



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
филиал ФГБОУ ВО «РГГМУ» в г. Туапсе

Кафедра «Метеорологии экологии и природопользования»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)
по направлению подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование»
(квалификация – бакалавр)

На тему «Анализ эффективности работы очистительных сооружений ООО «РН-Морской терминал Туапсе»»

Исполнитель: Никаноров Артем Павлович

Руководитель: к.с.х.н., доцент Цай Светлана Николаевна

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой _____

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Цай Светлана Николаевна

«15» января 2026 г.



Туапсе
2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1 Теоретические и методические основы организации системы очистки сточных вод предприятий нефтегазового комплекса.....	5
1.1 Методы очистки промышленных и смешанных сточных вод от нефтепродуктов	5
1.2 Типы и краткая характеристика очистных сооружений в системах водоотведения	18
2 Комплексная характеристика производственной деятельности предприятия ООО «РН- Морской терминал Туапсе»	25
2.1 Характеристика производственной деятельности предприятия ООО «РН- Морской терминал Туапсе» как источник образования сточных вод.....	25
2.2 Характеристика существующей системы очистки сточных вод ООО «РН- Морской терминал Туапсе».....	31
3 Анализ эффективности работы очистных сооружений ООО «РН- Морской терминал Туапсе»	47
Заключение	56
Список литературы	58

Введение

Актуальность и своевременность изучения темы. Нефтегазовый комплекс является ключевым сектором экономики России, однако его деятельность сопряжена с существенным воздействием на окружающую среду, в первую очередь на водные ресурсы. Образование значительных объемов сточных вод, загрязненных нефтепродуктами, взвешенными веществами, солями и другими специфическими примесями, представляет собой серьезную эколого-технологическую проблему. Ужесточение природоохранного законодательства, рост требований к качеству очищенных стоков (особенно при сбросе в рыбохозяйственные водоемы или в условиях морского побережья), а также внедрение принципов наилучших доступных технологий (НДТ) обуславливают необходимость постоянного совершенствования систем водоочистки.

Особую актуальность эта проблема приобретает для объектов нефтегазовой инфраструктуры, расположенных в прибрежных морских зонах, таких как морские терминалы. Их деятельность связана с риском загрязнения акватории, что может привести к тяжелым экологическим и экономическим последствиям. ООО «РН-Т Морской терминал Туапсе», как крупный объект по перевалке нефти и нефтепродуктов, является ярким примером предприятия, где эффективная и надежная система очистки сточных вод имеет критическое значение для минимизации антропогенной нагрузки на Черноморское побережье. Модернизация существующих очистных сооружений на подобных предприятиях – это не просто выполнение законодательных норм, но и вклад в устойчивое развитие региона, снижение экологических рисков и повышение операционной эффективности. Таким образом, исследование и разработка предложений по модернизации системы очистки сточных вод на конкретном объекте – ООО «РН-Т Морской терминал Туапсе» – является своевременной и практически значимой задачей.

Объект исследования. Система водоотведения и очистки сточных вод на предприятии ООО «РН-Т Морской терминал Туапсе».

Предмет исследования. Технологические и организационные аспекты работы существующих очистных сооружений, их эффективность и направления модернизации для обеспечения соответствия современным требованиям.

Цель работы: Разработка научно-обоснованных предложений по модернизации системы очистки сточных вод ООО «РН-Т Морской терминал Туапсе» для повышения ее эффективности и надежности.

Задачи работы:

- Раскрыть теоретические и методические основы организации систем очистки сточных вод предприятий нефтегазового комплекса.
- Провести комплексный анализ производственной деятельности и существующей системы очистки сточных вод на предприятии.
- Оценить эффективность работы очистных сооружений и разработать предложения по их модернизации.

1 Теоретические и методические основы организации системы очистки сточных вод предприятий нефтегазового комплекса

1.1 Методы очистки промышленных и смешанных сточных вод от нефтепродуктов

Образование значительных объемов сточных вод, загрязненных нефтепродуктами, является неотъемлемой и одной из наиболее экологически опасных составляющих деятельности предприятий нефтегазового комплекса. Нефтепродукты в стоках присутствуют в различных физико-химических состояниях: в виде свободной фазы, механических эмульсий, коллоидных растворов и растворенных соединений, что обуславливает сложность и многостадийность процесса их удаления [4]. Эффективная очистка таких вод представляет собой комплексную инженерную задачу, решение которой направлено не только на соблюдение жестких нормативов сброса, но и на минимизацию антропогенной нагрузки на водные экосистемы, особенно в чувствительных прибрежных зонах. Современная система очистки представляет собой технологическую цепочку, где методы механического, физико-химического и биологического воздействия применяются в рациональной последовательности. Выбор и комбинация методов определяются составом и концентрацией загрязнений, требуемой глубиной очистки, экономической целесообразностью и необходимостью утилизации образующихся вторичных отходов. Успешное функционирование всей системы основывается на понимании принципов работы каждого технологического звена, его возможностей и ограничений.

Механическая очистка представляет собой первоначальную и обязательную стадию обработки сточных вод на любом промышленном предприятии, включая объекты нефтегазового комплекса. Ее основная задача заключается в удалении грубодисперсных примесей (как твердых, так и жидких) методом их механического отделения от водной фазы. В ряде случаев, при относительно невысокой исходной концентрации загрязнений и при

условии соответствия очищенной воды регламентируемым нормативам, механическая стадия может являться и единственной [12, с.201]. Для сложных же стоков, характерных для нефтеперевалочных терминалов, она служит критически важной подготовительной операцией, обеспечивающей эффективность последующих физико-химических и биологических процессов.

Наиболее простым методом в этой группе является процеживание, применяемое для задержания крупных взвешенных частиц. Технологически оно реализуется с помощью решеток и сит. Классические решетки состоят из металлической рамы с рядом параллельных стержней, зазор между которыми обычно составляет 8–16 мм [21]. Современные конструктивные решения, такие как струнные, дуговые или ступенчатые решетки, отличаются повышенной пропускной способностью и могут быть интегрированы как в существующие каналы, так и в виде автономных модулей. Задержанные отбросы, как правило, направляются на измельчение с последующей утилизацией совместно с осадками очистных сооружений.

Следующим ключевым этапом является отстаивание (гравитационное разделение), основанное на разности плотностей воды, твердых частиц и жидких легких фракций, таких как нефтепродукты. Этот процесс осуществляется в аппаратах различного назначения и конструкции.

Так, песколовки предназначены для осаждения минеральных примесей крупнее 0.2 мм (песок, окалина), что достигается за счет снижения скорости потока. Накопившийся осадок удаляется гидромеханическим способом и после обезвоживания может быть использован в дорожном строительстве [9]. Для удаления основной массы свободных нефтепродуктов и масел (90–95%) применяются нефтеловушки и отстойники, где более легкие, чем вода, фракции всплывают на поверхность и собираются специальными скребками или поплавковыми устройствами. В прудах дополнительного отстоя достигается снижение концентрации нефтепродуктов до 70–100 мг/л с общим эффектом очистки 30–50%, что подчеркивает их вспомогательную, но важную роль в доочистке.

Конструктивное исполнение отстойников варьируется в зависимости от производительности и технологических требований. Условно их классифицируют на три основных типа. Вертикальные отстойники эффективны при сравнительно небольших расходах (до 10 тыс. м³/сут). Для более крупных объектов, характерных для нефтегазовой отрасли, применяются горизонтальные (при расходах свыше 15 тыс. м³/сут) и радиальные (свыше 20 тыс. м³/сут) аппараты [16, с.122]. Последние отличаются простотой эксплуатации и экономичностью при большой единичной мощности, хотя и требуют установки подвижной скребковой фермы для сбора осадка. Горизонтальные отстойники, в свою очередь, оснащаются скребковыми механизмами для транспортировки шлама в накопительный приямок.

Завершающим звеном механической (или тонкой физико-химической) очистки часто выступает фильтрование. Оно применяется на конечных стадиях технологической цепи для удаления остаточных эмульгированных нефтепродуктов после отстаивания или взвешенных веществ после биологической очистки. В практике очистки нефтесодержащих стоков выделяют несколько принципиальных подходов к фильтрации [6].

Первый основан на использовании зернистых загрузок (кварцевый песок, керамзит, антрацит), действующих как адгезионные и сорбционные среды. Второй подход предполагает применение волокнистых и эластичных материалов с высокой нефтеемкостью (нетканые синтетические полотна, пенополиуретан), которые извлекают загрязнения преимущественно за счет сорбции. Третья группа – коалесцирующие фильтры – функционирует по иному принципу: их задача не столько задержать, сколько укрупнить мельчайшие эмульгированные капли нефтепродуктов, которые затем легко отделяются в последующем отстойнике. Этот метод ценится за непрерывность работы, а регенерация фильтрующего материала здесь носит в основном профилактический характер.

Таким образом, механические методы образуют фундаментальный технологический блок, от эффективности которого напрямую зависит

работоспособность и экономичность всей последующей схемы очистки сложных сточных вод нефтегазовых предприятий.

Эффективность заключительных стадий механической очистки, таких как фильтрация, напрямую зависит от качества предварительно подготовленной воды. Например, для стабильной работы песчано-гравийных фильтров требуется, чтобы концентрация нефтепродуктов в поступающей воде не превышала 50 мг/л, а механических примесей – 40 мг/л [16, с.123]. Кратковременные аварийные сбросы с более высокими показателями (до 300 мг/л нефтепродуктов и 100 мг/л взвесей) допускаются, но приводят к снижению эффективности, оставляя на выходе до 45–55 мг/л загрязнений. В качестве современных фильтрующих загрузок широко применяются гранулированные полимерные материалы, такие как полиэтилен или полипропилен, с размером фракции 2–4 мм, обладающие высокой химической стойкостью и сорбционным потенциалом.

Центральное место среди физико-химических методов очистки сложных стоков занимает флотация [16, с.126]. Данный процесс основан на извлечении диспергированных и коллоидных загрязнений при помощи пузырьков тонко диспергированного воздуха, которые, всплывая, образуют с частицами устойчивые агрегаты (флотокомплексы). Флотационные установки высокоэффективны для удаления масел, нефтепродуктов, ПАВ, волокнистых материалов и некоторых гидроксидов металлов. Существует несколько технологических разновидностей флотации, дифференцируемых по способу насыщения воды воздухом.

Наиболее распространена в промышленности напорная флотация. В этом случае часть потока воды насыщается воздухом под избыточным давлением (3–6 атм) в специальном сатураторе. При последующем резком снижении давления в камере флотации выделяются многочисленные микропузырьки диаметром 30–120 мкм, которые обеспечивают интенсивное прилипание и всплытие загрязнений [16, с.127]. Эффективность процесса кардинально возрастает при использовании реагентной подготовки. Введение коагулянтов – солей

алюминия или железа (например, хлорного железа) – приводит к образованию объемных хлопьев, захватывающих тонкодисперсные примеси. Флокулянты, в свою очередь, укрупняют эти хлопья, повышая скорость их флотации. Сочетание напорной флотации с коагуляционно-флокуляционной обработкой позволяет повысить степень очистки от нефтепродуктов до 90–95%, а от механических взвесей – до 85–95%, тогда как эффективность безреагентного процесса обычно не превышает 11–23%.

Особую значимость в контексте создания замкнутых систем водопользования приобретает применение синтетических флокулянтов – высокомолекулярных полимеров, способствующих агрегации частиц. Их классифицируют на неионные (например, полиакриламид, полиэтиленоксид), анионные (полиакрилат натрия) и катионные. Последние, содержащие положительно заряженные функциональные группы (такие как полиэтиленимин – ПЭИ), особенно эффективны для обработки сточных вод, содержащих коллоидные частицы с преимущественно отрицательным поверхностным зарядом, что характерно для многих органических загрязнений. Использование реагентов не приводит к существенному изменению солевого состава воды, что критически важно для систем оборотного водоснабжения.

Для глубокой очистки от растворенных, биологически трудноокисляемых и токсичных органических соединений (фенолов, ароматических углеводородов, хлорорганики) применяется адсорбционная очистка [16, с.128]. Этот метод может использоваться как для локальной обработки отдельных потоков, так и в качестве финишной ступени в схемах физико-химической очистки. Основным рабочим материалом являются активные угли (АУ) с развитой пористой структурой. Первоначально применялись порошкообразные угли, однако в современных системах предпочтение отдается гранулированным формам (размер гранул 1–6 мм) с высокой механической прочностью, такие как марки АГ-3, БАУ. Их ключевым эксплуатационным преимуществом является возможность многократной термической реактивации, в процессе которой адсорбированные вещества выжигаются, а пористая структура угля

практически полностью восстанавливается, с минимальными потерями массы (8–10%). Отечественные производители, например ОАО «Сорбент», выпускают широкий ассортимент активных углей на различной сырьевой основе, обеспечивающих селективное извлечение целевых загрязнителей из водных растворов (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Показатели качества сточных вод после очистки

Вещества	Концентрация на выходе, мг/л		
	из нефте-ловушки	из песчаного фильтра	из угольного фильтра
Взвешенные	10-90	3-20	1-15
БПК ₅ , мг О ₂ /г	30-87	20-54	3-10
Эфирозвлекательные	39-137	25-61	10-17
Нефть	35-178	7-17	0,8-2,5
Фенолы	0,8-11	0,35-9,8	0,0-0,1

Продолжая рассмотрение адсорбционных технологий, следует отметить, что помимо активных углей для очистки сточных вод могут применяться и другие сорбенты, такие как цеолиты, силикагели или природные материалы (торф, опилки). Однако с точки зрения комплексных технико-экономических показателей, включая эффективность, ресурс регенерации и эксплуатационные расходы, использование гранулированных активных углей остается конкурентоспособным методом, сравнимых по экономической целесообразности с традиционной биологической очисткой для ряда специфических загрязнителей [16, с.128].

