

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 Модернизация системы очистки сточных вод с целью повышения качества работы  
водооборотного цикла АО «Аком»

Студент

Т.А. Авралева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Ю.Н. Шевченко

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

Тольятти 2021



## Аннотация

Тема бакалаврской работы: «Модернизация системы очистки сточных вод с целью повышения качества работы водооборотного цикла АО«Аком»».

Актуальность данной темы обусловлена необходимостью повышения эффективности очистки оборотного водоснабжения.

Целью работы является, повышение качества очистки сточных вод на предприятие ОА «Аком», для стабилизации процесса водооборотного цикла производства.

В данной работе была исследована существующая схема очистки водооборотного цикла предприятия АО «Аком». Изучены сравнительные характеристики методов доочистки сточных вод, в результате чего, были предложены наиболее эффективные и оптимальные способы – циклонный флотатор и ионообменная установка.

Бакалаврская работа состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка используемой литературы и используемых источников и приложения А, Б.

Первый раздел посвящен анализу существующей технологической схеме очистки, изучению протоколов сточных вод на предприятие АО«Аком», выявлению превышений имеющихся загрязнителей стоков.

Во втором разделе произведен литературный анализ по справочникам НДТ, наиболее эффективных и оптимальных методов повышения качества очистки стоков.

В третьем разделе рассмотрены предложения по стабилизации работы водооборотного цикла путем внедрения в систему очистки циклонной флотации с роторно-диспергирующим устройством и катионитовых фильтров, для дополнительного обессоливания концентрата после обратного осмоса.

В четвертом разделе выполнены необходимые расчеты по конструкционным параметрам предлагаемых аппаратов, рассчитан материальный баланс каждого предлагаемого процесса и произведен расчет

экономический целесообразности использования предлагаемых методов доочистки.

Заключение содержит основные выводы по проделанной работе.

Приложение А содержит дополнительные сведения о наиболее актуальные методы доочистки сточных вод от взвешенных веществ и тяжелых металлов из справочников НДТ (ферритизация, коагуляция с использованием микропеска).

Приложение Б содержит дополнительные сведения о возможных процессах обессоливания образующего концентрата после установки обратного осмоса (электродиализ, ионообменная очистка и ультрафильтрация).

Бакалаврская работа изложена на 78 листах, включает 20 таблиц, 15 рисунков и 32 литературных источника.

## **Abstract**

This graduation work is devoted to improving the quality of waste water treatment from ions and salts of heavy metals, as well as suspended solids by implementing a cyclone flotation device and an ion exchange unit into the existing cleaning system.

The aim of the work is to improve the quality of wastewater treatment at the JSC "Acom" enterprise, to stabilize the process of the water circulation cycle of production.

The object of the graduation work is JSC «Akom» is - an enterprise for the production of lead, acid and starter batteries located in is Samara region, Zhigulevsk.

The subject of the graduation work is – modernization of the waste water treatment system in order to improve the quality of the water circulation cycle of JSC «Akom».

The issues of exceeding the concentration of heavy metals and suspended solids in the waste water of this enterprise are highlighted in the project's general part.

The special part of the project gives details about implementing a cyclone flotation unit into the existing treatment scheme to reduce the concentration of heavy metals and suspended solids to the regulated values, as well as the need for additional desalination of wastewater at an ion exchange unit.

The introduction of the proposed technology increases the quality of wastewater treatment by 80-90%. The justification for this method of optimization of cleaning processes is supported by the necessary calculations.

In the conclusion, the main conclusions about the work done are given.

## Содержание

Введение.....	6
1 Технологический процесс очистки сточных вод на АО «Аком».....	7
2 Анализ существующих технологических решений.....	16
3 Предлагаемое технологическое решение .....	19
3.1 Технология циклонной флотации.....	21
3.2 Повышение качества очистки сточных вод с применением ионообменной установки .....	26
4 Расчетная часть.....	39
4.1 Расчет циклонного флотатора.....	39
4.2 Материальный баланс предлагаемого метода очистки от взвешенных веществ и стружки тяжелых металлов с использованием циклонного флотатора .....	42
4.3 Экономическое обоснование целесообразности применения циклонного флотатора в системе очистки сточных вод .....	54
4.4 Расчет натрий-катионного метода обессоливания воды по одноступенчатой схеме.....	58
4.5 Материальный баланс процесса Na-катионирования.....	67
Заключение .....	73
Список используемой литературы и используемых источников.....	75
Приложение А Повышения качества очистки сточных вод от взвешенных веществ и стружки тяжелых металлов.....	79
Приложение Б Повышения качества очистки сточных вод от солей тяжелых металлов .....	94

## Введение

Проблема очистки промышленных сточных вод приобретает большое значение, поскольку большинство очистных сооружений производственных предприятий устарело и не в состоянии обеспечить качественную очистку сточных вод в соответствии с существующими нормативами.

На предприятие АО «Аком» существует замкнутый водооборотный цикл, однако он не стабилен. После системы очистных сооружений в образующихся сточных водах имеются превышения по тяжелым металлам. Так же в замкнутый водооборотный цикл всегда требуется подпитка из внешних источников, на предприятие АО «Аком» подпитка идет из поверхностных вод реки Волги. В связи со строительством моста состав речной воды ухудшается, увеличивается концентрация донных отложений, взвешенных веществ.

Цель работы: повышение качества очистки сточных вод на предприятие АО «Аком», для стабилизации процесса водооборотного цикла производства.

Задачи работы:

1) Проанализировать существующую технологическую схему очистки сточных вод и протоколы по водоподготовке и работе очистных сооружений на предприятие АО «Аком».

2) Изучить справочники наилучшие доступные технологии с целью, предложения оптимального технологического решения стабилизации работы водооборотного цикла на электрохимическом предприятии.

3) Предложить технологическое решение по стабилизации системы очистки на предприятие АО «Аком» и обосновать предложенное решение необходимыми расчетами.

## 1 Технологический процесс очистки сточных вод на АО «Аком»

АО «Аком» - электрохимическое предприятие специализирующиеся по выпуску свинцовых, кислотных и стартерных аккумуляторов. Предприятие находится в городе Жигулевск на территории Национального Парка «Самарская Лука», из-за этого требования к качеству сточных вод и технологиям очистных сооружений предприятия, а так концентрации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и почву должны строго соблюдаться и соответствовать требованиям Национального Парка «Самарская Лука».

Производительность данного предприятия составляет 1000000 шт./год, режим работы составляет 247 дней в году в две смены.

Сточные воды предприятия АО «Аком» характеризуются высоким содержанием солей (до 500 мг/л), ионов тяжелых металлов (свинец (до 30 мг/л, железо до 36,2 мг/л), взвешенных веществ (до 40 мг/л) и низким уровнем рН (до 6).

