрывно связан с постоянно растущим потреблением энергии. Так, например, в 2009 году было использовано около 20 700 кВт·ч на человека. Около 80 % энергии поступает от сжигания ископаемых видов углеродного топлива (нефти, газа, угля). Использование этого сырья оказывает непосредственное влияние на количество выбросов, поскольку CO₂ является конечным продуктом сгорания. [1]

Последствия увеличения доли CO₂ в атмосфере рассматриваются в различных климатических моделях. В основе политического решения лежит требование не допустить повышения глобальной температуры более чем на 2°C, чтобы по возможности предотвратить непредсказуемые последствия. [1] Одними из ключевых задач Европейского союза в области климата на 2030 год являются сокращение выбросов парниковых газов как минимум на 40% по сравнению с уровнем 1990 года и повышение энергоэффективности как минимум на 32,5% [2].

В 2005 году началась торговля квотами на выбросы CO₂. С 2013 года эта торговля стала важным фактором затрат для промышленных предприятий, поскольку количество квот ежегодно уменьшалось на 1,7 %. Начиная с 2021 года количество квот продолжит ежегодно снижаться на 2,2%, в связи с чем увеличится темп сокращения выбросов (период 2021–2030 годов). [3] Эта проблема вызвала стремление к активным действиям в компаниях и корпорациях. Выражение «углеродный след» (УС) – повсеместно на слуху, и многие компании стремятся сократить выбросы углекислого газа. Меры по энергосбережению в данном обзоре представлены с учетом их воздействия на углеродный след. [1]

Очистка сточных вод позволяет получать биогаз, который может использоваться как CO₂-нейтральный заменитель ископаемых видов топлива. Таким образом, технология анаэробной очистки сточных вод дает множество преимуществ, ее значимость отмечают даже в тех отраслях промышленности, где традиционно применяли аэробную очистку сточных вод. [1]

1.2 **Рамочные условия**

Антропогенный фактор способствует образованию значительного объема выбросов парниковых газов в атмосферу, что оказывает большое влияние на климат и температуру Земли. Основываясь на оценке многолетнего ряда измерений, можно говорить о таком явлении как изменение климата. Так называемые парниковые газы (ПГ) были признаны основной причиной глобального потепления. Такие ПГ, как встречающийся в природе в виде водяного пара H₂O (примерно 4% от состава атмосферы) и антропогенные парниковые газы CO₂, CH₄, N₂O, фторуглероды (в сумме менее 1% от состава атмосферы), вызывают парниковый эффект. [1]

В течение нескольких десятилетий антропогенные выбросы парниковых газов, особенно CO₂, значительно увеличились. От сжигания ископаемых источников энергии выделяется 64% углекислого газа, в частности 41% от сжигания нефти и угля и 23% от сжигания природного газа [4]. Метан (CH₄) и оксид азота (N₂O) также являются активными парниковыми газами, эффект от которых намного сильнее, чем от CO₂. Основным их источником является сельское хозяйство, реже — очистка сточных вод. В связи с этим необходимо применять технические методы для предотвращения выбросов парниковых газов, для того чтобы

увеличение конверсии органического углерода посредством анаэробных процессов приводило к положительному общему углеродному балансу. [1]

1.3 Углеродный след

Углеродный след означает совокупность всех выбросов парниковых газов, прямо или косвенно произведенных отдельным лицом, организацией, в результате мероприятия, происшествия или в процессе изготовления продукта. Углеродный след продукта описывает соотношение выбросов парниковых газов на протяжении всего жизненного цикла продукта при определенном применении и по отношению к определенной единице использования. Выбросами парниковых газов считаются выбросы всех тех газообразных веществ, для которых Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) определила коэффициент потенциала глобального потепления (ПГП). Жизненный цикл продукта охватывает всю цепочку создания стоимости: от производства и транспортировки сырья и промежуточных продуктов до изготовления и распределения, использования и утилизации. Термин «продукт» является общим термином для товаров и услуг. [1]

Углеродный след — это показатель, который сводится к одному числу и обычно выражается в Мг эквивалента CO_2 (CO_2 -экв). Воздействие других газов на климат учитывается в эквиваленте. В настоящем отчете речь идет о метане и оксиде азота. Как правило, воздействие рассчитывается за временной промежуток в 100 лет, поскольку время пребывания газов в атмосфере значительно различается. Эквивалентные значения относятся к потенциалу CO_2 , который принимается за единицу. Соответственно, потенциал метана равен 28, а потенциал оксида азота — 265. [5] Это означает, что в течение 100 лет 1 Мг метана оказывает такое же воздействие на климат, как 25 Мг CO_2 . Таким образом, требования к будущей очистке сточных вод включают не только сокращение выбросов CO_2 , но и в еще больших масштабах предотвращение выделения метана и оксида азота. [1]

1.4 Методология

Исходя из определения углеродного следа и преобразования других ПГ в CO_2 -экв ископаемых видов топлива, можно сказать, что УС зависит от вида топлива, количества потребляемого топлива и выработки электрической энергии. Последнее сравнение показывает существенные региональные различия, которые в значительной мере влияют на расчет. На Рис. 1.4.1 показан объем выбросов эквивалентов CO_2 при выработке электроэнергии на разных континентах. Решающим фактором здесь также является тип используемых первичных энергоресурсов.

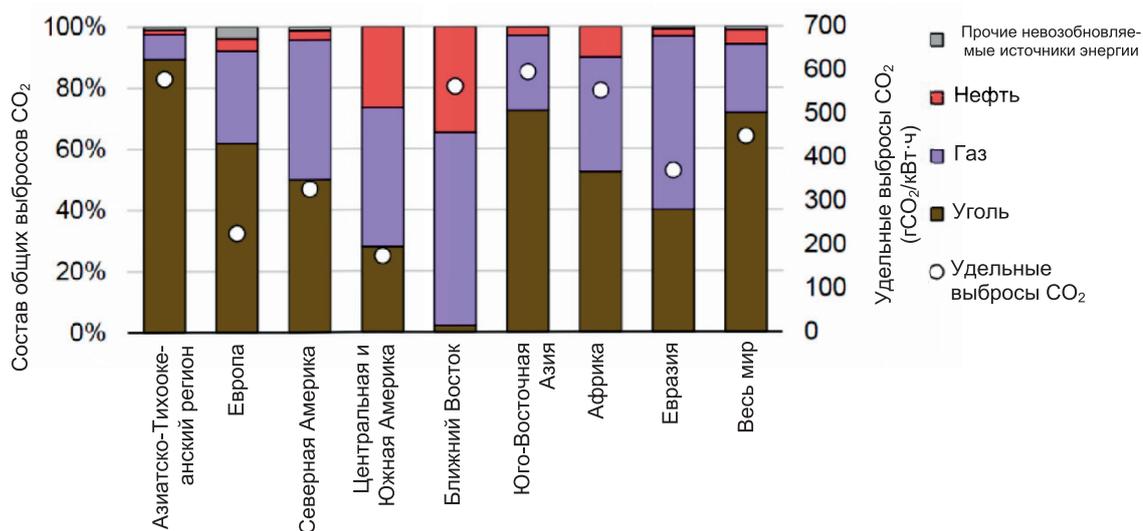


Рис. 1.4.1. Состав выбросов CO₂ и интенсивность выбросов в 2020 г. [6]

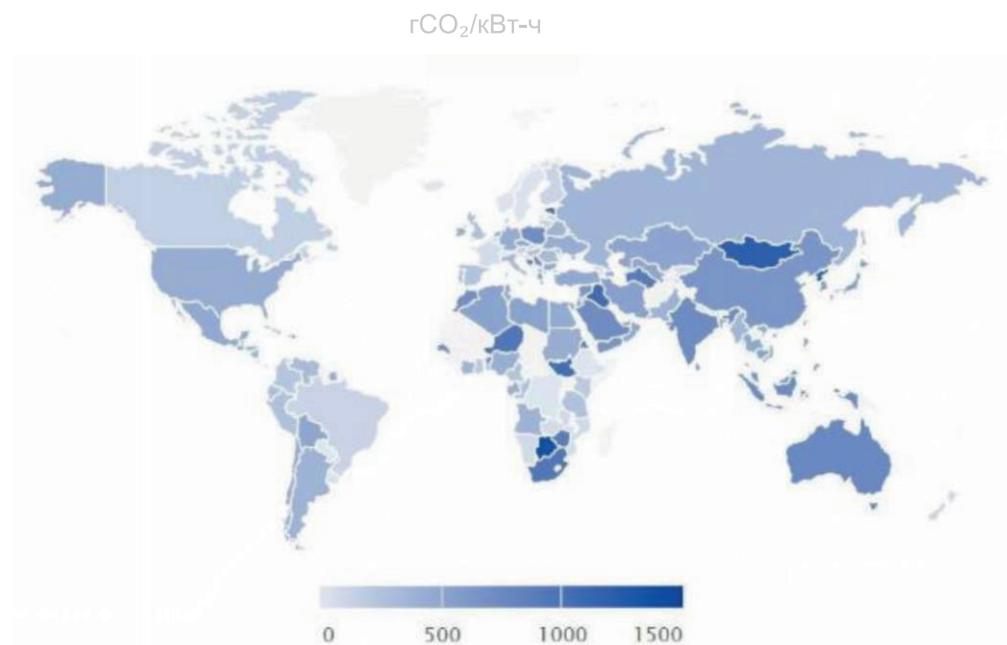


Рис. 1.4.2. Выбросы CO₂ при производстве 1 кВт-ч электроэнергии в 2016 г. [7]

Охват области рассмотрения имеет центральное значение для оценки углеродного следа. Кроме того, проводится различие между прямыми и косвенными выбросами [1]:

- прямые выбросы образуются, как правило, от источников, расположенных непосредственно на производственном объекте или очистных сооружениях;
- косвенные выбросы являются следствием эксплуатации производственных или очистных сооружений, но образуются за пределами установленных границ.

Углеродный след (УС) рассчитывается путем суммирования сопутствующих отдельных видов деятельности [1].

$$CF = \sum_{i=1}^n A_i \times FE_i \quad (1.1)$$

где i — параметр выполнения отдельных видов деятельности;
 A_i — потребление (m^3 газа, Мг стали, тонно-километры грузоперевозок и т. д.);
 FE_i — удельный коэффициент выбросов в CO_2 -эквиваленте для соответствующего типа потребления.

Удельные коэффициенты выбросов были собраны для различных областей, таких как материалы, источники энергии и производственные процессы. Обзор коэффициентов приводится на Рис. 1.4.3 [1]

Многие страны разработали свои собственные базы данных коэффициентов выбросов. В стадии разработки находятся общеевропейские расчетные базы. Однако величины отдельных коэффициентов могут быть сопоставимы, и выводы относительно того, какие коэффициенты являются определяющими, приводят к идентичным параметрам. Стоит предварительно оценить, а затем детально рассмотреть слагаемые с наибольшими величинами. [1]

При работе очистных сооружений суточное потребление электроэнергии является определяющим фактором. Величина коэффициента выбросов сильно варьируется в зависимости от источников энергии, используемых в стране (см. Рис. 1.4.2). В результате сооружения одной конструкции в зависимости от местоположения производят разное количество выбросов CO_2 . [1]

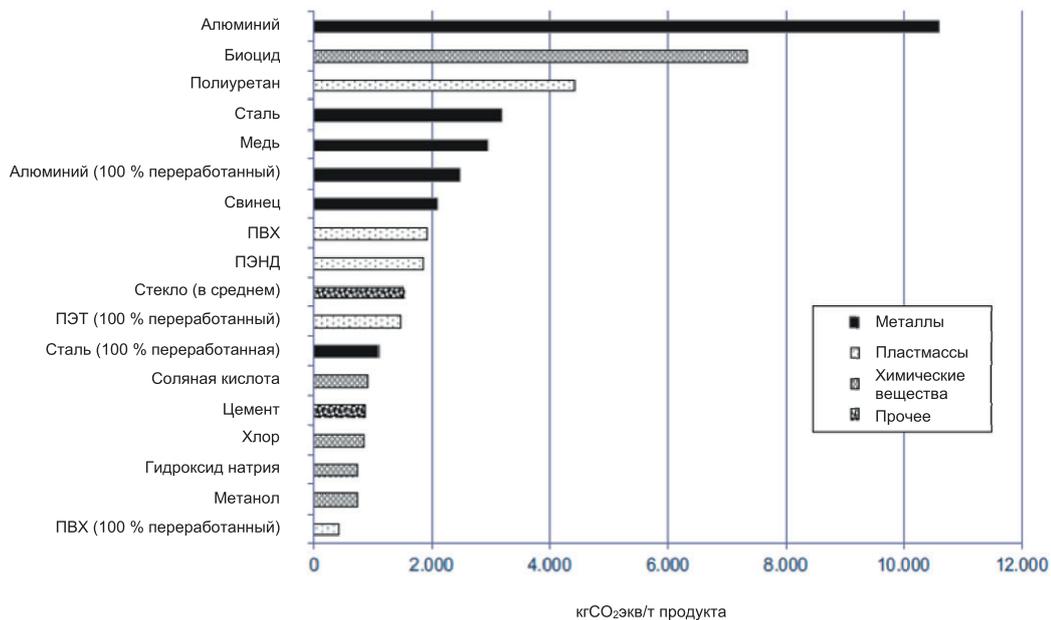


Рис. 1.4.3. Удельные коэффициенты выбросов [1]

Следующие факторы обычно учитываются в расчетах при строительстве и эксплуатации сооружений и являются косвенными выбросами [1]:

- товары и материалы, используемые в строительстве, выраженные в Мг или евро;
- транспортировка этих материалов в Мг/км, дифференцированная по типу транспорта;

- связанная с поездками деятельность лиц, участвующих в строительстве;
- химические вещества, используемые при производстве, выраженные в Мг, а также используемый транспорт;
- энергетические эксплуатационные затраты в кВт-ч, дифференцированные по видам энергии;
- отходы и парниковые газы, образующиеся в процессе эксплуатации;
- другие эксплуатационные материалы в Мг или евро, а также используемый транспорт.