Важным подготовительным и сопутствующим процессом в общем технологическом цикле является нейтрализация сточных вод [16, с.129]. Ее основное назначение – приведение реакции среды (рН) к нормируемым значениям (6.5–8.5) с целью предотвращения коррозии инженерных сетей и сооружений, а также создания приемлемых условий для последующих биологических стадий. На практике нейтрализацию осуществляют либо взаимным смешением кислых и щелочных потоков, либо добавлением реагентов, чаще всего известкового молока. Побочным эффектом реагентной нейтрализации является образование труднорастворимых солей кальция,

способных к отложению в коммуникациях, что требует организации периодической промывки системы.

Для задач глубокого извлечения растворенных веществ и тонкой очистки все более востребованными становятся мембранные технологии. Их принцип основан на разделении компонентов жидкой среды при прохождении через полупроницаемый барьер под действием различных движущих сил [24, с.224]. В зависимости от размера пор и механизма сепарации различают несколько методов. Микрофльтрация позволяет задерживать коллоидные частицы и взвеси. Ультрафльтрация эффективна для разделения макромолекул и высокомолекулярных соединений. Наиболее тонкое разделение на уровне ионов и низкомолекулярных соединений обеспечивают обратный осмос и электродиализ, где движущей силой выступает соответственно градиент давления, превышающий осмотический, или внешнее электрическое поле. Эти методы, особенно обратный осмос и ультрафльтрация, находят применение в системах локальной очистки, концентрирования ценных компонентов и подготовки воды высокой степени чистоты, что определяет их как одно из приоритетных направлений для внедрения на предприятиях топливно-энергетического комплекса.

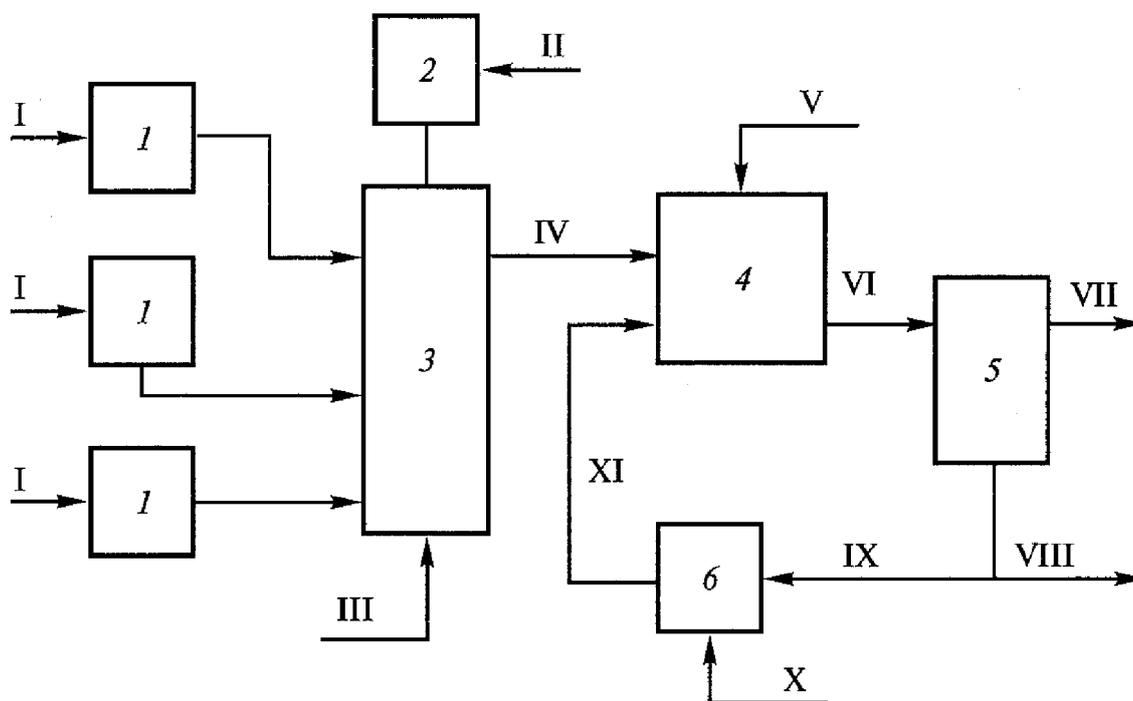
Биохимические (биологические) методы представляют собой ключевую технологию глубокой деструкции органических загрязнений, основанную на способности сообществ микроорганизмов использовать эти вещества в качестве источника питания и энергии [11]. Основными преимуществами данного подхода являются относительно низкие эксплуатационные расходы при высокой степени очистки и способность удалять широкий спектр органических соединений. Процесс может протекать в аэробных (в присутствии кислорода) или анаэробных (в бескислородной среде) условиях, сопровождаясь приростом биомассы – активного ила или биопленки.

Вместе с тем, биологическая очистка предъявляет жесткие требования к составу поступающих стоков. Высокие концентрации загрязнений, наличие токсичных для микроорганизмов веществ, резкие колебания нагрузки – все это

негативно сказывается на эффективности процесса и требует, как правило, значительных капитальных вложений в систему предварительной подготовки и разбавления [24, с.228].

Основным агентом биохимической очистки является активный ил – сложная саморегулирующаяся экосистема, включающая бактерии, простейшие, грибы и другие микроорганизмы [24, с.229]. Ее формирование и активность напрямую зависят от создаваемых в очистном сооружении условий. Ключевое значение имеет метаболизм гетеротрофных бактерий, которые извлекают углерод из органических загрязнений. Для их жизнедеятельности также необходим биодоступный азот, наиболее легко усваиваемой формой которого являются ионы аммония (NH_4^+) [24, с.230].

Технологическая реализация процесса очистки активным илом предполагает поддержание оптимальных условий для жизнедеятельности сообщества микроорганизмов (рисунок 1.1) [24, с.231].



1 - усреднительные емкости, 2- накопитель хозяйственно-бытовых сточных вод, 3- смешивательная камера, 4- аэротенк, 5- вторичный отстойник, 6- регенератор активного ила.

Рисунок 1.1 – Схема биохимической очистки сточных вод с регенерацией активного ила

Это достигается в аэротенках, где обеспечивается контакт сточной воды с илом при постоянной подаче кислорода. Для повышения устойчивости и окислительной мощности системы часто применяют схему с регенерацией ила, где часть биомассы возвращается в начало процесса для восстановления ее сорбционных и метаболических свойств, что позволяет увеличить общую эффективность очистки на 10–15% [24, с.231]. Выбор конкретной технологической схемы – одноступенчатой, многоступенчатой или с регенерацией – определяется составом сточных вод и требуемой глубиной очистки.

Повышение эффективности биохимических очистных сооружений достигается, в частности, за счет внедрения многоступенчатых технологических схем. Их применение особенно рационально при обработке стоков, содержащих устойчивые к биоразложению органические соединения. Практика нефтеперерабатывающих заводов демонстрирует целесообразность двухступенчатой биологической очистки смешанных сточных вод, когда эффект по удалению загрязнений на 10–15% превышает показатели одноступенчатой системы, обеспечивая снижение концентрации нефтепродуктов на 71–91%, а фенолов – практически на 100% [24, с.231].

Классическим и наиболее распространенным сооружением для аэробной биологической очистки значительных объемов сточных вод является аэротенк. Это железобетонный резервуар прямоугольной формы, часто разделенный перегородками на несколько последовательных коридоров (секций). Технологический процесс основан на интенсивном аэрировании смеси предварительно очищенных стоков и активного ила. Воздух, подаваемый через систему пористых пластин или фильтров, обеспечивает мелкопузырчатую аэрацию (размер пузырьков 1–4 мм) и поддерживает необходимую для жизнедеятельности микроорганизмов концентрацию растворенного кислорода [24, с.232]. Гидравлическое время пребывания смеси в аэротенке обычно составляет 6–12 часов при концентрации иловой массы 2–5 г/л и удельном расходе воздуха 5–15 м³/м³ сточной воды. После аэротенка ило-водяная смесь

направляется во вторичный отстойник для гравитационного разделения, и часть осажденного активного ила возвращается в начало процесса, поддерживая необходимую биомассу.

Альтернативным аэробным сооружением служат биофильтры, где окисление загрязнений осуществляется микроорганизмами, иммобилизованными на поверхности неподвижной загрузки. Различают биофильтры с объемной (гравий, щебень, керамзит) и плоскостной (различные полимерные материалы) загрузкой. В нефтеперерабатывающей отрасли традиционно применяются капельные биофильтры с засыпкой из шлака, кокса или антрацита, где аэрация происходит естественным путем. Современные конструкции с плоскостной загрузкой из поливинилхлорида или полипропилена отличаются высокой удельной поверхностью (до $110 \text{ м}^2/\text{м}^3$) и обеспечивают эффективное развитие биопленки. Для малых расходов (до $1000 \text{ м}^3/\text{сут}$) применяются биологические дисковые фильтры (роторные биофильтры), где биопленка формируется на поверхности вращающихся пластмассовых дисков, попеременно контактирующих со стоком и атмосферным воздухом.

В тех случаях, когда концентрация органических загрязнений чрезвычайно высока, или при переработке образующихся осадков, применяется анаэробное сбраживание. Основное преимущество этого процесса – минимальный прирост биомассы и возможность получения биогаза, содержащего около 65% метана. Процесс протекает в метантенках – герметичных резервуарах объемом до 8000 м^3 , где сложные органические вещества (жиры, белки, углеводы) последовательно гидролизуются и преобразуются метаногенными археями в метан и диоксид углерода [24, с.236]. Учитывая взрывоопасность образующегося газа, метантенки и сопутствующие газгольдеры требуют специального размещения на территории очистных сооружений [19].

Отдельной и сложной задачей является обработка высокоминерализованных (солесодержащих) стоков. Методы глубокого

обессоливания, такие как электродиализ, обратный осмос и ионный обмен, пока находят ограниченное промышленное применение, главным образом для локального извлечения ценных компонентов или доочистки [24, с.238]. Технология вакуумного выпаривания, хотя и энергоемка, считается перспективной для концентрирования высокоминерализованных стоков. Следует отметить, что при работе со сточными водами, в отличие от опреснения морской воды, требуется значительно более высокая степень упаривания (90–95%), что предъявляет повышенные требования к коррозионной стойкости и энергоэффективности оборудования.

Таким образом, современная система очистки сточных вод нефтегазового комплекса представляет собой сложный технологический комплекс, где механические, физико-химические и биологические методы применяются в рациональной последовательности, обеспечивая достижение требуемых нормативов качества очищенной воды.

Обработка высокоминерализованных стоков, образование которых характерно для ряда процессов нефтегазового комплекса, представляет особую технологическую сложность. В отечественной практике для этих целей разработаны и применяются термические методы, в частности вакуум-выпаривание, а также комбинированные схемы с использованием газообразного контактного теплоносителя. Предварительное умягчение воды при этом часто осуществляется по содово-известковому методу для снижения содержания солей жесткости. Процесс обезвреживания подобных стоков, как правило, проводится в две последовательные стадии. Первая предполагает вакуум-выпаривание до достижения концентрации солей около 30 г/л. На второй стадии получившийся рассол концентрируется до 250 г/л в аппаратах погружного горения [20]. Конечная фаза включает обезвоживание солевого остатка, например, в аппаратах кипящего слоя, до получения сыпучего продукта с влажностью около 2%. Образовавшийся чистый конденсат может быть возвращен в технологический цикл, а соли подлежат захоронению.

Существенным препятствием для широкого внедрения термических

методов является интенсивная коррозия оборудования. При температурах выше 100°C хлориды магния и кальция подвергаются гидролизу с образованием соляной кислоты, которая, с одной стороны, препятствует образованию накипи, растворяя карбонатные отложения, но с другой – агрессивно воздействует на материалы теплообменной и испарительной аппаратуры. На предприятиях, где строительство мощных выпарных установок экономически или технологически нецелесообразно, практикуется альтернативная утилизация солевых стоков путем их отвода на поля испарения либо закачки в глубокие поглощающие подземные горизонты.

Не менее важной задачей, непосредственно связанной с очисткой сточных вод, является обработка и утилизация образующихся осадков (шламов). К ним относятся продукты механической и физико-химической очистки, а также избыточный активный ил биологических сооружений. Накопление и хранение этих осадков, особенно на иловых площадках, создает вторичные источники загрязнения окружающей среды. Технологическая цепочка их переработки включает стадии предварительного уплотнения, обезвоживания и, часто, термического обезвреживания или сушки [24, с.240].

Предварительное уплотнение избыточного активного ила может осуществляться гравитационными методами (отстаивание) или флотацией. Более эффективным способом сгущения является центрифугирование. Высокую степень разделения фаз также обеспечивают тарельчатые сепараторы, особенно в комбинации с предварительной термохимической подготовкой суспензии. Подобная обработка предполагает нагрев иловой смеси до 85°C с последующим подкислением серной кислотой до pH 3.5–4.0 и введением флокулянта. После коагуляции и отстаивания концентрация сухого вещества возрастает до 2.5–4%, а последующее сепарирование позволяет достичь показателя в 6–10% при минимальных потерях с фугатом [26, с.342]. Для окончательной сушки обезвоженных осадков эффективны распылительные сушилки.

Вопрос утилизации переработанных осадков остается комплексным.

Активный ил обладает определенной агрохимической ценностью, содержа азот, фосфор и микроэлементы, однако его применение в качестве удобрения ограничено потенциальным наличием токсичных веществ, включая тяжелые металлы и устойчивые органические соединения. Гарантией безопасности может служить лишь предварительное глубокое извлечение этих загрязнений из стоков на основных стадиях очистки. При значительных объемах загрязненных осадков наиболее надежным методом ликвидации является сжигание. Перспективным направлением считается термохимическая конверсия осадков в твердое или жидкое топливо. Так, зарубежные исследования показывают, что из 350 тысяч тонн сухого активного ила потенциально можно получить энергию, эквивалентную 700 тысячам баррелей нефти [10, с.256]. Поиск экономически и экологически обоснованных путей утилизации осадков продолжает оставаться актуальной научно-практической задачей.