Количественные показатели стоков на входе и выходе в систему очистки приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Количественные показатели стоков на входе в систему очистки и на выходе

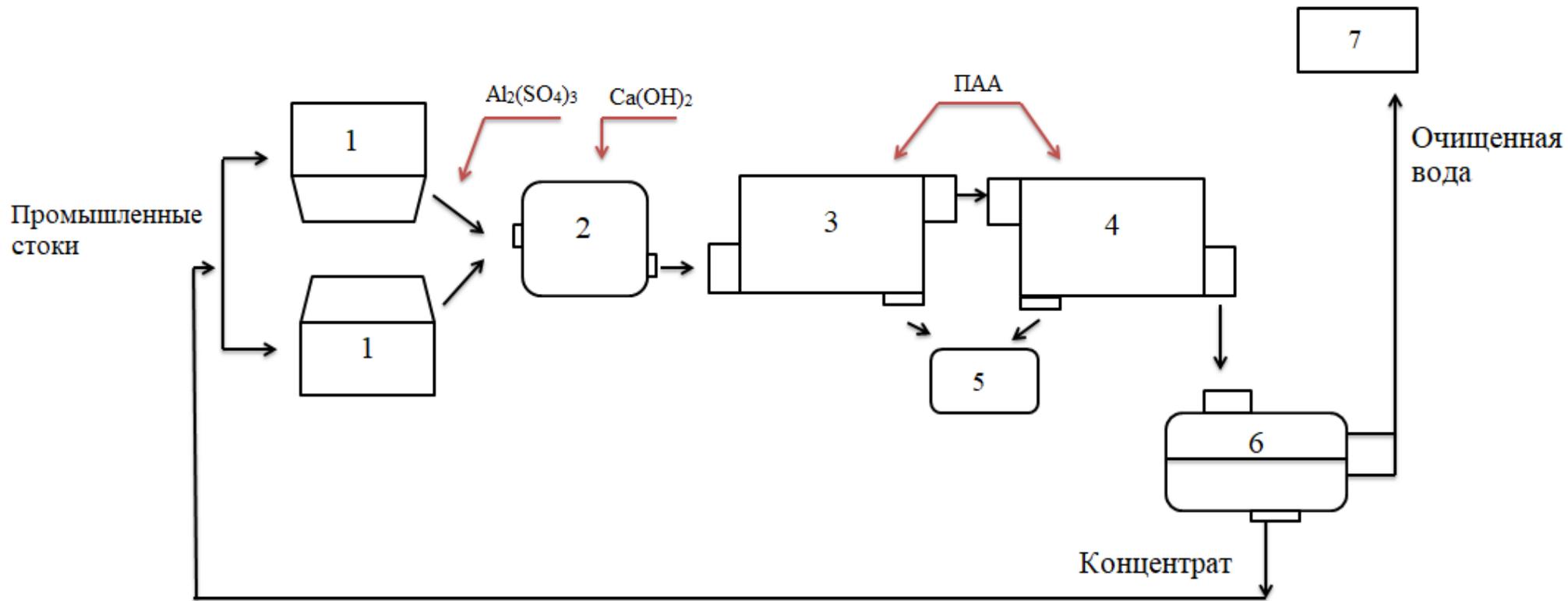
Производств, цех	Загрязняющее вещество	Концентрация, мг/л	Требуемые значения на выходе	Место отведения сточных вод
Смыв полов	Взвешенные вещества	15	5	В отделении очистки сточных вод
	Солесодержание	800	1000	
	Сульфаты	850	500	
	Хлориды	50	200	
	Железная стружка	36,0	0,1	
	Свинцовая стружка	29,9	0,3	
	рН	4	6-9	

Продолжение таблицы 1

Производство, цех	Загрязняющее вещество	Концентрация, мг/л	Требуемые значения на выходе	Место отведения сточных вод
Тоннель обмыва аккумуляторных батарей	Взвешенные вещества	25	5	В отделении очистки сточных вод
	Солесодержание	4200	1000	
	Сульфаты	7000	500	
	Хлориды	100	200	
	Ионы свинца( $Pb^{2+}$ )	25	10	
	Ионы железа( $Fe^{2+}$ ) <sup>+</sup>	14	10	
	pH	4	6-9	

Учитывая требования к предельно допустимым концентрациям загрязняющих веществ, применяемые для комплекса по сборке кислотных аккумуляторов сточные воды предприятия АО «Аком» на выходе из существующей системы очистки не удовлетворяются и требуют доочистки стоков, для стабильной работы водооборотного цикла.

Технологическая схема очистки сточных вод на предприятие АО«Аком» представлена на рисунке 1 [15].



1-усреднители; 2- реактор нейтрализации; 3- многофункциональная установка; 4- многофункциональная установка; 5- накопительная емкость осадка, 6-установка обратного осмоса; 7- бак для очищенной воды на нужны предприятия

Рисунок 1 – Технологическая схема очистки сточных вод на предприятии АО «Аком» [15]

Сточные промышленные воды поступают в усреднители (1), после него насосом порционно откачиваются в реактор нейтрализации (2) во время этого процесса в стоки дозируется коагулянт  $(Al_2SO_4)_3 = 26,6$  мл/мин). В реактор нейтрализации дозируется регулятор рН  $Ca(OH)_2$ , применяется известковое молоко для повышения рН до 8-9 ед. Контроль уровня рН осуществляется датчиками прибора рН-метра. Степень очистки воды максимальна при рН от 5 до 9, так как в этом интервале адсорбция ионов на поверхности коагулянтов максимальна, ввиду того что, поверхность коагулянта заряжена положительно. Дальнейшее увеличение значений рН не приводит к какому-либо повышению степени выделения.

При достижении установленного значения рН, нейтрализованные воды при помощи насоса перекачиваются в многофункциональные установки (3,4) периодического действия, снабженные фильтрующими штампами. Во время перекачивания нейтрализованных стоков в многофункциональные установки (3,4) для интенсификации процессов осаждения и фильтрования нейтрализованных стоков, а также для сгущения и обезвоживания осадка в стоки добавляется раствор флокулянта (ПАА).

В многофункциональных установках (3,4) производится совмещение процессов отстаивания, фильтрования, сгущения и обезвоживания осадка.

Вследствие осаждения гидроксидов металлов в твердой фазе и взвешенных частиц получается легко отделяемые от воды продукты, которые впоследствии легко осаждаются и вывозятся на утилизацию.

Загрязнения остаются в емкостях многофункциональных установок, а осветлённая вода проходит внутрь фильтрующего штампа и насосом перекачивается на установку обратного осмоса (6).

По мере накопления осадка производится его выгрузка через нижний люк многофункциональных установок. Выгрузка производится в накопительную емкость (5), где происходит уплотнение и обезвоживание осадка.

Вода, после многофункциональной установки подается на установку обратного осмоса (б) для последующей очистки от солей, в том числе солей тяжелых металлов, оставшиеся в воде.

