

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»

(наименование)

18.03.02 Энерго– и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,
нефтехимии и биотехнологии

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Оптимизация процесса очистки сточных вод на предприятии ПАО
«КуйбышевАзот»

Обучающийся

Е.В. Мидуков

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Ю.Н. Шевченко

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)



Тольятти 2022



Росдистант

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННО

Аннотация

Бакалаврскую работу выполнила: Мидюков Е.В.

Тема работы: Оптимизация технологии очистки сточных вод на ПАО «КуйбышевАзот».

Научный руководитель: старший преподаватель кафедры «Химическая технология и ресурсосбережение» Шевченко Ю.Н.

Актуальность работы заключается в том, что при очистке сточных вод предприятия не достигается требуемое качество отделения активного ила от воды в вторичных отстойниках, отсутствует возможность повышения концентрации активного ила в аэротенках, отсутствует возможность регулирования дозы активного ила в аэротенках. Выше указанные факторы оказывают решающее воздействие на степень достигаемой очистки.

Эффективность работы вторичных отстойников определяет общий эффект очистки воды и эффективность работы всего комплекса очистных сооружений. Очистка сточных вод в аппаратах с активным илом во многом зависит от работы вторичных отстойников. Вторичные отстойники должны обеспечивать эффективное осаждение иловой смеси и ее возврат в нитрификатор.

Цель бакалаврской работы: повышение стабильности работы нитрификатора за счет снижения выноса активного ила во вторичном отстойнике.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд следующих задач:

– проанализировать существующую технологическую схему очистки сточных вод на предприятии, определить приоритетные загрязняющие вещества;

– выявить конструктивные недостатки аппаратной части, проблемы поддержания оптимальных режимов работы нитрификатора и вторичного отстойника;

– предложить техническое решение для повышения качества отделения активного ила, обосновать предлагаемое решение расчетами.

Объект исследования: цех № 39 предприятия ПАО «КуйбышевАзот».

Предмет исследования: вторичные отстойники после блока нитрификации.

В работе была проанализирована технологическая схема очистки сточных вод, реализуемая на ПАО «КуйбышевАзот». Расчетным способом доказана неэффективная работа нитрификатора, связанная с неудовлетворительной работой вторичных отстойников. В нитрификатор происходит возврат активного ила в недостаточных концентрациях. Предложена реконструкция вторичных отстойников, путем установки тонкослойных модулей. С целью создания равномерного потока рекомендуется установка регулируемой переливной кромки. Регулируемый зубчатый водослив обеспечивает равномерный перелив по всей площади отстойника, уменьшая вынос взвешенных частиц. Определена конструкция модулей. Проведен расчет предлагаемого решения. Доказана эффективность предлагаемого решения. Даны рекомендации по обслуживанию тонкостенных модулей. Предложена замена аэрлифтов на частотно-регулируемые насосы для обеспечения бесперебойного возврата осадка и сброса остаточного ила.

Структура и объём работы. Работа состоит из введения, 3 разделов, заключения, списка из 36 использованного источника, включая 5 иностранных источников. Общий объём работы составил 66 страниц машинописного текста, в том числе таблиц – 8, рисунков – 12.

Содержание

Введение.....	5
1 Анализ системы очистки на ПАО «КуйбышевАзот».....	7
1.1 Общая характеристика объекта	7
1.3 Анализ входящих потоков промышленных стоков.....	11
2 Разработка технического решения. Предложение по техническому дооснащению вторичных отстойников.....	24
2.1 Анализ технических решений по интенсификации процессов илоразделения.....	24
2.2 Тонкослойное отстаивание сточных вод	26
2.3 Предложение по установке тонкослойных пластин.....	27
3 Расчетная часть.....	34
3.1 Расчет нитрификатора	34
3.2 Расчет тонкослойного отстойника	50
Заключение	60
Список используемой литературы и используемых источников.....	62

Введение

Стабильность и качество очистки сточных вод является первостепенной задачей любого промышленного предприятия, на котором имеется собственная система очистки.

Бакалаврская работа основывается на технологическом процессе очистки сточных вод, реализуемом на предприятии ПАО «КуйбышевАзот» в цехе № 39 «Переработка органических и неорганических продуктов».

В системе очистке цеха № 39 существует серьезная проблема – избыточный вынос взвешенных веществ (активного ила) из вторичного отстойника.

«Оптимальное поддержание концентрации, работающей в аэротенке биомассы активного ила за счет его рециркуляции из вторичного отстойника – важная задача для оптимальной работы системы очистки.

При этом возврат в голову сооружений активной биомассы должен учитывать не только необходимость поддержания высокой окислительной мощности аэротенка, но и дополнительное загрязнение сточной воды, подаваемой на аэробную обработку» [18].

Иловая смесь сооружений с удалением азота характеризуется высоким содержанием нитратов и растворенного кислорода на входе во вторичный отстойник.

В толще осадка вторичных отстойников создаются условия снижения содержания кислорода, протекают процессы неконтролируемой денитрификации.

Это приводит к всплыванию и выносу ила из сооружений, вторичному загрязнению очищенной воды [19]. Все выше сказанное обуславливает поставленную перед исследованием цель.

Цель бакалаврской работы – повышение стабильности работы нитрификатора за счет снижения выноса активного ила во вторичном отстойнике.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд следующих задач:

– проанализировать существующую технологическую схему очистки сточных вод на предприятии, определить приоритетные загрязняющие вещества;

– выявить конструктивные недостатки аппаратной части, проблемы поддержания оптимальных режимов работы нитрификатора и вторичного отстойника;

– предложить техническое решение для повышения качества отделения активного ила, обосновать предлагаемое решение расчетами.

1 Анализ системы очистки на ПАО «КуйбышевАзот»

1.1 Общая характеристика объекта

Очистные сооружения на ПАО КуйбышевАзот были введены в эксплуатацию в 1989 году.

«Очистка стоков от азотных соединений происходит по схеме биологической очистки сточных вод, основанной на методе нитриденитрификации (НДФ). Мощность установки по проекту составляла:

- аммонийные загрязнения – 543,6 т/год;
- нитратные загрязнения – 1629,2 т/год;
- количество перерабатываемых промышленных стоков – 2216,3 т/год.

Очистные сооружения нитриденитрификации цеха № 39 работают 365 дней в году.

Промышленные стоки на предприятии проходят три этапа очистки в аэротенках: в нитрификаторе – аэробный процесс очистки сточных вод, протекающий в две стадии, в денитрификаторе – анаэробный процесс очистки и на стадии доочистки.

Предприятие ПАО «КуйбышевАзот» работает по проекту замкнутой системы использования воды. Сточные воды после очистки из корпусов 2036 и 2039, возвращаются обратно в водооборотный цикл предприятия. Эта схема позволяет сократить потребление природной воды.

Потребность в пополнении оборотной воды – около 300 м³/ч. Для ВОЦ используется речная вода» [25].

«Блок-схема водозабора и водоотведения предприятия ПАО «КуйбышевАзот» представлена на рисунке 1. Предприятие обладает собственными очистными сооружениями, реализованными на площадке 39 цеха и Копани» [25].



Рисунок 1 – Схема водозабора и водоотведения ПАО «КуйбышевАзот»

1.2 Описание технологической схемы

Технологическая схема очистки предприятия представлена на рисунке 2. Блок схема очистки стоков представлена на рисунке 3.