Таким образом, очистка промышленных и смешанных сточных вод от нефтепродуктов является сложным, многоуровневым процессом, не имеющим универсального технологического решения. Как демонстрирует анализ, эффективность достигается за счет последовательного комбинирования методов, основанных на различных физических и химических принципах.

На первой стадии механические методы (процеживание, отстаивание, фильтрование) обеспечивают удаление грубодисперсных и свободнолежащих примесей, подготавливая воду для более глубокой обработки. Физико-химические методы, такие как флотация, адсорбция и мембранное разделение, позволяют извлекать эмульгированные, коллоидные и растворенные формы загрязнений, а также токсичные соединения, устойчивые к биодegradации. Завершающей стадией глубокой очистки, как правило, выступают биохимические процессы в аэротенках или на биофильтрах, где происходит минерализация основной массы органических веществ.

Ключевым выводом является то, что оптимальная технологическая схема должна проектироваться с учетом специфики конкретного предприятия,

характера сточных вод и требований к качеству очищенной воды. Современные тенденции развития связаны с внедрением высокоинтенсивных процессов (напорная флотация с реагентной обработкой, мембранные технологии), автоматизацией контроля, а также с разработкой комплексных решений по утилизации и обезвреживанию образующихся осадков и концентратов. Дальнейшее совершенствование методов очистки направлено на повышение энергоэффективности, снижение эксплуатационных затрат и достижение максимальной степени замкнутости систем водопользования, что составляет основу экологически устойчивого развития нефтегазового комплекса.

1.2 Типы и краткая характеристика очистных сооружений в системах водоотведения

Очистка сточных вод на промышленном предприятии представляет собой не просто набор отдельных методов, а целостный технологический процесс, реализуемый в специальных инженерных сооружениях. Эффективность системы водоотведения в целом определяется не только корректным выбором методов очистки, но и грамотным проектированием, взаимодействием и эксплуатацией всего комплекса этих сооружений. Они образуют технологическую цепочку, где каждое последующее звено предназначено для решения конкретных задач, исходя из качества воды, поступившей с предыдущей стадии.

Классификация очистных сооружений может проводиться по различным признакам: назначению (локальные, общезаводские), производительности или принципу действия [29].

Однако для понимания логики работы всей системы наиболее наглядно их группирование в соответствии с ключевой функцией и технологической стадией, на которой они задействованы – от первичного удаления грубых примесей до глубокой доочистки и обработки образующихся отходов. Анализ типов и характеристик этих сооружений позволяет перейти от теоретических

основ очистки к принципам построения практических технологических схем, что является необходимым этапом для последующей оценки существующей системы на конкретном объекте.

Система водоотведения любого промышленного предприятия представляет собой сложный инженерный комплекс, конечным звеном которого являются очистные сооружения. Их типология и конструктивное исполнение определяются объемом, составом и степенью загрязненности сточных вод, а также требованиями к качеству очищенной воды. В современной практике можно выделить три основных уровня организации очистных сооружений: локальные, общезаводские (или цеховые) и районные (городские) [26, с.342].

Локальные очистные установки предназначены для обработки стоков конкретного технологического процесса или производства. Их ключевым преимуществом является возможность целенаправленного удаления специфических загрязнений, что зачастую оказывается экономически и технологически более эффективным, чем их извлечение из общей смеси стоков. Локальная очистка создает условия для регенерации и возврата в производственный цикл ценных компонентов, а также для обезвреживания высокотоксичных соединений, наличие которых делает невозможным подачу стоков на общезаводские или муниципальные сооружения.

Общезаводские (заводские) очистные станции характерны для крупных предприятий, таких как нефтеперерабатывающие и нефтехимические заводы. Эти станции осуществляют прием и очистку всех сточных вод предприятия, а в некоторых случаях могут также выполнять функции районных сооружений, принимая стоки от других объектов.

Районные или городские очистные сооружения имеют наиболее широкий профиль и предназначены для комплексной очистки смешанного потока, включающего как бытовые, так и производственные сточные воды населенного пункта или промышленной зоны.

Для обработки специфических стоков нефтегазового комплекса –

буровых растворов, промысловых вод, водонефтяных эмульсий с установок подготовки нефти – применяются, как правило, специализированные очистные сооружения общего типа, спроектированные с учетом их особого состава.

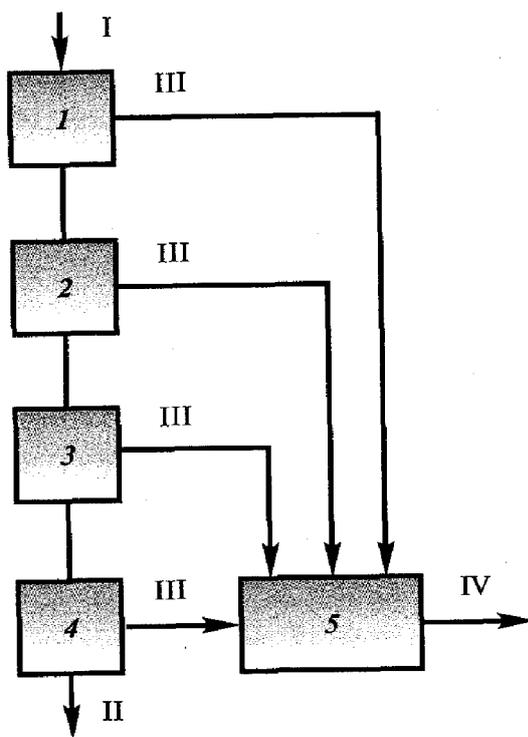
Все технологические методы, применяемые на перечисленных сооружениях, можно систематизировать по основному принципу воздействия на загрязнения.

Механические методы, исторически наиболее ранние, направлены на удаление нерастворимых примесей посредством процеживания, отстаивания и фильтрования в различных типах отстойников и ловушек. Химические методы основаны на введении в стоки реагентов (коагулянтов, флокулянтов), вступающих в реакцию с загрязнениями и способствующих их осаждению, что особенно эффективно для удаления коллоидных и эмульгированных форм. Однако для стоков со сложным набором разнородных загрязнителей химический метод может быть недостаточен. В таких случаях применяется электролитический (физический) метод, где пропускание электрического тока через сточную воду вызывает коагуляцию и выпадение примесей в осадок, отличаясь высокой эффективностью при относительно умеренных капитальных затратах.

Важным заключительным элементом любой технологической схемы являются сооружения по обработке осадка, куда поступают шламы и избыточная биомасса со всех стадий очистки. Очищенная же вода либо возвращается в оборотную систему предприятия, либо, при соответствии нормативным требованиям, сбрасывается в водный объект, что отражает принцип замкнутого технологического цикла современного производства (рисунок 1.2) [26, с.344].

Функционирование современной системы водоотведения промышленного предприятия, в особенности такого технологически сложного объекта, как морской нефтетерминал, обеспечивается целым комплексом специализированных инженерных сооружений. Их классификация может быть проведена по нескольким основаниям: уровню интеграции в производственный

цикл (локальные, общезаводские), принципу действия и технологической стадии очистки. Однако с точки зрения технологического процесса наиболее обоснованным является группирование сооружений в соответствии с физико-химической сущностью протекающих в них процессов, формирующих последовательную цепочку очистки.



1 - установка механической очистки, 2- установка биохимической или физико-химической очистки, 3- установка доочистки, 4- установка по обеззараживанию сточных вод, 5- сооружения по обработке осадка. I – неочищенные сточные воды. II – очищенные сточные воды. III – осадок или избыточная биомасса. IV – обработанный осадок

Рисунке 1.2 – Общая схема очистки сточных вод

Первичную, или механическую, стадию обработки стоков обеспечивает группа сооружений механической очистки. Их основная задача — удаление грубодисперсных примесей, как твердых, так и жидких, путем их механического отделения от водной фазы. Ключевыми элементами здесь являются решетки и сита для задержания крупного мусора, песколовки для осаждения минеральных взвесей, а также различного типа отстойники и нефтеловушки. Последние предназначены для гравитационного разделения: оседания тяжелых взвешенных веществ и всплытия свободных масел и

нефтепродуктов. Эффективность последующих стадий напрямую зависит от качества работы именно этих сооружений, так как избыточная нагрузка по взвесям и нефтепродуктам дестабилизирует биологические и физико-химические процессы.

Следующую технологическую группу составляют сооружения биологической (биохимической) очистки, предназначенные для глубокого разрушения растворенных и коллоидных органических загрязнений. Основным аппаратом здесь выступает аэротенк — резервуар, где сточная вода, смешанная с активным илом (сообществом микроорганизмов), интенсивно аэрируется. Процесс биохимического окисления может также протекать в биофильтрах, где микроорганизмы закреплены на неподвижной загрузке. Для разделения очищенной воды и биомассы после аэротенков используются вторичные отстойники. Отдельной подгруппой являются сооружения для анаэробной переработки высококонцентрированных стоков или осадков — метантенки, в которых происходит сбраживание органики с выделением биогаза.

Для удаления специфических загрязнений, устойчивых к биодegradации, или для глубокой доочистки применяются сооружения физико-химической очистки. К ним относятся флотационные установки (чаще всего напорные), где под действием микропузырьков воздуха происходит отделение эмульгированных масел, нефтепродуктов и тонкодисперсных взвесей. Адсорбционные фильтры со загрузкой из активного угля или других сорбентов используются для извлечения растворенных токсичных органических соединений. Все более значимую роль играют установки мембранного разделения (ультра- и нанофльтрации, обратного осмоса), обеспечивающие самый высокий уровень очистки на молекулярном и ионном уровнях.

Завершающим, но критически важным звеном являются сооружения для обработки и утилизации образующихся осадков. Сюда входят уплотнители илов, центрифуги или фильтр-прессы для обезвоживания, а также сушильные установки. В случае использования термических методов обезвреживания применяются печи для сжигания осадков. Для концентрирования и

кристаллизации солей из высокоминерализованных стоков могут использоваться выпарные установки.

Итак, система водоотведения представляет собой не набор разрозненных устройств, а целостный технологический комплекс, где каждое последующее сооружение логически продолжает функцию предыдущего. Проектирование такой системы требует тщательного анализа состава стоков и выбора оптимальной комбинации сооружений, способной гарантированно обеспечить достижение установленных нормативов сброса и соответствие принципам экологической безопасности.

Таким образом, современные очистные сооружения представляют собой сложный, но логически организованный инженерно-технологический комплекс. Его структура формируется в результате последовательного сочетания сооружений механической, физико-химической и биологической очистки, а также объектов для обработки и утилизации вторичных отходов (осадков и концентратов). Краткая характеристика основных типов сооружений демонстрирует, что эффективность водоочистки достигается за счет синергии различных процессов: от грубого отделения нерастворимых фракций в отстойниках до тонкой деструкции растворенной органики в биореакторах и извлечения специфических загрязнений на мембранных или адсорбционных установках.

Важным выводом является то, что не существует универсального типового набора сооружений. Их состав, производительность и конструктивные особенности должны быть строго адаптированы к качественному и количественному составу конкретных сточных вод, а также к требованиям, предъявляемым к очищенной воде (сброс в водоём, оборотное использование). Особую значимость для предприятий нефтегазового комплекса, таких как морской терминал, приобретают сооружения для обработки нефтесодержащих, кустовых и высокоминерализованных стоков. Дальнейшее развитие связано с интенсификацией процессов, внедрением автоматизированных систем контроля и управления, а также с интеграцией

технологий, позволяющих минимизировать образование отходов и максимизировать степень использования водных ресурсов в замкнутых циклах. Понимание функционального назначения и принципов работы каждого типа сооружений создает основу для комплексного анализа и оценки эффективности действующей системы очистки, что является следующей задачей данного исследования.

2 Комплексная характеристика производственной деятельности предприятия ООО «РН- Морской терминал Туапсе»

2.1 Характеристика производственной деятельности предприятия ООО «РН- Морской терминал Туапсе» как источник образования сточных вод

ООО «РН-Т Морской терминал Туапсе» как крупнейший перевалочный узел нефтепродуктов на юге России представляет собой сложный промышленный объект, чья деятельность неизбежно связана с образованием значительного объема разнородных сточных вод. Процессы приема, хранения и отгрузки светлых нефтепродуктов, осуществляемые в масштабах до 10 миллионов тонн в год, формируют специфические источники загрязнения водной среды. Характер и интенсивность образования стоков напрямую зависят от технологических операций, инфраструктурных особенностей терминала (резервуарных парков, сливо-наливных эстакад, причальных комплексов) и даже климатических факторов. Поэтому анализ производственной деятельности предприятия в контексте образования сточных вод является необходимым фундаментом для последующей оценки адекватности и эффективности существующей системы очистки. Данный раздел посвящен идентификации и характеристике всех источников сточных вод на территории терминала, а также анализу их качественного состава, что позволит в дальнейшем соотнести применяемые методы очистки с реальной структурой и степенью загрязненности водных потоков.

ООО «РН-Т Морской терминал Туапсе» занимает стратегически важное положение, являясь крупнейшим на юге России узлом по перевалке светлых нефтепродуктов с ежегодным грузооборотом порядка 10 миллионов тонн. Предприятие, ведущее свою историю с 1928 года, осуществляет комплексный цикл операций с нефтепродуктами, включая их прием, хранение и отгрузку различными видами транспорта (рисунок 2.1) [23].

Основная деятельность терминала заключается в приемке сырья, поступающего по железнодорожным магистралям и трубопроводам от

Туапсинского НПЗ, его временном хранении в резервуарных парках и последующей отгрузке. Продукция поставляется на экспорт через морские причалы, а также на внутренний рынок посредством железнодорожных цистерн, автотранспорта и сети автозаправочных станций в регионе. В 2022 году объем перевалки составил 16,5 миллионов тонн, что подтверждает высокую производственную мощность объекта.