Время эксплуатации, на котором основывается расчет, определяется как срок службы. Для промышленных очистных сооружений этот срок часто оценивается в 20 лет. Демонтаж сооружения по истечении срока службы не рассматривается, поскольку в этом случае придется включить множество неизвестных, что может отрицательно сказаться на необходимой точности результатов расчетов. [1]

Кроме того, в процессе эксплуатации сооружения происходят прямые выбросы. По сути, это парниковые газы, выделяемые при биоразложении (CO_2 , CH_4 , NO_x). При расчете необходимо учитывать соответствующий CO_2 -эквивалент если он известен в количественном выражении. Если достоверных данных нет, следует указать, какие газы не учитывались. Для использования на международном уровне эффективным оказалось создание обширной базы данных, используемой для подхода, основанного на коэффициентах выбросов (ADEME, EcoInvent, ICE, EPA и т. д.), и ее перенос в общую базу данных. Такой подход может помочь заполнить пробелы, если местные данные недоступны или доступны в недостаточном объеме. Для Германии стандарт DIN-ISO с действующими коэффициентами выбросов находится на стадии разработки. [1]

С другой стороны, выбросов можно избежать за счет экономии энергии путем использования биогаза. При расчете экономии следует применять те же коэффициенты, что и при расчете использования энергии из первичных источников, будь то использование тепловой энергии без преобразования или выработка электроэнергии, поскольку такая первичная энергия замещается. Сокращение углеродного следа в результате повторного использования энергии, например отработанного тепла, следует представлять отдельно. [1]

Расчет углеродного следа не является точной наукой, поскольку отдельные виды деятельности, а особенно различные коэффициенты выбросов, имеют ограниченную глубину расчета или основаны на предположениях. Коэффициенты неопределенности являются частью используемой базы данных и могут быть учтены при расчете. В любом случае цель состоит в том, чтобы создать расчетную модель, в которой можно было бы сравнивать различные технологические процессы на общей основе. [1]

1.5 Пример оценки технологии на бумажной фабрике «Шёллерсхаммер»

Фабрика «Шёллерсхаммер», которая производит 200 000 Мг в год гофрированной бумаги-основы, находится в Германии. Сточные воды очищаются с помощью биологической анаэробной/аэробной установки, объединяющей систему анаэробной очистки со станцией аэрации с активным илом для вторичной очистки. [1]

В анаэробном процессе, применяемом в соответствии с технологией BIOBED® EGSB, используются анаэробный гранулированный ил для предварительной очистки высококонцентрированных промышленных сточных вод. В этом процессе органические компоненты сточных вод преобразуются в биогаз. Использование биогаза оставляет низкий углеродный след и позволяет нейтрализовать

углеродный след очистных сооружений. Произведенный биогаз используется на теплоэлектроцентрали (ТЭЦ). Очистные сооружения BIOBED® рассчитаны на объем сточных вод 2880 м³/сут и нагрузку по химическому потреблению кислорода (ХПК) 14 Мг/сут. Реактор объемом 800 м³ производит около 5000 м³ биогаза в сутки. Этот биогаз используется на двух ТЭЦ с электрической мощностью 350 кВт каждая. Для вторичной очистки сточных вод применяется станция аэрации с активным илом, состоящая из резервуара для ила объемом 1200 м³ и вторичного отстойника (диаметром 13 м). Половина избыточного ила сжигается, а половина вывозится на полигон. [1]

Оценка технологии была подготовлена компанией «Аквантис ГмбХ» для определения углеродного следа анаэробных/аэробных очистных сооружений, обычно используемых в промышленных целях. Границы оценки при расчете углеродного следа очистных сооружений фабрики «Шёллерсхаммер» включают строительство и эксплуатацию, а также утилизацию осадка сточных вод и использование биогаза. Углеродный след, связанный со строительством, также включает ресурсы, используемые для производства материалов, их транспортировку и обработку. Электроэнергия, химреагенты, транспортировка и утилизация осадка сточных вод являются частью углеродного следа от эксплуатации. Сюда также относятся материалы и оборудование, необходимые для ремонта. Углеродный след от эксплуатации был рассчитан за период эксплуатации в 20 лет. Демонтаж и утилизация установки при расчете не учитывались.

Потребляемая и произведенная электрическая энергия была рассчитана с использованием среднего для Германии коэффициента выбросов, равного 0,44 кг СО₂-эквивалента на кВт-ч. Для расчета углеродного следа сооружения использовалось уравнение 1.1. Первым шагом в вычислении углеродного следа является регистрация деятельности, связанной со строительством и эксплуатацией. При анализе технологии сооружений в первую очередь необходимо провести полный учет всех видов деятельности. Особое внимание должно уделяться видам деятельности, преобладающим в количественном отношении (например, потребление энергии и химикатов), и тем видам деятельности, которые имеют высокий коэффициент выбросов (например, потери метана). [1]

Отдельным видам деятельности были присвоены соответствующие коэффициенты выбросов из базы данных компании «Веолиа Вотер Текнолоджис». Эффективным оказалось решение сгруппировать схожие виды деятельности. Такой подход позволяет лучше представить, а также быстро идентифицировать основные источники выбросов. Группировка не является стандартизированной и может быть адаптирована с учетом особенностей анализируемых очистных сооружений или технологии. [1]

Рекомендуется отдельно определить производимые и, если возможно, предотвращенные выбросы. Кроме того, выбросы, возникающие во время строительства, следует регистрировать отдельно. Это позволяет в случае применения аналогичной технологии включить эти выбросы в расчет, используя фиксированный коэффициент, и избежать трудоемкого учета всех работ, выполняемых во время строительства. В случае с промышленными очистными сооружениями было выявлено, что разовые выбросы ПГ, образующиеся во время строительства, ничтожно малы по сравнению с выбросами, образующимися в течение 20 лет эксплуатации, и редко превышают 5% от общего объема выбросов. [1]

Имея опыт в расчете углеродного следа сопоставимых объектов, можно очень быстро и достаточно точно рассчитать углеродный след объекта, основываясь на нескольких видах деятельности, связанных с выбросами, и фиксированных

коэффициентах, например, для строительства объекта. Расчет углеродного следа следует регулярно пересматривать с учетом изменений, произошедших в процессе эксплуатации объекта. Например, оптимизация химических требований в отношении сооружений может привести к значительному сокращению углеродного следа. Результат расчетов основывается на результатах первого года эксплуатации, которые подразделяются на категории, указанные в Табл. 1.5.1.

Табл. 1.5.1. Очистные сооружения фабрики «Шёллерсхаммер»: выбросы CO₂ за 20 лет [1]

Наблюдение более 20 лет	Мг эквивалента CO ₂
Монтаж	750
Эксплуатация — энергия	13 024
Эксплуатация — химреагенты	5800
Эксплуатация — расходные материалы	180
Эксплуатация — обслуживание	271
Эксплуатация — производственный процесс	6110
Эксплуатация — транспортировка	92
Эксплуатация — сервисное обслуживание	132
Эксплуатация — прочее	2200
Предотвращенные выбросы	-31 240
<i>Общий объем за время строительства</i>	750
<i>Общий объем за время эксплуатации</i>	27 809
<i>Общий объем выбросов</i>	28 559
<i>Общий объем предотвращенных выбросов</i>	-31 240
<i>Расчетные выбросы</i>	-2681

Результат показывает, что по сравнению с углеродным следом в процессе эксплуатации объем выбросов CO₂ при строительстве очистных сооружений фабрики «Шёллерсхаммер» незначителен. Наличие углеродного следа в результате эксплуатации в основном обусловлено потреблением электроэнергии и использованием химреагентов, например, каустической соды для нейтрализации сточных вод. Третьим основным источником выбросов CO₂ является растворенный метан, который выделяется из сточных вод на стадии анаэробной очистки и учитывается в категории «производственный процесс». И хотя из-за низкой растворимости в сточных водах содержится лишь около 13 мг/л метана, при нынешних условиях эксплуатации CO₂-эквивалент, равный 25, оказывает сильное влияние на углеродный след. [1]

Суммарные выбросы углерода составляют около 28 500 Мг эквивалента CO₂ в течение всего срока службы очистных сооружений. Благодаря использованию биогаза на ТЭЦ и вырабатываемой там электроэнергии, за тот же период удалось предотвратить около 31 000 Мг выбросов в эквиваленте CO₂. Подводя итог, можно отметить, что очистные сооружения фабрики «Шёллерсхаммер», дополненные системой анаэробной очистки, являются CO₂-нейтральными. [1]

2 Энергетическая эффективность

Оценка технологий очистки сточных вод с высоким содержанием органических загрязняющих веществ на основе потребления энергии из первичных источников требует корректировки. Помимо потребления электроэнергии (и тепловой энергии) на очистных сооружениях энергия также используется в производстве машин и строительных материалов. Следовательно, для создания полной реалистичной картины необходимо применить подход, основанный на полном жизненном цикле сооружений. В зависимости от цели и технологии процесса при корректировке следует стремиться к разным уровням детализации, чтобы вычислить сравнительные значения, прилагая разумные усилия. [8]

Пределы, в рамках которых учитывается баланс CO₂ и потоков энергии, важен для сопоставимости результатов. Подход «от колыбели до могилы» учитывает весь жизненный цикл очистных сооружений. Однако различные исследования показали, что стадия демонтажа играет лишь второстепенную роль. Основные выбросы на очистных сооружениях связаны с потреблением энергии. [8]

В последующих разделах будут представлены данные о контроле и анализе энергопотребления, а также описаны некоторые современные технологии, которые могут быть использованы для сокращения выбросов парниковых газов.

2.1 Потребление энергии на очистных сооружениях

В технической литературе для определения, идентификации и оценки энергоэффективности очистных сооружений были введены многочисленные нормативные значения.

Важным элементом рекомендаций по оптимизации энергопотребления, опубликованных в последние годы, является сравнение удельного потребления электроэнергии очистными сооружениями или отдельными участками кВт·ч (на человека в год) с нормативными значениями (Табл. 2.1.1). Используемые нормативные значения (идеальное, директивное, допустимое, целевое, заданное или среднее значение) могут быть сопоставимы, но получены они были разными способами. Как правило, можно провести различие между нормативными значениями, полученными [9]:

- в результате статистических исследований (допустимое и целевое значения);
- в результате технологических расчетов модели канализационных очистных сооружений (идеальное значение);
- благодаря так называемому принципу наилучшей практики (целевое и директивное значения).

В прошлом энергетические исследования в отношении сброса сточных вод проводились редко. Обычно это оправдывалось тем, что энергопотребление таких очистных установок было довольно низким по сравнению с канализационными очистными сооружениями. По этой причине в данной области практически нет оценок энергопотребления. Основные возможности снижения энергопотребления при сбросе сточных вод лежат, с одной стороны, в оптимизации насосных установок, а с другой — в концептуальном проектировании городской системы канализации. Уменьшение объемов сточных вод, оптимальный выбор канализационных систем, расположение канализационных труб на оптимальной глубине и прочее сложно реализовать в существующих системах. Однако при проектировании городских канализационных систем этим аспектам энергосберегающего

планирования следует уделять больше внимания в дополнение к стандартным требованиям. Соответствующая информация содержится в информационном бюллетене ATV-DVWK-A 134. [9]

Табл. 2.1.1. Статистическая оценка энергетического анализа потребления электроэнергии на душу населения в земле Северный Рейн – Вестфалия по категориям в зависимости от процесса очистки сточных вод

Группа процессов	Количество	Удельный расход электроэнергии (кВт-ч на человека в год)		
		Частота занижений		
		25 %	50 %	75 %
Общее потребление	$n = 91$	32,0	42,0	53,5
Механическая стадия, всего	$n = 84$	1,0	1,8	3,6
Гребенка	$n = 80$	0,1	0,1	0,3
Песколовка	$n = 81$	0,5	0,9	2,1
Первичный отстойник	$n = 61$	0,1	0,3	0,5
Биологическая стадия, всего	$n = 85$	18,0	24,5	31,3
Аэрация	$n = 70$	11,4	15,1	19,9
Рециркуляция	$n = 66$	2,3	3,7	6,3
Рециркуляция	$n = 38$	0,9	1,8	2,7
Подача возвратного ила	$n = 60$	1,7	2,6	5,5
Канализационно-насосная станция	$n = 59$	2,0	3,3	5,0
Фильтрация	$n = 27$	2,7	3,8	6,1
Обработка осадка сточных вод, всего	$n = 82$	3,4	4,7	6,6
Предварительное сгущение	$n = 53$	0,1	0,6	1,1
Стабилизация/сбраживание	$n = 58$	1,9	2,7	4,5
Последующее сгущение	$n = 19$	0,05	0,1	0,2
Обезвоживание	$n = 62$	1,1	1,6	2,4
Прочее	$n = 22$	0,4	1,0	1,8
Инфраструктура, всего	$n = 83$	1,6	2,9	5,0
Вентиляция	$n = 18$	0,2	0,7	1,4
Электрообогрев	$n = 23$	0,3	0,7	1,9
Общая (освещение и т. д.)	$n = 61$	0,4	0,7	2,0
Горячая вода для бытовых нужд	$n = 24$	0,2	0,4	0,8
Прочее	$n = 49$	0,4	1,3	2,8

Учет и оптимизация энергоэффективности очистных сооружений выполняются в два этапа с различной глубиной обработки и разными целями [9].

Шаг 1. Регулярная проверка энергопотребления

Проверка энергопотребления заключается в регулярной регистрации энергопотребления системы водоотведения на основании нескольких нормативных значений, которые может определить оператор. Проверка выполняется путем сравнения с частотой занижений, которые иллюстрируют диапазон определенных нормативных значений на основе реальных эксплуатационных данных.

Частота занижений приведена на Рис. 3.1.1 — Рис. 3.1.9 для нормативных значений проверки энергопотребления и, таким образом, служат первоначальным ориентиром. Если соответствующее нормативное значение энергопотребления установки находится в неблагоприятном диапазоне, то обычно предполагается, что можно определить меры по оптимизации. То же самое касается производства энергии (производство биогаза, производство энергии для собственных нужд).

Как правило, проверка энергопотребления должна проводиться ежегодно (например, как часть производственного контроля, сравнительного анализа или для демонстрации прогресса, достигнутого за определенное время). Выводы об энергетическом усовершенствовании сооружений можно сделать на основании изменения нормативных значений с течением времени. Кроме того, на основании нормативных значений можно определить необходимость проведения анализа энергопотребления.

Шаг 2. Разработка и проведение анализа энергопотребления

Целью анализа является проведение подробного исследования процесса энергопотребления очистных сооружений и повышение энергоэффективности. В отличие от проверки анализ энергопотребления является более комплексным и требует подробной оценки функционирования очистных сооружений с учетом используемого оборудования, технологических процессов, рабочих процедур и технологии строительства.

В энергетическом анализе присутствуют расширенные элементы проверки энергопотребления, которые включают:

- систематическое подробное исследование расхода энергии в отношении агрегатов, агрегатных групп или компонентов сооружений в рамках энергетического баланса;
- оценку энергетической ситуации путем сравнения фактических значений с идеальными для очистных сооружений значениями;
- презентацию конкретных мер по оптимизации энергопотребления с сопоставлением понесенных затрат и сэкономленной энергии и эксплуатационных расходов.

Идеальные значения необходимы для описания оптимального диапазона использования энергии. Они рассматриваются в качестве составной части анализа для оптимального режима работы и учитывают проектные или связанные с процессом граничные условия, которые практически не меняются (например, состав сточных вод) или их изменение экономически нецелесообразно (например, высота подачи насосных установок).

3 Регистрация показателей и сопоставительный анализ

Проверка и анализ энергопотребления согласно инструкции DWA-A 216.

3.1 Проверка энергопотребления

Целью проверки является учет потребления энергии очистными сооружениями и определение их исходного состояния с точки зрения потребления и выработки энергии. Проверку энергопотребления следует считать средством субъективной оценки, и поэтому предусмотрено, чтобы ее мог проводить оператор на основе нескольких нормативных значений.

В результате проверки могут быть выявлены наиболее очевидные недостатки, но без достоверных количественных показателей и подробного описания причин. Такие данные можно получить в результате проведения анализа энергопотребления. В рамках проверки определяется лишь несколько относительно простых энергетических параметров. Значения, которые относительно легко определить. В Табл. 3.1.1 приведены нормативные значения. Главным образом, необходимо различать очистные сооружения с установкой сбразивания и без таковой.

В зависимости от технологии отдельных сооружений и наличия данных объем характеристики нормативных значений проверки энергопотребления может быть дополнен. Решающим фактором успешного проведения проверки являются качество баз данных и четкое определение границ системы.