Концентрация загрязняющих веществ на входе и на выходе в систему очистки представлена в таблицах 2,3.

Таблица 2- Концентрация загрязняющих веществ на входе в систему очистки

Наименование	Концентрация на входе, мг/л.	Требуемые значения, мг/л.
Железная стружка	36,2	0,3
Свинцовая стружка	30,0	0,2
Сульфаты	7850	500
Хлориды	150	200
Взвешенные вещества	50	5,0
Ионы железа (Fe <sup>2+</sup> )	25	5,0
Ионы свинца (Pb <sup>2+</sup> )	14	5,0
Солесодержание	5000	1000

Таблица 3- Концентрация загрязняющих веществ на выходе из системы очистки

Наименование	Концентрация на выходе, мг/л.	Требуемые значения, мг/л.
Железная стружка	1,20	0,3
Свинцовая стружка	3,10	0,2
Сульфаты	2000	500
Хлориды	48	200
Взвешенные вещества	10	5,0
Ионы железа (Fe <sup>2+</sup> )	1,2	5,0
Ионы свинца (Pb <sup>2+</sup> )	3,1	5,0
Солесодержание	2080	1000

Фильтрат (очищенная вода, далее техническая) собирается в емкостях технической воды и подается и подается вновь на водооборотный цикл производства. Так же вода используется на мойку пола в производственных помещениях, мойку оборудования и мойку выпускаемой продукции.

Обезвоженный осадок, образующийся в многофункциональной установке, вывозится на полигон для утилизации.

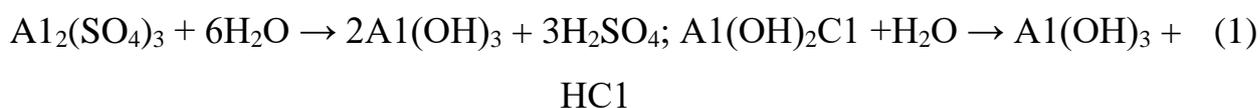
Влияние использования флокулянтов и коагулянтов в системе очистки сточных вод.

«Для очистки производственных сточных вод, содержащих загрязнения в виде тонкодисперсной взвеси и коллоидов, применяют метод коагулирования химическими реагентами - коагулянтами» [30].

«Коллоидные частицы загрязнений адсорбируются на поверхности коллоидных частиц гидроокиси, коагулирующихся под действием растворенных в воде электролитов с образованием хлопьев, которые сорбируют и захватывают при осаждении (ортокинетическая коагуляция) находящиеся в воде примеси. В результате прохождения этих процессов нарушается агрегативная устойчивость системы, что приводит к образованию макродисперсии, отделяемой методами осаждения, флотации или фильтрования» [27].

В качестве таких реагентов на предприятии АО «Аком» используют героизирующую соль, образованные многозарядными катионами слабых оснований и анионами сильных кислот, а именно сульфат алюминия  $Al_2(SO_4)_3$ .

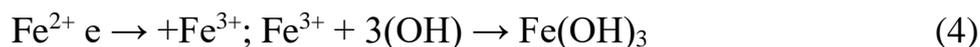
Особенностью этой солей является способность образовывать в результате гидролиза малорастворимые оксигидраты, данный процесс представлен в реакциях (1), (2), (3):



«Гидролиз коагулянтов является одним из наиболее важных процессов коагуляции. Полнота его протекания влияет как на качество разделения

суспензий, так и на расход коагулянта. Гидроксид двух валентного железа обладает значительной растворимостью, поэтому его переводят в трехвалентную форму, используя окислители, например кислород воздуха» [10].

Данный процесс представлен в реакции (4):



«Образующиеся в процессе гидролиза серную и соляную кислоты следует нейтрализовать известью или другими щелочами. В качестве нейтрализатора в существующей технологической схеме выступает известковое молоко» [10].

Нейтрализация кислот может также протекать за счет щелочного резерва сточной жидкости, как представлено в реакции (5):



«Введение в сточную воду коагулянтов вызывает сложную последовательность химических и физико-химических взаимодействий ионов реагента с ионами и мицеллами веществ, находящихся в воде. При введении в воду коагулянтов происходит их диссоциация. Образующиеся при этом поливалентные катионы коагулянта  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  вступают в ионный обмен с катионами адсорбционного слоя отрицательно заряженных коллоидных частиц загрязнений, понижая их стабильность» [1].

«По установлению равновесия между катионами в адсорбционном слое коллоидных частиц и в растворе происходит гидролиз избытка коагулянта. В результате гидролиза в зависимости от pH среды образуются гидрофобные коллоиды малорастворимых гидроокисей алюминия, либо их основных солей. Эти коллоиды имеют огромную активную поверхность и играют основную роль при очистке воды коагуляцией» [29].

Оптимальные значения рН для приоритетных загрязнителей сточных вод в существующей системе очистки приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Оптимальные значения рН для эффективного использования коагуляции [1]

Вид катиона	Значение рН	
	Начало осаждения	Полное осаждение
Железо Fe <sup>2+</sup>	7,5	9,1
Свинец Pb <sup>2+</sup>	2,3	4,1

### Флокулянты

«Для ускорения процесса коагуляции на стадии очистки чаще всего так же добавляют флокулянт, ускоряющий процесс хлопьеобразование» [3].

«В отличие от коагуляции при флокуляции агрегация происходит не только при непосредственном контакте частиц, но и в результате взаимодействия молекул адсорбированного на частицах флокулянта» [5].

«Механизм действия флокулянтов основан на следующих явлениях: адсорбции молекул флокулянта на поверхности коллоидных частиц; ретикуляции (образование сетчатой структуры) молекул флокулянта; слипанию коллоидных частиц за счет сил Ван-дер-Ваальса» [21].

«При действии флокулянтов между коллоидными частицами образуются трехмерные структуры, способные к более быстрому и полному отделению от жидкой фазы. Причиной возникновения таких структур является адсорбция макромолекул флокулянта на нескольких частицах с образованием между ними полимерных мостиков» [28].

Сравнительная характеристика флокулянтов, применяемых на электрохимических предприятиях представлена в таблице 5.

Таблица 5- Сравнительная характеристика флокулянтов

Наименование	Тип флокулянта	Структурная формула	Рабочий рН	Цена
Полиакриламид (ПАА)	Анионный	$[-\text{CH}_2-\underset{\text{I}}{\text{CH}}-\text{CONH}_2]$	6-9	220 руб/кг
Полиэтиленоксид	Не ионный	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-$	3-4	83 руб/кг
Полистиролсульфо кислота	Катионный	$-\text{CH}_2\underset{\text{I}}{\text{CH}}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{SO}_2\text{OH}$	5-7	167 руб/кг

Вывод: в первом разделе на основе анализа технологической схемы были выявлены недостатки с точки зрения качества очистки стоков, содержание тяжелых металлов, взвешенных веществ и солей не соответствует регламентируемым значениям ПДК, для стабильной работы водооборотного цикла.

