



Технологический аудит очистных сооружений

А. А. Кулаков, канд. техн. наук, консультант по очистным сооружениям,
член экспертно-технологического совета РАВВ,
доцент МИРЭА – Российский технологический университет

Рассмотрим технологический аудит как эффективный эколого-экономический инструмент.

Технологический аудит позволяет предприятию сократить экологические и экономические риски от внедрения неэффективной технологии за счет проработки технологической концепции на предпроектной стадии.

Решение задачи водоотведения и очистки сточных вод на промышленных предприятиях дает возможность сократить экологические платежи. Однако неэффективная работа очистных сооружений (ОС) может привести к штрафным санкциям и более серьезным последствиям. Выявление и устранение причин неэффективности организации водоотведения позволяет решить экологическую задачу и сократить негативное воздействие на окружающую среду (НВОС).

В зависимости от наличия или отсутствия на предприятии ОС целью аудита является:

- ▶ разработка направлений совершенствования работы действующих ОС;
- ▶ разработка направлений совершенствования водного баланса и системы водоотведения объекта.

В зависимости от цели аудита могут решаться следующие задачи:

- ▶ сбор и систематизация данных, выявление расчетных величин;
- ▶ составление водного баланса и оптимизация системы водоотведения;
- ▶ предпроектная проработка технологических решений;
- ▶ разработка предварительного решения по очистке сточных вод;
- ▶ оценка имеющихся технологических резервов ОС;
- ▶ разработка решений по совершенствованию действующих ОС;
- ▶ разработка решений по снижению эксплуатационных затрат;
- ▶ оценка возможности увеличения производительности ОС без снижения эффективности очистки;
- ▶ оценка возможности увеличения эффективности очистки без снижения производительности ОС;
- ▶ поиск направлений конструктивной и технологической модернизации действующих ОС;
- ▶ поиск оптимальных режимов эксплуатации ОС;
- ▶ независимая оценка технологических решений и оборудования, предложенных предприятию третьими лицами.

В рамках проведения технологического аудита могут быть получены: предпроектное технологическое решение, независимая оценка представленных технологических решений и программа модернизации ОС.

Проведение технологического аудита позволяет снизить риски предприятия за счет:

- ▶ получения надежных и достоверных данных для проектирования при строительстве новых или модернизации действующих ОС;
- ▶ предварительной проработки технологического решения, учитывающего особенности системы водоотведения объекта;
- ▶ независимой оценки потенциальных технологий и оборудования (рынок ОС перенасыщен, при этом не все представленные решения позволяют достичь технологических показателей и природоохранных нормативов).





Технологический аудит можно проводить на любой стадии жизненного цикла ОС.

Важные составляющие аудита – независимость (непредвзятая оценка, без личного интереса аудитора) и профессионализм (профессиональный опыт аудитора, его оценка основана на современных достижениях науки и технологий с учетом эколого-экономических факторов).

Технологический аудит включает три основных **этапа**:

1. Предварительное обследование (удаленное или частично удаленное): сбор, систематизация и обработка исходных данных, получение расчетных величин, данных по составу и объемам сточных вод; режимы, динамика и неравномерность притока сточных вод; данные по ОС (паспорта оборудования, регламенты, инструкции по эксплуатации, проект ОС, данные опросных листов); диалог с представителями заказчика аудита (руководство, представители объекта, ответственные за эксплуатацию ОС).

2. Технологический аудит: выезд на объект, осмотр объекта и территории ОС, сбор недостающих данных, полевое обследование, оценка состояния конструкций и оборудования, оценка потенциальных направлений совершенствования, проведение необходимых лабораторных тестов.

3. Разработка технологического решения: проведение расчетов, проработка направлений совершенствования работы ОС, подготовка отчета по результатам аудита.

Технологический аудит может осуществляться на любой стадии жизненного цикла ОС: при выборе технологического решения, в случае сложностей при запуске оборудования или при изменившихся условиях эксплуатации ОС (подробно про жизненный цикл ОС в работе [1]).