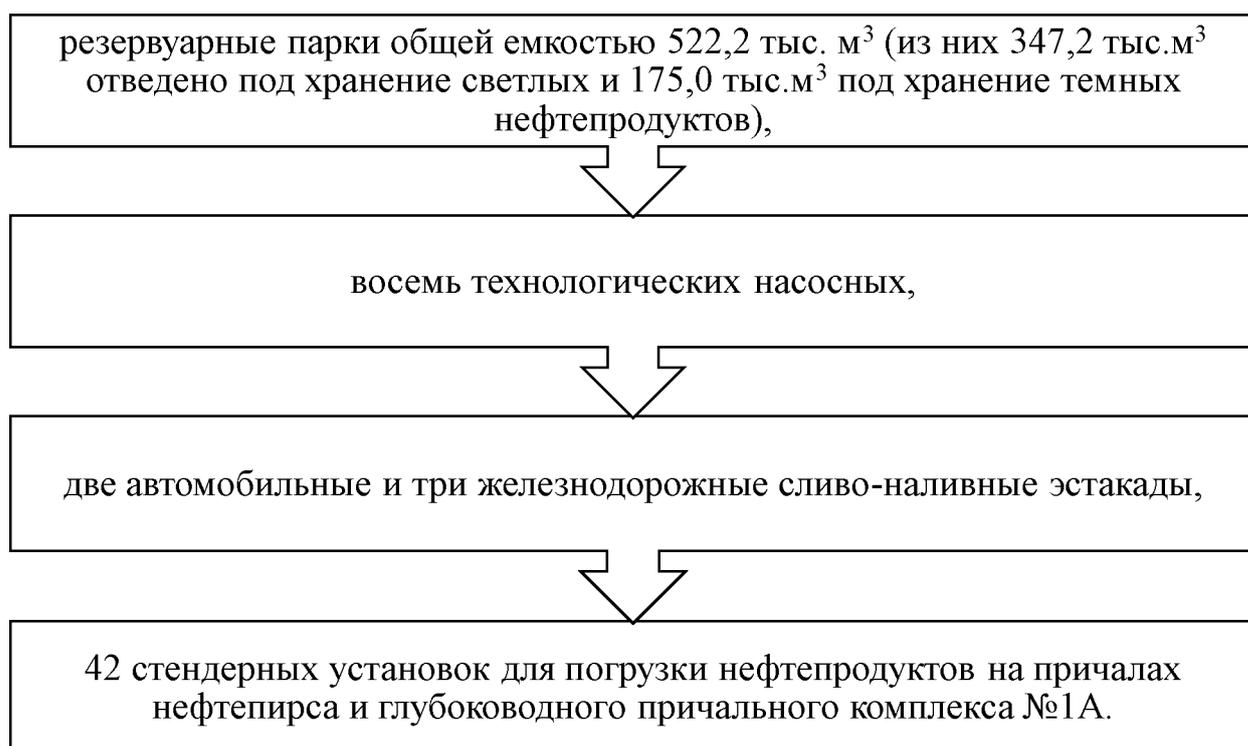


Рисунок 2.1 – Источники образования загрязнений на предприятии

Производственная площадка Общества разделена рекой Туапсе на две части и занимает площадь более 48 га в застроенной части города Туапсе.

Территориально предприятие разделено на две функциональные зоны, расположенные на противоположных берегах. На правом берегу размещены ключевые грузовые фронты: сливо-наливные эстакады для железнодорожного и автомобильного транспорта, обслуживающие их насосные станции и вспомогательные сооружения. Левосторонняя зона отведена под резервуарные парки для хранения нефтепродуктов, административно-хозяйственный комплекс и вспомогательные цеха. Технологическое единство двух берегов обеспечивается трубопроводными мостами-эстакадами и совмещенным

автомобильным мостом. Южная граница предприятия непосредственно примыкает к акватории Черного моря, где расположены глубоководные причалы.

На рисунке 2.2 представлена схема размещения производственных площадок предприятия.

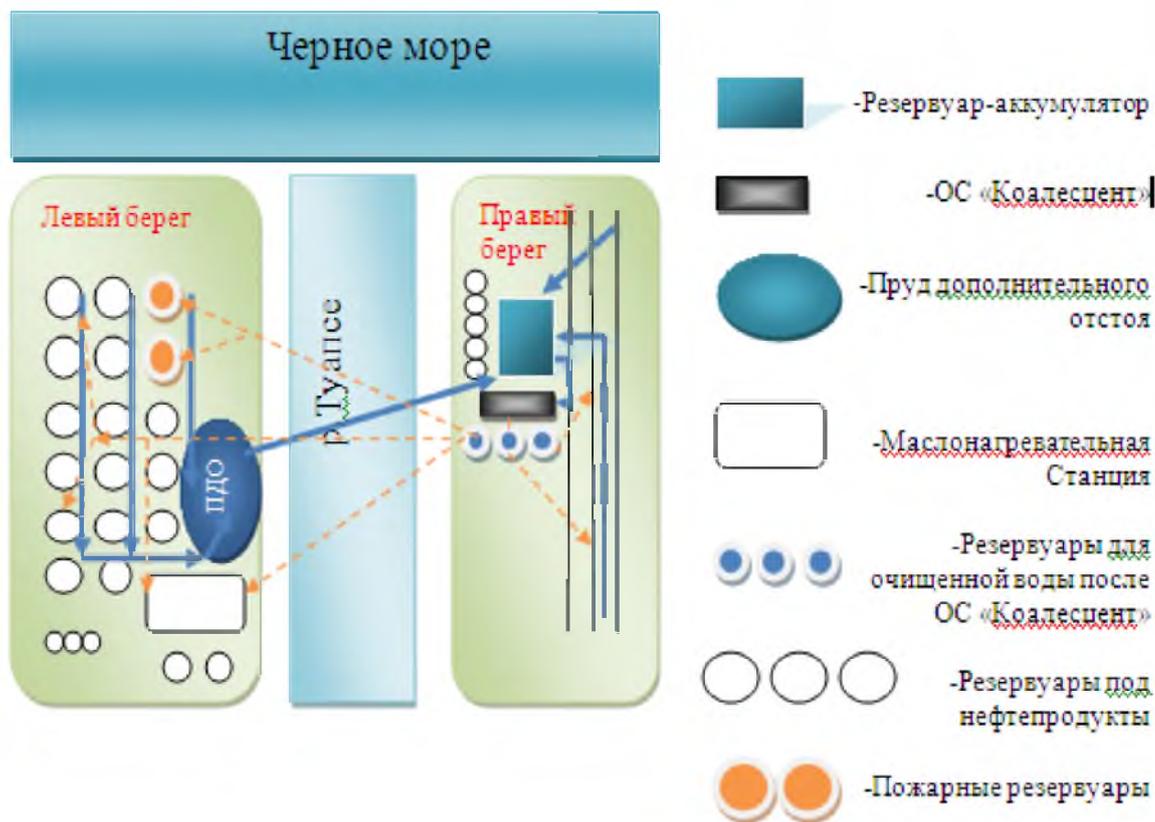


Рисунок 2.2 – Схема размещения производственных площадок предприятия

Материально-техническая база терминала включает четыре резервуарных парка с емкостями от 5 до 20 тысяч кубических метров, развитую систему технологических трубопроводов, мощные насосные станции и специализированное оборудование для операций с нефтепродуктами. Важной особенностью современных резервуаров, построенных по принципу «стакан в стакане» (двойные стенки), является повышенная экологическая безопасность [15]. Такая конструкция минимизирует риск аварийных разливов и значительно сокращает выбросы паров нефтепродуктов в атмосферу, что соответствует современным природоохранным требованиям (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3– Резервуары с нефтепродуктами

Современные экологические требования обусловили внедрение на предприятии технических решений, направленных на минимизацию воздействия на окружающую среду. Особое внимание уделяется резервуарным паркам. Для сокращения испарения нефтепродуктов и предотвращения образования взрывоопасных паровоздушных смесей резервуары оснащены специальными понтонными крышами. Эти конструкции, представляющие собой плавающие на поверхности жидкости щиты, существенно уменьшают площадь зеркала испарения. Дополнительную термоизоляцию обеспечивает утепление стенок и обшивка резервуаров профнастилом со специальным покрытием. В результате даже для крупногабаритных емкостных сооружений (диаметром 60-100 метров) газовое пространство над понтоном не превышает 15 см, а образующиеся пары улавливаются системами газоуравнивания, что практически исключает их выброс в атмосферу.

Водоотведение на территории терминала организовано по отдельной схеме, что является стандартом для объектов повышенной экологической опасности. Это позволяет дифференцированно управлять потоками разной

степени загрязненности и оптимизировать работу очистных сооружений. Действуют следующие независимые сети:

Производственно-дождевая канализация – принимает наиболее загрязненные стоки. К ним относятся воды от мойки технологических площадок и оборудования, ливневые стоки с площадок хранения, аварийные и подтоварные воды. Характеризуются высокими концентрациями: нефтепродукты – 700-1000 мг/л, взвешенные вещества – до 600 мг/л.

Канализация условно-чистых (дождевых) стоков – собирает атмосферные осадки с территорий, не связанных с непосредственными технологическими операциями (например, с кровель, автодорог). Загрязнение здесь существенно ниже (нефтепродукты – около 20 мг/л), что потенциально позволяет упростить схему их очистки.

Канализация осадка – предназначена для транспортировки высококонцентрированных шламов, образующихся при периодической зачистке резервуаров. По составу эти стоки близки к наиболее загрязненным производственным.

Бытовая канализация – отводит хозяйственно-бытовые стоки от административных и вспомогательных зданий. Этот поток, как правило, направляется в городские очистные сооружения.

Качественный состав стоков, представленный в сводных данных, подтверждает обоснованность отдельного сбора. Наибольшую экологическую опасность представляют стоки производственно-дождевой сети и сети осадка, требующие многостадийной физико-химической и биологической очистки.

Масштабная модернизация терминала, инициированная в 1994 году и находящаяся на завершающей стадии, имеет ярко выраженную экологическую составляющую. Помимо увеличения грузооборота, ключевыми целями реконструкции являются сокращение эксплуатационных потерь нефтепродуктов и снижение комплексной нагрузки на атмосферный воздух, почвы и акваторию. Это достигается за счет внедрения современных герметичных технологий, автоматизации процессов и строительства

высокоэффективных очистных сооружений. Таким образом, экологическая безопасность, основанная на принципах предотвращения загрязнения и использования наилучших доступных технологий, является неотъемлемым элементом корпоративной стратегии и операционной деятельности Общества.

Проведенный анализ позволяет заключить, что производственная деятельность ООО «РН-Т Морской терминал Туапсе» формирует сложную и неоднородную структуру сточных вод, что типично для крупных объектов нефтетранспортной инфраструктуры. Ключевыми выявленными источниками загрязнения являются операции по обслуживанию резервуарного парка (подтоварные, промывочные, зачистные воды), ливневые стоки с промышленно насыщенных площадок, а также потенциальные аварийные и дренажные воды. Организация раздельной системы водоотведения (производственно-дождевой, условно-чистой, для осадков и бытовой) является логичным и современным решением, позволяющим дифференцированно подходить к обработке потоков с кардинально разной степенью загрязнения — от высококонцентрированных нефтесодержащих шламов до относительно чистых атмосферных осадков.

Качественные характеристики стоков, в особенности производственно-дождевых и стоков осадка, демонстрируют высокие концентрации нефтепродуктов (до 1000 мг/л) и взвешенных веществ, что предъявляет чрезвычайно жесткие требования к надежности и эффективности очистных сооружений. Положение терминала в непосредственной близости к акватории Черного моря многократно повышает экологические риски, связанные с любыми сбоями в системе водоочистки. Таким образом, предприятие выступает не просто как источник образования сточных вод, а как объект, где экологическая безопасность напрямую зависит от корректной работы всего технологического цикла — от мер по предотвращению разливов (принцип «стакан в стакане», понтоны) до финальной глубокой очистки. Полученные данные о видах, объемах и составе сточных вод создают объективную основу для детального исследования и критической оценки существующей на терминале системы очистки, которая будет рассмотрена в следующем разделе.

2.2 Характеристика существующей системы очистки сточных вод ООО «РН- Морской терминал Туапсе»

Существующая система очистки сточных вод на ООО «РН-Т Морской терминал Туапсе» представляет собой исторически сложившийся комплекс, сформированный в процессе поэтапного строительства и модернизации предприятия. Её структура и принципы работы напрямую обусловлены характеристиками производственной деятельности, рассмотренными в предыдущем разделе, а также территориальной раздробленностью объекта, расположенного на двух берегах реки Туапсе. В результате реконструкции часть устаревших мощностей была выведена из эксплуатации, и текущая система базируется на ключевых узлах: центральной нефтеловушке левого берега и комплексе сооружений правого берега, включающем установку глубокой доочистки «Коалесцент». Данный раздел посвящен детальному анализу технологической схемы, конструктивных особенностей и принципов работы всех элементов этой системы, что позволит в дальнейшем объективно оценить её эффективность и выявить потенциальные направления для модернизации.

На предприятии ООО «РН-Т Морской терминал Туапсе» система очистки сточных вод имеет территориально распределенную структуру, обусловленную географическим расположением объектов на обоих берегах реки Туапсе. В результате проводимой реконструкции часть устаревших мощностей была выведена из эксплуатации, и в настоящее время функционируют ключевые узлы: центральная нефтеловушка на левом берегу, а также комплекс на правом берегу, включающий нефтеловушку и установку глубокой доочистки «Коалесцент». Такая организация позволяет эффективно обрабатывать стоки, образующиеся в различных технологических зонах.