Произведен анализ влияния коагулянтов и флокулянтов на процесс очистки сточных вод

Изучены оптимальные значения рН для повышения эффективности очистки стоков от имеющихся загрязнений.

## 2 Анализ существующих технологических решений

Исходя из анализа приоритетных загрязнителей в сточных водах предприятия ОАО «Аком» необходимо внедрить дополнительную систему очистки от таких веществ как тяжелые металлы, взвешенные вещества и обессоливания. Дополнительное обессоливание стоков после установки обратного осмоса (УОО) не только снимет нагрузку на осмотические мембраны, но так же повысит качество очистки стоков для водооборотного цикла, требования к которому с каждым годом все строже.

Для выбора подходящего метода доочистки стоков на электрохимическом предприятии необходимо учесть следующие критерии:

- концентрацию загрязняющих веществ на входе в систему очистки;
- общий состав загрязненных сточных вод;
- утилизация ценных компонентов;
- водооборотный цикл;
- агрегатное состояние имеющихся загрязнений.

Исходя из данных критерий, были изучены справочники наилучше доступных технологий и произведен патентный поиск методов доочистки сточных вод [7].

На рисунке 2 представлена схема предлагаемых технологических решений [8].



Рисунок 2 - Схема предлагаемых технологических решений [8]

Сравнительная характеристика предлагаемых методов очистки представлены в таблицах 6,7.

Таблица 6- Сравнительная характеристика методов очистки сточных вод от взвешенных веществ и стружки тяжелых металлов

Наименование	Суть процесса	Достоинства	Недостатки
Коагуляция с использованием микропеска	«Использование микропеска приводит к образованию хлопьев, значительно более плотных и устойчивых, чем хлопья, получающиеся при использовании обычных технологий осветления. Эти хлопья обладают значительно более высокой скоростью осаждения, что позволяет значительно увеличить производительность. Это ведет к сокращению объема установок, занимаемой системой площади и снижению затрат на общестроительные работы» [20]. Более подробно данный метод будет рассмотрен в приложении А.	1) высокая пористость дробленого материала, что повышает его фильтрационные способности; 2) большая площадь поверхности, за счет чего достигается высокая скорость прохождения объема воды через песчаный наполнитель; 3) отменная грязеемкость кварцевого микропеска. В его толще оседает большое количество взвесей, присутствующих в сточных водах	1) необходимость систематической замены фильтрующего микропеска. Его нужно обновлять, как только вода будет иметь заметные возможные примеси; 2) стоимость сыпучего материала (1т =150 000р); 3) необходимость в дополнительном оборудовании (мельница, гидроциклон)

Продолжение таблицы 6

Наименование	Суть процесса	Достоинства	Недостатки
Ферритизация	<p>«Метод использования ферритизированных гальванических шламов (ФГШ) в качестве сорбента. Использование данной технологии улучшает качество сбрасываемых (или тех, что возвращаются в водооборотный цикл) сточных вод и снижает объём отходов» [24].</p> <p>Более подробно данный метод будет рассмотрен в приложении А.</p>	<p>1) в одну стадию, возможно, удалить одновременно сразу несколько ионов тяжелых металлов;</p> <p>2) удаляются из сточных вод не только ионы тяжелых металлов, но и различные диспергированные взвеси и эмульгированные загрязнения;</p> <p>3) низкая чувствительность к влиянию других солей, которые могут присутствовать в стоках в больших концентрациях;</p> <p>4) ионы тяжелых металлов клатратируются в виде кристаллических не выщелачиваемых продуктов.</p>	<p>1) Долгосрочный процесс (1 час);</p> <p>2) Дополнительные энергозатраты на подачу воздуха;</p> <p>3) Дополнительные затраты на реагенты (<math>\text{FeSO}_4=75</math>руб/кг, <math>\text{NaOH} = 30</math>руб/кг, <math>\text{NaNO}_3=62</math>руб/кг)[31].</p>
Флотация	<p>«Флотация представляет собой метод обогащения полезных ископаемых на промышленных предприятиях. Этот способ основан на способности одних частиц – гидрофильных - легко смачиваться жидкостью и отделяться от других частиц – гидрофобных. Процесс происходит в жидкой среде, которая аэрируется воздухом или в которую вводятся капельки масла» [12].</p>	<p>1) простота конструкции флотационных камер;</p> <p>2) небольшие энергозатраты;</p> <p>3) высокая степень очистки;</p> <p>4) небольшие затраты на реагенты <math>\text{Ca}(\text{OH})_2 = 50</math>руб/кг; ПАА = 220руб/кг.</p>	<p>1) необходимость сооружения герметически закрытых резервуаров;</p> <p>2) затраты на приобретение нового оборудования (300 000 р – базовый вариант флотатора, 456 000 р – проектируемый вариант, представленный в работе [18].</p>

Таблица 7- Сравнительная характеристика методов обессоливания сточных вод

Наименование	Суть процесса	Достоинства	Недостатки
Ультрафильтрация	<p>«Ультрафильтрация воды – это баромембранный процесс, заключающийся в том, что жидкость под давлением «продавливается» через полупроницаемую перегородку. Размер отверстий (пор) ультрафильтрационных мембран лежит в пределах от 5 нм до 0,05–0,1 мкм [20].</p> <p>Ультрафильтрация основана на продавливании жидкости через полупроницаемую мембрану — проницаемую для малых молекул и ионов, но непроницаемую для макромолекул и коллоидных частиц» [22].</p> <p>Более подробно данный метод будет рассмотрен в Приложении Б.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1)удаление биологических клеток и микроорганизмов;</li> <li>2)установка компактна;</li> <li>3)отсутствует необходимость в дополнительной обработке хлором.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1)5 раз в день частота регенерации фильтра;</li> <li>2)дорогостоящее оборудование;</li> <li>3)необходима предочистка воды;</li> <li>4)необходимость реагентного хозяйства.</li> </ol>
Электродиализ	<p>«Электродиализ – представляет собой процесс, в котором ионы транспортируются через ионообменную мембрану, используя электрическую энергию в качестве движущей силы» [23].</p> <p>Более подробно данный метод будет рассмотрен в Приложении Б.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1)возможность автоматизировать процесс;</li> <li>2)отсутствие необходимости регенерации;</li> <li>3)регулирование степени очистки;</li> <li>4)достаточно высокая степень очистки от солей;</li> <li>5)возвращение до 99 % воды в технологический процесс;</li> <li>6)отсутствие отходов;</li> <li>7)простота конструкции.</li> </ol>	<p>необходима предварительная очистка сточных вод от масел, ПАВ, органики.</p>

Продолжение таблицы 7

Наименование	Суть процесса	Достоинства	Недостатки
Ионообменная очистка	«Ионный обмен (ИО) - представляет собой процесс взаимодействия компонентов между жидкостью (раствором) и твердой фазой (ионообменной смолой). Поскольку, перенос ионов между фазами происходит на поверхности твердой фазы, ионный обмен может рассматриваться как сорбционный процесс и имеет общие закономерности с процессом адсорбции, но его механизм определяется, в основном, электростатическими силами» [2]. «Электростатические силы задерживают ионы заряженных функциональных групп на поверхности ионита» [16].	1)достаточно высокое качество очистки; 2)простота эксплуатации; 3)устранение всех возможных растворенных солей.	1)частая регенерация (1 раз в две недели); 2)отработанные кислоты и щелочи; 3)повышенные эксплуатационные затраты.