Далее рассмотрим некоторые примеры реализации технологического аудита.

Сбор и анализ данных

Эффективное проектирование ОС невозможно без сбора достоверных данных, получить которые можно в рамках технологического аудита.

На объектах коммунального хозяйства и промышленности состав и динамика притока сточных вод обладают высокой степенью изменчивости как в течение суток, так и в течение недели и сезонов года. Даже для схожих объектов (особенно промышленных отраслей) характерны существенные изменения состава сточных вод. Неравномерность состава и объема сточных вод зависит от системы водоотведения, режимов работы, технологических процессов, присутствия персонала на объекте.

Объем сточных вод

На рис. 1 ► 00 приведен пример колебания расхода сточных вод в течение суток.

Разница между средними минимальными и средними максимальными часовыми расходами – 6-6,5-кратная. Подобное колебание расхода в течение суток оказывает значительное влияние на процессы очистки. Для данного случая часовая производительность сооружений без усреднения будет в 1,5 раза выше, чем при усредненном потоке.

Подобную разницу будет иметь и стоимость очистных сооружений. Так, ориентировочная стоимость сооружений (предварительная механическая очистка, физико-химическая очистка и доочистка) составит: для расхода $25 \text{ м}^3/\text{ч}$ – 49 млн руб., $32,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ – 59 млн руб.

Суточная динамика притока может быть усреднена за счет аккумулирующих емкостей, которые позволяют сгладить гидравлические и массовые нагрузки на ОС. Монтаж усреднителя дает возможность значительно сократить требуемую производительность ОС, добиться экономического эффекта, а также повышения стабильности и надежности работы ОС. Равномерная нагрузка позволит предотвратить некорректный режим эксплуатации (недогрузки и перегрузки) оборудования на стадиях механической, физико-химической, биологической очистки и доочистки.

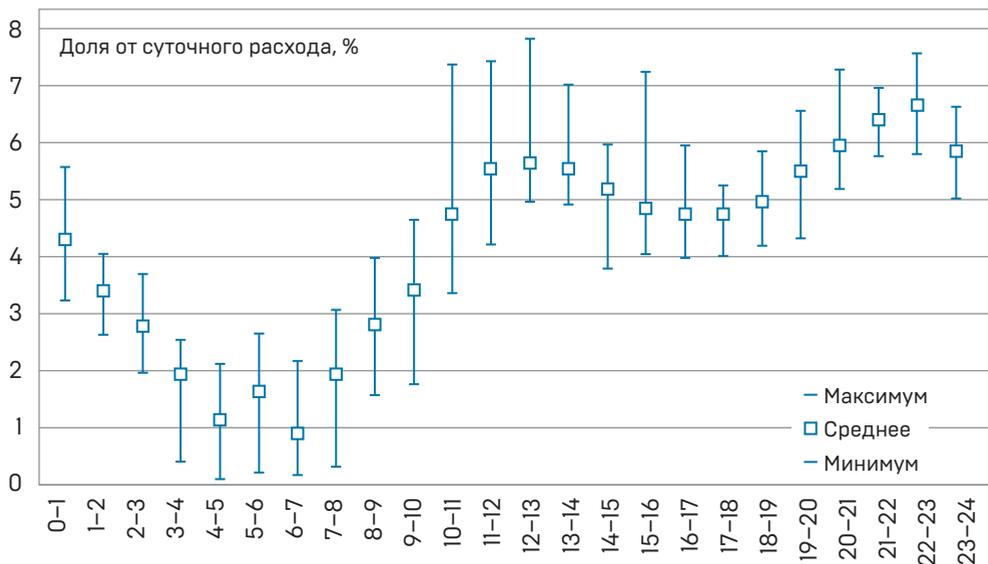


Рис. 1. Динамика часовых расходов сточных вод



Состав сточных вод

Перечень контролируемых показателей для оценки состава сточных вод определяется индивидуально в зависимости от специфики объекта.