Локальные очистные сооружения правого берега представляют собой законченный технологический комплекс, который можно разделить на несколько функциональных модулей. Первичный прием и аккумуляцию стоков

обеспечивают насосная станция технического водоснабжения, приемный резервуар и 12-секционный резервуар-аккумулятор объемом 5000 м³. Далее поток через распределительную камеру и канализационную насосную станцию направляется на стадию механической очистки, где установлена песколовка для задержания минеральных взвесей.

Основную нагрузку по удалению нефтепродуктов и тонкодисперсных примесей берет на себя установка «Коалесцент», принцип работы которой основан на процессе коалесценции – укрупнении капель нефти с последующим их отделением. Для сбора побочных продуктов процесса предусмотрены специализированные резервуары: для осадка (100 м³) и для уловленного нефтепродукта (200 м³). Очищенная вода аккумулируется в резервуарах объемом 400 м³ перед повторным использованием.

Технологическая цепочка начинается с поступления загрязненных стоков от железнодорожных эстакад, производственных площадок и дренажных систем в промливневую сеть канализации. Вода самотеком поступает в резервуар-аккумулятор, где происходит ее усреднение по составу и расходу, что является важным условием стабильной работы последующих стадий. После предварительного отстаивания технологические насосы перекачивают стоки на установку «Коалесцент» для глубокой доочистки. Конечным этапом является направление очищенных стоков в технический трубопровод для использования в производственном цикле предприятия, что реализует принцип замкнутого водопользования и соответствует современным требованиям ресурсосбережения (рисунок 2.4).

Таким образом, очистные сооружения правого берега представляют собой современный технологический комплекс, сочетающий традиционные методы механической очистки с инновационными физико-химическими процессами, что позволяет обеспечить эффективную очистку производственно-дождевых стоков до уровня, соответствующего требованиям их повторного использования.

Очищенные на установке «Коалесцент» сточные воды в финале

технологического цикла направляются в трубопровод канализационной сети МУП «ЖКХ г.Туапсе» для проведения заключительной стадии доочистки на муниципальных сооружениях. Регулярный мониторинг качества воды на выходе с очистных сооружений осуществляется силами аккредитованной испытательной химической лаборатории предприятия в строгом соответствии с утвержденными планами-графиками производственного экологического контроля.

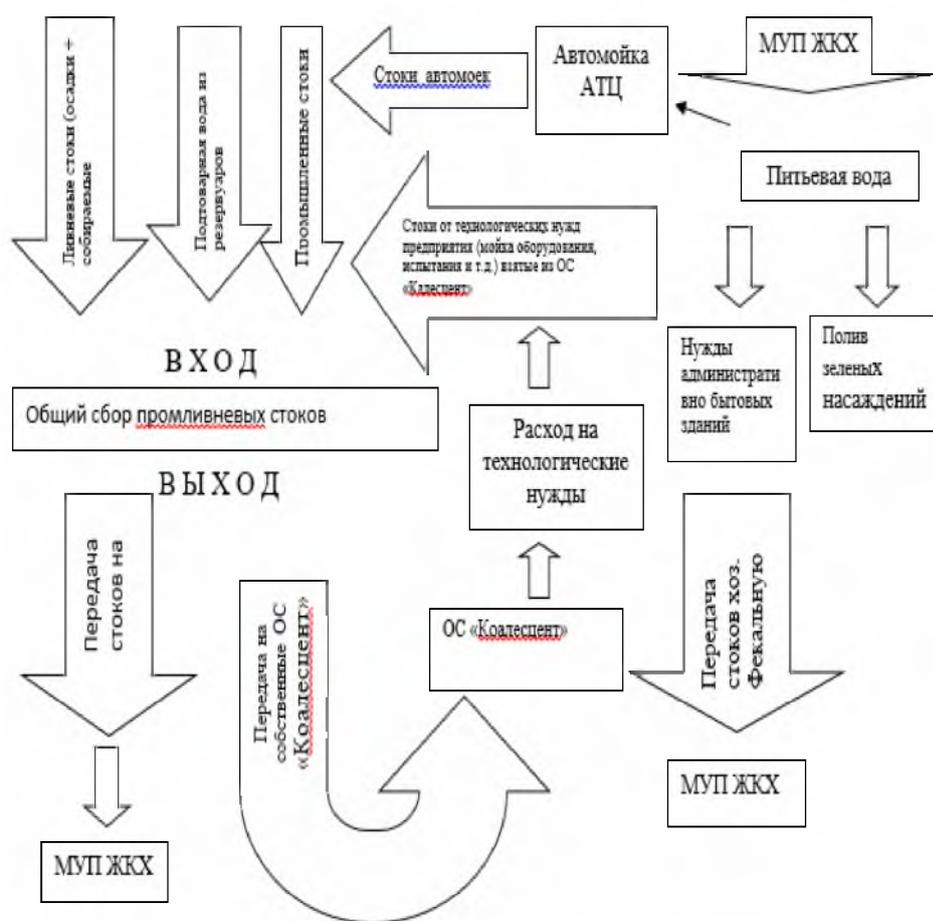


Рисунок 2.4 – Схема водоотведения и водопотребления ООО «РН- Морской терминал Туапсе»

Основной объем нефтесодержащих стоков формируется на производственной площадке за счет двух ключевых источников. Первый — атмосферные осадки, которые, выпадая на технологические территории, смывают с поверхностей загрязнения, представленные преимущественно нефтепродуктами, механическими взвешивами и соединениями железа. Второй

источник — подтоварные воды, систематически удаляемые из резервуаров товарного парка для поддержания качества хранимой продукции.

Технологическая схема очистки стоков левого берега и устройство «Коалесцент». Сточные воды, образующиеся на левом берегу, по сетям промышленно-ливневой канализации самотеком поступают в центральную нефтеловушку. В этом сооружении происходит первичная гравитационная очистка, в ходе которой отделяется основная масса свободных нефтепродуктов и взвешенных веществ методом отстаивания. После этого предварительно очищенный поток объединяется со стоками от железнодорожных эстакад и перекачивается на установку глубокой доочистки «Коалесцент».

Данная установка представляет собой комплекс из двух параллельных технологических линий производительностью 1000 м³/сут каждая. Процесс очистки в них является многоступенчатым. Первая ступень — первичный коалесцирующий фильтр с загрузкой из стеклянных шариков, предназначенный для укрупнения и отделения эмульгированных частиц нефтепродуктов. Далее поток проходит через аэраторы, где осуществляется дополнительное отделение мелкодисперсной фазы. Последующая очистка происходит во вторичном коалесцирующем фильтре с загрузкой из шариков меньшего диаметра, что обеспечивает более тонкое разделение. Финальная ступень — сорбционные фильтры с наполнителем из мелкопористого активированного угля, которые задерживают остаточные растворенные органические соединения.

Эволюция системы: от сброса к оборотному водоснабжению. До 2010 года очищенная вода после «Коалесцента» сбрасывалась в акваторию Черного моря через глубоководный выпуск, принадлежащий городскому водоканалу. Коренной перелом в водопользовании предприятия произошел после ввода в эксплуатацию III пускового комплекса на правом берегу, который включил три резервуара для сбора очищенной воды (РВС-400) и насосную станцию технического водоснабжения. Это позволило полностью прекратить сброс в море и перейти на замкнутую систему оборотного водоснабжения, используя очищенные стоки для собственных производственных нужд. Данная

система функционирует с декабря 2010 года, что является значимым достижением в области ресурсосбережения и экологической безопасности.

Контроль качества сточных вод, согласно утвержденных планов-графиков, проводится испытательной химической лабораторией предприятия (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Оценка концентрации химических показателей сточных вод

Место отбора проб	Наименование загрязняющего вещества	Концентрация загрязняющих веществ, мг/дм ³
Центральная нефтеловушка-вход	Нефтепродукты	76,05
ОС «Коалесцент»-вход	Нефтепродукты	37,39
	взвешенные вещества	7,6
	железо общее	1,44
	АПАВ	0,179
ОС «Коалесцент»-выход	Нефтепродукты	0,1
	взвешенные вещества	1,0
	железо общее	0,15
	АПАВ	0,02

Ежегодный объем стоков, проходящих очистку непосредственно на сооружениях «Коалесцент», составляет в среднем 265 тысяч кубических метров. Однако значительная часть образующихся на терминале промышленно-ливневых вод (по данным 2022 года — 628 018 м³) передается по договору специализированному предприятию ООО «Нафта-Т», которое осуществляет их прием, очистку и последующий сброс в водоем в соответствии с установленными нормативами. Как показывают данные лабораторного контроля, ключевыми загрязняющими веществами в сточных водах терминала являются нефтепродукты, взвешенные вещества, общее железо и анионные поверхностно-активные вещества (АПАВ), на удаление которых и ориентирована применяемая технологическая схема (таблица 2.2).

Значительные ежегодные затраты предприятия, составляющие порядка 46.5 млн рублей на очистку сточных вод с привлечением сторонней организации, формируют веское экономическое обоснование для поиска более эффективных технических решений. Данный финансовый фактор актуализирует задачу внутренней оптимизации, в частности, для потока

промливневых вод, образующихся на левобережной производственной площадке. Разработка альтернативной технологической схемы должна базироваться на комплексном анализе как химического состава стоков, так и требований к конечному качеству очищенной воды, будь то сброс в водный объект или повторное использование в системе оборотного водоснабжения.

Таблица 2.2 - Объемы сточных вод, переданных на очистные сооружения ООО «Нафта-Т» в 2022 году

Месяц	Объем сточных вод, переданных на очистку в ООО «Нафта-Т», м ³	Стоимость услуги, тыс. руб.
Январь	59530,0	4366,0
Февраль	62420,0	4578,0
Март	61370,0	4501,0
Апрель	74838,0	6007,0
Май	89080,0	6533,0
Июнь	63220,0	4637,0
Июль	53290,0	3908,0
Август	24460,0	1794,0
Сентябрь	21100,0	1547,0
Октябрь	52940,0	3836,0
Ноябрь	28010,0	2029,0
Декабрь	37760,0	2736,0
Итого	628018,0	46472,0

Ключевыми целевыми загрязнителями в данном случае традиционно выступают взвешенные вещества и нефтепродукты, присутствующие в различных физических формах. Поскольку до 90% углеводов часто ассоциировано с поверхностью взвешенных частиц, логичным и экономически оправданным первым этапом любой схемы является гравитационное отстаивание. Этот безреагентный метод позволяет удалить основную массу грубодисперсной фазы вместе со сорбированными на ней нефтепродуктами, обеспечивая существенное снижение нагрузки на последующие стадии.

Для достижения требуемых нормативов по взвесям и, особенно, по эмульгированным формам нефтепродуктов необходима более глубокая очистка. Эффективным решением здесь выступает реагентная обработка с применением коагулянтов и флокулянтов, интенсифицирующая процесс осаждения тонкодисперсных коллоидных частиц. Последующее фильтрование

через загрузки из природных или синтетических материалов обеспечивает финишное осветление. В случаях, когда стоки содержат значительное количество легких примесей, таких как эмульгированные масла или частицы с плотностью, близкой к воде, перед фильтрацией целесообразно внедрить флотационный процесс. Напорная флотация, в частности, позволяет эффективно отделить данные загрязнения, предварительно агрегированные реагентами.

Снижение концентрации растворенных органических соединений, оцениваемых по показателям ХПК и БПК, может потребовать включения в схему биологической ступени. Промливневые стоки после механической и физико-химической очистки могут направляться либо на совместную обработку с другими потоками предприятия, либо на локальные биоочистные сооружения. Современные технологии, такие как биофильтры с иммобилизованной микрофлорой на стационарных или подвижных носителях, обеспечивают компактность и устойчивость процесса биодegradации.

Завершающая, наиболее ответственная стадия – глубокая доочистка – имеет целью доведение концентраций растворенных загрязнений, включая остаточные нефтепродукты, фенолы, ПАВ, ионы тяжелых металлов и аммонийный азот, до строгих нормативов ПДК. Для этого в технологическую схему интегрируются специализированные методы: сорбция на активных углях, ионный обмен, озонирование или их комбинации, например, биосорбция. Таким образом, проектирование оптимальной схемы для ООО «РН-Т Морской терминал Туапсе» (рисунок 2.5) должно представлять собой иерархическую комбинацию перечисленных методов, где каждый последующий блок устраняет те загрязнения, которые оказались неуловимы для предыдущих стадий, обеспечивая при этом экономическую и операционную целесообразность.

Для достижения нормативов ПДК по специфическим органическим соединениям, таким как фенолы, формальдегид или ПАВ, в технологическую схему включаются узлы глубокой доочистки. Наиболее эффективными

методами на этом этапе являются озонирование, сорбция на активных углях и биосорбция, сочетающая биологическое окисление с сорбционным захватом. Если же требуется удаление ионов тяжелых металлов или аммонийного азота, применяются ионообменные установки, работающие, как правило, на синтетических катионитах в натрий-катионитовом режиме, либо на природных ионообменных материалах.