Вывод по второму разделу: изучив предлагаемые методы в справочнике наилучше доступных технологий, наиболее оптимальным для предприятия ОАО «Аком» является использование флотационного метода в качестве доочистки сточных вод от тяжелых металлов и взвешенных веществ до необходимых значений ПДК, а для дополнительного обессоливания образующегося после установки обратного осмоса концентрата, использовать ионообменную установку с Na-катионированием.



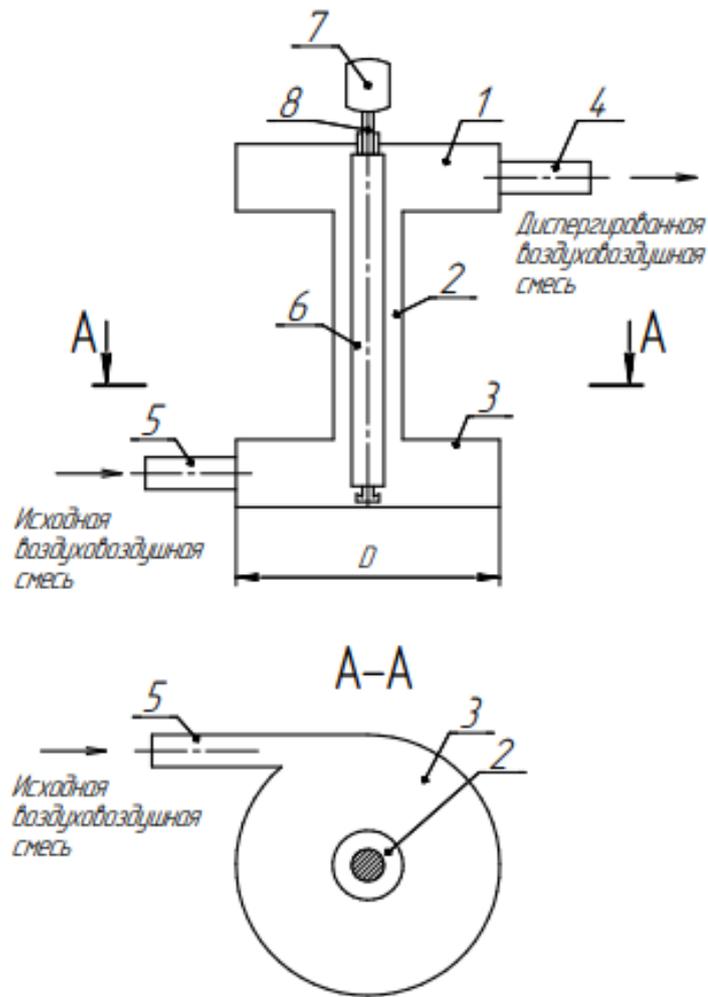
### 3 Предлагаемое технологическое решение

Применение технологии флотационной очистки сточных вод электрохимического предприятия, предусматривает использование роторно-диспергирующего устройства.

«Так как эффективность процесса флотационной очистки воды в значительной степени зависит от способов и устройств аэрации воды. Аэрирование воды при помощи эжекторных устройств получило широкое распространение благодаря простоте их конструкции, высокой надежности, экономичности применения» [4].

Однако применение эжекционной системы аэрации при флотационной очистке сточных вод имеет существенный недостаток - получение крупных пузырьков воздуха диаметром около 1мм, в то время как оптимальный диаметр пузырька для извлечения тонкодисперсных загрязнений составляет 50–90 мкм.

«Поэтому для интенсификации процесса очистки воды с использованием эжекторов предлагается использовать дополнительно роторно-диспергирующее устройство, схема которого представлена на рисунке 3» [8].



1-камера выхода диспергированной водовоздушной смеси; 2-вихревая камера; 3-камера входа водовоздушной смеси; 4-патрубок отвода диспергированной водовоздушной смеси; 5-патрубок подачи исходной водовоздушной смеси; 6-ротор; 7-электродвигатель; 8-вал.

Рисунок 3- Конструктивная схема роторно-диспергирующего устройства[8]

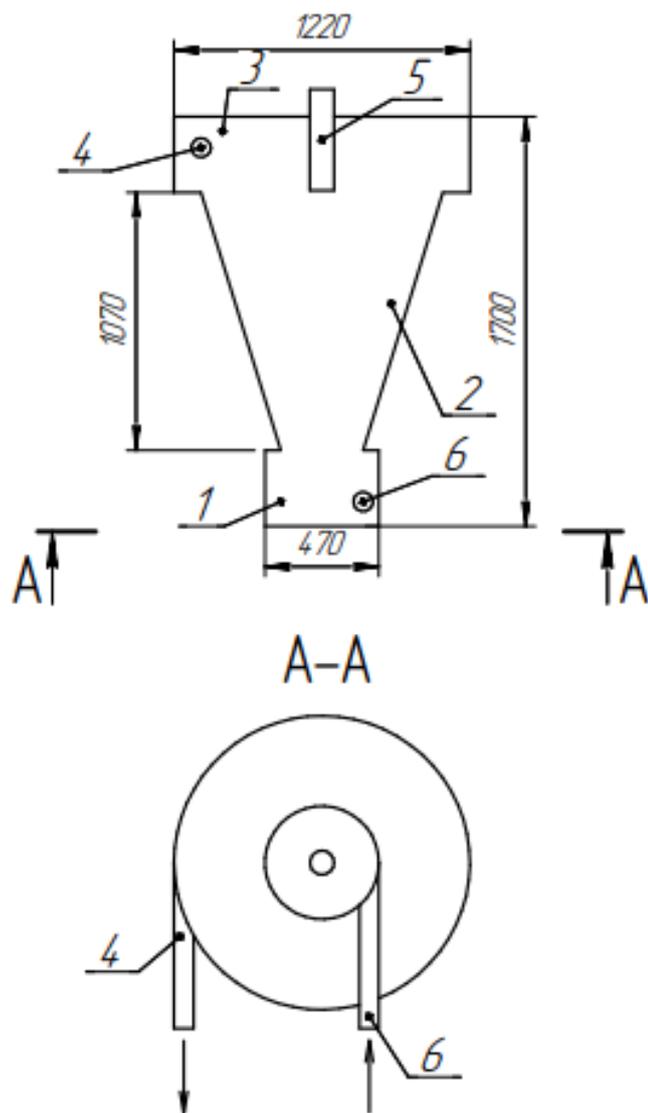
«Следует отметить, что в случае присутствия в сточной воде большого спектра загрязнений, причем каждое загрязнение наиболее эффективно удаляется пузырьком определенного диаметра, целесообразно получать пузырьки широкого дисперсного состава» [13].