Табл. 3.1.1. Нормативные значения проверки энергопотребления [9]

Символ	Ед. изм.	Определение нормативного значения	Формула	Определение
Очистные сооружения				
e_{tot}	кВт-ч на человека в год	Удельный общий расход энергии для системы	$e_{tot} = \frac{E_{tot}}{PE_{COD}}$	E_{tot} — расход энергии для всей системы в кВт-ч/год PE_{COD} — эквивалент населения с учетом ХПК в размере 120 г/(л·сут)
e_{Aer}	кВт-ч на человека в год	Удельный расход энергии для аэрации*)	$e_{Aer} = \frac{E_{tot}}{PE_{COD}}$	E_{Aer} — расход энергии для аэрации в отстойнике с активным илом в кВт-ч/год PE_{COD} — эквивалент населения с учетом ХПК в размере 120 г/(л·сут)

Очистные сооружения с установкой сбраживания				
Символ	Ед. изм.	Определение нормативного значения	Формула	Определение
e_{DG}	л/(чел/сут)	Удельное производство биогаза с учетом эквивалента населения	$e_{DG} = \frac{Q_{DG,d,aM}}{PE_{COD}}$	$Q_{DG,d,aM}$ — среднегодовой объем производства биогаза при стандартных условиях (л/сут) PE_{COD} — эквивалент населения с учетом ХПК в размере 120 г/(л·сут)
Y_{DG}	л/кг	Удельное производство биогаза с учетом летучих твердых веществ	$Y_{DG} = \frac{Q_{DG,d,aM}}{B_{d,VS,aM}}$	$B_{d,VS,aM}$ — среднегодовое количество летучих твердых веществ, поступающих в метантенк, в кг/сут
N_{DG}	%	Степень преобразования биогаза в электричество	$N_{DG} = \frac{E_{CHP,el} \cdot 100}{Q_{DG,a} \cdot g_{CH_4} \cdot 10}$	$E_{CHP,el}$ — годовая выработка электроэнергии в результате преобразования биогаза на ТЭЦ или за счет прямого привода агрегатов в кВт·ч/год $Q_{DG,a}$ — годовой объем производства биогаза при стандартных условиях в м ³ /год g_{CH_4} — объемная доля метана в объеме биогаза (1) (например, 0,64)
EV_{el}	%	Степень самообеспеченности электроэнергией	$EV_{el} = \frac{E_{CHP,el} \cdot 100}{E_{tot}}$	$E_{CHP,el}$ — годовая выработка электроэнергии в результате преобразования биогаза на ТЭЦ или за счет прямого привода агрегатов в кВт·ч/год E_{tot} — общее электропотребление в кВт·ч/год

Символ	Ед. изм.	Определение нормативного значения	Формула	Определение
$e_{th,ext}$	кВт·ч на человека в год	Удельный расход внешнего тепла	$e_{th,ext} = \frac{E_{th,ext}}{PE_{COD}}$	$E_{th,ext}$ — внешняя энергия для теплоснабжения в кВт·ч/год (ископаемые виды топлива) PE_{COD} — эквивалент населения с учетом ХПК в размере 120 г/(л·сут)
Насосная станция				
e_{PW}	Вт·ч/(м ³ ·м)	Удельный расход энергии для насосной станции	$e_{PW} = \frac{E_{PW} \cdot 1000}{Q_{PW} \cdot h_{man}}$	E_{PW} — расход энергии для насосной станции в кВт·ч/год Q_{PW} — расход в м ³ /год h_{man} — манометрический напор в метрах

ПРИМЕЧАНИЕ

*) При необходимости доступны измеренные значения.

Для первоначальной ориентации нормативные значения можно соотнести с соответствующей частотой занижений (Рис. 3.1.1). Следует учитывать, что в Германии накопилось достаточно данных об удельном общем потреблении электроэнергии очистными сооружениями. По другим показателям в настоящее время доступно значительно меньше данных. В этой связи на Рис. 3.1.3 — Рис. 3.1.9 не представлены разграничения по размеру очистных сооружений.

Частота занижений удельного общего потребления электроэнергии (Рис. 3.1.1) основана на данных, полученных Немецкой ассоциацией предприятий по водоснабжению, водоотведению и утилизации отходов (DWA) в результате сравнения показателей городских очистных сооружений (DWA, 2013). Показатели частоты занижений на Рис. 3.1.3 — Рис. 3.1.9 основаны на данных, собранных в федеральных землях Гамбург, Берлин, Шлезвиг-Гольштейн, Баден-Вюртемберг, Бранденбург и Бавария, а также на эксплуатационных данных, предоставленных различными муниципальными образованиями.

3.1.1 Удельное общее потребление электроэнергии

Что касается показателей потребления электроэнергии, данные с более высокой частотой занижений, весьма вероятно, указывают на возможность оптимизации использования энергии. Частота занижений данных, собранных с городских очистных сооружений, показывает зависимость удельного общего потребления

электроэнергии E_{tot} от используемой технологии процесса, особенно на небольших очистных сооружениях.

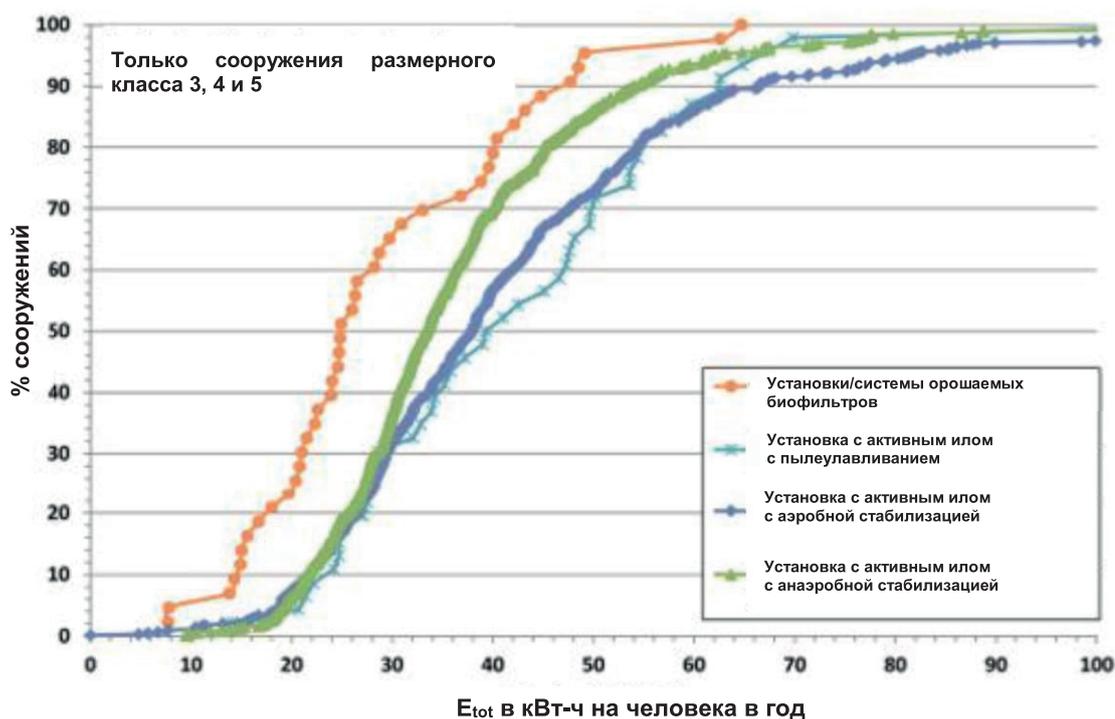
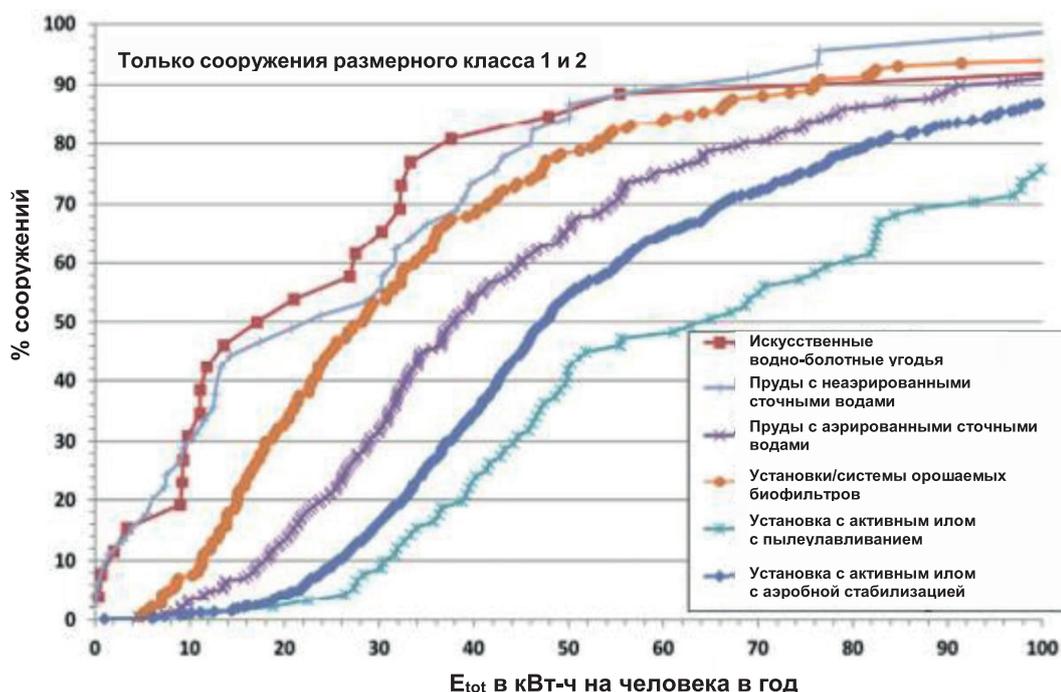


Рис. 3.1.1 и Рис. 3.1.2. Удельное общее потребление электроэнергии в зависимости от процесса очистки [9] (размерные классы: класс 1 < 1000 чел., класс 2 < 5000 чел., класс 3 < 10 000 чел., класс 4 < 100 000 чел., класс 5 > 100 000 чел.)

3.1.2 Удельный расход электроэнергии на аэрацию

Потребление электроэнергии на установке с активным илом (подача энергии для аэрации/нагнетания, циркуляции, рециркуляции, транспортировки возвратного ила) на практике является дорогостоящим и зачастую может быть определено

только с помощью углубленного анализа. В связи с этим компания Energy Check в интересах крупнейших потребителей в этой области ввела величину удельного расхода электроэнергии на аэрацию отстойника с активным илом e_{Aer} . Это нормативное значение, регулярно определяемое в течение нескольких лет, позволяет получить сведения о состоянии системы аэрации и ее элементов.

Поскольку в ходе работы аэрационной системы очистных сооружений эффективность энергозатрат снижается из-за старения материала и/или отложений на аэраторах (накипь, засорение), нормативное значение позволяет определить степень загрязнения аэраторов или снижение производительности нагнетателя. Если нарушения нельзя исправить, то таким образом можно убедиться, что пора проводить ремонт системы аэрации.

На очистных сооружениях со сбраживанием производство биогаза характеризуется удельным показателем на человека e_{DG} (количество литров на человека в сутки). Если цифры достоверны, следует также использовать технически более значимый показатель добавленного органического сухого вещества Y_{DG} (л/кг). Это особенно важно, если предполагается наличие субстратных кофакторов и/или посторонних осадков.

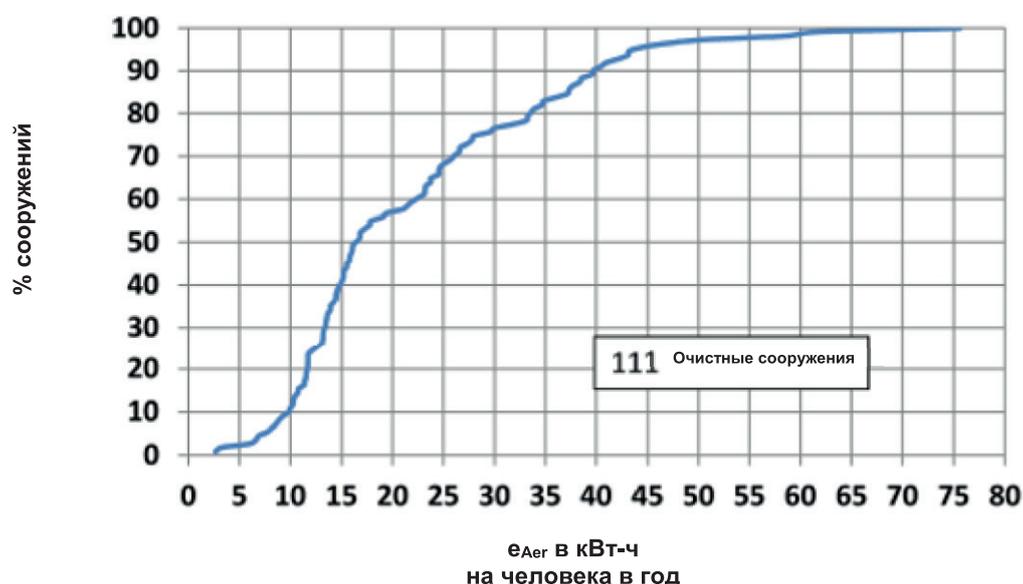


Рис. 3.1.3. Удельный расход электроэнергии на аэрацию e_{Aer} для очистных сооружений [9]

3.1.3 Удельный биогаз

Удельный показатель производства биогаза на человека, представленный на Рис. 3.1.4, превышает диапазон значений нормативов DWA для многих очистных сооружений (см. инструкции DWA-M 368, DWA-M 264), потому как в данных, на основании которых составлен график, были учтены очистные сооружения с наличием постороннего осадка и/или субстратных кофакторов. Влияние предполагаемых субстратов также наглядно представлено на Рис. 3.1.5. Транспортировку внешнего избыточного ила можно учитывать, ссылаясь на органическое сухое вещество, добавленное в метантенк, но повышенный выход газа на килограмм органического сухого вещества из субстратных кофакторов (например, содержащего жируловителя) приводит к удельному выходу газа, превышающему максимальные 480 л/кг, которые достигаются при использовании обычного сырого ила бытовых сточных вод (см. DWA-M 264:2015).

Если речь идет о показателях для производства/использования биогаза, можно предположить соответствующие возможности оптимизации, при условии, что собственный показатель находится в нижнем диапазоне частоты занижений. Параметр N_{DG} (степень преобразования биогаза в электричество, %) описывает, какая часть энергии биогаза была преобразована в электричество на ТЭЦ. К факторам, влияющим на параметр N_{DG} (%), относятся доля биогаза, преобразованного в электричество, и электрический КПД ТЭЦ. В идеале для выработки электроэнергии должен использоваться весь биогаз. Полное использование биогаза может быть ограничено работами по осмотру и техническому обслуживанию блоков ТЭЦ. Кроме того, неравномерное скопление газа в сочетании с отсутствующим или слишком маленьким газосборником приводит к потерям газа из-за сжигания на факеле.



Рис. 3.1.4. Удельная выработка биогаза e_{DG} с учетом эквивалента численности населения [9]

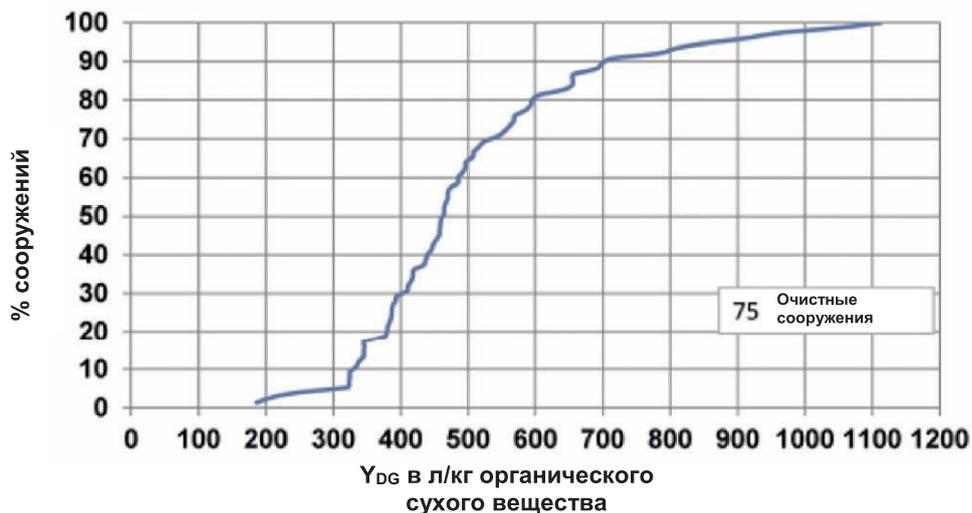


Рис. 3.1.5. Удельный выход биогаза Y_{DG} с учетом подаваемого органического сухого вещества [9]

Согласно Рис. 3.1.6, значение N_{DG} составляет всего приблизительно 26 % на 50 % очистных сооружений. Необходимо учитывать, что достижимые значения N_{DG} на небольших сооружениях ниже, чем на очистных сооружениях 5-го размерного класса.