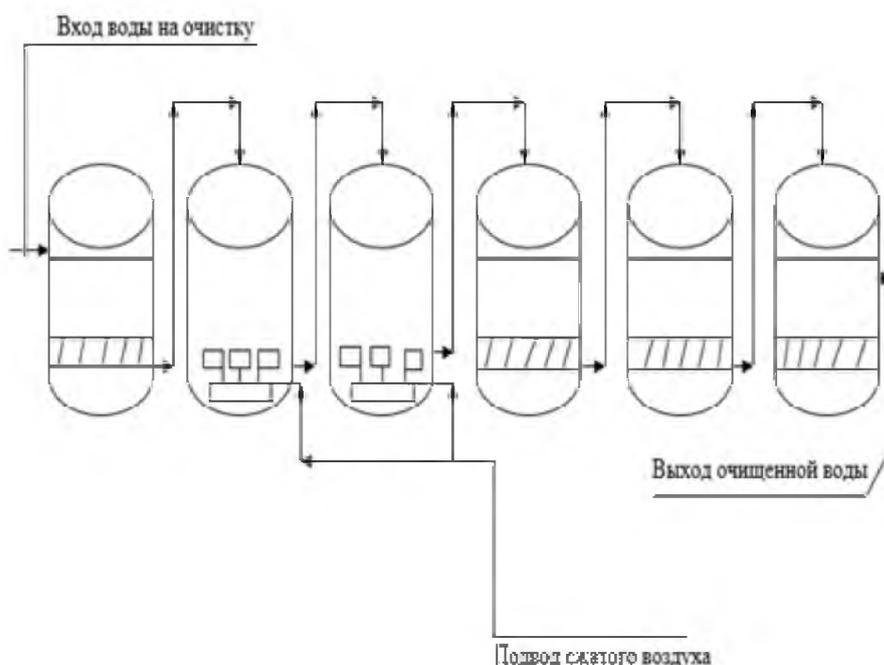


Рисунок 2.5 – Принципиальная схема линии очистки производственных стоков ООО «РН- Морской терминал Туапсе»

Выбор конкретного метода и типа сооружений является комплексной инженерной задачей, зависящей не только от требуемой степени очистки и производительности, но и от гидрогеологических условий площадки — рельефа, уровня грунтовых вод и наличия свободной территории. Любая технологическая схема, независимо от масштаба, должна также включать в себя продуманные решения по сбору, удалению и дальнейшей обработке образующихся осадков и всплывающих веществ.

Механическая очистка, являясь фундаментальным первым этапом, основана на гравитационном разделении фаз. Процесс отстаивания, длящийся 1-2 суток, позволяет достичь значительного снижения концентраций:

взвешенных веществ и нефтепродуктов — на 80-90%, органических веществ по БПК₂₀ — на 60-80%, по ХПК — на 80-90% [8]. Однако присутствие мелкодисперсных частиц с низкой гидравлической крупностью (<0.2 мм/с) ограничивает эффективность, оставляя в осветленной воде взвеси (50-200 мг/дм³) и нефтепродукты (от 0.5-10 мг/дм³ с селитебных территорий до 50 мг/дм³ с промышленных площадок). В качестве сооружений механической очистки применяются горизонтальные и радиальные отстойники, нефтеловушки, аккумулирующие емкости и пруды-накопители, в которых осаждение происходит в проточном режиме при минимальной скорости движения воды. Экономическая целесообразность делает отстаивание предпочтительным первичным методом для снижения нагрузки на последующие, более энергоемкие стадии.

Фильтрация представляет собой процесс тонкого разделения неоднородных систем путем пропуска жидкости через пористую перегородку под действием перепада давления. Эффективность фильтрации определяется свойствами фильтрующего материала, составом сточной воды и гидродинамическим режимом. В промышленной практике широко используются фильтры с зернистыми загрузками из песка, керамзита, пенополиуретана и других материалов.

Для стоков с высоким содержанием нефтепродуктов особую актуальность приобретают коалесцирующие фильтры. Принцип их работы основан на явлении коалесценции — слиянии мелких диспергированных капель нефти при контакте со специальной поверхностью загрузки (например, из стеклянных шариков или полимерных гранул) с образованием более крупных капель, которые затем легко отделяются гравитационно. В процессе работы на поверхности загрузки формируется пленка из уловленных нефтепродуктов. Накопление твердых механических примесей вместе с нефтью в межгранулярном пространстве может приводить к забиванию фильтрующего слоя и снижению производительности установки, что требует организации периодической промывки или регенерации загрузки [8, с. 203].

Среди технологий доочистки нефтесодержащих стоков особое место занимают коалесцирующие фильтры с зернистой или гранулированной загрузкой. Их эксплуатационные преимущества заключаются в высокой скорости фильтрации, минимальных потерях напора, увеличенном межрегенерационном периоде, а также в простоте обслуживания и восстановления рабочего цикла. Важным свойством данных установок является устойчивость к колебаниям состава и концентрации эмульсии, что позволяет им сохранять высокую эффективность в широком диапазоне технологических параметров. Ключевым условием их эффективной работы служит ярко выраженная гидрофобность поверхности загрузки. Данное требование может быть удовлетворено либо применением синтетических полимерных материалов (полиэтилен, полипропилен, фторопласт), изначально обладающих низкой смачиваемостью водой, либо специальной гидрофобизирующей обработкой природных или искусственных материалов, таких как песок или керамзит. Использование высокопористых (до 95%) синтетических загрузок позволяет не только интенсифицировать процесс, но и снизить эксплуатационные расходы по сравнению с традиционными зернистыми фильтрами.

Для удаления растворенных органических соединений, особенно после биологической очистки или в случае их токсичности и биостойкости, широко применяются адсорбционные методы. Локальные адсорбционные установки становятся экономически целесообразными при относительно невысоких исходных концентрациях загрязнителей и их хорошей сорбируемости. Эффективность данного способа может достигать 80-95%, что определяется как свойствами адсорбента (природой материала, развитостью и доступностью поверхности), так и химическим строением извлекаемого вещества. Наиболее универсальными сорбентами являются активные угли различных марок (БАУ, КАД-йодатный), в то время как применение многих минеральных сорбентов (силикагели, шлаки) ограничено из-за их высокой гидрофильности.

Актуальность модернизации существующей системы.

Существующие очистные сооружения ООО «РН-Т Морской терминал

Туапсе» вводились поэтапно и исторически были рассчитаны на обработку дождевых и промышленных стоков с территории предприятия. Однако в современных условиях они не способны обеспечить полную очистку образующегося объема сточных вод в рамках экономически приемлемых затрат. Значительные расходы на стороннюю утилизацию части стоков подтверждают необходимость технического перевооружения. Решением может стать внедрение локальной, компактной системы доочистки промливневых стоков, интегрированной в действующую инфраструктуру. Это позволит существенно сократить финансовую нагрузку, обеспечив при этом соблюдение всех экологических нормативов.

Перспективным направлением являются блочно-модульные очистные установки, которые в едином корпусе объединяют несколько последовательных стадий механической и физико-химической обработки [22]. В качестве примера можно рассмотреть установки серии «Векса», предлагаемые в двух основных модификациях. Выбор модификации определяется конечной точкой сброса очищенной воды. Установка «Векса-М» с двухступенчатой сорбционной очисткой применяется в наиболее жестких случаях — при сбросе в водные объекты рыбохозяйственного значения или на рельеф. Если же очищенные стоки направляются в городскую канализационную сеть, достаточным решением является базовая модификация «Векса» с одноступенчатой сорбцией (таблица 2.3). Такой модульный подход обеспечивает гибкость, масштабируемость и позволяет адаптировать технологическую схему под конкретные нужды предприятия.

Таблица 2.3 – Характеристика очистки поверхностных стоков

Наименование загрязнителя	Единица измерения	До очистки	После очистки
Взвешенные вещества	мг/л	700	3 -5
Нефтепродукты	мг/л	70	0,3 (0,05 для «Векса - М»)
БПК5	мгО2/л	30	2

Предлагаемые к рассмотрению блочно-модульные очистные сооружения характеризуются комплексом преимуществ, определяющих их технологическую и экономическую привлекательность. Ключевым

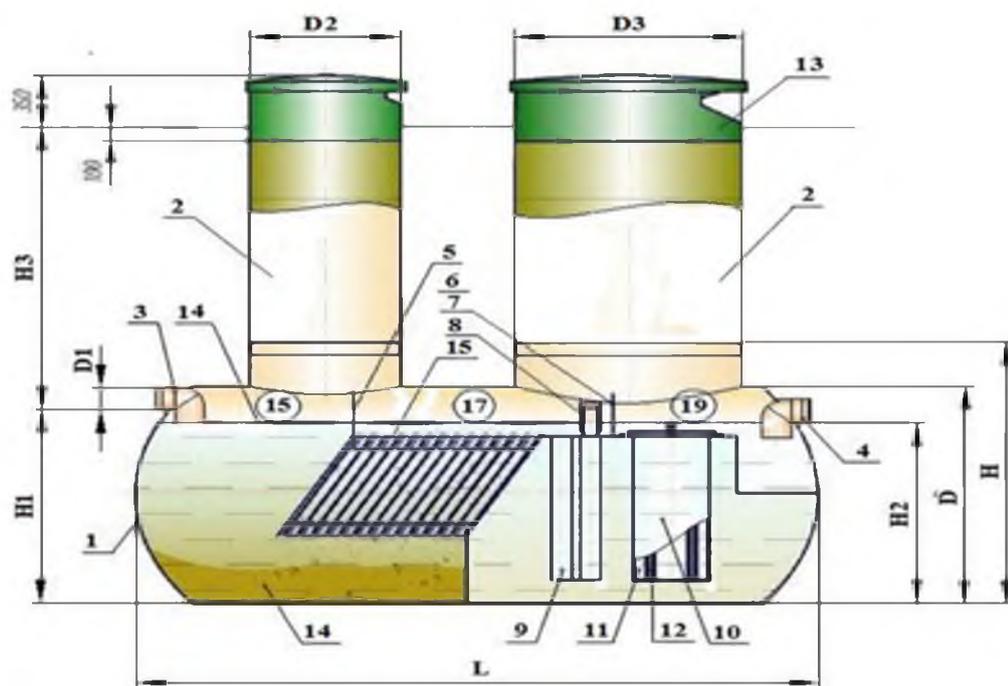
достоинством является достижение высокой степени очистки при значительной производительности, что обеспечивает соответствие жестким современным нормативам. Конструктивная компактность, достигнутая за счет интеграции всех технологических стадий в единый блок, позволяет минимизировать занимаемую площадь, что особенно критично для действующих предприятий с ограниченным свободным пространством. Установки обладают широким типоразмерным рядом, обеспечивая масштабируемость под конкретные нужды.

Эксплуатационные характеристики отличаются простотой обслуживания и гибкостью: система может работать как в самотечном, так и в напорном режимах. Высокая коррозионная стойкость оборудования, часто выполняемого из стеклопластика, гарантирует долговечность (срок службы может достигать 50 лет) и надежность. Варианты поверхностного или подземного монтажа, включая исполнение в блок-контейнере, предоставляют широкие возможности для интеграции в существующую инфраструктуру. Использование современных тонкослойных модулей, специально разработанных для очистки ливневого стока, повышает эффективность разделения фаз. Дополнительными преимуществами являются простота замены внутренних фильтрующих элементов и эстетичный внешний вид, что немаловажно для объектов, расположенных в городской черте.

Конструкция и технологический процесс установки Система представляет собой единую герметичную блочно-модульную конструкцию в стеклопластиковом корпусе, разделенную внутренними перегородками на несколько функциональных отсеков, и оснащенную техническими колодцами для обслуживания.

Технологический процесс очистки в установке типа «Векса» является многоступенчатым и последовательным (рисунок 2.6). Первичной стадией служит песколовка, где происходит гравитационное отделение крупных минеральных примесей (песка) и всплытие пленочных нефтепродуктов. Далее поток направляется в тонкослойный блок (отстойник). За счет организации ламинарного потока воды и большой площади осаждения в этом модуле

эффективно задерживаются мелкодисперсные взвешенные вещества и частицы нефтепродуктов.



1 - корпус (стеклопластик); 2 - смотровой колодец с люком; 3 - входной патрубок с раструбным соединением; 4 - выходной патрубок с раструбным соединением; 5 - первая перегородка; 6 - тонкослойный блок; 7 - вторая перегородка; 8 - обводной байпас; 9 - сорбционный фильтр одноступенчатый или двухступенчатый (для Векса - М); 10 - сорбционный материал первой ступени очистки; 11 - сорбционный материал второй ступени очистки (для Векса - М); 12 - люк; 13 - зона накопления осадка; 14 - зона накопления нефтепродуктов; 15 - песколовка; 16 - тонкослойный отстойник; 17 - зона фильтрации

Рисунок 2.6 – Моноблок модели «Векса»

Поступающие на очистку поверхностные сточные воды, в зависимости от конфигурации сети, самотеком или под напором направляются через входной патрубок в первый технологический модуль – песколовку. В этом блоке осуществляется гравитационное осаждение наиболее крупных минеральных частиц, чья гидравлическая крупность превышает 15 мм/с. Движение водного потока организовано снизу вверх со скоростью, недостаточной для уноса целевых взвесей, в результате чего песок аккумулируется в придонной зоне для последующей периодической эвакуации.

Предварительно осветленная вода через переливную систему поступает в следующий узел – блок тонкослойного отстаивания. Его конструктивной основой является пакет наклонных (под углом 60°) полимерных пластин,

которые разделяют общий поток на множество тонких ламинарных слоев. Такое решение обеспечивает значительное увеличение эффективной площади осаждения при минимальных габаритах сооружения. Малая высота осаждения частиц в каждом канале не только ускоряет их седиментацию, но и способствует процессам коагуляции. Осаждаемые взвеси сползают по пластинам в шламосборную зону, в то время как осветленная вода движется вверх на следующую стадию. Следует отметить, что часть нефтепродуктов, сорбированных на поверхности взвешенных веществ, также удаляется на этом этапе. Накопленный осадок выгружается с помощью ассенизационной техники, как правило, 1-2 раза в год, что определяется фактической загрязненностью поступающих стоков.

Дальнейшая очистка от диспергированных углеводородов происходит в коалесцирующем блоке. Фильтрующий элемент, выполненный из гидрофобных полипропиленовых волокон, обеспечивает сближение и слияние (коалесценцию) мельчайших эмульгированных капель нефтепродуктов. Укрупненные капли, теряя кинетическую устойчивость, всплывают на поверхность, где накапливаются и впоследствии удаляются. Данный блок также выполняет функцию дополнительного осветления воды.