### 3.1 Технология циклонной флотации

«За счет тангенциальной подачи диспергированной водовоздушной смеси, в камере входа 1 создается вращательное движение потока. При выходе вращающегося потока водовоздушной смеси из камеры входа в соосно присоединенный к ней корпус циклонного флотатора, имеющий меньший диаметр, угловая скорость вращения смеси увеличивается пропорционально квадрату отношения диаметров камеры входа 1 и корпуса циклонного флотатора» [18].

«В процессе вращательно-поступательного движения водовоздушной смеси в коническом корпусе циклонного флотатора угловая скорость движения смеси так же увеличивается, смесь движется вдоль стенки аппарата по направлению к камере выхода 3. На пузырьки воздуха в водовоздушной смеси, находящейся во вращательно-поступательном движении в корпусе циклона 2, действует центробежная сила, в результате чего они радиально перемещаются к оси аппарата, подхватываются внутренним потоком и выносятся с потоком водовоздушной смеси через патрубок 5. Очищенные сточные воды поступают в камеру выхода 3, где происходит гашение вращательной составляющей потока, и выводятся через патрубок 4» [18].

На рисунке 4 представлена схема циклонного флотатора.



1 – камера входа водовоздушной смеси; 2 – корпус циклонного флотатора; 3 – камера выхода очищенных сточных вод; 4- патрубок для отвода очищенных сточных вод; 5 – патрубок для отвода водовоздушной смеси; 6 –патрубок для подвода водовоздушной смеси.

Рисунок 4 -Конструктивная схема циклонного флотатора для разделения диспергированной воздушной смеси [18]

На рисунке 5 представлена блок схема технологии работы циклонного флотатора.



Рисунок 5 - Схема технологии работы циклонного флотатора [13]

Прошедшие коагуляционную и флокуляционную обработку в МФУ сточные воды поступают в циклонный флотатор.

«В циклонном флотаторе реализована схема флотационной очистки, с выделением пузырьков воздуха под действием центробежного поля из диспергированной водовоздушной смеси, образующейся в рециркуляционном потоке очищенных сточных вод, перекачиваемых насосом под давлением 8-14 м вод.ст., коэффициент рециркуляции очищенных сточных вод составляет  $K_p = 0,3$ » [18].

«Проходя через водовоздушный эжектор рециркуляционный поток очищаемых сточных вод подсасывает атмосферный воздух, расход которого измеряется ротаметром, и регулируется запорной арматурой. Водовоздушная смесь, получаемая на выходе с эжектора 14, поступает в роторно-диспергирующее устройство, в котором в результате вращения ротора,

поверхность которого покрыта стекло эмалью, происходит диспергирование пузырьков воздуха водовоздушной смеси. Насосом дозаторов подается раствор флокулянта (ПАА) и коагулянта  $((Al_2SO_4)_3)$ . В результате экспериментальных данных представленных в работе [10], была выявлена необходимая доза данных реагентов :  $((Al_2SO_4)_3) = 0,25 \text{ кг/м}^3$ , флокулянт (ПАА) =  $0,04 \text{ кг/м}^3$ » [1].

«При движении водовоздушной смеси сверху вниз со скоростью  $0,15 \text{ м/с}$  пузырьки воздуха диаметром менее  $d_{п}=0,510^{-3} \text{ м}$  увлекаются потоком.

Более крупные пузырьки воздуха всплывают на поверхность и лопаются. Избыточный воздух из воздушной пробки, образующейся в верхней части стояка удаляется посредством вантуза» [2].

Полученная таким образом диспергированная водовоздушная смесь подается в поток сточных вод, прошедших реагентную обработку.

«Система подачи сточных вод представляет собой ряд сопел, выполненных в виде «сегнерова» колеса. Выходя из сопел со скоростью  $2-3 \text{ м/с}$  поток водовоздушной смеси приобретает вращательное движение и перемещается снизу вверх вдоль образующей конуса. Возникающие при вращательно-поступательном движении водовоздушной смеси, центробежные силы интенсифицируют процессы образования флотоагрегатов «загрязняющая частица–пузырек воздуха и их всплывания на поверхность жидкости в циклонном флотаторе. Образующиеся на поверхности жидкости пенный слой собирается в карман, где в процессе гашения пены образуется флотоконденсат, который отводится в накопительную емкость, откуда по мере накопления вывозится на утилизацию» [12].

Часть с коагулированных загрязнений выпадает на дно циклонного флотатора. Образовавшийся осадок под гидростатическим давлением отводится в накопительную емкость (10), откуда так же вывозится на утилизацию.

На рисунке 6 изображена предлагаемая блок схема очистки стоков, включающая в себя циклонный флотатор [18].



Рисунок 6- Предлагаемая блок схема очистки стоков, включающая в себя циклонный флотатор [18]

Параметры сточных вод прошедших очистку на циклонном флотаторе с роторно-диспергирующим устройством приведены в таблице 8.

Таблица 8 - Параметры сточных вод прошедших очистку на циклонном флотаторе с роторно-диспергирующим устройством

Вещества	Концентрация до очистки, мг/л	Концентрация после очистки, мг/л	Эффект очистки, %	ПДК, мг/л
Стружка железа	1,20	0,2	83	0,2
Стружка свинца	3,10	0,3	90	0,3
Взвешенные вещества	40	2	80	5

Предлагаемая система очистки внедрения циклонной флотации, обеспечивает снижения концентраций загрязняющих веществ (стружки тяжёлых металлов и взвешенных веществ) до регламентируемых ПДК.

### **3.2 Повышение качества очистки сточных вод с применением ионообменной установки**

После установки циклонной флотации (7) сточные воды электрохимического предприятия направляются на установку обратного осмоса (рабочее давление 1–10 МПа) который применяют для деминерализации воды. Мембраны обратного осмоса - (0,0001-0,001 мкм) композитные с плотной пленкой, пропускающие воду и задерживающие соли.

Состав сточной воды после установки обратного осмоса представлен в таблице 9.