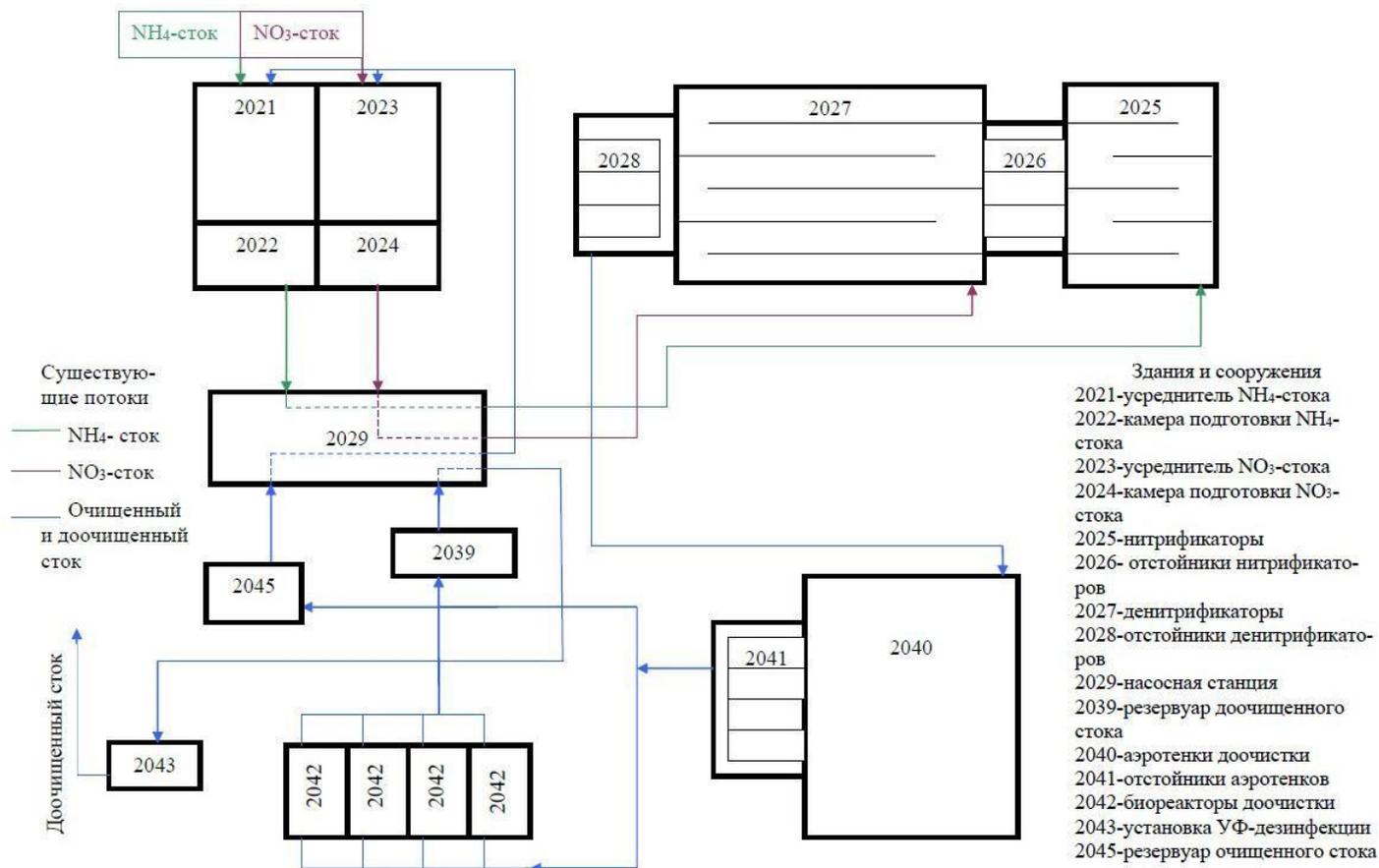


Рисунок 2 – Технологическая схема очистки

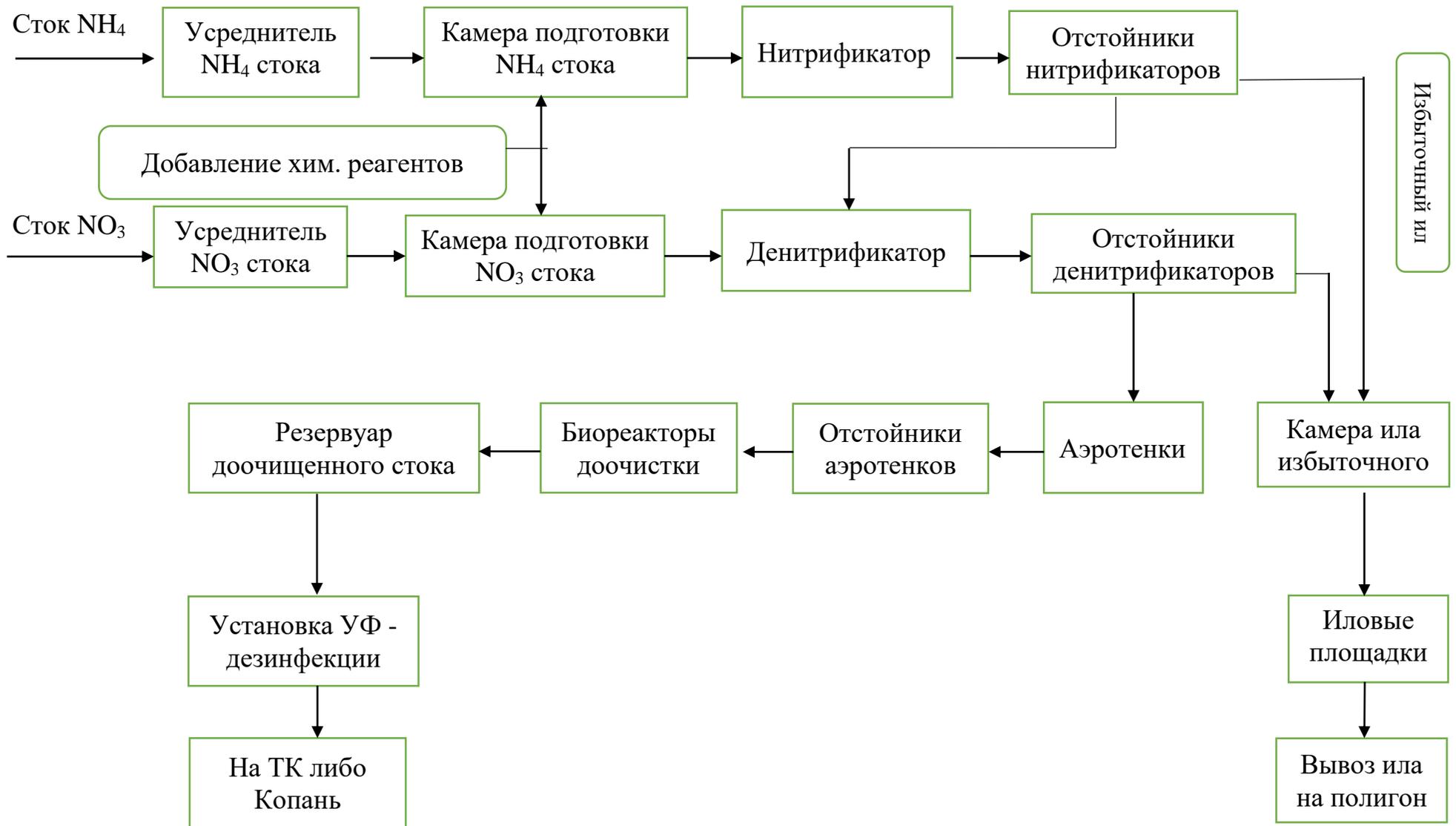


Рисунок 3 - Блок схема очистки стоков

«Сточные воды от производства капролактама и цеха №3 по проложенным по эстакаде трубопроводам К7 и К13 поступают в приемные камеры корпусов 2021 и 2023. Аммоний содержащий сток и конденсат сокового пара по трубопроводу с цеха № 3 и от корпусов 714,909,914 поступает в к.2021, а нитрат содержащий сток и ВСТ (вода сточная) от корпусов 946,709,912,916,2080 по трубопроводу поступают в приемную камеру к.2023» [25].

«Стоки с завышенным содержанием загрязняющих веществ, выше норм технологического режима по линии ВСТ некондиционные стоки по трубопроводу с эстакады в камеру 2032/1, а сток КПС – в камеру 2032/2. В случае если некондиция поступает одновременно по КСП и ВСТ, сброс производится только с одного коллектора, а по второму коллектору стоки поступают в приемную камеру, куда для разбавления подается циркуляционный сток» [25].

«Сток с аммонием после корпуса 2021 поступает в лоток и усреднитель, откуда направляется в емкость корпуса 2022. Далее эта смесь поступает в корпус 2029 и затем в нитрификатор 2025 и денитрификатор 2027.

Сток с нитратами также поступает в усреднитель 2023, а затем в емкости корпуса 2024 и 2029. После того, как этот сток проходит отстойники, он направляется в аэротенк 2040 и дальше на доочистку в биореактор 2024. После биореактора проходит установку ультрафиолета корпуса 2043 далее ЗАО БОС «ТольяттиСинтез», ВОЦ-8 производства капролактама» [25].

1.3 Анализ входящих потоков промышленных стоков

Главными источниками образования сточных вод являются производства капролактама и аммиачной селитры.

«Поступающие в цех № 39 химически загрязненные сточные воды представлены двумя потоками:

1) КСП (конденсат сокового пара) – аммоний-содержащие сточные воды. Эти сточные воды имеют высокое содержание аммония и солей. Поступление равномерное (стабильно $\pm 10-15 \%$), в диапазоне $\pm 20-25 \%$ в кратковременном режиме. Направляются на усреднение в корпус 2021. В летний период имеют высокую температуру, до плюс $60 \text{ }^\circ\text{C}$, охлаждение атмосферным воздухом, смешением с очищенными стоками до температуры плюс $40 \text{ }^\circ\text{C}$ (выход с корпуса 2022). Зимняя температура до плюс $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Производительность аммоний содержащих сточных вод:

- проектная – $110 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- фактическая: средняя – около $150 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($120-170 \text{ м}^3/\text{ч}$), максимальная – $200 \text{ м}^3/\text{ч}$.

2) ВСТ (вода сточная) – нитрат-содержащие сточные воды. Сильно загрязнены, имеются существенные колебания качественного состава. Следуют на усреднение в корпус 2021, где разбавляются очищенными сточными водами. Температура летом приблизительно плюс $40 \text{ }^\circ\text{C}$. В зимнее время разогревают пароконденсатом вплоть до плюс $20 \text{ }^\circ\text{C}$ » [25].

«Производительность нитрат содержащих сточных вод:

- проектная – $60 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- средняя – ок. $60 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($50-70 \text{ м}^3/\text{ч}$);
- максимальная – $110-120 \text{ м}^3/\text{ч}$ » [25].

В таблице 1 сведены источники образования сточных вод на предприятии, представлены нормативы.

Таблица 1 - Источники образования сточных вод

Наименование сырья, материалов, полупродуктов	Источник поступления	Регламентируемые показатели	Норматив
«Аммоний содержащий сток	«Цех № 25 по производству сульфата аммония. Цех № 37 по производству капролактама. Цех № 24 по производству капролактама/ Цех № 3 по производству аммиачной селитры» [25]	pH	≤ 11
		N-NH ₄	≤ 410 мг/дм ³
		N-NO ₃	≤ 100 мг/дм ³
		Сульфаты	≤ 500 мг/дм ³
		Капролактамы	≤ 0,79 мг/дм ³
		Взвешенные вещества	≤ 320 мг/дм ³
		БПК ₅	≤ 250 мг O/дм ³
ХПК	≤ 350 мг O/дм ³		
Нитрат содержащий сток	«цех № 38 получения гидроксиламинсульфата цех № 23 получения кальцинированной соды цех № 24 получения капролактама цех № 37 получения капролактама цех № 22 получения циклогексанона цех № 35 получения циклогексанона» [25]	pH	≥ 2
		N-NH ₄	≤ 30 мг/дм ³
		N-(NO ₃ +NO ₂)	доза в течение 2-х часов не более 3000, среднее 1660мг/дм ³
Водно-щелочной	«цех № 35 получения циклогексанола» [25]	ХПК	≤ 10000 мг O/дм ³
		Капролактамы	≤ 100 мг/дм ³
		Циклогексан	≤ 20 мг/дм ³
		Циклогексанон	≤ 20 мг/дм ³
		Смолы	≤ 100 мг/дм ³
		Взвешенные вещества	≤ 300 мг/дм ³
		БПК ₅	1000÷6000 мг O/дм ³
Ортофосфорная кислота	ГОСТ 10678-76 или аналог		массовая доля ортофосфорной кислоты ≥ 73 %
Содовый раствор	цех № 23 получения кальцинированной соды		Массовая доля общей щелочности в пересчете на углекислый 5÷10 %» [25]

Качественный состав стоков, приходящих на очистку на стадию нитрификации, имеет следующие показания, приведенные в таблице 2. Проектные нормативы очистного сооружения показаны в таблице 3.

Таблица 2 – Качественный состав стоков, приходящих на очистку

Загрязняющие вещества	Значение, мг/дм ³
«Азот аммонийный	520,00
Азот нитратов N - NO ₃	319,00
ХПК	1690,00
Фосфор	3,50
Капролоктам	273,00
Сульфат ион	360,00
Жесткость	3,9
Циклагексанон	2,3
Циклогексанол	2,1
pH	9,4
Взвешенные вещества	580,00» [25]

Таблица 3 – Проектные нормативы очистного сооружения (на сброс)

Загрязняющие вещества	Значение, мг/дм ³
«pH	6,5÷8,5
Азот аммонийный, не более	6,0
Азот нитритный, не более	1,0
ХПК, не более	300,0
Фосфор, не более	3,0
Сульфаты, не более	300,0
Циклогексанол, не более	15,0
Циклогексанон, не более	10,0
Капролактam, не более	15,0
Взвешенные вещества, не более	50,0
БПК ₅ , не более	25,0» [25]

1.4 Общие принципы биологической очистки

«В основе биологической очистки лежат два свойства микроорганизмов:

- способность превращать примеси воды в биомассу клеток и внеклеточные продукты;
- способность синтезировать биофлокулянты и с их помощью образовывать многоклеточные агрегаты, легко отделяемые от воды.

Очистка сточных вод происходит в результате биологических процессов

(биосинтез, биоокисление и биовосстановление примесей воды) и физико-химических процессов (флокуляция, адсорбция).

Газообразные продукты клеточного метаболизма (продукты биоокисления и биовосстановления) десорбируются из воды, а нерастворимые в воде продукты и клеточные агрегаты удаляются путём отстаивания» [12].

В осадок переходят также взвешенные вещества сточной воды, которые с помощью биофлокулянтов включаются в клеточные агрегаты, а также некоторые сорбированные биомассой примеси (рисунок 4).

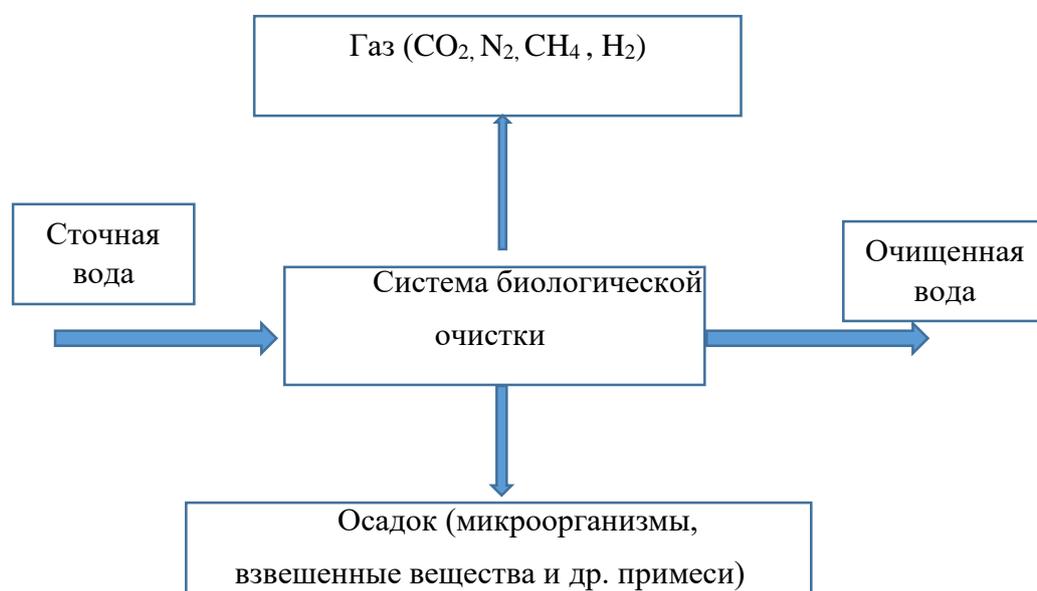


Рисунок 4 – Обобщенная схема биологической очистки

1.5 Анализ проблем нитрификации

«Нитрификация — это процесс, при котором аммонийный азот окисляется при помощи кислорода до состояния нитритов и нитратов. У процесса нитрификации имеются две стадии. На первой стадии происходит окисление аммония до нитритов, а на второй — окисление нитритов до нитратов» [1].

«Нитрификация (первая стадия с окислением NH_4^+ до NO_2^- и вторая стадия с окислением NO_2^- до NO_3^-) и денитрификация чаще протекают

последовательно» [5].

На рисунке 5 представлена общая схема аэробной очистки.

На рисунке 6 для визуализации процесса нитрификации представлена классическая технологическая схема нитрификации.

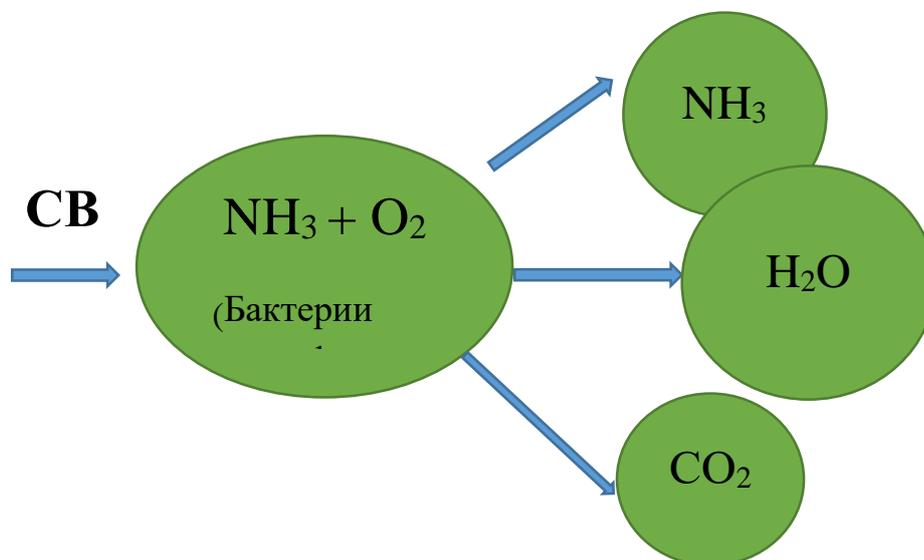


Рисунок 5 – Схема аэробной очистки



Рисунок 6- Технологическая схема нитрификации

Бактерии-нитрификаторы относятся к облигатным автотрофам, нуждающимся в достаточно высоких концентрациях молекулярно растворенного кислорода (не менее 2 мг/л).