Для финального извлечения эмульгированных и растворенных форм нефтепродуктов вода направляется в сорбционный фильтр. В зависимости от производительности и требований к качеству очистки, применяется одно- или двухступенчатая схема. Фильтрующие элементы представляют собой цилиндрические картриджи, образующие полости, заполненные высокоэффективным сорбентом. В качестве последнего используется либо нетканый полиэфирный материал со специальной гофрированной структурой, обеспечивающей высокую ёмкость за счет капиллярных эффектов, либо эластичный пенополиуретан с открытоячеистой структурой, характеризующийся выраженной гидрофобностью и механической прочностью [8]. В модификациях для глубокой доочистки может применяться и активированный уголь с удельной поверхностью до 900 м²/г, обеспечивающий

удаление наиболее трудноуловимых примесей. Сорбционная способность материалов постепенно истощается, что требует плановой замены фильтрующих элементов, обычно с периодичностью около одного года.

Эксплуатация и техническое обслуживание установки «Векса» регламентирована и включает комплекс периодических процедур для поддержания проектной эффективности. Ежемесячный контроль предусматривает визуальную проверку работы всех функциональных отсеков. Более глубокое сервисное обслуживание заключается в удалении всплывшего нефтепродукта, очистке датчиков уровня, откачке осадка из песколовки, а также в промывке пластин тонкослойного модуля и коалесцирующего сепаратора. Такая система обслуживания обеспечивает надежную и длительную эксплуатацию всего комплекса.

Таким образом, существующая система очистки сточных вод ООО «РН-Т Морской терминал Туапсе» является комбинированной и территориально распределенной. Её ядром на правом берегу выступает современный технологический комплекс с установкой «Коалесцент», обеспечивающей многоступенчатую физико-химическую очистку (коалесценция, аэрация, сорбция) производственно-дождевых стоков. Существенным достижением является организация замкнутого оборотного водоснабжения с 2010 года, позволившая полностью прекратить сброс очищенных вод правого берега в акваторию Черного моря и использовать их на собственные нужды. На левом берегу основную нагрузку по первичной очистке несет центральная нефтеловушка.

Ключевым выводом анализа является констатация того, что действующие мощности не способны обеспечить полную очистку всего объема образующихся сточных вод. Значительная часть промливневых стоков (порядка 628 тыс. м³ в 2022 году) передается на обработку сторонней организации — ООО «Нафта-Т», что ведет к существенным ежегодным затратам (около 46.5 млн рублей). Данный факт, наряду с наличием устаревших элементов инфраструктуры, четко указывает на необходимость технического

первооружения. Выявленные «узкие места» и экономические предпосылки формируют основу для разработки конкретных предложений по модернизации, направленных на повышение экологической и экономической эффективности всей системы водоочистки предприятия.

Проведенный в Главе 2 комплексный анализ производственной деятельности ООО «РН-Т Морской терминал Туапсе» позволил получить целостное представление о предприятии как об источнике образования сточных вод и оценить состояние его системы водоочистки.

Во-первых, установлено, что терминал, будучи крупнейшим перевалочным узлом светлых нефтепродуктов на юге России, осуществляет масштабные операции по приему, хранению и отгрузке, что закономерно приводит к образованию значительных объемов разнородных сточных вод: производственно-дождевых, подтоварных, зачистных и условно-чистых. Их качественный состав характеризуется высокими концентрациями нефтепродуктов (до 1000 мг/л) и взвешенных веществ, что предъявляет повышенные требования к надежности очистных сооружений.

Во-вторых, детально охарактеризована существующая система очистки, представляющая собой территориально разделенный комплекс. Выявлено, что, несмотря на наличие современных элементов (установка «Коалесцент», система оборотного водоснабжения правого берега), система в целом не обладает достаточной мощностью для обработки всех стоков, что вынуждает предприятие нести значительные расходы на стороннюю утилизацию.

Таким образом, характеристика предприятия подтвердила высокую экологическую значимость эффективной системы водоочистки, а анализ существующих сооружений выявил ключевые проблемы: недостаточную производительность, технологическую разобщенность и экономическую неэффективность из-за зависимости от услуг сторонних организаций. Полученные результаты создают конкретную фактологическую основу для перехода к следующему этапу работы — детальному анализу эффективности и разработке научно обоснованных предложений по модернизации.

3 Анализ эффективности работы очистных сооружений ООО «РН-Морской терминал Туапсе»

Оценка эффективности работы очистных сооружений является критически важным этапом, позволяющим определить, насколько существующая технологическая схема соответствует как экологическим нормативам, так и экономическим критериям рационального природопользования. Для ООО «РН-Т Морской терминал Туапсе» такой анализ приобретает особую значимость в контексте планирования модернизации. Он должен базироваться на двух ключевых группах данных: результатах системного мониторинга качества очищенных стоков и сопоставлении их с установленными нормативами, а также на детальном расчете экономических показателей, характеризующих текущие затраты и потенциальный эффект от внедрения новых решений. Данный раздел посвящен комплексной оценке эффективности действующих сооружений на основе фактических данных лабораторного контроля и экономических расчетов, что позволит объективно обосновать необходимость и направления дальнейшего технического перевооружения системы.

Деятельность ООО «РН-Т Морской терминал Туапсе» в области охраны окружающей среды строится на строгом соответствии требованиям национального законодательства и международных норм. Экологическая политика Компании интегрирована в общую систему управления и нацелена на последовательное повышение уровня промышленной и экологической безопасности до показателей, соответствующих лучшей мировой практике в отрасли. Ключевыми стратегическими ориентирами являются развитие эффективной системы управления, минимизация производственных рисков на новых объектах и создание безопасных условий труда.

Реализация этих целей обеспечивается через функционирование Интегрированной системы управления (ИСУ). Процедуры оценки соответствия экологическим нормативам регламентированы внутренним стандартом

Компании и являются её неотъемлемой частью. Для оперативного решения комплексных вопросов, связанных с недропользованием и экологической безопасностью, создана специальная рабочая группа.

Основное внимание в природоохранной деятельности уделяется превентивным мерам, нацеленным на минимизацию воздействия на все компоненты окружающей среды. Это достигается за счет внедрения ресурсосберегающих технологий, оптимизации производственных процессов и постоянной модернизации оборудования. Наряду с традиционными методами (рациональное водопользование, контроль за выбросами, рекультивация) применяются передовые технические решения. К ним относятся современные системы дренажа, безамбарные технологии бурения с замкнутым циклом очистки, а также комплексный мониторинг состояния трубопроводов. Компания активно сотрудничает с профильными научными и проектными организациями для использования наиболее эффективных методик и технологий.

Значительные ресурсы выделяются на реализацию ежегодных природоохранных программ. В 2022 году объём финансирования этих мероприятий составил 7,5 млрд рублей, что существенно превысило показатели предыдущего периода. Рост инвестиций связан как с расширением масштабов деятельности, так и с приобретением новых активов, требующих применения современных экологических стандартов. В перечень выполняемых работ входят экологический мониторинг, модернизация оборудования, строительство и реконструкция очистных сооружений, а также обеспечение готовности к ликвидации аварийных разливов нефти.

Важнейшим элементом системы контроля является регулярный аналитический мониторинг качества сточных вод на очистных сооружениях «Коалесцент». Процедура отбора и анализа проб проводится аттестованной лабораторией предприятия в строгом соответствии с графиком, согласованным со всеми надзорными органами, включая Роспотребнадзор и ЦЛАТИ. Контроль осуществляется еженедельно, с одновременным отбором проб на входе и

выходе сооружений, что позволяет достоверно оценивать эффективность технологического процесса (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – График аналитического контроля сточных вод очистных сооружений «Коалесцент» ООО «РН - Морской терминал Туапсе»

Место отбора проб, периодичность и характер пробы	ЗВ	Ед.изм.	Методики выполнения измерений
На входе ОС «Коалесцент» 1 раз в месяц, разовая	Физические вещества	°С	ПНД Ф 12.16.1-10
	Ph	Ед.Ph	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97
	нефтепродукты	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.5-95
	Фенолы		ПНД Ф 14.1:2.105-97
	АПАВ		ПНД Ф 14.1:2:4.15-95
	БПК _р		ПНДФ 14.1:2.14.1:2:3:4.123
	Взвешенные вещества		ПНД Ф 14.1:2.110-97
Железо общее	ПНД Ф 14.1:2:4.15-95		
На выходе ОС «Коалесцент» 1 раз в месяц Разовая	Физические вещества	°С	ПНД Ф 12.16.1-10
	РН	Ед.РН	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97
	нефтепродукты	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.5-95
	Фенолы		ПНД Ф 14.1:2.105-97
АПАВ		ПНД Ф 14.1:2:4.15-95	
На выходе ОС «Коалесцент». 1 раз в месяц, разовая	БПК _р		ПНДФ 14.1:2.14.1:2:3:4.123-97
	Взвешенные вещества		ПНД Ф 14.1:2.110-97
	Железо общее		ПНД Ф 14.1:2:4.15-95
Из трубопровода откачки сточных вод в централизованную систему водоотведения МУП «ЖКХ г.Туапсе» . 1 раз в месяц, разовая	Физические вещества	°С	ПНД Ф 12.16.1-10
	Ph	Ед.РН	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97
	нефтепродукты	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.5-95
	Фенолы		ПНД Ф 14.1:2.105-97
	АПАВ		ПНД Ф 14.1:2:4.15-95
	БПК _р		ПНДФ:2.14.1:2:3:4.123-97
	Взвешенные вещества		ПНД Ф 14.1:2.110-97
Железо общее	ПНД Ф 14.1:2:4.15-95		

Помимо контроля на очистных сооружениях, испытательная лаборатория предприятия осуществляет регулярный мониторинг качества воды в природных водоемах, в частности в реке Туапсе. Эта деятельность проводится в строгом соответствии с согласованным графиком, утвержденным надзорными органами — ЦЛАТИ по ЮФО и территориальным отделом Роспотребнадзора.

Ежемесячно производится отбор проб воды на двух контрольных створах: выше предприятия (в районе Сочинского моста) и ниже по течению (у Пляжного моста). Анализ включает ключевые показатели загрязнения: концентрацию нефтепродуктов, фенолов, анионных ПАВ, общего железа, взвешенных веществ и биохимическое потребление кислорода (БПКполн).

Основой для регулирования антропогенной нагрузки на водные объекты является установление нормативов предельно допустимых сбросов (НДС). Данный норматив представляет собой максимально допустимую массу вещества, которую можно отводить в водный объект в единицу времени, не вызывая нарушения нормативов качества воды в контрольном пункте [14, с. 229]. При расчете НДС учитывается не только предельно допустимая концентрация (ПДК) загрязняющих веществ, но и ассимилирующая способность самого водоема, содержание растворенного кислорода, а также необходимость оптимального распределения нагрузки между всеми водопользователями.

Условия сброса сточных вод регламентируются в зависимости от категории водопользования водоема — будь то хозяйственно-питьевое водоснабжение, рекреация или рыбохозяйственные цели. Выпуск очищенных стоков допускается только при условии, что их состав обеспечивает сохранение установленных нормативов качества воды в контрольном створе. Все работы в акватории и зонах санитарной охраны требуют обязательного согласования с органами государственного санитарного надзора [1].

Процедуры контроля и отчетности завершаются предоставлением протоколов лабораторных исследований в территориальный отдел Роспотребнадзора с установленной периодичностью — ежеквартально. Таким образом, система экологического контроля на предприятии представляет собой замкнутый цикл, включающий регулярные измерения, сверку с установленными нормативами НДС и обязательную отчетность перед контролирующими органами (рисунок 3.1).

Фотометр КФК-3;
pH-метроиннометр;
Концетратометр нефтепродуктов ИКН-025;
Весы лабораторные AP-210.

Рисунок 3.1 – Виды оборудования для оценки качества сточной воды

Результаты анализа сточных вод ООО «РН- Морской терминал Туапсе сведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Сравнительный анализ до и после очистки сточных вод

Место отбора проб	Наименование определяемых ингредиентов	Количество	НД на методы исследования
1. На входе ОС «Коалесцент», мг/дм ³	Нефтепродукты	4,72±1,23	ПНД Ф 14.1:2:4.5-95
	Железо общее	1,18±0,18	ПНД Ф 14.1:2:4.50-96
	Фенолы	0,029±0,007	ПНД Ф 14.1:2.105-97
	АПАВ	0,071±0,026	ПНД Ф 14.1:2:4.15-95
	БПК _п	14,02±1,82	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97
	Взвешенные вещества	2,5±0,8	ПНД Ф 14.1:2.110-97
2. На выходе ОС «Коалесцент», мг/дм ³	Нефтепродукты	1,24±0,32	ПНД Ф 14.1:2:4.5-95
	Железо общее	0,91±0,14	ПНД Ф 14.1:2:4.50-96
	Фенолы	0,011±0,003	ПНД Ф 14.1:2.105-97
	АПАВ	0,064±0,023	ПНД Ф 14.1:2:4.15-95
	БПК _п	3,90±1,01	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97
	Взвешенные вещества	1,7±0,5	ПНД Ф 14.1:2.110-97

Проведенный анализ данных производственного экологического контроля, представленных в таблице 3.2, свидетельствует о том, что после проведенной модернизации очистные сооружения обеспечивают стабильное соблюдение установленных нормативов. Фактическая масса сбрасываемых загрязняющих веществ не превышает величин предельно допустимых сбросов (ПДС), что подтверждает достаточную эффективность существующего технологического комплекса по основным контролируемым показателям (таблица 3.3).