К основным контролируемым показателям можно отнести: температуру, щелочность, жесткость, pH, взвешенные вещества, ХПК, БПК, общий азот, аммонийный азот, нитритный азот, нитратный азот, общий фосфор, фосфор фосфатов, жиры, нефтепродукты, железо, сульфаты, хлориды, сухой остаток, СПАВ.

К специфическим показателям относятся: кальций, магний, алюминий, цинк, медь, никель, кадмий, свинец, ртуть, молибден, мышьяк, марганец, хром, фенолы, формальдегид, лигносульфонатные кислоты и др.

В рамках эксплуатации объекта собираются фактические данные по составу сточных вод. При этом могут наблюдаться две крайности:

- ▶ избыток данных (большие массивы информации, она разрознена, не систематизирована);
- ▶ дефицит данных (информации практически нет, она носит эпизодический характер и не может характеризовать объект).

В первом случае потребуется обработка и систематизация массивов данных, получение расчетных величин, во втором – разработка программы лабораторно-технологического контроля, сбор и только потом обработка и систематизация полученных данных. Обе эти задачи решаются в рамках технологического аудита.

Обработка данных позволяет определить фактические нагрузки на ОС, избегая крайних критических минимумов и максимумов. Для этого определяются доли проб с заданной величиной концентрации или расхода, это может осуществляться графически или через функцию «Процентиль» в программе Excel.

Для величин расходов определяются проценти́ли (П%) по следующей формуле:

$$П \% = \frac{N_{\text{обесп.}}}{N_{\text{дней}}} \times 100 \%,$$

где $N_{\text{обесп}}$ – количество дней без превышения заданного значения расхода;

$N_{\text{дней}}$ – общее количество дней.

Процентиль для заданного значения концентрации и ПДК рассчитывается по следующей формуле:

$$П \% = \frac{N_{\text{обесп.}}}{N_{\text{проб}}} \times 100 \%,$$

где $N_{\text{обесп}}$ – количество проб без превышения заданного значения концентрации или ПДК;

$N_{\text{проб}}$ – общее количество проб.

На рис. 2 ► 00 приведены примеры графиков распределения концентраций. В качестве расчетных рекомендуется принимать значения с 15%-ной обеспеченностью (85-й процентиль). Это значение является максимальной нагрузкой для большого периода и учитывает колебания состава и объема поступающих сточных вод. Также по этим данным можно определить вероятность достижения проектных показателей в поступающих и очищенных сточных водах.

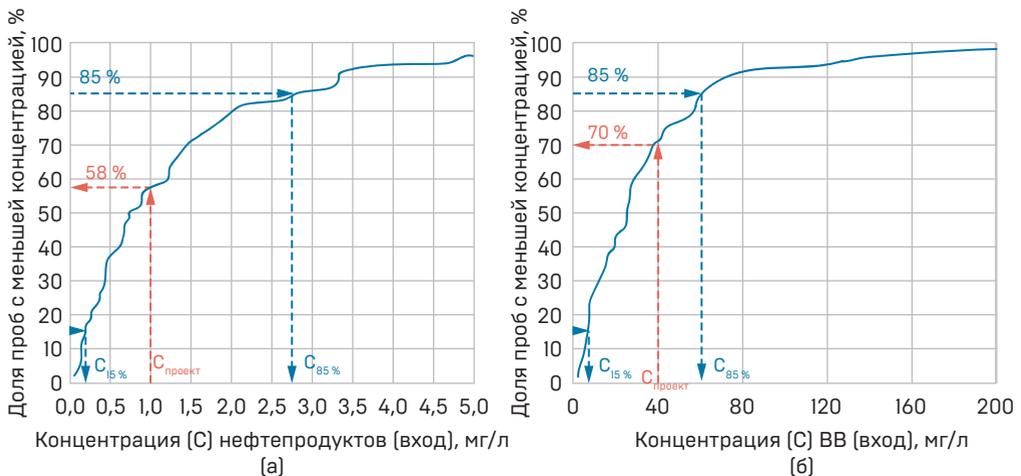


Рис. 2. Пример распределения величин концентраций в поступающих сточных водах: а) нефтепродуктов; б) взвешенных веществ [ВВ]