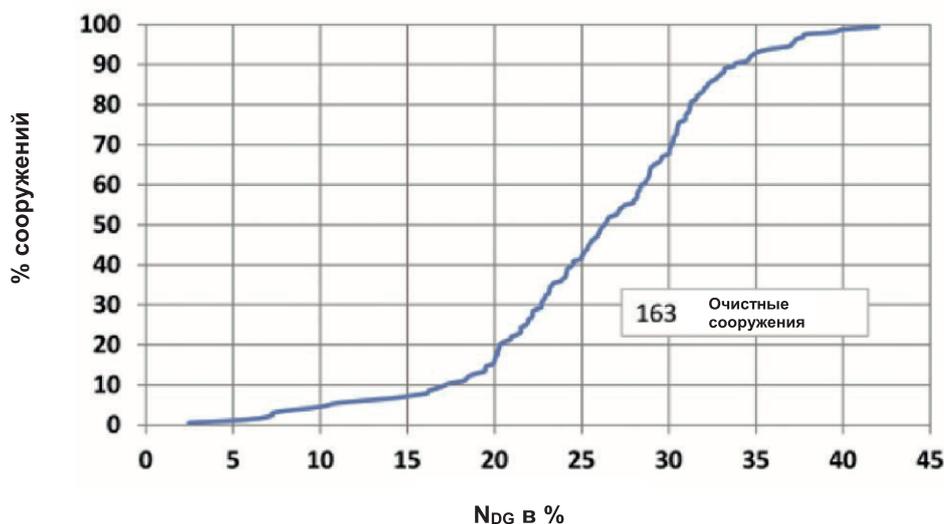


Рис. 3.1.6. Степень преобразования биогаза в электричество N_{DG} [9]

Стремление использовать весь объем имеющегося биогаза, чтобы в значительной степени покрыть собственные нужды очистных сооружений, стало причиной введения параметра самообеспеченности электроэнергией EV_{el} (%) с учетом выработки электроэнергии из биогаза. На Рис. 3.1.7 50-й процентиль показывает, что самообеспеченность EV_{el} , связанная с выделением биогаза, составляет 44% и достигается на всех рассматриваемых очистных сооружениях.

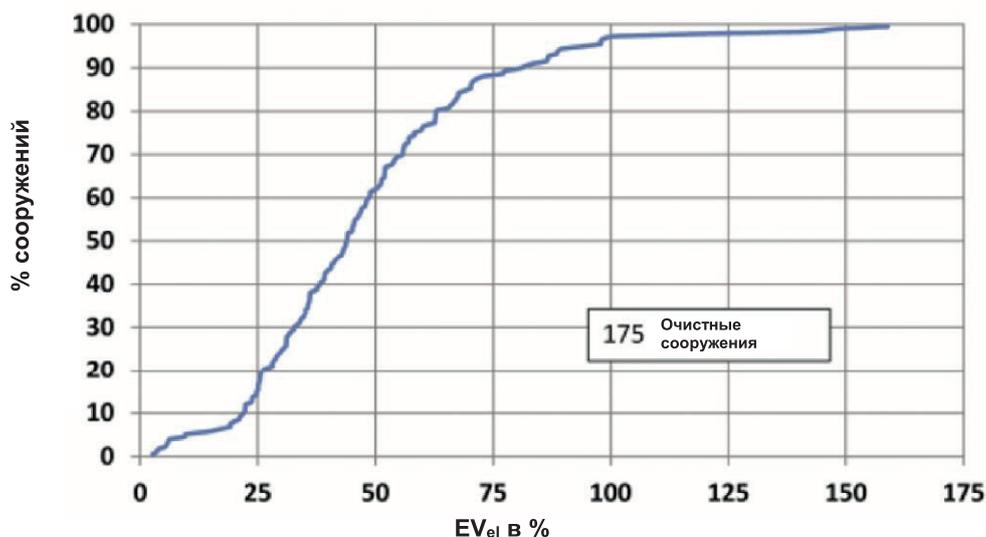


Рис. 3.1.7. Степень самообеспеченности электроэнергией EV_{el} [9]

Удельная потребность во внешнем источнике тепла $e_{th, ext}$ позволяет определить, использовались ли первичные источники энергии, такие как топочный мазут и природный газ, для покрытия потребления тепловой энергии на сооружениях со сбраживанием ила. В случае использования приобретаемых ископаемых первичных источников энергии на ТЭЦ при расчете необходимо вычесть количество энергии из $e_{th, ext}$. На Рис. 3.1.8 показано, что около 1/3 всех очистных сооружений используют дополнительные ископаемые источники энергии, несмотря на сбраживание ила и производство биогаза, что указывает на необходимость оптимизации. Очистные сооружения со сбраживанием ила должны полностью покрывать потребление тепловой энергии с помощью ТЭЦ или других неископаемых источников тепловой энергии. Для сооружений, где потребление тепловой энергии

также покрывается за счет электроэнергии, этот параметр следует рассчитывать вместе с удельным общим потреблением электроэнергии.

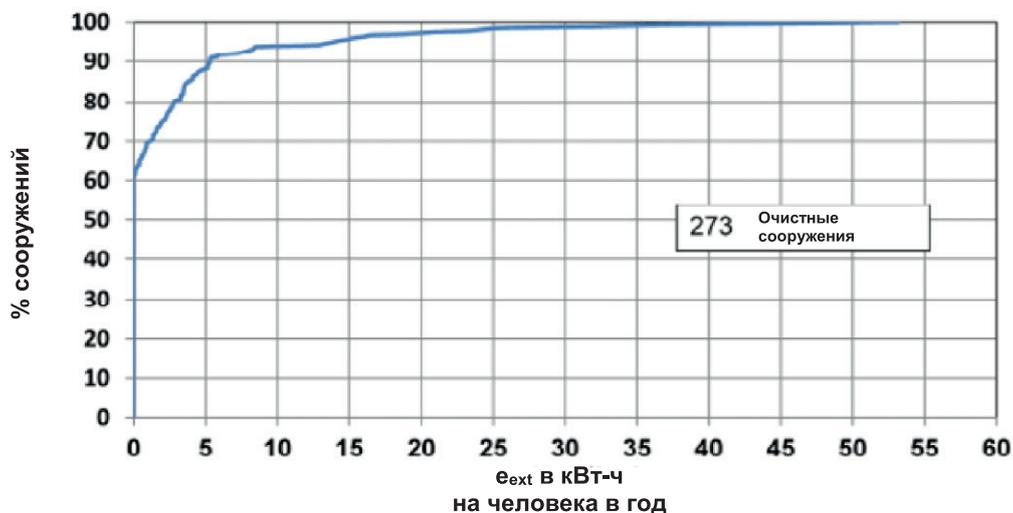


Рис. 3.1.8. Удельный расход внешнего тепла e_{ext} [9]

Потребление электроэнергии насосными установками часто регистрируется с высокой точностью, поскольку там установлены собственные приборы учета электроэнергии. Фактический расход и манометрический напор регистрируются реже. Чтобы приблизиться к целостному представлению, необходимо также определить показатели работы насосной станции. Показатель потребления электроэнергии на кубический метр перекачиваемых сточных вод имеет важное значение для оценки энергопотребления насосной станции. Первые признаки износа можно определить с помощью соответствующего временного ряда. Целесообразно различать три основных класса насосных установок: канализационные, канализационные смешанного типа и ливневые насосные станции, но из-за нынешней ситуации с данными соответствующее разделение пока невозможно. Зная данные о манометрическом напоре и фактическом расходе соответствующей насосной станции, можно рассчитать удельный расход электроэнергии в Вт-ч/(м³·м) (Рис. 3.1.9).

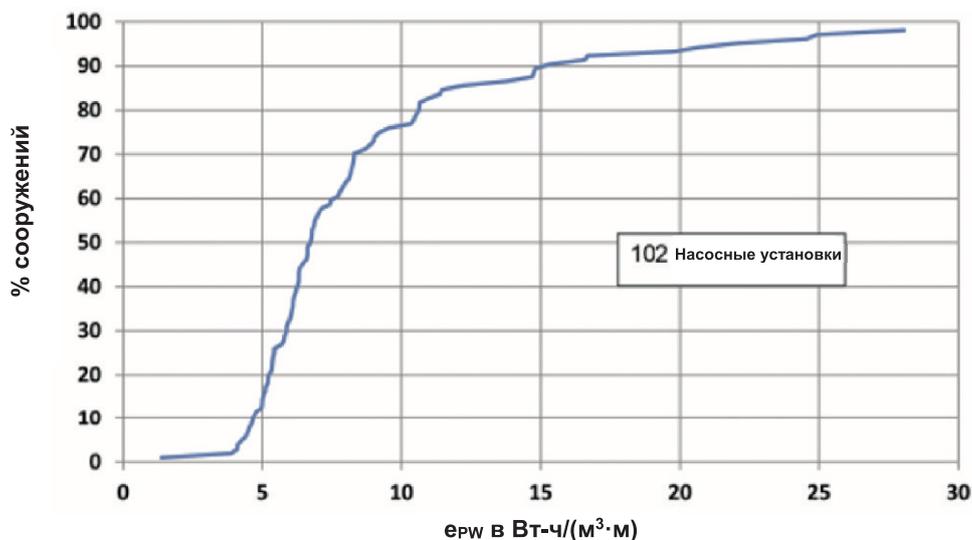


Рис. 3.1.9. Удельный расход электроэнергии для канализационных насосных установок e_{pw} [9]

3.2 Анализ энергопотребления

Подробное исследование и оценка энергетической ситуации на очистных сооружениях являются важной частью анализа энергопотребления. В результате данного анализа рассматривается энергетическая ситуация относительно электричества и тепла, при этом значения потребления сравниваются с эталонными значениями и значениями выработки. Тепловая энергия имеет большое значение, в частности для очистных сооружений с большим количеством источников потребления внешней тепловой энергии или если рядом находятся более крупные потребители, использующие избыточное тепло. Анализ энергопотребления призван определить меры оптимизации, включая сопоставление затрат с эксплуатационными расходами и сэкономленной энергией.

Это целесообразно, если отдельные нормативные значения при проверке энергопотребления показывают возможность оптимизации или подвержены негативному изменению с течением времени. Даже если при проверке энергопотребления нормативные значения находятся в диапазоне благоприятных, анализ все равно может указать на возможность оптимизации. В случае планируемого расширения или модернизации очистных сооружений анализ энергопотребления способствует целенаправленной разработке мер. В рамках углубленного анализа стоит определить и установить нормативное значение в дополнение к уровню самообеспеченности EV_{el} , принимая во внимание прочие возобновляемые источники энергии, такие как энергия ветра, воды, солнца и т. д. Анализ энергопотребления состоит из этапов, представленных на Рис. 3.2.1, где результаты этапов с третьего по пятый влияют друг на друга и должны обрабатываться итеративно. Более подробное описание представленных на блок-схеме этапов анализа энергопотребления приведено ниже.

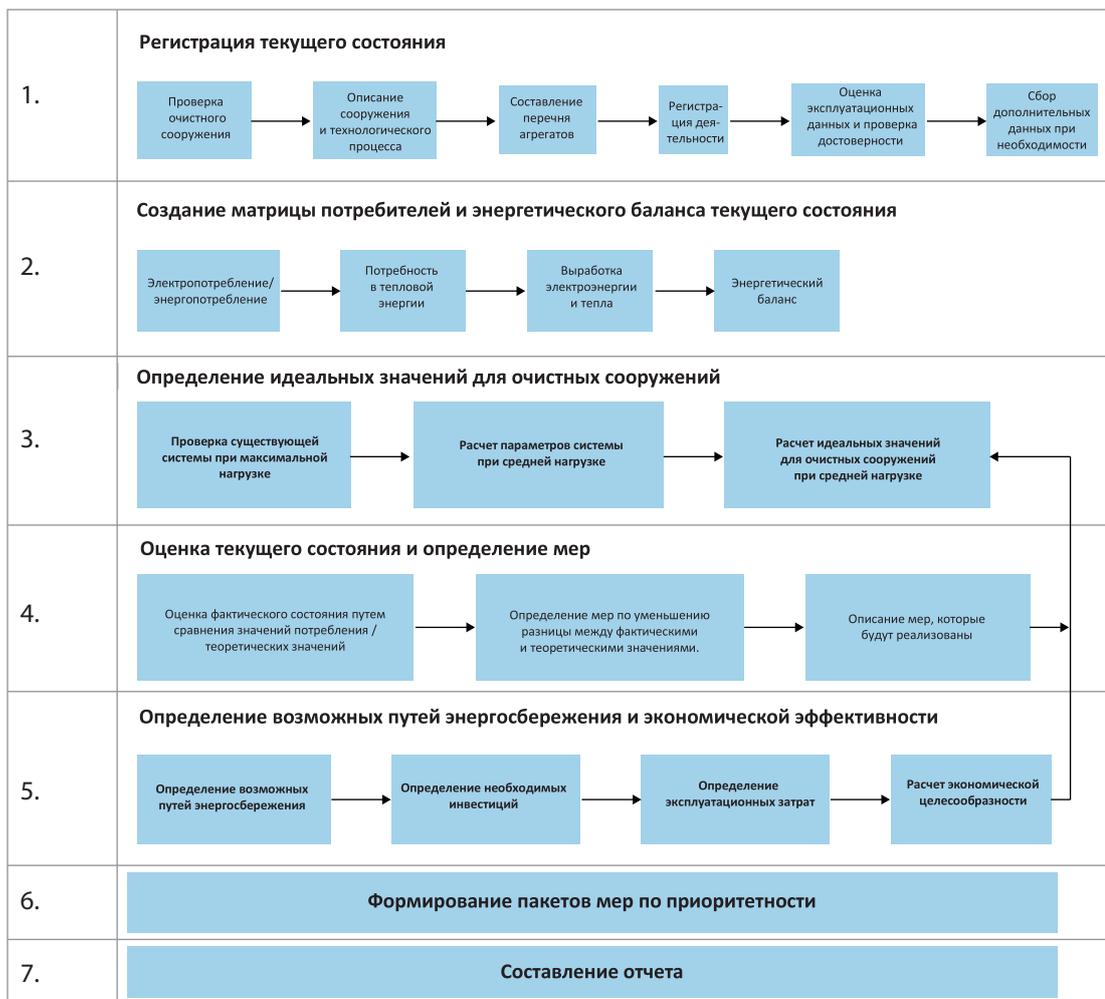


Рис. 3.2.1. Блок-схема анализа энергопотребления

3.2.1 Описание текущего состояния

Прежде всего, в рамках инспекции очистных сооружений с обслуживающим персоналом проводится обследование состояния, в ходе которого определяются отклонения выполняемых операций от документации (проектный/исполнительный документ, технологическая схема и т. д.). В частности, недостатки в работе или энергопотреблении или энергетические потенциалы определяются в соответствии с оценкой персонала на месте.