Таблица 3.3 - Капитальные затраты на дополнительное оборудование

Наименование	Количество, шт.	Стоимость единицы оборудования, тыс.руб.	Общая стоимость, тыс.руб.
Установка «Коалесцент»	2	2908	5816
Резервуар для воды 3000 м ³	1	6390	6390
Колодец КС - 800 - 1000	4	31	124
Стеклопластиковый люк 800	4	6	24
Насос СД 80/18	4	72	288
Задвижка	2	66	132
Трубопроводы			158
Транспортировка, монтаж и наладка оборудования			1807
Итого			14739

С экономической точки зрения, ключевой проблемой остаются высокие операционные затраты, связанные с передачей значительной части стоков (порядка 628 тыс. м³ в 2022 г.) на очистку сторонней организации — ООО «Нафта-Т». В качестве основного природоохранного мероприятия, направленного на кардинальное решение этой проблемы, рассматривается проект установки дополнительной локальной системы сбора и очистки поверхностно-ливневого стока на базе установки «Коалесцент». Согласно расчетам, ориентировочные капитальные затраты на создание такой системы, включающие стоимость оборудования, его транспортировку, монтаж и наладку, составят около 59 млн рублей. Годовые эксплуатационные расходы оцениваются в 181 тыс. рублей, исходя из норматива в 10% от стоимости монтажно-наладочных работ.

Экономический эффект (прибыль) от реализации данного проекта будет складываться из предотвращенных затрат — ежегодной экономии на оплате услуг ООО «Нафта-Т», а также из дополнительной выгоды за счет использования очищенной воды в оборотной системе предприятия и потенциальной её продажи сторонним потребителям. Таким образом, предлагаемое мероприятие не только повысит экологическую автономию терминала, но и обладает значительным экономическим потенциалом, обеспечивая возврат инвестиций за счет сокращения текущих платежей и

создания нового ресурсного потока.

Затраты на передачу сточных вод на очистку предприятию ООО «Нафта-Т» составляют 46472 тыс. руб. Стоимость очищенной воды:

$$628 \text{ тыс. м}^3 * 16,96 \text{ руб.} = 10651 \text{ тыс. руб./год.}$$

Водопотребление за 2022г. составило 322 тыс.м³, следовательно, экономия составит:

$$322 \text{ тыс. м}^3 * 16,96 \text{ руб.} = 5462 \text{ тыс. руб./год.}$$

Количество технической воды, которое можно реализовать другим предприятиям:

$$628 \text{ тыс. м}^3 - 322 \text{ тыс. м}^3 = 306 \text{ тыс. м}^3$$

Прибыль от реализации воды другим предприятиям составит:

$$10651 \text{ тыс. руб./год} - 5462 \text{ тыс. руб./год} = 5189 \text{ тыс. руб./год.}$$

В таблице 3.4 представлена суммарная прибыль от реализации проекта.

Таблица 3.4 - Прибыль от реализации проектного решения

Показатель	Численное значение показателя, тыс. руб.
Предотвращенные затраты на передачу загрязненных вод ООО «Нафта-Т»	46472,0
Предотвращенные затраты на водопотребление	5462,0
Прибыль от реализации воды другим предприятиям	5189,0
Итого	57123,0

Общая экономическая эффективность капитальных вложений рассчитывается по формуле:

$$\text{Э} = \text{П} - \text{С} / \text{К} \quad (3.1)$$

где П – годовая прибыль;

К- капитальные вложения;

С – эксплуатационные расходы

$$\text{Э} = 57123 - 181 / 59000 = 0,97 > \text{Ен},$$

где Ен = 0,12 – нормативная экономическая эффективность.

Превышение показателя общей экономической эффективности над

нормативной означает, что данное мероприятие целесообразно и экономически эффективно.

Срок окупаемости инвестиционных затрат рассчитывается по формуле:

$$T = \frac{K}{\Pi} \quad (3.2)$$

Окупаемость проекта: $T = 59000 \text{ тыс.руб.}/57123 \text{ тыс.руб.} = 1 \text{ год.}$

Результаты расчета экономической эффективности комплекса водоохраных мероприятий сведен в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 - Расчет экономической эффективности комплекса водоохраных мероприятий, тыс. руб./год

Показатель	Символ, формула	Численное значение
Предотвращенный ущерб (годовой)	$\Pi = Y - \bar{Y}$	13756,4
Экономический результат (годовой)	$P = \Pi + D$	13756,4
Капиталовложения в комплекс мероприятий	K	20000,0
Эксплуатационные расходы	C	1200,0
Приведенные затраты	$Z = C + 0,12K$	3500,0
Чистый экономический эффект комплекса мероприятий (годовой)	$R = P - Z$	10254,4

Итак, $R = 10256,4 \text{ тыс. руб./год} > 0$, т.е. оцениваемый комплекс водоохраных мероприятий экономически эффективен. Из неравенства $R > 0$ следует, что абсолютная (общая) эффективность комплекса $P - C$ мероприятий $\mathcal{E} = \frac{P-C}{K}$ больше нормативной $E_n = 0,12$ (1/год).

$$\text{Действительно, } \mathcal{E} = \frac{P-C}{K} = \frac{13156,4-1200}{2000} = \frac{12556,4}{2000} > 0,12 = E$$

Растущая динамика загрязнения природной среды привела, что система безопасности должна быть ориентирована не только на источник, но и на защищенность человека и окружающей его среды и должно осуществляться системными методами с учетом не только экономических и инженерных факторов, но и экологических и социальных условий.

Результаты анализа, проведенного в Главе 3, позволяют сделать вывод о противоречивой эффективности существующей системы очистки сточных вод

ООО «РН-Т Морской терминал Туапсе». С одной стороны, данные инструментального контроля доказывают её технологическую состоятельность: после модернизации сооружения обеспечивают очистку стоков до уровня, соответствующего нормативам ПДС, и минимизируют воздействие на водный объект. Это подтверждает правильность ранее выбранных технических решений.

С другой стороны, выявлена значительная экономическая неэффективность, обусловленная неполной загрузкой собственных мощностей и зависимостью от дорогостоящих услуг подрядной организации. Экономический расчет наглядно демонстрирует, что инвестиции в создание дополнительной локальной очистной системы для промливневых стоков левого берега являются целесообразными. Проект обладает четким экономическим обоснованием, где источником возврата средств выступают предотвращенные затраты и возможность ресурсосбережения.

Следовательно, основной резерв повышения общей эффективности системы кроется не в замене или коренной переделке действующих эффективных сооружений, а в расширении собственных мощностей для полного охвата всех образующихся сточных вод. Это позволит перевести систему из режима частично затратного содержания в режим инвестиционно окупаемого актива, что и является стратегической целью модернизации. Полученные выводы служат прямой основой для формирования конкретных рекомендаций, которые будут представлены в заключении работы.

Заключение

Проведенное исследование, посвященное вопросам модернизации системы очистки сточных вод предприятий нефтегазового комплекса на примере ООО «РН-Т Морской терминал Туапсе», позволило достичь поставленной цели и получить ряд значимых выводов, имеющих теоретическую и практическую ценность.

В рамках первой главы были систематизированы теоретико-методические основы построения систем водоочистки. Установлено, что эффективная очистка сложных нефтесодержащих стоков возможна только при комбинации методов, основанных на различных физико-химических принципах. Технологическая цепочка должна последовательно включать механическую, физико-химическую и биологическую стадии, выбор и параметры которых определяются составом конкретных стоков и требованиями к очищенной воде. Анализ типов очистных сооружений подтвердил, что современные решения развиваются в сторону интенсификации процессов, компактности (блочномодульное исполнение) и максимального вовлечения очищенных вод в оборотные циклы.

Комплексный анализ производственной деятельности терминала (Глава 2) выявил его как значительный источник разнородных сточных вод с высокими концентрациями нефтепродуктов и взвешенных веществ. Характеристика существующей системы очистки показала её противоречивый характер: с одной стороны, наличие современных элементов (установка «Коалесцент», система оборотного водоснабжения правого берега), с другой — недостаточную производительность, ведущую к необходимости дорогостоящей утилизации больших объемов стоков через стороннюю организацию. Это противоречие определило ключевую проблему, требующую решения.

Оценка эффективности подтвердила, что действующие очистные сооружения после проведенной ранее модернизации обеспечивают технологическую эффективность, соблюдая установленные нормативы ПДС.

Однако экономический анализ выявил существенные издержки, связанные с неполным использованием собственных мощностей. Это обосновало экономическую целесообразность дальнейшей модернизации.

Таким образом, основным направлением модернизации для ООО «РН-Т Морской терминал Туапсе» является не коренная переделка эффективно работающих узлов, а расширение собственных мощностей для полного охвата всех образующихся сточных вод, в первую очередь промливневых стоков левого берега. Наиболее рациональным решением, согласно проведенному анализу, выступает внедрение локальной блочно-модульной установки (по типу «Векса-М»), комбинирующей тонкослойное отстаивание, коалесценцию и сорбционную доочистку.

Реализация данного проекта позволит:

- Достичь полной экологической автономии предприятия в сфере водоочистки, минимизировав риски для акватории Черного моря.
- Получить значительный экономический эффект за счет ликвидации ежегодных многомиллионных платежей сторонней организации и экономии на водопотреблении.
- Повысить управляемость и надежность всей системы за счет внедрения современных компактных и автоматизированных технологических модулей.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанные подходы и конкретные предложения могут быть использованы для планирования и реализации мероприятий по техническому перевооружению не только на исследуемом объекте, но и на других предприятиях нефтегазового комплекса со схожими технологическими и экологическими условиями. Исследование подтверждает, что модернизация систем очистки сточных вод на основе современных технологий является необходимым условием обеспечения как экологической безопасности, так и экономической эффективности промышленного производства.

Список литературы

1. Алешин, А.Н., Государственное регулирование отношений в сфере недропользования // Вестник Нефть России. – 2021. - №7. – С.65-69
2. Авалишвили, Г., Перчик А. Определение и организационно-правовой статус нефтегазового предприятия // Нефть. Газ. Право. – 2022. - №5. – С.70-71
3. Ампилов, Ю.П. Стоимостная оценка недр. - М.: Геоинфоцентр, 2023. – 274 с.
4. Хлытчиев А.И., Барко В.И., Казачкова Е.В., Колесников В.П.. Модернизация комплекса по очистке сточных вод // Экология и промышленность России. – 2024. - № 1. - С. 18-21
5. Бабак, С.В., Белов, Ю.Т., Макаркин, Ю.М. Стратегическое управление нефтяной компанией. - М.: Геоинфоцентр, 2024. – 234 с.
6. Батурик, Ю.М. Геолого-экономическая структура нефтедобывающих регионов России// Геология нефти и газа.- 2022. - №10. – С.75-77
7. Белонин, М.Д., Прищепа О.М. О стратегии воспроизводства запасов нефти и газа// Минеральные ресурсы России. – 2022. - №1. – С.69-73
8. Белюченко, В.Ф. Экология Кубани. – Краснодар: КГАУ, 2022. – 260 с.
9. Барко, В.И., Казачкова, Е.В., Куценко, О.В.. Управление процессом очистки нефтесодержащих стоков // Экология и промышленность России. – 2024. - № 4. - С. 19-21
10. Гуреев, А.А. Экологические аспекты применения нефтепродуктов. – М.: Лагос, 2024. -320 с.
11. Галуб, А.А., Струкова, Е.Б. Проблемы экономизации взаимоотношений природы и общества. – М.: Мысль, 2021. – 150 с.
12. Глушкова, А.Г., Макар, С.В. Экономика природопользования. – М.: Мысль, 2023. – 308 с.
13. Дедиков, Е.В. и др. Картографическое обеспечение проектных материалов объектов нефтяной промышленности//Газовая промышленность.- №4. - 2023. – С.80 - 88

14. Информационные материалы исследуемого объекта (отчет по итогам 2024 г.) – 180 с.
15. Информационно-справочные материалы по ОАО «РН – Роснефть» и ООО «РН- ТНПЗ». [Электронный ресурс]. URL: http://www.Rosneft.ru/Downstream/Refining/Refineries/Tuapse_Refineri/(дата обращения: 05.11.2025)
16. Калыгин, В.Г. Промышленная экология.- М.: Академия, 2024. – 380 с.
17. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств, ПБ 09-540-03 (утверждено Постановлением Госгортехнадзора России от 5 мая 2003 г. N 29). – М.: 2024. – 50 с.
18. Методические рекомендации по составлению декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта, РД 03-357-00 (утв. Постановлением Госгортехнадзора РФ от 26 апреля 2000 г. N 23). – М.: 2024. – 40 с.
19. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей, РД 03-409-01 (утверждена Постановлением Госгортехнадзора России от 26 июня 2001 г. N 25). – М.: 2022. – 30 с.
20. Методика расчета выбросов от источников горения при разливе нефти и нефтепродуктов (утв. Приказом Государственного комитета по охране окружающей среды от 05.03.97 N 90). – М.: 2024. – 60 с.
21. Наркевич И.П. Утилизация и ликвидация отходов. – М.: Химия, 2024. – 256 с.
22. Программа перспективной реконструкции и перевооружения ООО «РН – Туапсинский НПЗ» до 2030 года.- 2025. – 52 с.
23. ООО «РН – Туапсенефтепродукт». Курсом стабилизации и роста. – Краснодар: Кубань пресс – ТАСС, 2023. – 35 с.
24. Смидович, Е. В. Технология переработки нефти и газа. - М.: Химия, 2022. - 320 с.
25. Сухонослова, А.Н. и др. Очистка почв от нефтяного загрязнения и

оценка ее эффективности// Экология и промышленность России. - 2024. - №10.
– С.60-66

26. Хоружая, Т.А. Методы оценки экологической опасности. – М.: ИНФРА – М, 2021. – 480 с.

27. Шебеко, Ю.Н. и др. Методы оценки поражающих факторов пожаров и взрывов на наружных технологических установках// Пожаровзрывобезопасность.- 2024.- №4 –С. 65

28. Шароварников, А.Ф., Молчанов, В.П., Воевода, С.С., Шароварников, С.А. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. – М.: Издательский дом «Калан», 2022. – 448 с.

29. Экология нефтегазового комплекса: учеб. пособие. В 2 т. / Под общей редакцией А.И. Владимирова и В.В. Ремизова. – М.: ГУП Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2023. – 416 с.