Как видно по графикам, основное распределение концентраций может укладываться в узкий диапазон, при этом критически высокие концентрации могут быть крайне редкими (как для взвешенных веществ). Этот метод обработки данных позволяет отследить распределение концентраций и расходов и выбрать проектные диапазоны без значительного завышения (или занижения). По графикам также можно определить доли проб с обеспечением проектной величины концентраций и величины массовой нагрузки на сооружения.

Аналогичные графики могут быть построены для состава очищенных сточных вод в целях определения доли проб с превышением ПДК, а также для расхода сточных вод – в целях оценки распределения величины гидравлической нагрузки на ОС.



Обязательно оцените вклад от отдельных потребителей в общий поток сточных вод!

Балансовая схема объекта

Один из результатов аудита – составление балансовой схемы объекта водоотведения, определение источников поступления загрязняющих веществ, гидравлических и массовых нагрузок на ОС, внутренних и внешних циркуляционных потоков, байпасных сбросов и т. д.

Важным является оценка вклада от отдельных потребителей (особенно отличающихся высокой долей загрязняющих веществ) в общий поток сточных вод. Это могут быть отдельные производственные цеха или отдельные абоненты. Важно выявить специфические загрязняющие вещества или высококонцентрированные сточные воды.



Выявление таких абонентов покажет необходимость предварительной очистки их сточных вод, что существенно сократит нагрузку на действующие ОС и повысит их эффективность. Также может быть упрощена технологическая цепочка общих ОС, что приведет к оптимизации затрат и снижению рисков.

Источники гидравлической и массовой нагрузки следует показать на общем балансе объекта. На схеме должны быть отражены все ключевые абоненты, все технологические ступени очистных сооружений, качество воды после технологических стадий, основные и возвратные потоки, байпасные сбросы, характеристики отходов, шламов и осадков.

Балансовая схема включает данные по потокам: расходы суточные ($Q_{сут}$, $M^3/сут$) и часовые ($Q_{час}$, $M^3/ч$), концентрации по основным загрязняющим веществам (C_i , мг/л), массовые нагрузки по основным загрязняющим веществам (M_i , кг/сут, кг/ч).

При необходимости балансовая схема может содержать данные по источникам и объемам водозабора, точкам и объемам водоотведения.

На рис. 3 > 00 приведен пример балансовой схемы.

Балансовая схема с потоками может использоваться как основа для проектирования ОС.

Модернизация очистных сооружений

При необходимости модернизации действующих ОС технологический аудит важно провести перед выбором окончательного технологического решения. Он позволит определить исходные данные, провести предпроектную