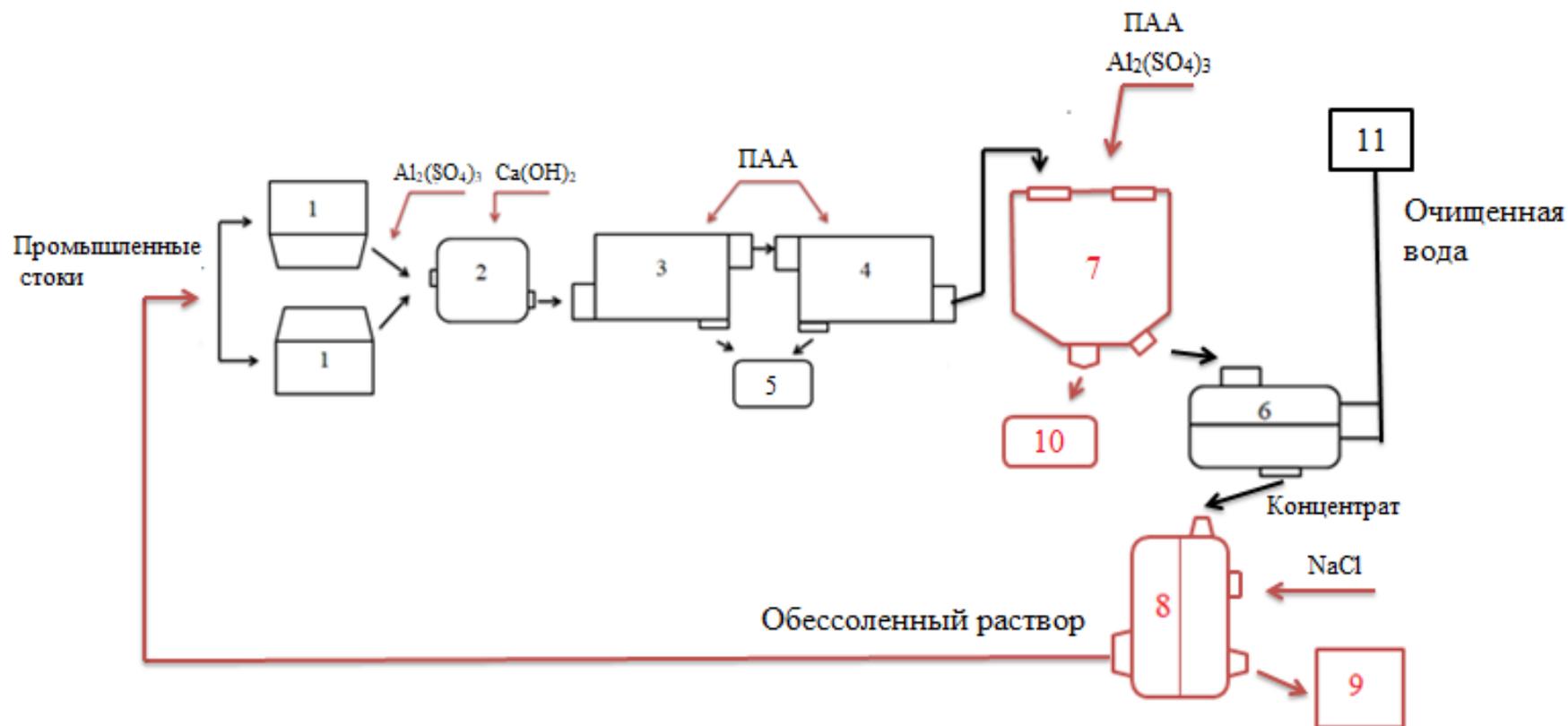
Таблица 9 – Концентрация солей после обратного осмоса [9]

Наименование	Концентрация до очистки, мг/л	Концентрация после очистки мг/л	Концентрат (выход составляет 90%)	ПДК, мг/л
Солесодержание	2000	850	3300	1000
Ионы железа (Fe <sup>2+</sup> )	14	1,2	38,0	10
Ионы свинца (Pb <sup>2+</sup> )	25	3,1	22,0	10

После установки обратного осмоса (6) фильтрат (очищенная сточная вода) отправляется в емкость технической воды (11) и подается на мойку пола в производственных помещениях, так же на мойку оборудования и выпускаемой продукции.

Концентрат с установки обратного осмоса (УОО) имеет значительные превышения по содержанию солей в сравнение с регламентируемыми значениями ПДК и требует дополнительного обессоливания на ионообменной установке с Na-катионированием (8), для стабилизации работы водооборотного цикла.

На рисунке 7 изображена технологическая схема предлагаемой системы доочисти с использованием циклонного флотатора с роторно-диспергирующим устройством и ионообменной установки с Na-катионированием



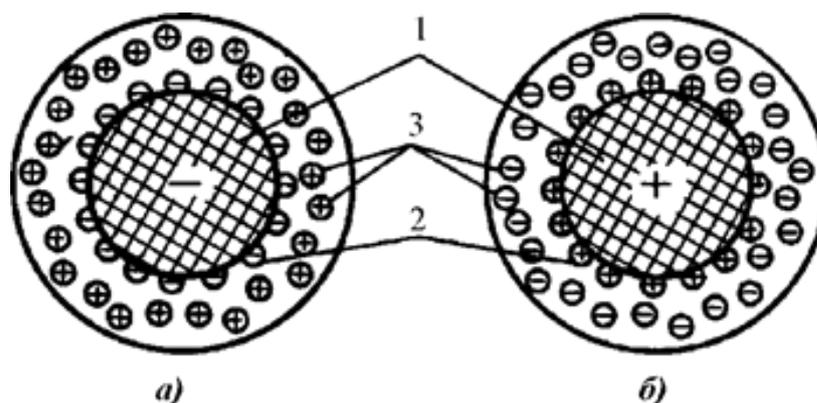
1-усреднители; 2- реактор нейтрализации; 3- многофункциональная установка №1; 4- многофункциональная установка №2; 5- накопительная ёмкость осадка, 6-установка обратного осмоса; 7- циклонный флотатор с роторно-диспергирующим устройством, 8- ионообменная установка с Na-катионированием, 9- бак под воду для взрыхления ионита, 10- накопительная емкость, 11-емкость технической воды

Рисунок 7 - Предлагаемая схема очистки стоков на предприятии ОАО «Аком» включающая дополнительную степень обессоливания

«Метод ионного обмена основан на использовании специальных ионообменных материалов - ионитов. Иониты представляют собой твердые, нерастворимые, ограниченно набухающие в воде вещества. В основе этих материалов лежит каркас (матрица), несущий положительных или отрицательный заряд, и подвижный противоион, заряд которого компенсирует заряд матрицы. Этот подвижный противоион способен извлечь из раствора ион такого же заряда и обменяться с ним, изменяя в желаемом направлении ионный состав воды» [16].

«Способность ионов к такому обмену объясняется их специфической структурой» [19].

На рисунке 8 представлена схема структуры зерна ионита.