«Применительно к активному илу термин «активный» означает, что биомасса:

- содержит все ферментные системы, необходимые для деградации загрязняющих веществ;
- имеет поверхность с сильной адсорбционной способностью;

– способна образовывать стабильные флоккулы (хлопьевидные скопления), которые осаждаются при отстаивании (с учетом сил тяготения)» [23].

«Процессы нитрификации напрямую зависят от температуры очищаемых сточных вод. Для поддержания удовлетворительной нитрификации оптимальная температура должна быть в диапазоне от 20 °С до 25 °С. При 9 °С скорость нитрификации существенно снижается, а при 6 °С прекращается.

При прочих, благоприятных для нитрификации, условиях в зимнее время ее активность снижается на 10 %. В диапазоне температур от 15 до 35 °С нитрификация удовлетворительна и ее интенсивность нарастает с повышением температуры до 35 °С.

При температуре более 37 °С скорость нитрификации также снижается в связи с уменьшением содержания в воде растворенного кислорода» [2], [4], [10], [12].

«На эффективность нитрификации влияют:

- численность нитрифицирующих бактерий;
- нагрузка на очистные сооружения;
- степень аэрации среды;
- содержание O_2 , рН, температура;
- окислительно-восстановительные условия среды;
- наличие органического субстрата;
- концентрация NH_4^+ и нитратного азота» [13].

«Иловая смесь, поступающая из нитрификатора во вторичные отстойники, представляет собой фногафазную систему, в которой основным компонентом служат хлопья активного ила размером 20...300 мкм, сформированные в виде сложной трехуровневой клеточной структурой, окруженной экзоклеточным веществом биополимерного состава» [12].

1.6 Анализ проблем эксплуатации вторичного отстойника

Иловая смесь сооружений с удалением азота характеризуется высоким содержанием нитратов и растворенного кислорода на входе во вторичный отстойник.

Во вторичном отстойнике наблюдается проблема снижения осаждаемости активного ила во вторичных отстойниках, что и влечет за собой снижение объемов возвращаемого в нитрификатор активного ила.

Недостатками всех видов тонкослойных отстойников является необходимость предварительного удаления из воды примесей с большими размерами частиц, а также частиц, плавающих на поверхности.

На данный момент возврат активного ила из отстойника в нитрификатор составляет 10000 мг/л. Целесообразно увеличить минимум до 15000 мг/л.

«Факторы, оказывающие влияние на избыточный вынос взвешенных веществ (активного ила) из вторичных отстойников:

- гидравлические перегрузки, которые обусловлены превышенным (в сравнении с проектным) объемом поступающих на очистку сточных вод;
- неравномерное распределение потоков между всеми работающими отстойниками, разрушение водопереливов и т.п.;
- неравномерное поступление сточных вод, возможное возникновение гидравлических пиковых перегрузок;
- превышение удельных нагрузок на активный ил по содержанию растворенных органических загрязняющих веществ, в результате чего происходит неэффективное окисление их в аэротенках и процесс доокисления продолжается во вторичных отстойниках, в условиях отсутствия кислорода, что приводит к загниванию активного ила, диспергированию хлопьев и их выносу из отстойников» [9];
- «воздействия токсичных, залповых сбросов, приводящих к дефлокуляции хлопьев ила, блокированию дыхательных ферментов у организмов, нарушению процесса биологического окисления загрязняющих

веществ, что в совокупности приводит к возрастанию кислородной емкости ила и нарушает процесс отстаивания во вторичных отстойниках» [12];

– «недостаток кислорода в аэротенках и вторичных отстойниках. В аэротенках недостаток растворенного кислорода в иловой смеси приводит к снижению окислительной способности активного ила и повышенной потребности его в кислороде во вторичных отстойниках. При недостатке растворенного кислорода во вторичных отстойниках активный ил будет загнивать, хлопья ила диспергироваться, всплывать и выноситься из отстойников. При повышении уровня стояния осадка во вторичных отстойниках в слое осадка на дне отстойника возникают условия для возникновения анаэробных процессов, вызывающих лизис клеток активного ила. В этих условиях в слое ила возникает достаточное количество органического вещества, как остаточного сорбированного на иловом хлопке, так и образующегося при лизисе части клеток, чтобы в присутствии нитратов начался процесс неполной денитрификации с образованием нитритов. На возникновение анаэробных процессов в придонном слое осадка во вторичных отстойниках так же влияет концентрация кислорода в иловой смеси, поступающей во вторичные отстойники» [2], [17], [28];

– «перегрузка по массе взвешенных веществ на вторичный отстойник. Рабочую нагрузку по взвешенным веществам необходимо постоянно поддерживать меньшую, чем максимальная расчетная, что непосредственно связано со своевременным удалением осевшего ила из вторичного отстойника и постоянным поддержанием оптимальной концентрации возвратного ила» [15];

– «образование залежей ила на дне вторичного отстойника, что может быть обусловлено плохой работой эрлифтов, несвоевременным удалением, а также задержкой ила в системе без его отгрузки на утилизацию. Наличие застойных зон, где осадок не удаляется» [15];

– «нарушение флокуляционных и седиментационных свойств активного ила. Нарушение седиментации (осаждаемости) активного ила характеризуется иловым индексом. Нарушение флокуляции активного ила — это нарушение процесса объединения хлопьев ила при отстаивании. При нарушении флокулообразования каждая отдельная частичка активного ила осаждается со свойственной ей скоростью сама по себе, независимо от других частиц, поэтому над иловая вода мутная, содержит много отдельных частиц ила» [15].

Устройство существующих вторичных отстойников аэротенков (корп. 2026, 2028, 2041 на рисунке 2) имеют ряд конструктивных недостатков:

– увеличенная скорость прохождения иловой воды через отстойник, ввиду повышенной гидравлической нагрузки, т.к. выход очищенной воды организован только с одной стороны отстойника;

– естественный способ осаждения (пассивная флокуляция) в свободном объеме отстойника.

Это не позволяет достигать требуемого качества отделения активного ила от воды, отсутствует возможность повышения концентрации активного в аэротенках, отсутствует возможность регулирования дозы активного ила в аэротенках.

Данная проблема касается:

- блока отстойников после нитрификатора (5 отстойников);
- блока отстойников после денитрификатора (4 отстойника);
- блока отстойников после аэротенка доочистки (4 отстойника).

1.7 Определение эффективности работы горизонтальных отстойников

«Наибольшему влиянию колебаний гидравлической и массовой нагрузки подвержены вторичные отстойники, изменения нагрузки на которые приводят к неконтролируемым процессам в толще ила.

Наличие водоворотных и мертвых зон сокращает время пребывания воды в сооружении, увеличивает скорость ее течения и, таким образом, ухудшает эффект работы отстойников.

Гидравлические условия работы отстойников могут оцениваться коэффициентом объемного использования отстойника K_{set} , представляющим собой отношение действительного времени пребывания воды в сооружении t_n к теоретическому t [22], и находится по формуле 1:

$$K_{set} = \frac{t_n}{t} \quad (1)$$

Теоретическое время пребывания воды определяется по формуле 2:

$$t = \frac{V_0}{q_n} \quad (2)$$

где V_0 – объем отстойника;

q_n – расход воды, поступающей в отстойник.

«Действительное время пребывания воды в сооружении определяется экспериментально – путем введения в воду меченого элемента (солей, краски, радиоактивного изотопа) и последующего контроля за выходом его из сооружения.

Коэффициент объемного использования горизонтальных отстойников равен $K_{set} \sim 0,5-0,6$. Низкие значения K_{set} свидетельствуют о неудовлетворительных гидравлических условиях работы отстойников: наличие водоворотных и мертвых зон, несовершенная конструкция распределительного или сборного устройства и неудовлетворительное соотношение между основными размерами сооружения: глубины к длине и глубины к ширине.

Расположение водоворотных и мертвых зон и причины их возникновения могут быть установлены при визуальном наблюдении и

построении кинематической схемы движения подкрашенных струй воды в остекленной модели отстойника» [22].

«Иловая смесь, поступающая во вторичные отстойники сооружений с удалением азота, после глубокой нитрификации в аэробных зонах содержит большое количество нитратов.

В толще отстойников при снижении содержания растворенного кислорода протекает выделение газообразного азота. Пузырьки азота поднимают на поверхность хлопья ила, что влечет за собой нарушение технологического режима.

Этот неконтролируемый процесс ведет к выносу ила из системы и вторичному загрязнению очищенной воды» [26].

«Одним из результатов нарушения работы биологических сооружений являются пенообразование и вспухание ила, которые приводят к нарушению процессов очистки и перегрузке вторичных отстойников.

Контроль седиментационных характеристик ила и своевременное принятие технологических мер позволяют снизить риски нарушения работы блока биологической очистки. Улучшение свойств ила может достигаться за счет выявления и устранения причин этого явления, в первую очередь, за счет увеличения концентрации активного ила в аэротенках, либо повышения аэробности системы.

Еще одна причина нарушения работы вторичных отстойников — неконтролируемая денитрификация в толще ила.

Решение этой проблемы возможно путем управления величиной рециклов уровней ила во вторичном отстойнике, регулирования дозы и возраста ила, кислородного режима в аэробных сооружениях» [3], [7], [10], [14], [16], [22].

Выводы по первому разделу: в данном разделе были рассмотрены характеристика очистных сооружений цеха 39, количественные и качественные характеристики сточных вод. Выявлена неэффективная работ вторичных отстойников, являющихся частью системы биологической очистки

сточных вод. Определены факторы, способствующие повышенному выносу взвешенных веществ, что создает угрозу развития вспухания активного ила, следовательно, нарушаются флокуляционные и седиментационные свойства активного ила. Выявлены конструктивные недостатки вторичных отстойников:

- увеличенная скорость прохождения иловой воды через отстойник, ввиду повышенной гидравлической нагрузки, т.к. выход очищенной воды организован только с одной стороны отстойника;

- естественный способ осаждения (пассивная флокуляция) в свободном объеме отстойника.

Это не позволяет достигать требуемого качества отделения активного ила от воды, отсутствует возможность повышения концентрации активного в аэротенках, отсутствует возможность регулирования дозы активного ила в нитрификаторе.

2 Разработка технического решения. Предложение по техническому дооснащению вторичных отстойников

2.1 Анализ технических решений по интенсификации процессов илоразделения

«Направлениями интенсификации сооружений илоразделения могут быть:

– увеличение поверхности за счет больших размеров (условной поверхности за счет применения тонкослойных модулей);

– улучшение характеристик ила;

– гранулирование активного ила» [33]. «Применение гранулированного ила позволяет увеличить дозу ила, оптимизировать объемы биологических реакторов и сооружений илоразделения, провести селекцию биоценоза» [34], [36];

– дозирование реагентов в иловую смесь [7];

– «физическое воздействие на иловую смесь, в том числе дегазация (вакуумирование). Предварительная дегазация (вакуумирование) ила перед его подачей во вторичные отстойники способствует улучшению процесса осаждения. С помощью такого решения можно увеличить рабочую дозу ила до 6–7 г/л (за счет улучшенной седиментации и снижения нагрузки на поверхность вторичного отстойника) и сократить/оптимизировать требуемый объем реактора. Вакуумирование иловой смеси дает возможность повысить дозу возвратного ила, снизить риск его выноса с очищенной водой, сократить требуемое время для отстаивания. После дегазации иловой смеси отделение надильной воды протекает без образования частично осевшего и плавающего ила» [22]–[25]. «В процессе дегазации из иловой смеси «вытягивается» газ, например, азот и кислород, что положительно сказывается на общей эффективности очистки. Возвратный ил в зону денитрификации поступает со

сниженным кислородом, что ускоряет процессы денитрификации. Отделение свободного азота интенсифицирует эффективность очистки по нему» [27];

– мембранное илоразделение (не оказывает влияние на характеристики, интенсифицирует процесс отделения биомассы).

«В расчетном режиме работы аэротенков их функционирование обеспечивается тем, что после отделения от очищенной воды в сооружениях илоотделения активный ил возвращается в аэротенки. Это означает, что активный ил в проточных условиях постоянно циркулирует между аэротенками и сооружениями илоотделения» [23].

«Вторичные отстойники являются частью системы биологической очистки сточных вод с гравитационным илоразделением. Их работа определяет в первую очередь качество очистки воды от взвешенных веществ и объем возвратного ила, формирующий дозу ила в аэротенках. Концентрация взвешенных веществ в очищенной воде зависит от нескольких параметров, но главным образом от нагрузки по сухому веществу на поверхность вторичных отстойников» [30].

«Однако в процессе биологической очистки сточных вод в аэротенках растворенные органические вещества, а также не осаждающиеся тонкодиспергированные и коллоидные вещества переходят в активный ил, обуславливая прирост исходной биомассы. Повышение дозы ила против оптимальных значений может привести к повышенному выносу взвешенных веществ из вторичных отстойников. Чтобы этого не произошло, в аэротенк возвращается лишь то количество ила, которое поддерживает его расчетную рабочую дозу в нем. Остальной ил в виде избыточного, т. е. не требующегося для целей биологической очистки удаляется из системы аэротенк – илоотделитель на обработку и ликвидацию» [31].

Эффективность работы вторичных отстойников определяет конечный эффект очистки воды от взвешенных веществ.