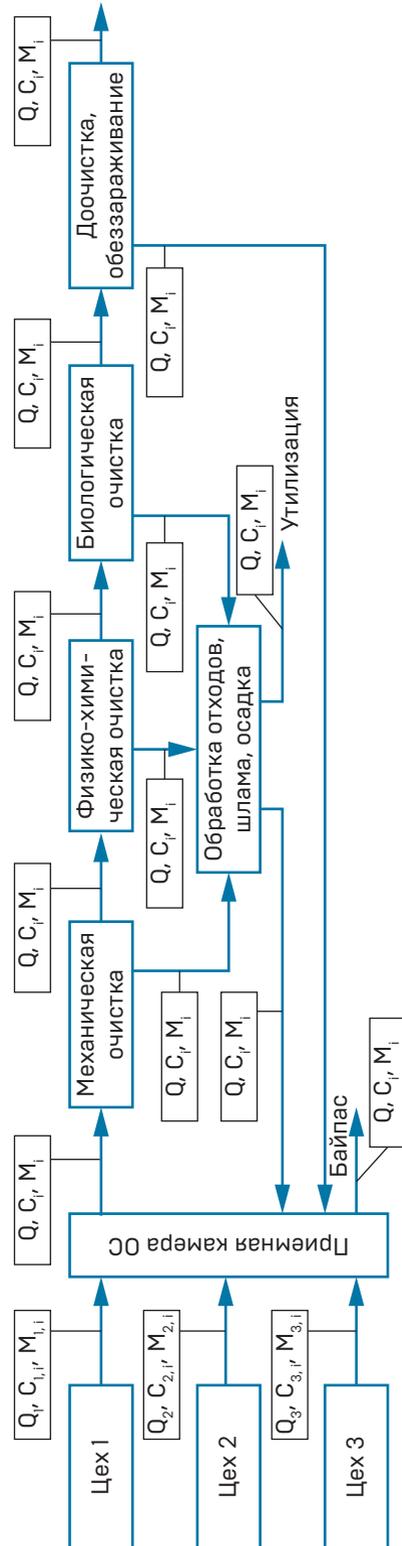


Рис. 3. Пример принципиальной балансовой схемы



проработку и найти оптимальные технологические и конструктивные решения для заданного объекта.

Проведение аудита дает возможность использовать имеющиеся технологические резервы действующих ОС и добиться повышения эффективности их работы за счет модернизации технологических узлов или строительства дополнительных технологических блоков.

Некоторые примеры модернизации ОС приведены в работах [2, 3].

В результате аудита могут быть достигнуты следующие результаты:

- ▶ усреднение потока и равномерная подача на очистку (предотвращение выноса биомассы, равномерная нагрузка, повышение эффективности очистки);
- ▶ предварительная очистка части потока сточных вод (удаление специфических загрязнений – тяжелых металлов, нефтепродуктов, масел, жиров; отдельная очистка высококонцентрированного потока; снижение нагрузки на действующие ОС);
- ▶ предварительная механическая очистка от грубодисперсных примесей (защита оборудования);
- ▶ предварительная физико-химическая очистка или отстаивание (снижение нагрузки на ОС по некоторым показателям – взвешенным веществам, БПК, ХПК, нефтепродуктам, маслам, жирам; очистка части высококонцентрированного потока);
- ▶ строительство дополнительной линии очистки (повышение производительности ОС);

Вопросы по статье можно отправить автору по почте: mail@artemkulakov.com

- ▶ строительство отдельно расположенного вторичного отстойника для отделения биомассы взамен встроенного неэффективного отстойника с малой глубиной (эффективное отделение биомассы и предотвращение ее выноса, увеличение дозы ила в сооружениях биологической очистки, повышение степени очистки);
- ▶ подбор и замена неэффективных загрузочных материалов сооружений биологической очистки (повышение окислительной мощности действующих биологических сооружений);
- ▶ переоборудование неэффективного блока биологической очистки (обеспечение необходимых технологических процессов и повышение окислительной мощности действующих биологических сооружений);
- ▶ подбор и замена реагентов (подбор оптимальных реагентов, оптимизация их дозы и эксплуатационных затрат);
- ▶ оптимизация технологических параметров работы сооружений.

Выводы

Технологический аудит очень важен для определения возможности повышения эффективности работы ОС. Сбор и систематизация данных по объекту позволяет получить достоверные ряды для проектирования и выбора эффективных технологических решений.

Независимый профессиональный аудит дает возможность найти технологические резервы у действующих сооружений, максимально их использовать, дооснастив необходимыми технологическими узлами.

Подход, основанный на достоверности данных и критической оценке технологических решений, позволяет сократить затраты на модернизацию, снизить экологические и экономические риски от внедрения малоэффективных технологий. ■



Литература

1. Кулаков А.А. Эффективный жизненный цикл малых канализационных очистных сооружений // Журнал НДТ. 2020. № 2. С. 55–64.
2. Кулаков А.А. Очистка сточных вод: выбор эффективного решения // Экология производства. 2021. № 3.
3. Кулаков А.А. Реновация малых канализационных очистных сооружений // Экология производства. 2020, № 10.