Режим работы сооружения, а также любые особенности должны быть описаны и проиллюстрированы с помощью технологических схем отвода сточных вод и осадка. Перечень работ в рамках анализа энергопотребления включает в себя:

- анализ проверки энергопотребления и других доступных исследований (например, сравнительный анализ процессов);
- инспекцию очистных сооружений;
- описание сооружений и технологических процессов;
- составление перечня агрегатов;
- измерение показателей основных агрегатов;
- оценку эксплуатационных данных, вкл. проверку достоверности;
- сбор дополнительных данных при необходимости.

Описание объекта должно содержать необходимую для анализа энергопотребления информацию. В дополнение к общим данным объекта, таким как адрес,

контактные лица и год постройки/расширения/ремонта, должно быть составлено описание каждого участка сооружений или каждой более крупной установки, а также указаны эксплуатационные данные. Необходимо проверять достоверность полученных данных о сооружениях и их эксплуатации.

Они должны быть указаны в списке агрегатов с соответствующими данными о производительности. В случае отсутствия данных о производительности, особенно крупных машин или установок с частотными преобразователями, необходимо провести отдельные измерения производительности. В случае если результаты теста неполные или недостаточно данных, может потребоваться проведение дополнительных исследований для сбора данных.

3.2.2 Создание матрицы потребителей и энергетического баланса текущего состояния

Определение расхода электроэнергии

Наиболее точное определение активной электроэнергии отдельных потребителей (называемой также электропотреблением) и очистных сооружений в целом существенно влияет на информативную ценность вычисляемых нормативных значений и на успех мониторинга. При измерении значений необходимо убедиться, что используются подходящие средства измерений. В особенности это касается устройств, генерирующих гармоники, например, частотных преобразователей или электронных диммеров.

Из-за растущего числа электронных компонентов электросети все чаще подвергаются воздействию гармоник. Из-за них ток течет в нейтральном проводе даже в симметрично нагруженных трехфазных сетях. В таких случаях для измерения тока не подходят простые приборы (те, которые не могут компенсировать гармоники).

Активная работа электрического тока W_{el} в трехфазной системе обычно определяется как интеграл активной мощности электрической цепи P_{el} с течением времени в соответствии со следующими уравнениями:

$$P_{el(t)} = \sqrt{3} \times I(t) \times U(t) \times \cos\varphi(t) \quad (3.1)$$

$$W_{el(t)} = \int_0^t \sqrt{3} \times I(t) \times U(t) \times \cos\varphi(t) \quad (3.2)$$

где $P_{el(t)}$ — активная мощность электрической цепи
 $W_{el(t)}$ — активная работа электрического тока
 U — напряжение в вольтах
 $I(t)$ — сила тока, протекающего по цепи, в амперах (А)
 t — продолжительность работы в час/год или в часах за рассматриваемый период

При возникновении в сети реактивной мощности ее необходимо ограничить (компенсация реактивного тока). Для грубого расчета активной электроэнергии можно взять средние значения напряжения и силы тока, а также фазового сдвига за рассматриваемый период.

$$E_{el} = W_{el} = (U \times I \times \sqrt{3} \times \cos\varphi) \times t \quad (3.3)$$

где E_{el}, W_{el} — активная электроэнергия
 U — напряжение в вольтах
 $I(t)$ — сила тока, протекающего по цепи, в амперах (А)

t — продолжительность работы в час/год или в часах за рассматриваемый период

Кроме того, решающее значение имеет момент проведения измерений, поскольку каждый узел между источником питания и приводным двигателем вызывает падение напряжения и, следовательно, потери. В большинстве случаев вышеупомянутые потери могут возникать в следующей последовательности [9]:

- сеть среднего напряжения < 0,1 %
- трансформатор ~ 0,5 %
- кабель к распределительному устройству ~ 1 %
- комплектное распределительное устройство ~ 1 %
- частотный преобразователь (тип FU) ~ 5 %
- кабель к приводному двигателю ~ 1–2 %

Таким образом, определение энергопотребления установки / агрегата складывается из совокупности энергопотребления и упомянутых выше потерь. Рекомендуется устанавливать средства измерений как можно ближе к генераторным установкам, подлежащим мониторингу, или энергетическому центру тяжести. Потери, связанные с кабелями и частотными преобразователями, могут быть отнесены к соответствующему агрегату или учтены в энергетическом балансе как суммарная величина. На практике зачастую значения потребления генераторных установок, включая вышестоящие частотные преобразователи, доступны, поэтому соответствующие потери не учитываются.

Во время измерения мощности должны быть зафиксированы эксплуатационные параметры соответствующей установки, которые являются определяющими для потребления, например, уровень в отстойнике насоса или манометрический напор, разность давлений для нагнетателей, коэффициент подачи во время измерения и т. д. Для установок, которые подвержены сильно изменяющимся суточным циклам или сезонным колебаниям (входная насосная станция), оценка потребности в токе с помощью характеристической кривой или схемы (например, потребление тока как показатель объема перекачиваемой воды) также может оказаться полезной, если нет доступных измерений с учетом эксплуатационных данных.

Для точности и эффективности анализа энергопотребления, а также для контроля успешности принятых мер рекомендуется автоматизированная и непрерывная регистрация потребления электроэнергии для наиболее важных агрегатов и приводов. Все агрегаты очистных сооружений должны быть перечислены в матрице потребителей в соответствии с этапами процесса / группами установок. Если на очистных сооружениях или даже агрегатах установлены приборы учета потребления, измеренные с их помощью значения должны быть проверены на достоверность с помощью экстраполированных значений связанных индивидуальных потребителей.

Потребность в тепловой энергии

Для системы водоотведения необходимо составить отдельный список потребителей и определить потребление тепловой энергии. Если нет доступных данных об измерениях количества тепла, отдельные потребители могут быть оценены в соответствии с подходами, приведенными в Приложении А.2 к инструкции DWA A- 216. Эти значения должны рассчитываться как среднегодовые и, если возможно, отдельно для каждого сезона. В частности, следует учитывать следующее:

- потери при транспортировке в метантенке;

- потребление тепловой энергии для подогрева сырого осадка;
- отопление зданий и подготовка горячей воды;
- передача тепла во внешние тепловые сети;
- специальные применения, такие как нагрев технической воды (например, для деаммонификации);
- отвод тепла с помощью системы аварийного охлаждения ТЭЦ.

Если осадок подвергается термической обработке, необходимо также учитывать потери при передаче и, если применимо, скорость испарения при этих процессах.

Выработка электроэнергии и тепла

Помимо экономии энергии и повышения энергоэффективности при оптимизации энергопотребления очистных сооружений также уделяется внимание выработке энергии. Возможности для этого заключаются в обработке осадка сточных вод, использовании биогаза или тепловой энергии (от сточных вод, отработанное тепло от нагнетателей и т. д.) и гидроэнергии. Для использования энергетического потенциала тепловой энергии из сточных вод установлен свод правил DWA-M 114 «Энергия из сточных вод — тепловая и сопутствующая энергия», который содержит подробную техническую информацию по этой теме.

Как правило, на очистных сооружениях можно вырабатывать собственную электроэнергию с помощью ТЭЦ (на биогазе или природном газе), фотоэлектрических станций, ветроэнергетических установок, малых гидроэлектростанций и т. д. Для дальнейшей корректировки необходимо зафиксировать общую чистую выработку электроэнергии, а также доли на самообеспечение и возврат в электросеть общего пользования.

Степень самообеспеченности определяется в рамках анализа энергопотребления. Степень самообеспеченности относится исключительно к энергии из сточных вод, то есть, как правило, из биогаза, который получают непосредственно из осадка сточных вод или из потока сточных вод (например, в случае промышленных очистных сооружений) и преобразуют в электричество и/или тепловую энергию. В рамках анализа энергопотребления совместное сбращивание классифицируется как энергия, получаемая из сточных вод. Электроэнергия от фотоэлектрических станций, ветроэнергетических установок и малых гидроэлектростанций должна быть исключена. Это также относится к собственной выработке электроэнергии из ископаемых источников энергии. Если установки приводятся в действие двигателями, работающими на биогазе или природном газе и так далее, их доли энергии должны быть рассчитаны как эквиваленты электроэнергии, а также включены в степень самообеспеченности (биогаз) или показатель получения извне (ТЭЦ на природном газе).

Количество выделенного тепла должно регистрироваться с помощью существующих приборов учета тепловой энергии отдельных агрегатов, таких как горелки или установки ТЭЦ. Если такие приборы не установлены, количество выделенного тепла можно определить по количеству использованной первичной энергии на основе спецификаций производителя по тепловому КПД. Для правильной корректировки объемов газа необходимо измерять их в стандартных кубических метрах [станд. м³] и определять теплотворную способность.

Доли электроэнергии, используемые для электрического отопления или для электрических тепловых насосов, должны учитываться в энергетическом балансе потребления электроэнергии как энергия для производства тепла. Количество тепла, выделенного в процессе, включая использованное отходящее тепло, учитывается в тепловом балансе на этапе генерации. То же самое относится и к прямому

использованию отходящего тепла, например, в теплообменниках, передающих тепловую энергию от сброженного ила к сырому.

Энергетический баланс

Совокупное потребление электроэнергии всеми агрегатами, включая потери, необходимо отразить в балансе с учетом допусков на погрешность измерений при регистрации электрических и физических параметров. Совокупное потребление электроэнергии всеми установками, включая потери, должно соответствовать фактическому потреблению электроэнергии (счет за коммунальные услуги) плюс чистая выработка электроэнергии за вычетом подачи.

Аналогичным образом определенный показатель потребления тепловой энергии, включая отвод тепла во внешние сети и целевой отвод тепла через аварийные охладители, сравнивается с выработкой тепла (закрытый тепловой баланс). Это можно представить в форме таблицы, как в Приложении Е к инструкции DWA A-216, или в виде диаграмм Сэнки. Последние позволяют представить потоки энергии всех источников энергии в замкнутой диаграмме (Приложение F к инструкции DWA A-216).

3.2.3 Определение идеальных значений для очистных сооружений

Предварительное замечание

Идеальное значение для очистных сооружений складывается из идеальных значений для отдельных технологических установок. Индивидуальные идеальные значения не являются фиксированными, а зависят от граничных условий существующей конфигурации сооружений и режима эксплуатации. Для заданных граничных условий определяется соответствующий оптимальный показатель потребления энергии отдельных технологических установок и сравнивается с фактическим потреблением энергии. Для выбора оптимальных диапазонов значений используется Приложение А к инструкции DWA A-216.

В результате сравнения идеальных значений для очистных сооружений со значениями фактического состояния появляются возможности энергосбережения и выработываются подходы к разработке мер. Путем изменения граничных условий в рамках анализа энергопотребления определение идеальных значений для различных сценариев дает возможность также оценить серьезные и долгосрочные изменения в отношении энергопотребления.

Оценка существующих очистных сооружений

В начале необходимо проверить требуемые объемы и габариты системы водоотведения. Что касается городских очистных сооружений, то для соответствующей нагрузки следует с учетом ее увеличения определить необходимые объемы резервуаров, по крайней мере песколовок, первичных отстойников и биологической стадии очистки, а также необходимые потоки материалов для любых насосных станций, аэрационных сооружений и агрегатов для обработки осадка. Различные информационные бюллетени/брошюры DWA, в частности информационные бюллетени ATV-DVWK-A 198, DWA-A 131:6/2016 и брошюры DWA-M 229-1 и DWA-M 368, могут облегчить расчет системы.

Расчет нормативных значений системы при средней нагрузке

Идеальные значения для очистных сооружений основываются на среднегодовых значениях. Соответственно, потоки материалов для насосных станций, аэрационных станций и агрегатов для обработки осадка следует определять при среднегодовой нагрузке. Таким образом, пересчет для установки с

активным илом позволяет получить среднегодовые показатели потребления кислорода, образования ила и данные о его возрасте на основе фактических объемов резервуаров, среднего содержания сухого вещества, используемого во время работы, и средней температуры. Пересчет обычно выполняется согласно инструкции DWA-A 131: 6/2016. Для этого расчет для установки с активным илом должен основываться на:

- среднегодовых нагрузках во входящем потоке установки с активным илом с учетом обратных нагрузок (технологическая вода и т. д.);
- среднегодовых объемных расходах внутренних контуров (внутренняя рециркуляция, возвратный ил);
- средней концентрации твердых веществ и среднегодовой температуре сточных вод.

Результаты перерасчета необходимо сравнить с фактическими эксплуатационными данными. Если возникают значительные отклонения в образовании ила, содержании сухого вещества, объеме рециркуляции или объеме возвратного ила, необходимо пересмотреть используемые эксплуатационные данные и допущения.

Расчет идеальных значений для конкретных очистных сооружений

Для определения идеальных значений для отдельных агрегатов или групп агрегатов очистных сооружений используются отдельные идеальные значения оптимального потребления электроэнергии, приведенные в Приложении А.1 к инструкции DWA A-216 (колонка «Оптимальные значения и диапазоны значений»), в сочетании с фактическими эксплуатационными параметрами. С помощью эксплуатационных параметров (например, количество поступающей воды, нагрузка на входящий поток) можно определить идеальный ожидаемый показатель потребления электроэнергии (кВт-ч/год или кВт-ч на человека в год) для каждого участка сооружений, который можно сравнить с фактическими показателями (Приложение С к инструкции DWA A-216). Если, перемножив отдельные идеальные и эксплуатационные значения, не удалось определить идеальные значения для конкретных очистных сооружений, то в качестве альтернативы можно использовать значения из таблицы в Приложении А к инструкции DWA A-216. В Приложении А к инструкции DWA A-216 собраны методы расчета для обычных технологических процессов городских очистных сооружений. Отдельные идеальные значения для технологических процессов, взятые из не перечисленных в данном приложении источников, могут быть применены с использованием той же методологии.

Граничные условия, которые невозможно изменить или можно изменить, приложив немало усилий, такие как геодезические высоты, качество сточных вод или их количество, необходимо учитывать в соответствии с фактическими условиями. Рассчитанные идеальные значения для очистных сооружений упорядочиваются по типам технологических установок и сравниваются с фактическими показателями потребления электроэнергии и тепловой энергии, а также выработкой электроэнергии и тепла. Как правило, абсолютные значения должны выражаться в кВт-ч/год, а удельные значения — в кВт-ч на человека в год.

Идеальное значение потребления тепловой энергии для очистных сооружений рассчитывается в соответствии с формулами, приведенными в Приложение А.2 к инструкции DWA A-216, как изменение потребления за год с разделением на летнее и зимнее полугодия. Идеальные значения выработки электрической и тепловой энергии для очистных сооружений можно получить с помощью методов расчетов, приведенных в Приложении А.3 к инструкции DWA A-216,

с использованием отдельных идеальных значений для теплоэлектростанций (ТЭЦ, микрогазовая турбина).

3.2.4 Оценка текущего состояния и определение необходимых мер

Оценка фактического состояния

При оценке сравниваются значения фактического состояния с идеальными значениями для очистных сооружений. Для этого фактические и идеальные значения классифицируются по подблокам в соответствии с Приложением А.1 к инструкции DWA A-216. По разнице можно определить возможные пути энергосбережения для соответствующих агрегатов или групп процессов.

Определение необходимых мер

Для определения необходимых мер требуется выяснить причины расхождений, выявленных в ходе вышеупомянутой оценки. Отправными точками могут быть:

- корректировка эксплуатационных параметров;
- применение энергоэффективного оборудования;
- применение агрегатов оптимальных размеров;
- адаптация технологических процессов.

Приобретение сменных компонентов (энергоэффективные приводы, элементы системы аэрации) — это хорошая возможность разработать меры по оптимизации. Что касается постоянно эксплуатируемых агрегатов (мешалки, транспортировка возвратного ила, внутренняя рециркуляция и т. д.) или контролируемых рабочих показателей (например, содержание кислорода, уровень в отстойнике насоса, содержание сухого вещества и т. д.), то необходимо проверять установленные показатели во время работы очистных сооружений. Для этого фактические эксплуатационные значения необходимо сравнивать с расчетными значениями.