«Регулирование работы вторичных отстойников как по нагрузке, так и по времени пребывания сухого вещества ила, не допускающее долгого

пребывания ила в придонном слое, а также поддержание высокой концентрации кислорода в конце аэротенков является способом сохранения высокой эффективности очистки сточной воды по азоту нитритов» [11].

2.2 Тонкослойное отстаивание сточных вод

Идея отстаивания в тонком слое стала известной благодаря работам Хазена и затем экспериментально подтверждена Р. Кэмпом, К. Фишеретормом, В. Радцигом, И. Добряковым и т.д..

Установка тонкослойных модулей в уже существующих горизонтальных отстойниках широко используется в мировой практике водоснабжения для существенного (в 3-4 раза) повышения производительности очистных комплексов при том же или даже более высоком эффекте осветления воды. Они состоят из ряда параллельных пластин, между которыми течет вода. Движение осветленной воды и образовавшегося осадка в этих устройствах может происходить в одном направлении (такие аппараты называют прямоточными) или в противоположных направлениях (противоточные отстойники). Общий вид тонкослойного отстойника представлен на рисунке 7.

«Преимущество тонкослойных отстойников также в том, что наличие параллельных пластин в сечении отстойника позволяет равномерно распределить поступающий поток воды и сохранить это распределение по всей длине. Следовательно, в многоярусных отстойниках коэффициент использования объема гораздо выше.

Тонкослойные отстойники классифицируются по следующим признакам:

- по конструкции наклонных блоков на трубчатые и полочные;
- по режиму работы — периодического (циклического) и непрерывного действия;

– по взаимному движению осветленной воды и вытесняемого осадка — с прямоточным, противоточным и смешанным (комбинированным) движением» [26].



Рисунок 7– Общий внешний вид тонкослойного отстойника

Процесс седиментации происходит в узком слое воды внутри тонкослойного модуля с наклонными веществами. Благодаря этому взвесь опускается быстрее, частицы скатываются вниз в зоне флокуляции и сгущения под действием сил тяжести. Чем меньше толщина слоя сточной воды, тем меньше удельная нагрузка на площадь отстаивания. «Величина расхода оказывает прямое влияние на работоспособность, но не является управляемой величиной. Повышение дозы ила и ухудшение седиментационных свойств (увеличение илового индекса) увеличивают нагрузку на отстойник. Данные параметры являются косвенными и поддаются управлению» [14].

2.3 Предложение по установке тонкослойных пластин

«Для снижения поверхностной гидравлической нагрузки на отстойники, снижения скорости движения воды, улучшения показателей илоразделения и

сокращения выноса активного ила из отстойников на 60-95% без необходимости дополнительного строительства предлагается установка тонкостенных модулей. Повышение качества отделения ила от воды сократит вынос активной биомассы и повысит стабильность работы очистных сооружений.

Тонкослойные отстойники классифицируются по следующим признакам:

- по конструкции наклонных блоков - на трубчатые и полочные;
- по режиму работы — периодического (циклического) и непрерывного действия;
- по взаимному движению осветленной воды и вытесняемого осадка — с прямоточным, противоточным и смешанным (комбинированным) движением» [24].

Осветление воды происходит в наклонных каналах сотовой конструкции, при движении воды по каналу происходит осаждение взвешенных частиц на стенку. Оснащение рамой с системой продувки модулей, предотвращает нарастание ила.

Использование тонкослойных модулей в составе отстойников позволяет сократить площадь, занимаемую оборудованием, в 2-5 раз. Сотовая конструкция блоков обеспечивает их высокую прочность при малой массе.

«Недостатками всех видов тонкослойных отстойников является необходимость предварительного удаления из воды примесей с большими размерами частиц, а также частиц, плавающих на поверхности» [31].

В таблицу 4 сведены оптимальные технические характеристики Российских производителей мембран.

Таблица 4 – Анализ технических характеристик оптимальных Российских производителей мембран

Характеристики	ООО НПФ «ЭКОТОН», Россия, г.Белгород	ООО «КСК «АКВАПОЛИМ ЕР», Россия, г.Калуга	Примечание
Материал	Полипропилен с УФ-Стабилизаторами	УФ-стабилизированный ПВХ	
Угол наклона	60°	60°	
Высота модуля, мм	1614	1500	
Гидравлический радиус, см	2,7	2,0	Малые гидравлические радиусы обеспечивают стабильный ламинарный поток в ячейках тонкослойного блока с более низкими числами Рейнольдса.
Эффективность очистки от взвешенных веществ	Не менее 90%	Не менее 90%	Зависит от характеристик входящего потока смеси сточных вод с активным илом

Монтаж модулей производится на вновь монтируемые опорные конструкции, которые находятся в зоне отстаивания. Конструкция профилей позволяет осуществить их шпунтованное соединение между собой. Для фиксации продольных перемещений профили склеивают специальным клеем и спаивают между собой в четырех точках.

Система тонкослойных модулей обеспечивает:

- ламинарный поток. Малые гидравлические радиусы ячеек обеспечивают стабильный ламинарный поток в ячейках тонкослойного блока с более низкими числами Рейнольдса;
- уменьшение времени отстаивания предотвращает нежелательную денитрификацию в отстойнике и вынос взвешенных веществ с осветленной водой в условиях высокой температуры.

- значительное увеличение нагрузки и повышение эффективности за счет увеличения осаждающих площадей;
- оборудование стабильно работает в условиях изменения температуры стоков;
- одинаковые гидравлические характеристики смежных межполочных пространств.

В данной бакалаврской работе рассматривается вопрос дооснащения блока отстойников 2026 (после нитрификатора).

2026 – блок из пяти параллельных горизонтальных отстойника из монолитного железобетона и стеновых панелей.

Размеры в плане: 18*16 м;

Рабочая глубина – 6,6 м;

Рабочий объем -540 м³.

Горизонтальный отстойник представляет собой железобетонный резервуар. Осадок скапливается на дне отстойника в днищах, выполненных конструктивно в виде конусов.

Сток, поступающий в отстойник, врезается в железобетонную перегородку, погруженную на глубину около 2 метров, и стремится вниз. Сточная вода затем поступает вверх и проходит через установленные под углом 60° тонкослойные модули, где взвешенные вещества и частицы ила скатываются на дно отстойника (рисунок 8). При меньшем угле установленных модулей может произойти задержка потока, и отстойник будет переполняться, а при большем угле не будет происходить оседание взвешенных веществ и ила.



Рисунок 8 - Принцип работы тонкослойных блоков

Тонкослойные модули изготовлены из полипропилена с УФ стабилизаторами, что позволяет им не всплывать на поверхность и не опускаться на дно отстойного аппарата. У полипропилена есть много достоинств: защита от УФ излучения (можно устанавливать на открытых сооружениях и срок эксплуатации составляет 25 лет); морозоустойчивость (позволяет тонкослойным модулям сохранять эластичность даже при пониженных температурах); гидрофобность полипропилена, связанная с низкой поверхностной энергией полипропилена и т.д.

Осадок, образующийся в конических днищах, выкачивается воздушными эрлифтами обратно в иловую камеру и поступает в аэротенк. Вода с не осевшими взвешенными веществами и частицами ила направляется в сборный лоток.

С целью создания равномерного потока рекомендуется установка регулируемой переливной кромки. Регулируемый зубчатый водослив обеспечивает равномерный перелив по всей площади отстойника, уменьшая вынос взвешенных частиц (рисунок 9). По фронту водослива сборного лотка отстойника переливная кромка выполнена с треугольными вырезами, через которые происходит слив воды в лоток.

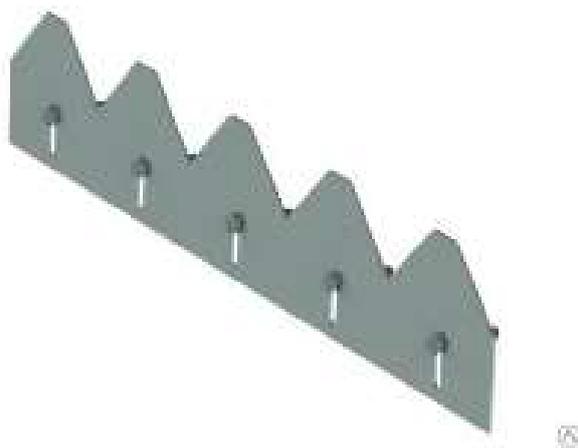


Рисунок 9 – Регулируемая переливная кромка

Обоснование эффективности ламинарного течения.

Цель применения тонкослойных пластин - повышение эффективности процесса седиментации. Конструкция отстойника с тонкослойными элементами разработана так, чтобы движение воды было ламинарным и процесс осаждения взвесей проходил максимально эффективно.

Ламинарное течение- это слоистое, упорядоченное течение, при котором отдельные слои жидкости скользят друг относительно друга, не смешиваясь между собой [24].

Эффективность седиментации оценивается, как правило, в соответствии с теорией Хазена, как функция от средней нагрузки на поверхность пластины.

Общий вывод по работам [11], [13], [14], [16] - максимальная эффективность достигается при спокойном, равномерно распределённом потоке.

В отстойнике до модернизации – турбулентный режим течения воды. Турбулентное течение- это течение, сопровождающееся интенсивным перемешиванием жидкости и пульсациями скоростей, и давлением.

2.4 Проблема засорения тонкослойных отстойников

«В большинстве современных отстойников используется трубчатый модуль вместо пластинки. Трубчатый модуль обладает более высоким

седиментационным эффектом, чем пластинки, имеет больший смоченный периметр, меньший гидравлический радиус, лучший ламинарный поток и меньшую концентрацию взвешенных веществ в стоке. Однако, после длительной эксплуатации отстойника, а также при изменении качества и количества воды, эффективность осаждения и качество очищенных вод может значительно снижаться» [16]. Оснащение рамой с системой продувки модулей, предотвращает нарастание ила. По мере загрязнения пластин естественно будет падать степень очистки, поэтому периодичность регенерации тонкостенных модулей надо производить с учетом эксплуатации, в летнее время возможно обрастание пластин активным илом, при повышенных температурах окружающей среды.

Выводы по второму разделу: определена цель реконструкции вторичных отстойников – повышение эффективности процесса седиментации, за счет создания условий для обеспечения ламинарного потока. Проведен анализ технических решений по интенсификации процессов илоразделения. Дано обоснование выбранного решения - дооснащение существующих вторичных отстойников тонкослойными пластинами. С целью создания равномерного потока рекомендуется установка регулируемой переливной кромки. Регулируемый зубчатый водослив обеспечивает равномерный перелив по всей площади отстойника, уменьшая вынос взвешенных частиц. Данное решение позволит улучшить качество отделения ила от воды, что сократит вынос активной биомассы и повысит стабильность работы очистных сооружений. Выбрана конструкция тонкослойных модулей отечественного производителя.

3 Расчетная часть

3.1 Расчет нитрификатора

Предлагаемая модернизация касается отстойника, который по технологической схеме стоит после нитрификатора. Соответственно для дальнейшего обоснования эффективности предлагаемого решения необходимо понимание качества стоков, поступаемых после аэротенка. С учетом того фактора, что отдельно не было информации по составу стоков, выходящих с нитрификатора, принято решение по предварительному расчету материального баланса для данного аппарата.

В цехе № 39 используется нитрификатор со следующими параметрами (таблица 5):

Таблица 5 – Конструктивные параметры нитрификатора

Параметр	Величина, единицы измерения
Длина	36 м
Ширина секции	13,5 м
Ширина коридора	4,5 м
Рабочая глубина	4,4 м
Рабочий объем	$2140 \times 3 = 6420 \text{ м}^3$

Нитрификатор работает по принципу смесителей.

Согласно данным, полученным на преддипломной практике доза активного ила, возвращаемого из вторичного отстойника в нитрификатор составляет $10000 \text{ мг/л} = 10 \text{ г/л}$. Принимаем $a_i = 10 \text{ г/л}$

«Иловый индекс оценивает способность ила к оседанию и представляет собой объем активного ила после отстаивания в течение 30 мин иловой смеси объемом 100 мл, отнесенный к 1 г сухого вещества ила. Иловый индекс является показателем способности активного ила к осаждению, то есть характеризует его седиментационные свойства» [21], [23], [27].

«При высоких значениях илового индекса, активный ил будет

выносятся из вторичного отстойника вместе с очищенной водой, ухудшая степень ее очистки» [7].

«При пониженных значениях илового индекса, в активном иле повышается доля тяжелых элементов, с более высокой зольностью, что вызывается высокой минерализацией клеточной составляющей, или наличия взвешенных частиц с высокой плотностью, что определяется не только составом сточных вод, но и эффективностью стадии механической очистки. Такой ил обладает хорошими седиментационными свойствами, однако для него также характерна низкая скорость прироста биомассы, связанная с понижением активности его метаболизма, что в результате не позволяет поддерживать необходимую нагрузку на активный ил» [7].

Иловый индекс на данный момент составляет $J_i=55 \text{ см}^3/\text{г}$.

«Произведем расчёт степени рециркуляции активного ила по формуле 3:

$$R_i = \frac{a_i}{\frac{1000}{J_i} - a_i} \quad (3)$$

где a_i – доза активного ила г/л;

J_i - иловый индекс $\text{см}^3/\text{г}$ » [28].

$$R_i = \frac{10}{\frac{1000}{55} - 10} = 1,2 \quad (4)$$

Определим БПК_{полн}, поступающей в нитрификатор сточной воды с учетом разбавления L_{mix} по формуле 5:

$$L_{\text{mix}} = \frac{L_{en} + L_{er} \cdot R_i}{1 + R_1} \text{ мг/л} \quad (5)$$

$$L_{\text{mix}} = \frac{400 + 20 \cdot 1,2}{1 + 1,2} = \frac{424}{2,2} = 353,3 \text{ мг/л} \quad (6)$$

Рассчитаем продолжительность обработки воды в нитрификаторе по формуле 7:

$$t_{atv} = \frac{2.5}{\sqrt{a_i}} \lg \frac{L_{mix}}{L_{ex}} \text{ ч}, \quad (7)$$

$$t_{atv} = \frac{2.5}{\sqrt{10}} \lg \frac{353,3}{20} = 1 \text{ ч} \quad (8)$$

Рассчитываем дозу активного ила в регенераторе a_r по формуле 9:

$$a_r = a_i \frac{1}{2 \cdot R_i} + 1, \text{ г/л} \quad (9)$$

$$a_r = 10 \frac{1}{2 \cdot 1,2} + 1 = 10 \cdot \frac{1}{2,4} = 5,2, \text{ г/л} \quad (10)$$

«Рассчитываем удельную скорость окисления ρ при дозе активного ила a_r по формуле 11:

$$\rho = \rho_{\max} \frac{L_{ex} \cdot c_0}{L_{ex} c_0 + K_i c_0 + K_0 L_{ex}} \frac{1}{1 + \varphi \cdot a_i} \text{ мг} \cdot \text{БПК}_{\text{полн}} / (\text{г} \cdot \text{ч}) \quad (11)$$

где ρ_{\max} – максимальная скорость окисления органических загрязнений, мг БПК_{полн} / (г·ч). Выбираем по таблице для азотных заводов - $\rho_{\max} = 140$ мг

K_i – константа характеризующая свойства загрязнений мг БПК_{полн} /л (выбираем по таблице 10 СНиП 2.04.03-85 для азотной промышленности - $K_i = 6$);

K_0 - константа характеризующая влияние кислорода, мг O_2 /л (выбираем по таблице для азотной промышленности - $K_0 = 2.4$);

φ – коэффициент ингибирования л/г (выбираем по таблице 11 СНиП 2.04.03-85 для азотной промышленности $\varphi = 1.11$);

c_0 – концентрация растворенного кислорода, мг/л, (2 мг/л)» [28].

$$\rho = 140 \frac{20 \cdot 2}{20 \cdot 2 + 6 \cdot 2 + 2,4 \cdot 20} \frac{1}{1 + 1,1 \cdot 10} \quad (12)$$

$$= 4,6 \text{ мг} \cdot \text{БПКполн}/(\text{г} \cdot \text{ч})$$

Определяем общую продолжительность окисления органических загрязнений t_0 по формуле 13:

$$t_0 = \frac{L_{en} - L_{ex}}{R_i \cdot a_r \cdot (1 - s) \cdot \rho}, \text{ ч} \quad (13)$$

где s – зольность активного ила (по таблице 13 СНиП 2.04.03-85 = 0,3)
(по техрегламенту не более 0,35)

$$t_0 = \frac{400 - 20}{1,2 \cdot 5,2 \cdot (1 - 0,3) \cdot 4,6} = 18,9 \text{ ч} \quad (14)$$

«Определяем продолжительность регенерации t_r по формуле 15:

$$t_r = t_0 - t_{atv}, \text{ ч} \quad (15)$$

где t_0 - общую продолжительность окисления органических загрязнений, ч;

t_{atv} - продолжительность обработки воды в нитрификаторе, ч» [28].

$$t_r = 18,9 - 1 = 17,9 \text{ ч} \quad (16)$$

Определяем продолжительность пребывания в системе аэротенк (нитрификатор)– регенератор t_{a-r} по формуле 17:

$$t_{a-r} = (1 + R_i) t_{atv} + R_i \cdot t_r, \text{ ч} \quad (17)$$

$$t_{a-r} = (1 + 1,2)1 + 1,2 \cdot 17,9 = 23,68, \text{ ч} \quad (18)$$

Рассчитываем среднюю дозу активного ила в системе нитрификатор – регенератор $a_{i\text{ mix}}$ по формуле 19:

$$a_{i\text{ mix}} = \frac{(1 + R_i) \cdot t_{atv} \cdot a_i + R_i \cdot t_r \cdot a_r}{t_{a-r}} \text{ г/л} \quad (19)$$

$$a_{i\text{ mix}} = \frac{(1 + 1.2) \cdot 1 \cdot 10 + 1,2 \cdot 17,9 \cdot 5,2}{23,68} = 5,65, \text{ г/л} \quad (20)$$

Рассчитывается нагрузка на активный ил q_i по формуле 21:

$$q_i = \frac{24 \cdot (L_{en} - L_{ex})}{a_{i\text{ mix}}(1 - s)t_{a-r}}, \text{ мг} \cdot \text{БПКполн}/(\text{г} \cdot \text{сут}) \quad (21)$$

$$q_i = \frac{24 \cdot (400 - 20)}{2.55 \cdot (1 - 0.3) \cdot 17.63} = 290 \text{ мг} \cdot \text{БПКполн}/(\text{г} \cdot \text{сут}) \quad (22)$$

«Рассчитываем прирост активного ила P_i по формуле 23:

$$P_i = 08 \cdot C_{сдр} + K_g \cdot L_{en}, \text{ мг/л} \quad (23)$$

где $C_{сдр}$ – концентрация взвешенных веществ в сточной воде, поступающей в нитрификатор, мг/л» [28]; По Таблице 3 концентрация взвешенных веществ 580 мг/л.

K_g – коэффициент прироста активного ила.

$$P_i = 08 \cdot 580 + 0,3 \cdot 400 = 584 \text{ мг/л} \quad (24)$$

Определяем растворимость кислорода в воде C_a по формуле 25:

$$C_a = \left(1 + \frac{h_a}{20.6}\right) C_T, \text{ мг/л} \quad (25)$$

где h_a – рабочая глубина погружения аэратора, м ($h_a = H_{at} - 0.3$);
 H_{at} – рабочая глубина аэротенка, м $H_{at} = 4.4$ м (см. Таблица 6);
 C_T – растворимость кислорода в воде в зависимости от температуры и давления, мг/л. Принимаем 5 мг/л.

$$C_a = \left(1 + \frac{h_a}{20.6}\right) \cdot C_T = \left(1 + \frac{4.1}{20.6}\right) 5 = 6 \text{ мг/л} \quad (26)$$

Дозу ила, поступающего в регенератор из вторичного отстойника a_{reg} , г/л, находят из следующего уравнения 27:

$$a_{reg} = \left(\frac{1}{2R} + 1\right) a_i, \text{ г/л} \quad (27)$$

$$a_{reg} = \left(\frac{1}{2 \cdot 1.2} + 1\right) \cdot 10 = 14,2 \text{ г/л} \quad (28)$$

«Определяем объем циркулирующего активного ила U , м³. Расчет производится по формуле 29:

$$U = \frac{a_i \cdot Q \cdot R}{a_{reg}}, \text{ м}^3 / \text{ч} \quad (29)$$

где Q – расход сточных вод, м³ /ч» [28].

Учитывая тот факт, что в нитрификатор поступают аммоний содержащие стоки NH_4 в количестве 150 м³/ч.

$$U = \frac{10 \cdot 150 \cdot 1,2}{14,2} = 126,8 \text{ м}^3 / \text{ч} \quad (30)$$

Аэробное окисление характеризуется БПК, т.е расходом O_2 на окисление органических веществ до CO_2 и H_2O .

БПК_{полн} сточных вод с иловой смесью в аэротенке, мг O₂/л, устанавливаются по формуле 31:

$$\text{БПК}_{\text{полн}} = \frac{L_{\text{ex}} \cdot Q + L_{\text{en}} \cdot q}{Q + U} \text{ мг O}_2/\text{л} \quad (31)$$

$$\text{БПК}_{\text{полн}} = \frac{400 \cdot 150 + 20 \cdot 150}{150 + 126,8} = 227,6 \text{ мг O}_2/\text{л} \quad (32)$$

«Величина БПК_{полн} определяет практически истинный расход кислорода на процесс биохимической очистки и является важнейшей технологической характеристикой для любого аэробного биоокислителя» [22].

«Определяем суточное количество образующегося ила (конструктивный обмен) по формуле 33:

$$I = q (Q + Q \cdot Ri) \cdot \frac{L_{\text{en}} - L_{\text{ex}}}{1000} \text{ кг O}_2/\text{сут} \quad (33)$$

где g - дополнительное количество ила, образующегося на единицу количества стоков» [28].

$$I = 0,8 (150 + 150 \cdot 1,2) \cdot \frac{400 - 20}{1000} = 100,32 \text{ кг O}_2/\text{сут} \quad (34)$$

Таким образом, проведенные расчеты показали, что биохимические процессы, протекающие в нитрификаторе проходят недостаточно эффективно. Рассчитанные период аэрации и продолжительность нахождения сточной воды в аппарате получились ниже допустимых нормативной документацией. Степень рециркуляции ила по фактическому значению илового индекса так же ниже допустимой. Низкий показатель илового индекса говорит о плохих седиментационных свойствах ила. Фактический прирост

активного ила ниже проектного. Расчеты показывают неэффективность работы нитрификатора при существующей дозе активного ила 10000 мг/л.

3.1.1 Материальный баланс нитрификатора

Так стоки в цех 39 подаются по 2 трубопроводам с расходами 70 м³/ч и 150 м³/ч. В нашем случае на нитрификатор поступают аммоний содержащие стоки NH₄ в количестве 150 м³/ч.:

$$Q_{\text{ст. в}} = 150 \text{ м}^3/\text{ч} = 150\,000 \text{ кг/ч} \quad (35)$$

Определяем количество циркулирующего ила, подаваемого в аэротенк, по формуле 36:

$$G_{\text{и. ц}} = Q_{\text{ст. в}} \cdot R_i \quad (36)$$

где R_i – степень рециркуляции активного ила при самотечном удалении иловой смеси (получена при расчетах нитрификатора - 1,2 (формула (1))).

$$G_{\text{и. ц}} = 150\,000 \cdot 1,2 = 125\,000 \text{ кг/ч}$$

«Определим количество активного ила по сухому остатку по формуле 37:

$$G_{\text{сух}} = G_{\text{и. ц}} \cdot \frac{G_{\text{и}}}{1000}, \text{ кг/ч} \quad (37)$$

где $G_{\text{и}}$ – концентрация ила в смеси, кг/м³» [28]. Концентрация ила в смеси равна 8 кг/м³.

$$G_{\text{сух}} = 125\,000 \cdot \frac{8}{1000} = 1000 \text{ кг/ч} \quad (38)$$

Определим количество воды в смеси, поступающей в нитрификаторк, по формуле 39:

$$G_{\text{вод}} = G_{\text{и. ц}} - G_{\text{сух}}, \text{ кг /ч} \quad (39)$$

$$G_{\text{вод}} = 125000 - 1000 = 124000 \text{ кг /ч} \quad (40)$$

«Прирост активного ила определяется по формуле 41:

$$P_i = \sum C_i^{\text{Вх}} - \sum C_i^{\text{Вых}} \quad (41)$$

где $\sum C_i^{\text{Вх}}$ – суммарное содержание загрязняющих веществ на входе в аппарат, кг/ч;

$\sum C_i^{\text{Вых}}$ – суммарное содержание загрязняющих веществ на выходе из аппарата, кг/ч» [28].

3.1.2 Определение часовых расходов загрязняющих веществ

Зная часовой расход стоков, поступающих в нитрификатор – $Q = 150 \text{ м}^3/\text{ч}$, а также концентрацию загрязняющих веществ до очистки в нитрификаторе рассчитаем количество веществ на входе и на выходе.

Расход загрязняющих веществ в сточной воде на выходе определим по формуле 42:

$$Q_{\text{з.з}} = K_{\text{а.а.}} \cdot Q_{\text{ст.в}} \cdot 10^{-6} \text{ кг/ч} \quad (42)$$

где $Q_{\text{з.з.}}$ – расход загрязняющих веществ, кг /ч;

$K_{\text{а.а.}}$ - концентрация загрязняющих веществ, мг/л;

$Q_{\text{ст.в}}$ – расход загрязненных стоков, $Q_{\text{ст.в}} = 150 \text{ м}^3/\text{ч} = 150000 \text{ кг/ч}$;

10^{-6} – перевод мг содержащихся веществ в килограммы.

Данные по загрязняющим веществам, на входе в нитрификатор представлены в таблице 3.