Разработанные меры следует рассматривать в общем контексте, то есть с учетом необходимых требований (требования к процессу, технологические процедуры, аспекты безопасности и т. д.). Поскольку технология EI&C тесно связана с технологиями машин и процессов, электротехнические меры должны разрабатываться в тесной взаимосвязи с оптимизацией технологического процесса. На первом этапе перед электротехнической оптимизацией необходимо проверить соответствующий компонент технологического процесса.

Для оптимизации в области тепловой энергии решающее значение имеют прежде всего такие крупные потребители, как анаэробная стабилизация осадка сточных вод, отопление зданий и, при необходимости, термическая сушка осадка. Из-за высокой доли расхода очистными сооружениями тепловой энергии на нагрев сырого ила необходимо проверить степень предварительного сгущения.

Оптимизация энергопотребления на этапе выработки энергии распространяется прежде всего на использование биогаза (электричество и тепловая энергия) и рекуперацию тепла (например, из сброженного осадка, сточных вод, сжатого воздуха и т. д.). При рассмотрении вопроса об оптимизации энергопотребления очистных сооружений целесообразно учитывать изменения технологического процесса, особенно если необходимо обновить важные компоненты сооружений и/или состав сточных вод значительно изменился по сравнению с первоначальным состоянием, заложенным в проектную документацию.

Чтобы описать меры, необходимо в дополнение к технологическому процессу описать влияние, оказываемое на эксплуатацию сооружений. Например, влияние на управление деятельностью и, если применимо, на обработку осадка и качество очистки сточных вод.

3.2.5 Определение возможных путей энергосбережения и экономической эффективности предложенных мер

Определение возможных путей энергосбережения

Возможности энергосбережения выявленных мер рассчитываются, исходя из разницы между энергопотреблением в фактическом состоянии и после реализации мер. Для этого разработанная мера должна учитываться в проводимых расчетах, например, путем повышения производительности нового насоса или оптимизации работы после замены насоса. Поэтому подходы, приведенные в приложениях А.1 — А.8 к инструкции DWA A-216, также являются инструментом анализа, с помощью которого можно не только оценить фактическое состояние, но и рассчитать эффект от мер по оптимизации.

Определение экономической эффективности

Для оценки экономической эффективности меры необходимо сравнить затраты на ее реализацию (обслуживание долга по инвестициям, изменившиеся расходы на эксплуатацию) с сэкономленными средствами (энергозатраты, сокращение количества эксплуатационных материалов, плата за сточные воды и т. д.). Следует перечислить все необходимые инвестиции для строительства и проведения инженерных ремонтно-восстановительных работ. Также могут учитываться субсидии, гранты и доходы или другие льготы. Их необходимо представлять отдельно.

Следует отметить, что в связи с запланированной глубиной анализа энергопотребления проведенный расчет затрат соответствует определению структуры затрат согласно DIN 276-1. Более детальные расчеты затрат и углубленное экономическое обоснование являются предметом более обширного планирования (с учетом затрат на привлечение инженеров-проектировщиков).

Энергопотребление агрегатов зачастую увеличивается параллельно времени эксплуатации. Так, после замены аэрационных элементов в аэротенке показатели энергосбережения снижаются. Это необходимо учитывать при оценке экономической эффективности.

Для оценки экономической эффективности можно использовать упрощенную процедуру с учетом условий, указанных в руководстве по сравнительному расчету затрат (KVR) (DWA 2012). Там соотносят дополнительные годовые затраты и эксплуатационные расходы, вызванные мерами по оптимизации, с сэкономленными средствами. Соотношение издержек и прибыли менее единицы указывает на экономическую целесообразность.

Для подтверждения результатов сравнительного расчета затрат следует проводить анализ чувствительности. Важными факторами влияния являются, например, диапазон колебаний инвестиционных затрат, колебания процентных ставок или цен на энергоносители.

3.2.6 Формирование пакетов мер по приоритетности

Выявленные меры делятся на срочные, краткосрочные и зависимые.

Срочные меры (I) — это виды оптимизации, которые могут быть осуществлены в течение короткого периода времени при ограниченных усилиях. Критериями для этого являются хорошее соотношение издержек и прибыли, небольшие усилия, затрачиваемые на планирование мер, независимость и простота реализации. Типичными примерами являются изменения в точках коммутации агрегатов или спецификациях заданных значений.

Краткосрочные меры (S) могут быть реализованы в течение короткого времени в рамках переоснащения/расширения энергосистем. Для их реализации может потребоваться проведение более детальных исследований в рамках планирования, а также дополнительных измерений. Типичными примерами являются значительные изменения в программируемом логическом контроллере (ПЛК) или замена отдельных блоков или узлов оборудования.

Зависимые меры (D) могут быть экономически целесообразно реализованы только в сочетании с более крупными ремонтными проектами, переоборудованием и заменой агрегатов. В этом контексте следует учитывать среднесрочные изменения цен или затрат, которые могут сделать изначально нерентабельные меры экономически целесообразными в среднесрочной перспективе благодаря техническому и экономическому развитию. Примеры зависимых мер: существенная модернизация технологического процесса, замена дефектных агрегатов, строительство ТЭЦ в ходе строительства метантенка и т. д.

Меры необходимо сгруппировать в пакеты по фазам реализации (I), (S) и (D) и перечислить в форме энергетического сертификата (DWA A-216, Приложение G) с учетом прогнозируемого результата экономии. Меры, которые должны быть реализованы в экономическом плане, должны быть перечислены с указанием времени реализации, соотношения издержек и прибыли и результатов экономии.

3.2.7 Составление отчета

Результаты анализа энергопотребления оформляются в виде отчета. Структура отчета основывается на этапах анализа. Отчет должен включать по меньшей мере следующие пункты:

- введение, содержание и цели;
- представление результатов инвентаризации и проверки энергопотребления, описание очистного сооружения на основе технологической схемы, перечень агрегатов с их энергетическими параметрами, энергетический баланс для электрической и тепловой энергии на основе перечня агрегатов;
- определение идеальных значений для очистных сооружений, сравнение фактических и идеальных значений для дальнейшего определения мер;
- разработка мер на основе индивидуальных возможностей оптимизации, включая описание мер и анализ рентабельности (анализ рентабельности должен быть представлен для каждой меры по единой схеме), сводное представление выявленных мер в таблице, соответствующей этапам реализации (потенциал энергосбережения в кВт-ч/год, евро/год; расходы в евро, евро/год; соотношение издержек и прибыли);
- предложения по мониторингу успешности реализации мер;
- выводы и перспективы дальнейших действий.

3.3 Сравнение показателей городских очистных сооружений, проведенное DWA

Немецкая ассоциация предприятий по водоснабжению, водоотведению и утилизации отходов (DWA) более 25 лет следит за развитием немецких очистных сооружений. Сравнение показателей, проведенное DWA, показывает качество очистки сточных вод и потребление электроэнергии, затрачиваемой на очистку, а также образование осадка сточных вод. Сравнение дает полное представление об улучшении и ухудшении показателей сточных вод за три десятилетия.

Сравнение показателей постоянно совершенствовалось, и сегодня оно включает соответствующие показатели поступающих на очистку и очищенных сточных вод (БПК₅ (биологическое потребление кислорода), ХПК (химическое потребление кислорода), NH₄, общий азот и общий фосфор), скорость разложения и потребление электроэнергии. В зависимости от региональных характеристик различных ассоциаций DWA собираются и другие параметры, например объемы воды из внешних источников и объемы сточных вод. Совсем недавно по всей стране были добавлены параметры выработки электроэнергии и производства биогаза.

При смене акцентов основное внимание уделялось, например, удалению питательных веществ, производительности различных процессов очистки и потреблению электроэнергии. В будущем также следует принять во внимание текущие разработки, что даст толчок для оптимизации работы. Дальнейшее повышение эффективности очистки сточных вод возможно за счет использования более совершенных процессов (например, фильтрации, добавления активированного угля или озона). В этом случае ежегодное сравнение показателей можно также использовать для проведения проверки энергопотребления очистных сооружений.

Проект «Сравнение показателей очистных сооружений» еще не завершен, его необходимо постоянно адаптировать и развивать, учитывая новые вызовы в секторе сточных вод. Это делает сравнение показателей ценной базой данных, в которой точно и доступно зафиксированы состояние и развитие сферы очистки сточных вод.

4 Технологии для снижения выбросов парниковых газов

4.1 Косвенные выбросы парниковых газов (оптимизация энергопотребления)

4.1.1 Анаэробная и аэробная стабилизация сброженного осадка сточных вод

Аэробный процесс

Аэробные процессы очистки можно выполнять несколькими способами. В процессе одновременной аэробной стабилизации ила в аэротенках участвует большое количество различных микроорганизмов, которые развиваются в зависимости от соответствующего режима нагрузки. Преимущества заключаются в высоком уровне эксплуатационной безопасности за счет буферной емкости и низких трудозатрат в отношении эксплуатации и мониторинга. По сравнению с отдельно аэробно или анаэробно стабилизированным илом обезвоживаемость одновременно аэробно стабилизированного ила значительно ниже (недостаточно стабилизированный в результате процесса). [10]

При отдельной аэробной стабилизации ила скорость процесса также зависит от температуры в реакторе (при повышении температуры от диапазона психрофильного сбраживания до диапазона мезофильного и термофильного сбраживания видовое разнообразие биоценоза активного ила сокращается в крайних случаях до монокультуры). При температуре выше 40 °С гидролиз может незначительно ускориться. В случае достижения температуры ниже 35 °С при достаточном поступлении кислорода можно предположить, что разложение одинаково для одновременной и отдельной аэробной стабилизации. Согласно различным исследованиям, проведенным на крупных очистных сооружениях, при температуре выше 35 °С и в диапазоне термофильного сбраживания возраст ила для отдельной аэробной стабилизации должен составлять не менее пяти дней, чтобы стабилизировать ил при таких же условиях, как и при одновременной аэробной стабилизации при температуре до 35 °С. [10]

Анаэробный процесс

Сбраживание ила основано на симбиотической активности различных типов бактерий, которые расщепляют высокомолекулярные органические вещества на более мелкие фрагменты, и метанообразующих бактерий, которые превращают эти фрагменты в метан и воду. Позже были выделены особые кислотообразующие бактерии. Недавно были выделены четыре типа бактерий, которые осуществляют следующие этапы разложения: гидролиз, ацидификацию, образование ацетата и метана. [10]

Разнообразный опыт работы на различных установках сбраживания показал, что в практической эксплуатации не обязательно придерживаться предполагаемой оптимальной температуры анаэробных биоценозов, но можно адаптировать температуру метантенков к тепловому балансу общей системы очистных сооружений, если делать это постепенно. Избыточное тепло, выделяемое летом, можно использовать для повышения температуры в метантенке, а зимой метантенки можно эксплуатировать при более низкой температуре. [10]

Для городских хозяйственно-бытовых сточных вод можно предположить, что около 70% твердых органических веществ в первичном иле и около 45% в избыточном иле легко поддаются биологическому разложению при элиминировании азота. Для сырого ила с обычным составом можно приблизительно подсчитать,

что удельный объем выделяемого газа в результате разложения органических веществ первичного ила составляет около 0,95 станд. м³/кг, а избыточного ила — около 0,85 станд. м³/кг. Наибольший объем биогаза выделяется в результате разложения жиров, затем углеводов и белков. Что касается энергосодержания (МДж/кг), последовательность такая: жиры, белки и углеводы. Выход газа может быть значительно увеличен путем добавления вспомогательных субстратов, которые необходимо предварительно обработать перед подачей непосредственно в метантенк или после смешивания с сырым илом. [10]

Табл. 4.1.1. Процесс стабилизации осадка сточных вод [10]

Очистка	Среда	Состояние	Подвод тепла	Технологический процесс	Размерный класс ОС	Замечания
Биологическая	Аэробная	Жидкое	Без эффективного самонагревания	Одновременная аэробная стабилизация	От малого до среднего	Условно стабилизированный
		Сгущенное	Самонагревание	Аэробно-термофильная стабилизация осадка (жидкое компостирование)	От малого до среднего	Возможна одновременная дезинфекция
		Обезвоженное	Самонагревание	Компостирование в валках или биореакторах	От малого до среднего	Возможна одновременная дезинфекция
	Анаэробная	Сгущенное	Без подвода тепла	Резервуары Эмшера, необогреваемые метантенки или анаэробные пруды	Малый	Больше не используется в Германии
			С подводом тепла	Обогреваемые метантенки	От малого до большого	Дезинфекция достигается при термофильном процессе
		Обезвоженное	С подводом тепла	В газонепроницаемых контейнерах	От малого до среднего	Пока не используется для отстоя сточных вод
	Обе	Сгущенное	С подачей и рекуперацией тепла	Преимущественно аэробно-термофильный и анаэробно-мезофильный	От среднего до большого	Возможна одновременная дезинфекция

Очистка	Среда	Состояние	Подвод тепла	Технологический процесс	Размерный класс ОС	Замечания
Химическая	Аэробная или анаэробная	Сгущенное	Без самонагревания	Добавление извести	Малый	Только псевдостабильзация, одновременно возможна дезинфекция
		Обезвоженное	С самонагреванием	Добавление негашеной извести	Малый	
	Аэробная	Сгущенное	С подводом тепла	Влажное окисление	Большой	Одновременная дезинфекция
Термальная	Аэробная	Обезвоженное	С подводом тепла	Сушка	От малого до большого	Только псевдостабильзация, одновременно возможна дезинфекция

4.1.2 Предварительная анаэробная очистка промышленных сточных вод (снижение энергии аэрации и производства биогаза)

Технология анаэробной очистки городских сточных вод в основном не отличается от очистки промышленных сточных вод. В обоих случаях биогаз выделяется в результате анаэробного разложения, и из-за низкого образования избыточного ила необходимо обеспечить достаточное удержание активной биомассы в системе. Наиболее используемый тип реактора при анаэробной очистке городских сточных вод — это реактор анаэробного осадка с восходящим потоком (UASB). [1]

Помимо веществ, переносимых сточными водами, анаэробный реактор также выделяет газы (в основном метан, углекислый газ и сероводород). Энергосодержание газа определяется долей содержащегося в нем метана. Основными преимуществами анаэробной очистки промышленных сточных вод перед традиционной аэробной очисткой являются [1]:

- сравнительно небольшие объемы резервуаров, поскольку реакторы работают при очень высоких нагрузках по ХПК до 30 кг ХПК/(м³·сут) (обычно реакторы с высокой мощностью и небольших размеров, что означает малую занимаемую площадь);
- образовавшийся избыточный ил уже в значительной степени сгущен и хорошо стабилизирован из-за возраста;
- удельное образование избыточного ила составляет приблизительно 0,15 кг твердого вещества на килограмм ХПК для подкисляющих анаэробов и приблизительно 0,03 кг твердого вещества на килограмм ХПК для продуцирующих метан археобактерий. Поэтому ХПК в зависимости от степени подкисления и доли нерастворенного инертного вещества в 3–10 раз меньше, чем в аэробных процессах;
- меньшая дозировка питательных веществ и микроэлементов;
- некоторые вещества, которые трудно или невозможно разложить аэробно, могут разлагаться анаэробно (например, пектин, этилендиаминтетрауксусная кислота, реактивные красители, алифатические соединения с более высоким содержанием хлора, ароматические и замещенные ароматические углеводороды);

- энергопотребление анаэробных процессов сравнительно низкое (не требуется дорогостоящая аэрация);
- содержание метана в производимом биогазе составляет приблизительно 60 % и 80 %, теплотворная способность приблизительно 6–8 кВт·ч/м³, его возможно использовать для выработки тепловой и/или электрической энергии;
- при правильной эксплуатации очень низкий уровень запаха (реакторы полностью закрыты);
- затраты на очистку сточных вод, как правило, значительно ниже (небольшие объемы строительства, небольшое количество избыточного ила, низкое энергопотребление и получение энергии);
- анаэробные процессы особенно подходят для сезонных операций (анаэробная биомасса снова становится активной в течение нескольких дней).