Определим расход азота аммонийного в сточной воде на входе:

$$Q_{a. a. vx} = 520 \cdot 150000 \cdot 10^{-6} = 78 \text{ кг/ч} \quad (43)$$

Определим расход азота нитратного в сточной воде на входе:

$$Q_{a. \text{нит. vx}} = 319 \cdot 150000 \cdot 10^{-6} = 47,85 \text{ кг/ч} \quad (44)$$

Определим расход взвешенных веществ в сточной воде на входе:

$$Q_{v. v. vx} = 580 \cdot 150000 \cdot 10^{-6} = 87 \text{ кг/ч} \quad (45)$$

Определим расход капролактама в сточной воде на входе:

$$Q_{\text{капр vx}} = 273 \cdot 150000 \cdot 10^{-6} = 40,95 \text{ кг/ч} \quad (46)$$

Определим расход сульфат ион в сточной воде на входе:

$$Q_{\text{сул. vx}} = 2360 \cdot 150000 \cdot 10^{-6} = 54 \text{ кг/ч} \quad (47)$$

Расход азота аммонийного в сточной воде на выходе:

$$Q_{a. a. \text{вых}} = 27 \cdot 150000 \cdot 10^{-6} = 4,05 \text{ кг/ч} \quad (48)$$

Расход азота нитратного в сточной воде на выходе:

$$Q_{a. \text{нит. вых}} = 11 \cdot 150000 \cdot 10^{-6} = 1,65 \text{ кг/ч} \quad (49)$$

Расход взвешенных веществ сточной воде на выходе:

$$Q_{v. v. \text{вых}} = 500 \cdot 150000 \cdot 10^{-6} = 75 \text{ кг/ч} \quad (50)$$

Расход капролактама в загрязнённой сточной воде на выход

$$Q_{\text{капр. вых}} = 18 \cdot 150000 \cdot 10^{-6} = 2,70 \text{ кг/ч} \quad (51)$$

Расход сульфат ион в сточной воде на выходе:

$$Q_{\text{сул. вых}} = 307 \cdot 150000 \cdot 10^{-6} = 46,05 \text{ кг/ч} \quad (52)$$

Данные расчетов по содержанию загрязняющих веществ приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Количество загрязняющих веществ на входе/выходе в нитрификатор

Наименование веществ	Количество ЗВ в составе сточных вод на входе в нитрификатор, кг/ч	Количество ЗВ в составе сточных вод на выходе из нитрификатора, кг/ч
Азот амонийный	78,00	4,05
Азот нитратный	47,85	1,65
Капролактам	40,95	2,7
Взвешенные вещества	87,00	75,00
Сульфат-ион	54,00	46,05
Итого	307,80	139,45

Используя формулу (23) и данные таблицы 7, определим величину прироста активного ила:

$$P_i = 307.80 - 139.45 = 168.35 \quad (53)$$

Рассчитаем материальный баланс загрязняющих веществ нитрификатора (вход/выход).

Рассчитаем общее количество сточных вод, содержащих загрязняющие вещества, которые поступают на вход по формуле 54:

$$Q_{\text{общ. ст}} = Q + Q_{\text{а. а. вх}} + Q_{\text{а. нит. вх}} + Q_{\text{в. в. вх}} + Q_{\text{капр. вх}} + Q_{\text{сул. вх}} + G_{\text{и. ц}} \quad (54)$$

$$Q_{\text{общ. ст}} = 150000 + 78 + 47.85 + 87 + 40.95 + 54 + 64500 = 214807.8 \text{ кг/ч} \quad (55)$$

Принимаем расход $Q_{\text{общ. ст}} = 214807,8$ за 100%.

Рассчитаем процентное соотношение воды сточной на входе по формуле 56:

$$Q_{\text{в. сточн}} = \frac{Q}{Q_{\text{общ. ст}}} 100, \% \quad (56)$$

$$Q_{\text{в. сточн}} = \frac{150000}{214807.8} = 69.8300 \% \quad (57)$$

Рассчитаем процентное соотношение азота аммонийного на входе по формуле 58:

$$Q_{\text{а. а. вх}} = \frac{Q_{\text{а. а. вх}}}{Q_{\text{общ. ст}}} 100, \% \quad (58)$$

$$Q_{\text{а. а. вх}} = \frac{78}{214807.8} = 0.0363 \% \quad (59)$$

Рассчитаем процентное соотношение азота нитратного на входе по формуле 60:

$$Q_{\text{а. нитрат. вх}} = \frac{Q_{\text{а. нитрат. вх}}}{Q_{\text{общ. ст}}} 100, \% \quad (60)$$

$$Q_{\text{а. нитрат. вх}} = \frac{48,85}{214807,8} 100 = 0,0223 \% \quad (61)$$

Рассчитаем процентное соотношение капролактама на входе по формуле 62:

$$Q_{\text{капр. вх}} = \frac{Q_{\text{капр. вх}}}{Q_{\text{общ. ст}}} \cdot 100, \% \quad (62)$$

$$Q_{\text{капр. вх}} = \frac{40,95}{214807,8} \cdot 100 = 0,0190 \% \quad (63)$$

Рассчитаем процентное соотношение взвешенных веществ на входе по формуле 64:

$$Q_{\text{в. в. вх}} = \frac{Q_{\text{в. в. вх}}}{Q_{\text{общ. ст}}} 100, \% \quad (64)$$

$$Q_{\text{в. в. вх}} = \frac{87}{214807,8} \cdot 100 = 0,0405 \% \quad (65)$$

Рассчитаем процентное соотношение сульфат ион на входе по формуле 66:

$$Q_{\text{сульф. вх}} = \frac{Q_{\text{сульф. вх}}}{Q_{\text{общ. ст}}} \cdot 100, \% \quad (66)$$

$$Q_{\text{сульф. вх}} = \frac{54}{214807,8} \cdot 100 = 0,0251\% \quad (67)$$

Рассчитаем процентное соотношение активного ила на входе по формуле 68:

$$Q_{и. а} = \frac{Q_{и. а}}{Q_{общ. ст}} \cdot 100, \% \quad (68)$$

$$Q_{и. а} = \frac{64500}{214807,8} \cdot 100 = 29.8009 \% \quad (69)$$

Рассчитаем процентное соотношение воды сточной на выходе по формуле 70:

$$Q_{в. сточн. вых} = \frac{Q}{Q_{общ. ст}} \cdot 100, \% \quad (70)$$

$$Q_{в. сточн. вых} = \frac{150000}{214807.8} = 69.8300 \% \quad (71)$$

Определим процентное соотношение азота аммонийного на выходе по формуле 72:

$$Q_{а. а. вых} = \frac{Q_{а. а. вых}}{Q_{общ. ст}} \cdot 100 \quad (72)$$

$$Q_{а. а. вх} = \frac{4.0500}{214807.8} \cdot 100 = 0.0019 \% \quad (73)$$

Рассчитаем процентное соотношение азота нитратного на выходе по формуле 74:

$$Q_{а. нитрат. вх} = \frac{Q_{а. нитрат. вых}}{Q_{общ. ст}} \cdot 100, \% \quad (74)$$

$$Q_{а. нитрат. вх} = \frac{1.65}{214807.8} \cdot 100 = 0,0007 \% \quad (75)$$

Рассчитаем процентное соотношение капролактама на входе по формуле 76:

$$Q_{\text{капр. вых}} = \frac{Q_{\text{капр. вых}}}{Q_{\text{общ. ст}}} \cdot 100, \% \quad (76)$$

$$Q_{\text{капр. вх}} = \frac{2.7}{214807.8} \cdot 100 = 0.0013 \% \quad (77)$$

Рассчитаем процентное соотношение взвешенных веществ на входе по формуле 78:

$$Q_{\text{в. в. вых}} = \frac{Q_{\text{в. в. вых}}}{Q_{\text{общ. ст}}} \cdot 100, \% \quad (78)$$

$$Q_{\text{в. в. вх}} = \frac{75}{214807.8} \cdot 100 = 0.0349 \% \quad (79)$$

Рассчитаем процентное соотношение сульфат ион на входе по формуле 80:

$$Q_{\text{сульф. вых}} = \frac{Q_{\text{сульф. вых}}}{Q_{\text{общ. ст}}} \cdot 100, \% \quad (80)$$

$$Q_{\text{сульф. вх}} = \frac{54}{214807.8} \cdot 100 = 0.0214\% \quad (81)$$

Рассчитаем процентное соотношение активного ила на входе по формуле 82:

$$Q_{\text{и. а.}} = \frac{G_{\text{и. ц}}}{Q_{\text{общ. ст}}} \cdot 100, \% \quad (82)$$

$$Q_{и. а.} = \frac{64500}{214807,8} \cdot 100 = 29,8009 \% \quad (83)$$

Рассчитаем процентное соотношение воздуха на выходе по формуле 84:

$$Q_{возд} = Q_{ст. в} \cdot q_{air} \quad (84)$$

$$Q_{возд} = 150000 \cdot 28,34 \cdot 10^{-3} = 4251 \text{ кг/ч} \quad (85)$$

Для лучшего восприятия сведем расчёт материального баланса в таблицу.

Материальный баланс нитрификатора представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Материальный баланс нитрификатора

Приход	Кг/ч	%	№ п/п	Расход	Кг/ч	%
Общие стоки	214807,8	100	1	Общие стоки	214807,8	100
Вода	150000	69,83	2	Вода	145927,35	67,9339
Азот аммонийный	78	0,0363	3	Азот аммонийный	4,05	0,0019
Азот нитратный	47,85	0,0223	4	Азот нитратный	1,65	0,0007
Взвешенные вещества	87	0,0405	5	Взвешенные вещества	75,00	0,0349
Сульфат ион	54	0,0251	6	Сульфат ион	46,05	0,0214
Капролактамы	40,95	0,0190	7	Капролактамы	2,7	0,0013
Активный ил	64500	29,8009	8	Активный ил	64500	29,8009
			9	Воздух	4251	2,0124
Итого	214807,8	100		Итого	214807,8	100

Итого мы определили, что на входе в отстойник концентрация загрязняющих веществ составляет 75 кг/ч.

3.2 Расчет тонкослойного отстойника

«Расчет тонкослойных отстойников заключается в определении его геометрических параметров: рабочей длины отстойной секции, площади поперечного сечения тонкослойного пространства, объема зоны осаждения при заданном расходе сточной воды и концентрации взвешенных веществ» [18]. Расчетная схема тонкослойного отстойника с противоточной схемой работы представлена на рисунке 10, а его баланс на рисунке 11.

Технические характеристики тонкослойных модулей ООО «КСК «АКВОПОЛИМЕР»:

- угол наклона: 60° ;
- высота собранного блока модуля: 1500 мм;
- длина пластин модуля: 1700 мм;
- расстояние между профилями модуля: 130/90 +- 2 мм.

Технические характеристики отстойника 2026:

- размеры в плане – 18 х 6 м;
- рабочая глубина – 6,9 м;
- рабочий объем – 335 м³.

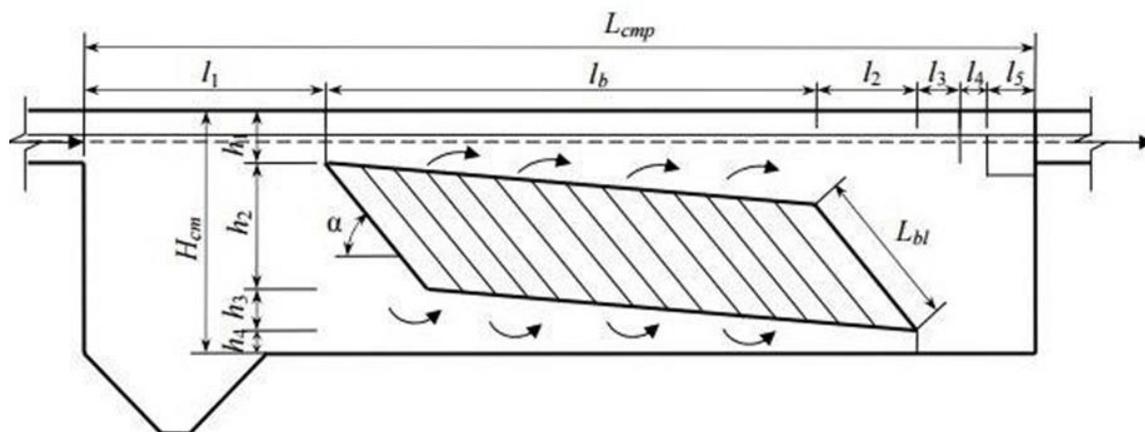


Рисунок 10 – Расчетная схема тонкослойного отстойника с противоточной схемой работы

Принятые исходными данными:

- U_0 - гидравлическая крупность, задерживаемых частиц, 0,67 мм/с [25];
- глубина проточной части в отстойнике $H_{set} = 0,2$ м (при высоких концентрациях загрязнений рекомендуется принимать большие значения) [29];
- коэффициент использования объема проточной части отстойника $K_{set} = 0,7$ согласно СНиП 2.04.03 -85.

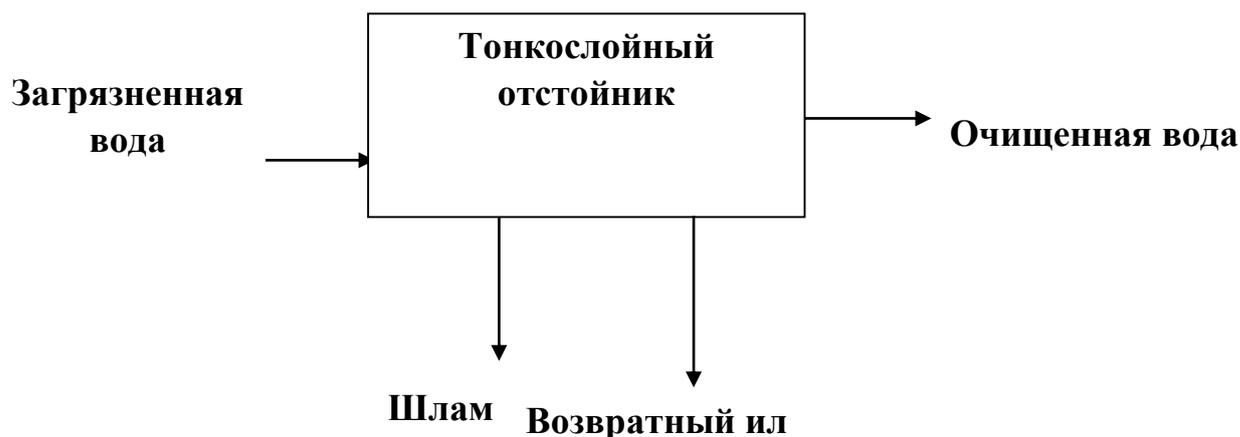


Рисунок 11 – Баланс тонкослойного отстойника

При расчете используем данные из таблицы 6.