4.1.3 Деаммонификация (снижение метана и необходимость аэрации)

Деаммонификация — это процесс, при котором в одном технологическом блоке одновременно или поочередно протекают два процесса удаления азота — нитрирование и анаммокс (анаэробное окисление аммония). В рамках проектов были проведены различные исследования, результаты одного из проектов описаны ниже. Целью проекта «Энергоавтономные очистные сооружения с деаммонификацией» было снижение потребления электроэнергии, увеличение производства биогаза и, таким образом, повышение эффективности работы сооружений. В дополнение к этому требовалось сократить количество осадка сточных вод. В ходе проекта процесс очистки сточных вод и обработки иловой воды был изменен на EssDE® (комбинация процесса А-В с деаммонификацией). В случае деаммонификации следует различать деаммонификацию в побочном потоке для отработанной воды и деаммонификацию в основном потоке, которая еще не реализована в больших масштабах в Германии. [11]

Для обработки использовались два различных процесса (деаммонификация в дисковом иммерсионном баке и Demon+®). В проектах не удалось сбалансировать энергосбережение только на основе очистки частичного потока. В связи с этим невозможно провести экономическую оценку только этого процесса с точки зрения экономии электроэнергии. Экономическая эффективность, по-видимому, в большей степени обусловлена снижением нагрузки на активацию и, следовательно, увеличением резервной мощности, но это также трудно выразить количественно. Распространенная в настоящее время деаммонификация с помощью процесса очистки активным илом требует тщательного контроля, а также строгого соблюдения определенных граничных условий (низкое содержание твердых веществ, постоянная температура, регулярное обслуживание системы датчиков, надлежащий контроль циклов аэрации и т. д.). Таким образом, реализация мер позволила значительно снизить удельное общее потребление электроэнергии, однако целевого значения достичь не удалось. Как правило, к деаммонификации применимо следующее [11]:

- возможности энергосбережения трудно сбалансировать, поскольку энергосбережение при аэрации в основном потоке частично компенсируется дополнительным энергопотреблением для очистки частичного потока;
- этап ввода в эксплуатацию также сложен, поскольку традиционные биореакторы для деаммонификации сложны и сильно зависят от постоянной температуры сточных вод. Требуется квалифицированный и мотиви-

рованный обслуживающий персонал, что затрудняет использование в развивающихся странах;

- в Германии потенциал внедрения заключается в основном в очистке вне потока и прежде всего в установках с неблагоприятным соотношением азота и ХПК во входящем потоке.

В целом все еще существует необходимость в исследовании возможностей внедрения и влияния этого процесса на энергоэффективность очистных сооружений, не в последнюю очередь в связи с возможными на этом этапе процесса дополнительными выбросами крайне вредного для климата оксида азота. Возможности энергосбережения за счет деаммонификации в побочном потоке трудно определить количественно. Кроме того, это представляет особый интерес для очистных сооружений с высоким отношением азота к ХПК во входящем потоке. [11]

4.1.4 Совместное сбраживание (увеличение выхода биогаза)

Анаэробное сбраживание проводится с первичным и избыточным илом биологической очистки сточных вод, в который добавляются органические остатки (кофферменты). В метантенке ил в значительной степени преобразуется в биогаз. За анаэробной стабилизацией следует обезвоживание осадка, при котором содержание сухого вещества увеличивается с помощью механического устройства, что значительно сокращает объем осадка сточных вод, подлежащего утилизации. [12]

Для улучшения качества фильтрата в будущем на этом потоке будет установлен напорный сетчатый фильтр. В связи с низкой долей предварительно отфильтрованных органических остатков (кофферментов) качество очистки сточных вод на очистных сооружениях ухудшаться не будет. В дальнейшем обезвоженный осадок сточных вод будет подаваться на термическую утилизацию (сжигание). Преимущества совместного сбраживания [12]:

- увеличение собственного электроснабжения очистных сооружений (публичный сектор);
- снижение удельных выбросов CO₂;
- дальнейшая энергетическая утилизация сброженного ила (термическая утилизация / сжигание);
- увеличение содержания твердых частиц при обезвоживании осадка сточных вод из-за более низкой водосвязывающей способности биологических отходов по сравнению с осадком хозяйственно-бытовых сточных вод;
- минимизация риска попадания загрязняющих веществ (например, пластмасс) в окружающую среду за счет целенаправленного разделения в процессе очистки сточных вод.

4.1.5 Рекуперация тепла из сточных вод (канализация или вход в очистные сооружения)

Тепло сточных вод является возобновляемым источником тепловой энергии. Хотя температура сточных вод зачастую умеренная, на каждом очистных сооружениях энергии всегда достаточно. С помощью теплового насоса можно повысить уровень температуры до такой степени, чтобы эту тепловую энергию можно было использовать при эффективной и надежной низкотемпературной сушке осадка. Рекуперация тепла очищенных сточных вод имеет следующие преимущества [13]:

- из-за большого количества воды также имеется значительный тепловой потенциал;

- очистные сооружения часто имеют высокий показатель потребления тепловой энергии.

Рекуперированное тепло может быть использовано, как объяснялось выше, для сушки осадка. Солнечная сушка использует свободную энергию солнечного излучения, но солнце не всегда и не везде светит с достаточной силой. Если необходимо уменьшить площадь солнечной сушки и/или поддерживать работу круглый год, тепло сточных вод выступает в качестве надежного возобновляемого источника тепловой энергии в дополнение к регенеративной солнечной энергии. [13]

4.1.6 Рекуперация гидравлической энергии в сточных водах очистных сооружений (турбины)

Другой вид энергии сточных вод очистных сооружений — это гидравлическая энергия. Там, где вода течет достаточно круто (вниз), можно установить турбины, архимедовы винты или водяные колеса, чтобы использовать ее энергию и вырабатывать электричество. [13]

4.1.7 Солнечная сушка осадка сточных вод

Сырой или сброженный ил, образующийся на очистных сооружениях, после обезвоживания необходимо дополнительно высушить для дальнейшего использования. Солнечная сушка осадка является перспективной с точки зрения успешности очистки и экономической эффективности. Рециркуляция осадка сточных вод предполагает возврат содержащихся в нем ценных веществ в материальный поток, а не их утилизацию. Для этого концентрация загрязняющих веществ и патогенных микроорганизмов в очищенном осадке должна быть достаточно низкой. [14]

Система солнечной сушки осадка главным образом использует глобальное излучение в качестве источника энергии, поэтому потребление первичной энергии сводится к минимуму. Обезвоженный осадок (в редких случаях влажный) сушат на твердой поверхности (обычно из бетона), которая окружена прозрачной конструкцией, сравнимой с обычной сельскохозяйственной теплицей. Коротковолновое излучение попадает в сушильный блок через стеклянную конструкцию и отражается от пола в виде длинноволнового теплового излучения, которое не может проникнуть наружу через эту конструкцию. Этот парниковый эффект вызывает нагревание воздуха в помещении. Чтобы испарение воды и осушение осадка происходили оптимально, осадок необходимо хорошо обдуть (регулярный воздухообмен) и несколько раз переверачивать. Таким образом можно получить сухой гранулят с 90% сухого остатка. [14]

Солнечная сушка осадка — это следующий этап развития обработки на сушильных площадках. В Германии сушильные площадки больше не используются, но этот метод по-прежнему подходит для других регионов. Он часто применяется для очистки, например, фекального осадка из септических резервуаров и обезвоживания на малых и средних очистных сооружениях (до 20 000 жителей). Большая часть воды отводится через дренажный сток, меньшая часть испаряется. [14]

Чтобы избежать сильного запаха, осадок сточных вод должен быть стабилизирован или, по крайней мере, частично стабилизирован. Кроме того, можно установить систему очистки отработанного воздуха. Однако даже в этом случае необходимо обеспечить, чтобы персонал не подвергался воздействию вредных выбросов (например, патогенных микробов, H_2S , NH_3). [14]

4.1.8 Десульфуризация биогаза путем микроаэрации

Биогаз, полученный в результате анаэробного сбраживания осадка сточных вод, может содержать концентрации H_2S . Согласно инструкции DWA M-361, средняя концентрация H_2S в биогазе составляет 500–1500 частей на миллион объема. В анаэробном метантенке H_2S находится в жидком и газообразном состоянии. Десульфуризация — важный шаг в процессе повышения качества биогаза. Необходимо удалить H_2S , чтобы предотвратить ингибирующее действие метанообразующих бактерий, появление запаха и коррозии метантенка, а также чрезмерное образование SO_2 при сжигании биогаза. В настоящее время удаление H_2S из биогаза в основном осуществляется с помощью биологической и физико-химической обработки (например, адсорбция, мембранное разделение, отгонка), что очень эффективно в связи с высокой степенью удаления H_2S , но часто связано с высокими капитальными и эксплуатационными затратами (требуются дополнительное оборудование и химреагенты, в некоторых случаях работа при высоком давлении и температуре). [15]

Биологический метод удаления H_2S заключается в микроаэробном удалении H_2S в свободном пространстве анаэробных метантенков. Микроаэрация дает несколько преимуществ по сравнению с обычными методами десульфуризации: повышенный потенциал биогаза, разложение сухого органического вещества и качество обезвоживания, более низкие капитальные и эксплуатационные затраты. Снижение количества сухого органического вещества также приводит к снижению затрат на утилизацию и транспортировку обезвоженного осадка. Снижение концентрации сульфидов в жидкости оказывает положительное влияние на снижение потенциальной токсичности сульфидов для метанообразующих бактерий. Большинство исследований показало отсутствие или незначительное снижение выделения метана в результате микроаэрации. Однако чрезмерное накопление серы в свободном пространстве метантенка может со временем ухудшить эффективность удаления, поскольку уменьшается время пребывания биогаза и, соответственно, скорость передачи кислорода микроорганизмам. Требуется регулярная очистка для поддержания эффективности удаления H_2S . [15]

4.1.9 Оптимизация аэрации на этапах аэробной очистки

Задача систем аэрации — подавать в аэротенк кислород, необходимый для метаболизма аэробных микроорганизмов. Для этого используются системы напорной и поверхностной аэрации. В ходе оптимизации энергопотребления должен быть составлен обзор возможной замены существующих элементов аэратора (следует сравнить возможные доступные аэраторы на рынке). [16]

В системах напорной аэрации перенос кислорода происходит через пузырьки воздуха, поднимающиеся в воде. Только часть содержащегося кислорода переходит в воду. Перенос кислорода зависит от различных факторов: размера пузырьков, турбулентности в межфазном пограничном слое, времени пребывания пузырьков в воде, концентрации кислорода в аэротенке, температуры и состава сточных вод. Чем больше граница между воздухом и сточными водами, образованная поверхностью пузырьков воздуха, тем большее количество кислорода переносится в сточные воды. Чем меньше отдельные пузырьки воздуха, тем больше общая площадь поверхности пузырьков воздуха. [16]

Перенос кислорода при поверхностной аэрации происходит за счет механического воздействия аэраторов на поверхность воды (например, центробежных аэраторов с вертикальной осью и роликовых аэраторов с горизонтальной осью).

Помимо поступления кислорода поверхностные аэраторы также создают поле течения, которое смешивает активный ил и содержимое сточных вод и предотвращает накопление ила. При использовании поверхностных аэраторов от 90% до 100% поступающего в чистую воду кислорода попадает в сточные воды. [16]

Математическое моделирование в большинстве случаев является инструментом поддержки при проектировании и определении размеров. Такие модели основаны на так называемых 0-мерных подходах (модели смесительных баков) и дают возможность описать процессы в реакторах в полном объеме, что позволяет сделать выводы о режиме работы и эффективности очистных сооружений. Влияние потока, а также пространственные структуры могут учитываться только в упрощенном виде. В отличие от этого многомерные математические модели (так называемые CFD-модели, основанные на вычислительной газодинамике (Computational Fluid Dynamics modeling) дают возможность пространственно отобразить отдельный резервуар и получить полное представление о происходящих процессах. Результаты трехмерного моделирования потоков используются при проведении нового планирования, модернизации и оптимизации. Типичные вопросы, исследуемые с помощью трехмерной имитационной модели [16]:

- перемешивание приточного потока в резервуаре;
- образование обходных потоков между притоком и оттоком;
- образование мертвых зон или областей с низкой придонной скоростью, что может привести к постоянному осаждению;
- размещение аэраторов/мешалок;
- распределение кислорода в резервуаре.

Производительность систем аэрации оценивается по показателям подачи кислорода и необходимой энергии. Фактически на производительность влияют глубина подачи, плотность размещения, подвод воздуха и состав сточных вод (значение α). При прочих равных условиях большая глубина подачи также приводит к увеличению коэффициента переноса кислорода по сравнению с меньшей глубиной. С другой стороны, удельная подача кислорода уменьшается с увеличением глубины подачи. [17]

На коммунальных очистных сооружениях в г. Вольфсбурге (Германия) для оценки различных типов аэраторов (разных производителей) было проведено специальное исследование по оптимизации технико-экономических факторов. Сравнение элементов аэрации продемонстрировало, что показатели удельного расхода кислорода, приведенного к объему воздуха на активную площадь аэрации, практически одинаковы. Однако можно увидеть явное различие в отношении потерь давления (как правило, ниже у дисковых диффузоров, чем у трубчатых/пластинчатых или ленточных диффузоров). Оптимизируя расположение аэраторов в аэротенках, можно значительно улучшить использование кислорода с помощью ленточных и пластинчатых аэраторов. Поэтому для снижения эксплуатационных расходов рекомендуется выбирать максимально возможную плотность заполнения (независимо от типа аэратора), чтобы создать более мелкопузырчатый поток воздуха при меньшем объеме воздуха и тем самым достичь более высокого коэффициента использования. Кроме того, решающее значение для экономической эффективности имеет общая система нагнетателя и аэратора в связи с фактической нагрузкой на стадии аэрации. Еще один фактор — контроль процесса аэрации. В данном кратком исследовании эти факторы рассматривались только поверхностно или вообще не рассматривались. [17]

4.2 Прямые выбросы парниковых газов

4.2.1 Сжигание биогаза на факеле или на ТЭЦ

Энергетическая ценность биогаза зависит от содержания в нем метана. При нормальных рабочих условиях содержание CH_4 для различных биогазов находится в пределах диапазонов, указанных ниже, и приводит к соответствующим заданным значениям содержания энергии (теплотворной способности) (

Табл. 4.2.1). Совместная обработка (коферментация) сельскохозяйственных, коммерческих, агропромышленных или муниципальных биогенных отходов вместе с основным субстратом, таким как осадок сточных вод или фермерский навоз, влияет как на удельное производство биогаза, так и на его состав. Выход биогаза при анаэробной очистке промышленных сточных вод зависит от ряда других влияющих факторов, таких как тип промышленной эксплуатации, водопотребление и степень загрязнения, а также тип и режим работы установки анаэробной очистки. [18]

Табл. 4.2.1. Справочные значения содержания метана и теплотворной способности биогаза [18]

Биогаз	Содержание CH_4 [объемная доля]	Теплотворная способность [кВт-ч/м ³]
Биогаз из установок для сбраживания осадка сточных вод	60 - 70	6,0 - 7,0
Биогаз от анаэробной очистки сточных вод с высокой степенью органического загрязнения	50 - 85	5,0 - 8,5
Биогаз из установок ферментации сельскохозяйственных отходов	55 - 70	5,5 - 7,0
Биогаз из установок ферментации органических отходов	55 - 65	5,5 - 6,5
Биогаз от полигонов ТКО	55 - 60	5,5 - 6,0
Биогаз из возобновляемого сырья (NawaRo)	45 - 55	4,5 - 5,5

Согласно имеющимся данным, биогаз, образующийся при анаэробном сбраживании осадка сточных вод, сильно загрязненных органическими веществами промышленных сточных вод, сельскохозяйственных и органических коммунальных отходов, не содержит никаких экологически значимых примесей, кроме H_2S . Содержание H_2S в биогазе колеблется примерно от 10 мг/м³ до 10 000 мг/м³ в зависимости от исходного субстрата. В результате производства биогазы насыщаются водяным паром, а конденсаты обычно вызывают коррозию. Для некоторых видов переработки или использования биогаза может потребоваться обработка биогаза, загрязненного сероводородом. [18]

Установка когенерации (комбинированная теплоэлектроцентраль / ТЭЦ) — это энергоэффективная технология, которая представляет собой одновременное производство двух видов энергии, тепловой и электрической, с использованием образующегося отходящего тепла. В режиме работы параллельно с внешней сетью, из сети общего пользования забирается только та электрическая энергия, которая превышает потребность в электроэнергии. Если вырабатываемая установкой

электроэнергия превышает потребность в электроэнергии, она подается в сеть. При изолированной работе (редко практикуемой) ТЭЦ закрепляется за определенными потребителями независимо от сети. Асинхронные машины в основном используются как генераторы для малых ТЭЦ, синхронные — для крупногабаритных систем. При базовых нагрузках режим работы газовых двигателей ориентирован на среднее производство биогаза. Работа в пиковом режиме имеет место, когда по экономическим причинам в определенное время суток первоочередной задачей является выработка электроэнергии. Благодаря использованию хранилищ биогаза и работе резервных машин собственная выработка электроэнергии в это время суток целенаправленно увеличивается. [18]

Метановый компонент биогаза используется в качестве топлива для транспортных средств, например для автомобилей, переоборудованных для работы на природном газе, в т. ч. с бензиновыми двигателями. Также его можно использовать для газодизельных двигателей. В обоих случаях во время поездки можно переключиться с газообразного топлива на жидкое. [18]

4.2.2 Выбросы метана при анаэробном сбраживании

Сточные воды, прошедшие анаэробную очистку, содержат растворенный биогаз. Имеющийся в нем метан не используется в качестве источника энергии и выбрасывается в атмосферу как вредный парниковый газ. Процесс DiMeR был разработан для эффективного удаления газов из водной фазы, их обезвреживания и использования в качестве источника энергии. Процесс DiMeR используется для растворения газов, образующихся при анаэробной обработке органических загрязнителей (ХПК) и содержащихся в потоках воды или осадка сточных вод. Принцип действия основывается на вакууме, который приводит к дегазации растворенных компонентов за счет снижения парциального давления. Для достижения высокой эффективности газообмена осадок должен иметь большую площадь поверхности и текучесть, так как скорость дегазации зависит от поверхности. [19]

4.2.3 Выбросы метана при анаэробной очистке сточных вод (растворенный метан в стоках реактора)

СОУЗА и соавт. (SOUZA et al., 2011 и 2012) измерили содержание растворенного метана в сточных водах полупромышленных реакторов с восходящим потоком анаэробного ила с помощью адаптированного парофазного метода в соответствии с работами АЛЬБЕРТО с соавт. (ALBERTO et al., 2000) и ХАРТЛИИ и ЛАНТА (HARTLEY AND LANT, 2006). Результаты показали в среднем от 19,2 до 22 мг CH_4 , растворенного на литр, в сточных водах реактора (от 15 до 40 см ниже уровня свободной воды в зоне отстаивания), в зависимости от времени гидравлического удержания. По сравнению с расчетным пределом растворимости, который рассчитывается на основе концентрации метана в биогазе, эти данные соответствуют средней степени перенасыщения от 1,37 до 1,64. Растворенный метан в сточных водах составлял от 36% до 41% от общего количества метана, произведенного в реакторе. Таким образом, количество метана, зарегистрированное в ЗРА, составляло от 0,14 до 0,15 л CH_4 на грамм ХПК. СОУЗА и соавт. (SOUZA et al., 2011 и 2012) также отмечают, что между зоной отстаивания и шахтой сбора стоков (ниже по течению сборного канала) более 60% растворенного метана и более 80% растворенного сероводорода уже было дегазировано и выброшено в атмосферу. [20]

4.2.4 Выбросы оксида азота при удалении азота

Оксид азота (N_2O) — это парниковый газ, который может образовываться при удалении азота на очистных сооружениях и выбрасываться в атмосферу. Было доказано, что бактерии, окисляющие аммоний, в аэрированных фазах и из-за условий окружающей среды (высокие концентрации нитритов, высокая нагрузка ила, низкие концентрации кислорода) всегда образуют N_2O . Напротив, количество N_2O , образующегося при денитрификации, зависит от условий окружающей среды (наиболее важное требование — низкая концентрация азотной кислоты) даже при низких отношениях ХПК к азоту или при отсутствии быстро разлагающегося углерода. Определенные факторы тормозят процесс восстановления N_2O , вызывая первоначальное накопление N_2O в жидкой фазе и немедленный выброс в виде газа из-за низкой концентрации насыщения. Основное предположение состоит в том, что накопление N_2O и, если применимо, выбросы вызваны сильно изменяющимися условиями и нарушением биологических процессов. К наиболее важным факторам относятся низкая концентрация кислорода (во время нитрификации и денитрификации) и высокая концентрация нитрита при денитрификации. Доля образующегося и выбрасываемого N_2O может составлять от 0,01 % до 15 % от объема азота, поступающего на очистные сооружения. Из-за своего потенциала глобального потепления, озоноразрушающего эффекта и длительного времени пребывания в атмосфере N_2O является одним из парниковых газов, в наибольшей степени способствующих глобальному потеплению. [21]

5 Резюме

Энергопотребление является непрерывным процессом в повседневной деятельности. В связи с этим в различных климатических моделях требуется учитывать систематическое снижение выбросов парниковых газов. Ключевыми задачами Европейского союза в области климата до 2030 года являются сокращение выбросов парниковых газов как минимум на 40% по сравнению с уровнем 1990 года и повышение энергоэффективности как минимум на 32,5%. Углеродный след означает совокупность всех выбросов парниковых газов, прямо или косвенно произведенных отдельным лицом, организацией, в результате мероприятия, происшествия или в процессе изготовления продукта. Углеродный след продукта описывает соотношение выбросов парниковых газов на протяжении всего жизненного цикла продукта при определенном применении и по отношению к определенной единице использования. При расчете углеродного следа различают прямые и косвенные выбросы. Следующие факторы как правило учитываются при расчете для строительства и эксплуатации очистного сооружения и представляют собой косвенные выбросы: товары и материалы, используемые при строительстве, связанная с поездками деятельность лиц, участвующих в строительстве, химреагенты, используемые при эксплуатации, транспорт, необходимый для доставки, рабочая энергия, отходы и ПГ, образующиеся в процессе эксплуатации, и другие рабочие материалы.

Анализ технологического процесса очистных сооружений на примере бумажной фабрики показал, что выбросы парниковых газов от промышленных очистных сооружений при строительстве незначительны по сравнению с их 20-летней эксплуатацией. Основную часть эксплуатационных расходов на очистных сооружениях составляют энергопотребление и использование химреагентов. С учетом срока службы очистных сооружений анализ технологического процесса показал, что установка является CO₂-нейтральной благодаря технологии анаэробной очистки. В результате установка анаэробной очистки сточных вод имеет большое преимущество перед аэробным процессом очистки, так как позволяет использовать вырабатываемый биогаз вместо ископаемых видов топлива.

Чтобы оценить энергоэффективность, необходимо применить подход, который позволяет увидеть весь жизненный цикл очистных сооружений и получить полную реалистичную картину. Учет и оптимизация энергоэффективности очистных сооружений выполняются в два этапа с различной глубиной проработки и разными целями.

Первый этап включает проверку энергопотребления, то есть регулярную регистрацию энергопотребления системы водоотведения на основании нескольких нормативных значений, которые может определить оператор (что дает первоначальный ориентир). Проверка выполняется путем сравнения с частотой занижений, которые иллюстрируют диапазон определенных нормативных значений на основе реальных эксплуатационных данных. Целью проверки является учет потребления энергии очистными сооружениями и определение их исходного состояния с точки зрения потребления и выработки энергии. В результате проверки могут быть выявлены наиболее очевидные недостатки, но без достоверных количественных показателей и подробного описания причин (эти данные можно получить в результате анализа энергопотребления). Решающим фактором успешного проведения проверки являются качественная база данных и четкое определение границ системы. Значения, представленные в отчете, основаны на данных очистных сооружений Германии, где показатели общего удельного потребления электроэнергии в настоящее время являются самыми высокими.

Второй этап заключается в проведении анализа энергопотребления, который исследует энергетическую ситуацию в отношении электричества и тепловой энергии, сравнивая значения потребления с эталонными значениями и значениями выработки. Анализ энергопотребления должен помочь определить меры по оптимизации, включая сопоставление затрат с эксплуатационными расходами и сэкономленной энергией. В отличие от проверки анализ энергопотребления требует подробного рассмотрения функционирования очистных сооружений с учетом используемого оборудования, технологического процесса, рабочих процедур и технологии строительства. Основные этапы анализа энергопотребления включают:

- регистрацию текущего состояния (документация, технологическая схема, осмотр и описание сооружения, перечень агрегатов, проверка энергопотребления и т. д.);
- составление матрицы потребителей и энергетического баланса текущего состояния (определение баланса активной электрической энергии);
- определение идеальных значений для очистных сооружений (среднегодовые значения);
- оценку текущего состояния и определение мер (фактическое состояние в сравнении с идеальными значениями для очистных сооружений, определение расхождений, возможные отправные точки);
- определение возможных путей энергосбережения и экономической эффективности мер (описание мер, анализ рентабельности, потенциал экономии, затраты, соотношение издержек и прибыли);
- формирование пакетов мер по приоритетности (предложения по мониторингу успешности реализации — срочные, краткосрочные и зависимые меры);
- составление отчета (структура основана на рабочих этапах анализа энергопотребления).

В последней главе описываются прямые и косвенные выбросы, связанные с процессом, и возможные технологии сокращения выбросов парниковых газов. Косвенные выбросы: аэробная и анаэробная стабилизация сброженного осадка (имеющиеся возможности), предварительная анаэробная очистка промышленных сточных вод (снижение энергии аэрации и выделение биогаза), деаммонификация (снижение метана и необходимость аэрации), совместное сбраживание (увеличение выхода биогаза), рекуперация тепла (поддержка низкотемпературной сушки осадка), рекуперация гидравлической энергии (энергосбережение), солнечная сушка, десульфуризация биогаза с помощью микроаэрации (повышенный потенциал биогаза, качество обезвоживания, снижение затрат) и оптимизация аэрации (энергосбережение, оптимизация). Прямые выбросы: сжигание биогаза на факеле и на ТЭЦ, выбросы метана при анаэробном сбраживании, выбросы метана при анаэробной очистке сточных вод (растворенный метан в стоках реактора) и выбросы оксида азота при удалении азота.

6 Список литературы

- [1] K.-H. Rosenwinkel, H. Kroiss, N. Dichtl, C.-F. Seyfried and P. Weiland, *Anaerobtechnik Abwasser-, Schlamm- und Reststoffbehandlung, Biogasgewinnung*, Vieweg: Springer, 2015.
- [2] European Commission, “2030 climate & energy framework,” [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en. [Accessed 16 03 2021].
- [3] E. Commission, “Emissions cap and allowances,” [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/cap_en. [Accessed 16 03 2021].
- [4] International Energy Agency, “Global Energy & CO2 Status Report. The latest trends in energy and emissions in 2018.,” 2018.
- [5] W. K. Fong, M. Sotos, M. Doust, S. Schultz, A. Marques and C. Deng-Beck, “Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories. An Accounting and Reporting Standard for Cities.,” World Resources Institute, USA, 2014.
- [6] International Energy Agency, “Electricity Market Report,” IEA Publications, 2020.
- [7] C. Pavarini and F. Mattion, “Tracking the decoupling of electricity demand and associated CO2 emissions,” International Energy Agency, 08 03 2019. [Online]. Available: <https://www.iea.org/commentaries/tracking-the-decoupling-of-electricity-demand-and-associated-co2-emissions>. [Accessed 28 03 2021].
- [8] N. Trautmann, *Energieeffizienz der anaeroben Abwasserbehandlung am Beispiel der Hefe- und Fischindustrie*, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik - Leibniz Universität Hannover, 2015.
- [9] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), “DWA-Regelwerk Arbeitsblatt DWA-A 216 Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen,” DWA, 2015.
- [10] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., “DWA-Regelwerk Merkblatt DWA-M 368 Biologische Stabilisierung von Klärschlamm,” DWA, 2014.
- [11] B. Haberkern and B. Retamal Pucheu, “12. Auswertung des Förderschwerpunktes „Energieeffiziente Abwasseranlagen“ im Umweltinnovations-programm; Bernd Haberkern, Barbara Retamal Pucheu;,” Umweltbundesamt, January 2020.
- [12] aqua & waste International GmbH, “Ökologische Betrachtung Co-Fermentation,” aqua & waste International GmbH, KA Hildesheim, 2021.
- [13] Huber SE, “Solutions,” [Online]. Available: <https://www.huber.de/>. [Accessed 30 03 2021].
- [14] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., “DWA-Themen Bemessung von Kläranlagen in warmen und kalten Klimazonen,” DWA, 2016.
- [15] L. Krayzelova, J. Bartacek, I. Díaz, D. Jeison, E. Volcke and P. Jenicek, “Microaeration for hydrogen sulfide removal during anaerobic treatment:

- a review,” *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, p. 703–725, 2015.
- [16] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., “DWA-Regelwerk Merkblatt DWA-M 229-1 Systeme zur Belüftung und Durchmischung von Belebungsanlagen Teil 1: Planung, Ausschreibung und Ausführung,” DWA, 2013.
- [17] aqua & waste International GmbH, “Variantenvergleich und Kostenschätzung für die Erneuerung Belüfterelementen für die Belebung der KA Wolfsburg,” aqua & waste International GmbH, 2020.
- [18] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., “DWA-Regelwerk Merkblatt DWA-M 363 Herkunft, Aufbereitung und Verwertung von Biogasen,” DWA, 2010.
- [19] *CNP CYCLES Web-Seminar: Energieeinspartechnologien und Prozessoptimierung DePrex-Entgasungstechnologie durch DiMeR (Dissolved Methane Recovery)*. [Performance]. CNP CYCLES GmbH , 2020.
- [20] K. Nelting, *Prozessanalyse und Bemessung großtechnischer UASB-Reaktoren zur Kommunalabwasserbehandlung*, Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie: Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, 2017.
- [21] B. Vogel, “Denitrifikation als Senke von N₂O-Emissionen bei der Teilstrombehandlung,” Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie - Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover , 2018.



Немецкое общество по международному сотрудничеству (ГИЦ) ГмбХ

Представительство в Москве
Николаянская, д. 50, стр. 1, офис 12
109004, Москва, Россия
Тел.: +7 495 926 15 78
giz-russia@giz.de
www.giz.de

Проект: «Климатически нейтральная хозяйственная деятельность:
внедрение НДТ в Российской Федерации»
www.good-climate.com



Электронная
версия публикации