1 Длина пластин тонкослойного блока (глубина) по формуле 86 должна составить:

$$L_{bl} = \frac{V_w \cdot h}{U_0} \cdot K_{dis} , \text{ м} \quad (86)$$

где h - высота слоя воды для отстаивания. В соответствии с указанием СНиП 2.04.03-85 по таблице 31 определяем $H_{set} = 0.2$ м;

V_w - скорость потока в ярусе (5-10) мм/с [29];

K_{dis} , - коэффициент сноса выделенных частиц (при плоских пластинах

$K_{dis} = 1,2$; при рифленых пластинах $K_{dis} = 1$).

$$L_{bl} = \frac{5 \cdot 0,2}{0.67} \cdot 1 = 1,5 \text{ м} \quad (87)$$

2 Определяется расстояние между пластинами по формуле 88, м:

$$b_n = h \cdot \cos \alpha \quad (88)$$

где h – высота слоя для отстаивания, м.

$$b_n = 0,2 \cdot \cos 60 = 0,1 \text{ м}$$

Задаемся количеством ярусов в блоке (модуле) из условия простоты монтажа $N=10$ шт. определяем высоту блока по формуле 89:

$$H_{bl} = N \cdot 0,1 \quad (89)$$

где N - количество ярусов в блоке, которое назначается из конструктивных соображений;

b_n - определяется по формуле (88), м.

$$H_{bl} = 10 \cdot b_n = 1 \text{ м}$$

3 Назначается количество отделений отстойника, не менее двух, $n=3$ шт;

4 Ширина тонкослойного блока определяется из условия ширины материала листа и условий монтажа ($B_{bl} = 2 - 6$ м), м. Ширина одного отделения отстойника 6м. Принимаем $B_{bl}=6$ м.

5 Определяется производительность одной секции по формуле (36) СНиП 2.04.03 -85, м³/с. Коэффициент использования объема $K_{set} = 0,7$ (таблица 31 СНиП 2.04.03 -85):

$$Q_{set} = 3,6 \cdot H_{bl} \cdot B_{bl} \cdot K_{set} \cdot V_w \quad (90)$$

где H_{bl} – высота слоя для отстаивания, м.

$$Q_{\text{set}} = 3,6 \cdot 1 \cdot 6 \cdot 0,7 \cdot 5 = 75,6 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Толщиной пластин в блоке при технологическом расчете можно пренебречь. Исходя из расхода сточных вод определяем количество секций отстойника по формуле 91:

$$N_{\text{от}} = \frac{Q}{Q_{\text{set}}} \quad (91)$$

Подставляем данные:

$$N_{\text{от}} = \frac{200}{75,6} = 3 \quad (92)$$

Расчет подтверждает правильно заданное число коридоров.

Далее из конструктивных соображений и с учетом обеспечения гидравлического режима потоков воды, близкого к ламинарному, назначаются другие размеры секции отстойника.

5 «Длина зоны тонкослойного отстаивания определяется по формуле 93:

$$L_b = \frac{q_w}{3,6 \cdot n \cdot K_{\text{set}} \cdot B_{\text{bl}}}, \text{ м} \quad (93)$$

где q_w - максимальный часовой расход воды;

n – количество отделений отстойника;

B_{bl} – ширина одного тонкослойного блока, м» [29].

Так как расчет идет для вторичного отстойника нитрификатора то расход стоков среднечасовой составляет $150 \text{ м}^3/\text{ч}$, максимальный – $200 \text{ м}^3/\text{ч}$.

$$L_b = \frac{200}{3,6 \cdot 3 \cdot 0,7 \cdot 6} = 5 \text{ м} \quad (94)$$

Находим общую расчетную длину отстойника по формуле 95:

$$L_{\text{стр}} = L_1 + (L_b \cdot n) + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 \quad (95)$$

где L_1 - длина зоны выделения крупных примесей (приемной камеры), равная 1,8 м

$$L_3 = 0,3 \text{ м};$$

$$L_4 = 0,05 - 0,1 \text{ м};$$

$$L_5 - \text{сборный лоток, } 1 \text{ м.}$$

$$L_2 = L_{b1} \cdot \sin(90 - \alpha) \quad (96)$$

где α – угол наклона пластины к горизонту, принимается равным 45 - 60°. В нашем расчете принимаем оптимальный уровень наклона 60°.

$$L_2 = 0,6 \cdot \sin(90 - 60) = 0,3 \text{ м}$$

$$L_{\text{стр}} = 1,8 + (5 \cdot 3) + 0,3 + 0,3 + 0,1 + 1 = 18 \text{ м} \quad (97)$$

Находим общую высоту отстойника по формуле 98:

$$H_{\text{стр}} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 \quad (98)$$

где h_1, h_3, h_4 – размерные показатели, определяемые по таблице 32 СНиП 2.04.03 -85. $h_1 = 2 \text{ м}$; $h_3 = 2,3 \text{ м}$; $h_4 = 2 \text{ м}$.

$$h_2 = L_{b1} \cdot \sin \alpha \quad (99)$$

$$h_2 = 1,7 \cdot 60 = 1,5 \text{ м} \quad (100)$$

Расчетные значения пластин совпали с геометрией производителя.

$$H_{\text{стр}} = 2 + 1,5 + 2,3 + 2 = 6 \text{ м} \quad (101)$$

Определяем количество осадка, удаляемого за сутки по формуле 102:

$$Q_{\text{mud}} = \frac{Q \cdot C \cdot \text{Э}}{(100 - P_{\text{mud}}) \gamma_{\text{mud}} 10^6} \quad (102)$$

где Q_{mud} – суточный расход сточных вод, м³/сут;

C - концентрация механических примесей в воде, 500 мг/л;

Э - эффект задержания осаждающихся примесей, 90 %;

P_{mud} – влажность осадка, 95%;

γ_{mud} – объемная масса частиц осадка, 2,65 т/м³.

$$Q_{\text{mud}} = \frac{3600 \cdot 500 \cdot 90}{(100 - 95) \cdot 2.65 \cdot 10^6} = 12.23 \text{ м}^3/\text{сут} \quad (103)$$

Расход воды поступающий на следующее сооружение по формуле 104:

$$Q = Q_{\text{сут}} - Q_{\text{mud}} \quad (104)$$

где $Q_{\text{сут}}$ – суточный расход воды, м³/сут;

Q_{mud} – количество осадка, м³/сут.

Подставим данные в формулу:

$$Q = 3600 - 12,23 = 3587,77 \text{ м}^3/\text{сут} \quad (105)$$

Эффект очистки после тонкослойного отстойника представлен в таблице 8.

Таблица 8 - Эффект очистки после тонкослойного отстойника

Загрязняющие вещества	$C_i^{\text{до}}$, мг/л	Э , %	$C_i^{\text{после}}$, мг/л
Взвешенные вещества	500	90	50
БПК _{полн}	400	0	400
Азот аммонийный	5,44	0	5,44
Азот нитритов N - NO ₂	285,809	0	285,809
Азот нитратов N – NO ₃	153,9032	0	153,9032
ХПК	215,9355	0	215,9355

Вывод: Модернизация вторичного отстойника тонкослойными модулями позволит снизить содержание взвешенных веществ на 90 процентов.

На рисунке 12 представлена схема горизонтального отстойника 2026 после предлагаемой модернизации, с учетом рассчитанных геометрических параметров.

«Процесс илоразделения во вторичных отстойниках определяется гидродинамическим режимом, который зависит от совокупного воздействия следующих факторов:

- режим впуска иловой смеси в сооружение, оцениваемый скоростью ее входа;
- процесс сбора осветленной воды, определяемый в основном скоростью подхода воды к сборному лотку;
- режим отсоса отсевшего ила, определяемый скоростью входа ила в сосуны илоотсоса и уровнем стояния ила» [5], [8], [33].

Конструкция сбора осадка представляет конические углубления 3 шт, по 2 метра глубиной. Так как установка тонкослойных моделей увеличивает осаждение взвешенных веществ и активного ила, то есть риск того, что существующие на данный момент воздушные эрлифты не будут справляться. Эрлифт – это особый вид насоса, принцип действия которого основан на законе равновесия жидкости в сообщающихся сосудах.

При откачивании шлама применяют три типа насосов:

- горизонтальные шламовые насосы;
- вертикальные шламовые насосы;
- погружные шламовые насосы.

Поэтому можно рекомендовать установку дополнительного оборудования погружные насосы с частотными преобразователями для перекачки осевшего активного ила со дна отстойника. С учетом глубины отстойника можно рекомендовать напор 7 м.

3.2.1 Преимущества частотно-регулируемых насосов:

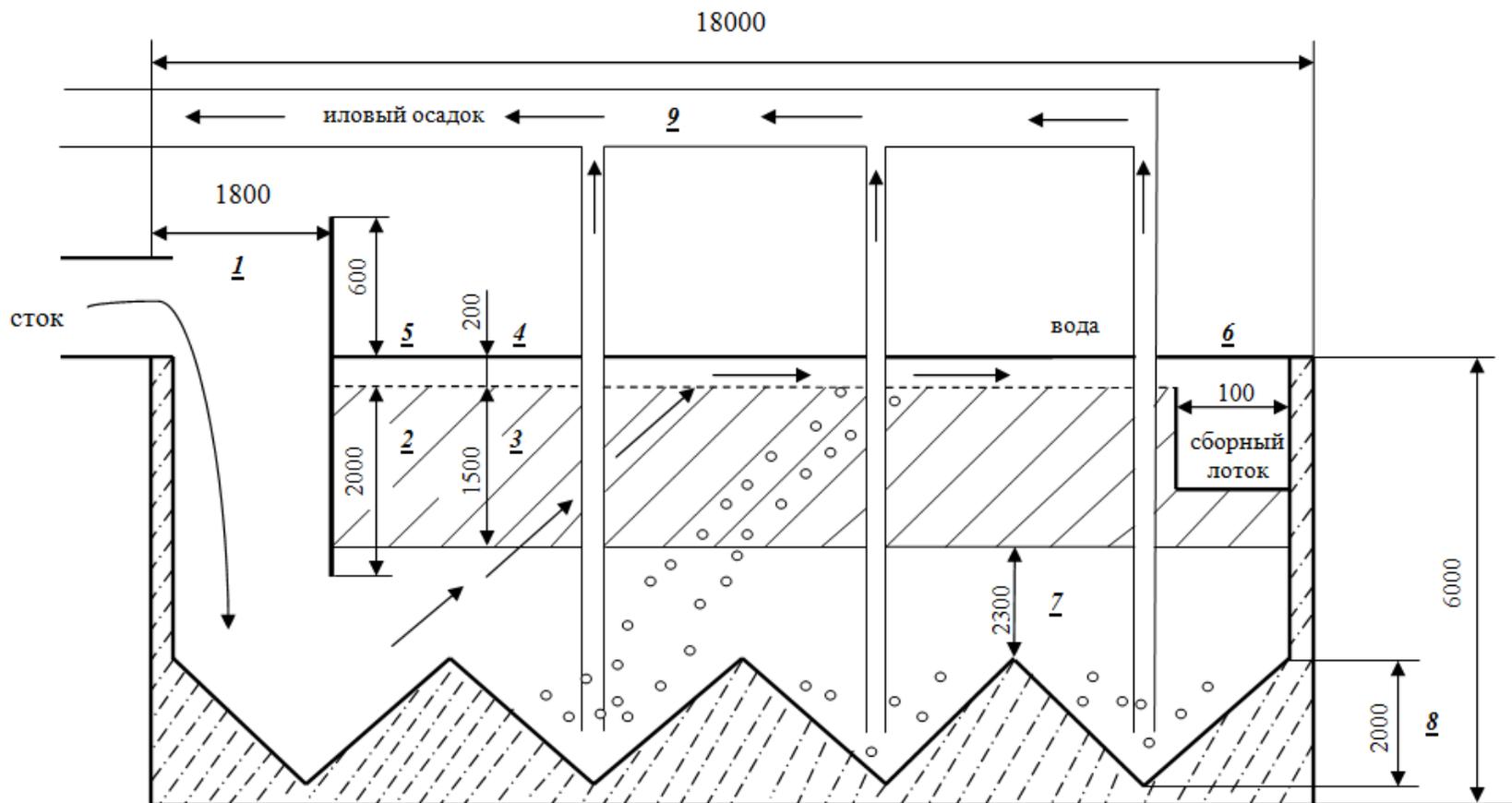
Установка и подключение насоса через частотный преобразователь позволяет контролировать и оптимизировать работу агрегата. Благодаря преобразователю частот двигатель может замедлять, приостанавливать и вновь активизировать обороты – в соответствии с интенсивностью подачи (откачки) среды.

То есть, электродвигатель будет потреблять количество энергии оптимально необходимое для стабильного давления в системе. Это означает существенное снижение затрат электроэнергии.

Частотный преобразователь обеспечивает плавную остановку и запуск насоса, минимизируя пусковые перегрузки насоса и возможность гидравлических ударов. Это повышает срок службы всех механизмов: непосредственно насоса, электродвигателя, контрольно-измерительных приборов, трубопроводов, запорного оборудования.

Насосы предлагается установить в конусах отстойника. Для обслуживания насосов необходимо предусмотреть шахты обслуживания, высота которых должны быть выше уровня воды (для исключения попадания неосветленной воды в слой осветленной воды над тонкослойными модулями).

Периодичность регенерации тонкослойных модулей определяется в процессе эксплуатации, но не реже 1 раза в 10 суток.



1 – длина коридора; 2 – длина железобетонной перегородки; 3 – величина, на которую погружен модуль; 4 – уровень воды над модулем; 5 – высота перегородки над уровнем воды; 6 – длина сборного лотка; 7 – расстояние между модулями и верхней конусной частью; 8 – длина конусной части; 9 – воздушные эрлифты, откачивающие осадок в нитрификатор

Рисунок 12 – Схема предлагаемой модернизации

Выводы по третьему разделу: проведенные расчёты показали, что биохимические процессы в нитрификаторе проходят недостаточно эффективно.

Рассчитанные период аэрации и продолжительность нахождения жидкости в нитрификаторе получились ниже допустимых нормативной документацией. Степень рециркуляции ила по фактическому значению илового индекса так же ниже допустимой. Низкий показатель илового индекса говорит о плохих седиментационных свойствах ила. Фактический прирост активного ила ниже проектного. Определены конструктивные параметры предлагаемой модернизации с учетом действующих габаритов существующего отстойника и характеристик выбранных модулей. Доказана эффективность установки тонкослойных модулей. Рассчитан объем образующегося шлама.

Для предотвращения заиливания модулей с учетом увеличения объемов отстаивания предлагается установить частотно-регулируемые насосы для обеспечения бесперебойного возврата осадка и сброса остаточного ила.

Заключение

В выпускной квалификационной работе был проведен анализ технологического регламента цеха № 39 предприятия ПАО «КуйбышевАзот». Выявлена проблема выноса активного ила из вторичных отстойников, что негативно сказывается по процессам нитрификации. Определены основные конструктивные недостатки вторичных отстойников:

- увеличенная скорость прохождения иловой воды через отстойник, ввиду повышенной гидравлической нагрузки, т.к. выход очищенной воды организован только с одной стороны отстойника;
- естественный способ осаждения (пассивная флокуляция) в свободном объеме отстойника.

В бакалаврской работе предлагается дооснастить существующие вторичные отстойники после нитрификатора блоками тонкослойного отстаивания с установкой насосов рециркуляции возвратного ила с обеспечением постоянной откачки.

Технология очистки иловой воды с применением тонкослойных блоков характеризуется степенью очистки стоков по взвешенным веществам на уровне 60 - 90% от концентрации поступающего стока.

В ходе анализа научно-технической литературы было выбрана оптимальная конструкция тонкослойных пластин.

В расчетной части проведен расчет материального баланса нитрификатора. Доказана расчетными методами неэффективная работа нитрификатора при существующей возвратной дозе активного ила 10000 мг/л.

Определены конструктивные параметры предлагаемой модернизации и доказано, что после установки тонкослойных модулей возврат активного ила будет осуществляться на уровне примерно 14200 мг/л. Рассчитанное количество ярусов в блоке 10шт. Геометрия действующего отстойника учтена.

Внедрение предлагаемой технологии позволит избежать аварийных выбросов активного ила, увеличит возврат активного ила, обеспечив тем самым стабильную и эффективную работу нитрификатора. Для предотвращения заиливания модулей с учетом увеличения объемов отстаивания предлагается установить частотно-регулируемые насосы для обеспечения бесперебойного возврата осадка и сброса остаточного ила.

Реконструкция отстойников при минимальных капиталовложениях, может быть осуществлена в кратчайшие сроки. При этом чрезвычайно важным становится повышение точности и надежности прогнозирования предполагаемых результатов интенсификации для снижения экономического риска.

Таким образом применение принципа тонкослойного отстаивания перспективно при реконструкции действующих отстойников. Это является наиболее экономичным, а в нашем случае единственным решением.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Баженов В.И. Проектирование современных комплексов биологической очистки сточных вод / В.И. Баженов, А.А. Денисов // Экология и промышленность России. – 2019. – № 2. – С.26-31.
2. Васильев Б.В. Технология биологического удаления азота и фосфора на станциях аэрации / Б.В. Васильев, Б.Г. Мишуков, И.И. Иваненко, Е.А. Соловьева // Водоснабжение и санитарная техника. – 2017. – № 5. часть 1. – С. 22-25.
3. Воронов Ю.В. Биологические окислители / Ю.В. Воронов, Н.А. Залетова, Г.Ш. Чембулатова // Вода и экология: проблемы и решения. – 2018. – № 4 (68). – С.44-47.
4. Гогина Е.С. Интенсификация процессов удаления соединений азота из сточных вод на биофильтрах / Е.С. Гогина, О.В. Янцен, О.А. Ружицкая, В. Дабровски, Р. Жилка, Д. Боружко // Вода и экология: проблемы и решения. – 2018. – № 3 (67). – С.35-45.
5. Гогина Е.С. Удаление азота в модели циркуляционного окислительного канала при пониженном содержании органики в сточных водах / Е.С. Гогина И.А. Гульшин // Водоснабжение и санитарная техника. – 2017. – № 12. – С.26-33.
6. Гогина Е.С. Удаление биогенных элементов из сточных вод: монография / Е.С. Гогина. – М.: Изд-во: АСВ, 2020. – 120 с.
7. Губанова Д.Д., Желтова Д.И. Разработка способа реагентной обработки иловой смеси // Водоочистка. 2018. № 1–2. С. 59–63.
8. Данилович Д.А. Сравнительный анализ методик расчета сооружений биологической очистки сточных вод с удалением азота / Д.А. Данилович, А.Н. Эпов // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2017. – № 4 (112). – С.28-40.
9. Дзюбо В.В. Причины неудовлетворительной работы малых канализационных очистных сооружений (КОС) / В.В. Дзюбо, Л.И. Алферова // Водоочистка. – 2018. – № 3. – С. 34-40.

10. Долина Л.Ф. Реакторы для очистки сточных вод. / Л.Ф. Долина. – Днепропетровск: Издательство Стандарт. – 2019. – 82 с.
11. Жуков М.Ю., Ширяева Е. В. Математическое моделирование процесса седиментации примеси в потоке жидкости/ М.Ю. Жуков, Е. В.Ширяева; Южный федеральный университет. —Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2016. — 208с.
12. Зайцева Т. А. Биохимические методы переработки техногенных отходов: учебное пособие: в 2 частях / Т. А. Зайцева, Л. В. Рудакова, Е. С. Белик. — Пермь: ПНИПУ, [б. г.]. — Часть 1: Биологическая очистка сточных вод в аэротенках — 2015. — 226 с. — ISBN 978-5-398-01525-6.— Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/160932> (дата обращения: 20.10.2022).
13. Кевбрина М. В., Козлов М. Н., Дорофеев А. Г. Вторичные отстойники: сравнение методов расчета при проектировании и анализ параметров эффективной эксплуатации сооружений // Водоснабжение и санитарная техника. 2019. № 3. С. 13–22.
14. Кевбрина М. В., Новиков С. Н. Метод анализа работы вторичных отстойников для оптимизации эксплуатации // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 7. С. 43–49.
15. Кевбрина М. В., Богомолов М. В., Стрельцов С. А., Белов Н. А., Колбасов Г. А. Оптимизация режима удаления ила из вторичных отстойников // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 10. С. 36–42.
16. Ковалев Р.А., Корнеева Н.Н., Сальников Б.Ф., Лифанов Д.О. Применение тонкослойного отстаивания в технике очистки воды// Сб. науч. тр. 8-й Междунар. науч.-практич. конф. молодых ученых и студентов "Опыт прошлого – взгляд в будущее". Тула. 2018. С.331-334.
17. Кузнецов, Ю. В. Насосы, вентиляторы, компрессоры / Ю. В. Кузнецов, А. Г. Никифоров. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 304 с. — ISBN 978-5-8114-9832-1.— Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная

система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/199508> (дата обращения: 29.10.2022).»
(Кузнецов, Ю. В. Насосы, вентиляторы, компрессоры / Ю. В. Кузнецов, А. Г. Никифоров. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — ISBN 978-5-8114-9832-1.— Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/199508> (дата обращения: 29.10.2022).

18. Кулаков А.А. Управление работой малых канализационных очистных сооружений в условия нестабильной нагрузки // Наилучшие доступные технологии. 2020. № 4. С. 46–56.

19. Кулаков А.А., Филатова А.Ф. Вакуумирование активного ила как способ интенсификации процессов его седиментации/ Вестник МГСУ, том16, Выпуск 3, 2021-с.370-380.

20. Куликова А. А. Защита гидросферы: учебное пособие / А. А. Куликова. — Москва: МИСИС, 2021. — 215 с. — ISBN 978-5-907227-89-7. — Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/238349> (дата обращения: 21.10.2022).

21. Луканин А. В. Процессы и аппараты биотехнологической очистки сточных вод: учебное пособие / А.В. Луканин. — Москва: ИНФРА-М, 2020. — 242 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-011332-6. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1089867> (дата обращения: 20.10.2022).

22. Морева Ю.Л., Лоренцсон А.В., Чернобережский Ю.М. Теоретические основы очистки и обезвреживания выбросов и сбросов: часть 1 Выполнение лабораторных работ/ Методические указания для студентов очной и заочной формы обучения по направлениям подготовки: 18.03.02 — Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии- Санкт-Петербург ВШТЭ СПбГУПТД с. 43

23. Николаева Л. А. Биологическая очистка сточных вод предприятий нефтехимического комплекса и энергетики: учебное пособие / Л. А. Николаева. — Казань: КГЭУ, 2021. — 90 с. — Текст: электронный // Лань : электронно-

библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/215156> (дата обращения: 20.10.2022).

24. Остриков А. Н., Болгова И. Н., Копылов М. В., Наумченко И. С. Процессы и аппараты (Основы механики жидкости и газа). Практикум» (Процессы и аппараты (Основы механики жидкости и газа). Практикум: учебное пособие / А. Н. Остриков, И. Н. Болгова, М. В. Копылов, И. С. Наумченко; под редакцией А. Н. Острикова. — Воронеж: ВГУИТ, 2022. — ISBN 978-5-00032-582-7.— Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/254519> (дата обращения: 27.10.2022).

25. Постоянный технологический регламент цеха № 39. Тольятти, 2018 – 108с.

26. Проектирование сооружений для очистки сточных вод/Всесоюз. комплекс, н.-и. и конструкт.-технолог. ин-т водоснабжения, канализации, гидротехн. сооружений и инж. гидрогеологии. — М.: Стройиздат, 1990. — 192 с.: ил, — (Справочное пособие к СНиП).

27. Пучкова Т. А. Биотехнология очистки промышленных отходов: учебное пособие / Т. А. Пучкова. — Минск: БГУ, 2018. — 175 с. — ISBN 978-985-566-529-9. — Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/180422> (дата обращения: 20.10.2022).

28. Рехтин А. Ф. Проектирование сооружений для очистки сточных вод: учебное пособие / А. Ф. Рехтин, Е. Ю. Курочкин, Б. П. Лашкивский. — Томск: ТГАСУ, 2016. — 314 с. — ISBN 978-5-93057-623-8. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/138996> (дата обращения: 20.10.2022).

29. СНиП 2.04.03-85.

30. Феоктистова Н. А. Основы микробиологии. Экологическая микробиология: учебное пособие / Н. А. Феоктистова. — Ульяновск: УлГАУ имени П. А. Столыпина, 2020. — 73 с.— Текст: электронный// Лань: электронно-

библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/207269> (дата обращения: 20.10.2022).

31. Чернобережский Ю.М., Морева Ю.Л., Николаев А.Н. Теоретические основы очистки и обезвреживания выбросов и сбросов. часть 1: учебное пособие / СПб ГТУ РП. - СПб., 2012.- 100 с.

32. Agnado J. a.o. Aqueous heavy metals removal by absorption of aminefunctionalized mesoporous silica// J. Hazardous Mater. 2009. 163. №1. P. 213-221.

33. Campos F., Guimarães N.R., Maia F.C., Sandoval M.Z., Bassin J.P., Bueno R.F. et al. Treatment of real domestic sewage in a pilot-scale aerobic granular sludge reactor: Assessing start-up and operational control // Water Environment Research. 2020. DOI: 10.1016/j.wroa.2019.100033.

34. Liu W., Wu Y., Zhang S., Gao Y., Jiang Y., Horn H. et al. Successful granulation and microbial differentiation of activated sludge in anaerobic/anoxic/aerobic (A2 O) reactor with two-zone sedimentation tank treating municipal sewage // Water Research. 2020. Vol. 178. P. 115825. DOI: 10.1016/j.watres.2020.115825.

35. Musvoto E. V., Casey T. G., Ekama G. A., Wentzel M. C., Marais GvR. The effect of incomplete denitrification on anoxic-aerobic (Low F/M) filament bulking in nutrient removal activated sludge systems // Water Science and Technology. 1994. V. 29. Is. 7. P. 295–299.

36. Wang L., Zhan H., Wang Q., Wu G., Cui D. Enhanced aerobic granulation by inoculating dewatered activated sludge under short settling time in a sequencing batch reactor // Bioresource Technology. 2019. Vol. 286. P. 121386. DOI: 10.1016/j.biortech.2019.121386.