а) - катионит, б) – анионит: 1 – матрица; 2 – потенциалообразующие ионы; 3 – ионы диффузионного слоя

Рисунок 8 - Схема структуры зерна ионита[16].

«Любой ионит состоит из твердой основы (матрицы), на которую нанесены специальные химически активные функциональные группы атомов ионита, способные при помещении ионита в раствор к образованию на поверхности матрицы потенциалообразующих ионов, т.е. к возникновению заряда. Вследствие этого вокруг матрицы создается диффузионный слой из противоположно заряженных ионов (противоионов). Ионы диффузионного

слоя обладают повышенным запасом кинетической энергии и могут выходить из него в раствор, но при этом из раствора в диффузионный слой должны переходить ионы того же знака в статически эквивалентных количествах (сохранение принципа электронейтральности)» [14].

Таким образом, в процессе ионного обмена можно различить три основных момента:

-возникновение заряда твердой фазы (матрицы) в результате появления на ней потенциалообразующих ионов;

-образование ионной атмосферы из противоположно заряженных ионов вокруг матрицы;

-замена ионов, образующих диффузионный слой, ионами того же знака, находящимися в растворе.

Ионный обмен это процесс стехиометрический, на каждый эквивалент одного иона, поглощаемого из раствора, ионит отдает в раствор один эквивалент другого иона того же знака.

«Обратимость процесса обмена ионов позволяет экономично использовать ионообменный материал» [23].

«В зависимости от характера активных функциональных групп ионита его подвижные, способные к обмену ионы, могут иметь или положительные заряды (рисунок 8,а), и тогда такой ионит называют катионитом, или отрицательные заряды (рисунок 8,б), и тогда такой ионит называют анионитом» [14].

Если в результате обработки воды методом ионного обмена происходит обмен катионов, то такой процесс называется катионированием. Процесс обмена анионов называется анионированием.

«Катионообменные смолы подразделяются на сильнокислотные и слабокислотные. Сильнокислотные обменивают катионы в растворах при любом рН, а слабокислотные только в щелочных средах при рН меньше 7. Так как рН в стоках предприятия ОАО «Аком» находится в диапазоне 6-9.5,

целесообразным будет использовать в качестве ионообменной смолы, катионообменную сильноокислую» [9].

Сравнительная характеристика используемых на электрохимических предприятиях ионообменных смол, представлена в таблице 10.

Таблица 10 – Сравнительная характеристика предлагаемых ионитов [14]

Наименование	Содержание солей тяжелых металлов после применения данного ионита, мг/дм <sup>3</sup>	ПДК, мг/л	Эффективность обессоливания, %	Стоимость, руб /кг
КУ-2,8	1-2	5	92	90 р/кг
АВ-17-8.	2-5		56	150 р/кг
КБ-4П	5-7		89	100 р/кг

Исходя из эффективности и стоимости предлагаемых ионитов, наиболее оптимальным решением будет использовать КУ-2,8.

Характеристики данной ионообменной смолы представлены в таблице 11.

Таблица 11- Характеристики смолы КУ-2,8 [33]

Название	Значение
Гранулированный состав	
Размер зерен, мм	0,3-1,25
Объемная доля рабочей фракции, %	96
Эффективный размер зерен, мм	0,4-0,55
Коэффициент однородности	1,7
Удельный объем, см <sup>3</sup> /г	2,8
Насыпная масса, тн/м <sup>3</sup>	0,78

#### Принцип Na-катионирования и H-катионирования

В технологии водоподготовки для удаления из воды растворенных примесей применяют следующие процессы:

а) катионирование — удаление из воды катионов. В зависимости от обменного иона процессы получили название: водород-катионирование

(обменный катион  $H^+$ ); натрий-катионирование (обменный катион  $Na^+$ ); аммоний-катионирование (обменный катион). Принятые обозначения:  $HR$ ,  $NaR$ ,  $NH_4R$ , где  $R$  – комплекс матрицы и функциональной группы;

б) анионирование – удаление из воды анионов. Обменными анионами при анионировании являются анионы  $OH^-$  и  $Cl^-$ . Обозначения процессов  $ROH$ ,  $RCl$ .

#### H-катионирование

Обработка воды методом H-катионирования предназначается для удаления всех катионов с заменой их на катионы водорода. Вода на выходе из фильтра имеет кислую реакцию, наглядно процесс представлен на рисунке 9.

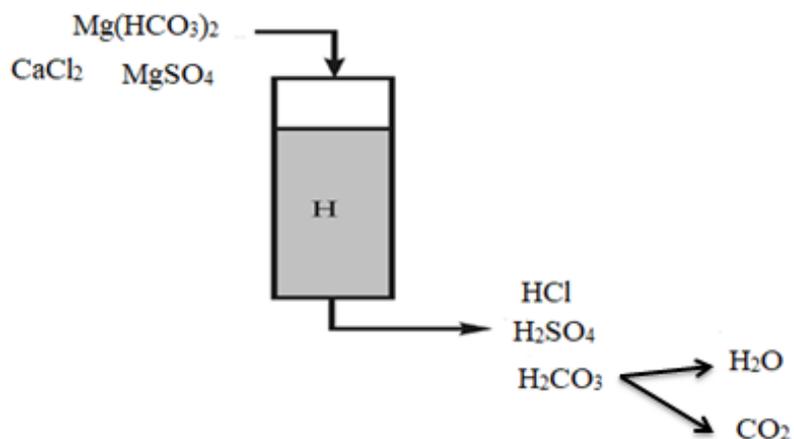


Рисунок 9- Процесс водород-катионирования воды [14]

При пропускании воды через катионит в H-форме происходят реакции обмена (6), (7), (8) всех присутствующих в воде катионов на катион водорода ( $H^+$ ):





Часть катионов водорода взаимодействует с присутствующим в воде бикарбонатным анионом, образуя углекислоту и воду, данный процесс показан в реакции (9):



Остальная часть катионов водорода уравнивает оставшиеся в воде анионы кислот с образованием минеральных кислот.

Для восстановления свойств катионита при водород-катионировании по технико-экономическим причинам используют серную кислоту  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , с поэтапным увеличением концентрации, обычно, 1-3-5%.

При регенерации катионита протекают следующие реакции (10), (11) ионного обмена:



Регенерация соляной кислотой позволяет достигнуть лучшего восстановления обменных свойств, однако экономически это не выгодно, так как требует других материалов дренажных систем.

#### Na-катионирование

«Удаление катионов из воды путем Na-катионирования заключается в фильтровании ее через слой катионита, содержащего в качестве обменных ионов катионы  $\text{Na}^+$  с образованием натриевых солей» [14]. При этом катионит поглощает из воды катионы, а в воду из катионита переходит два одновалентных ионов  $\text{Na}^+$ , т.е. обмена ионами происходит в эквивалентных количествах, схема данного процесса представлена на рисунке 10.

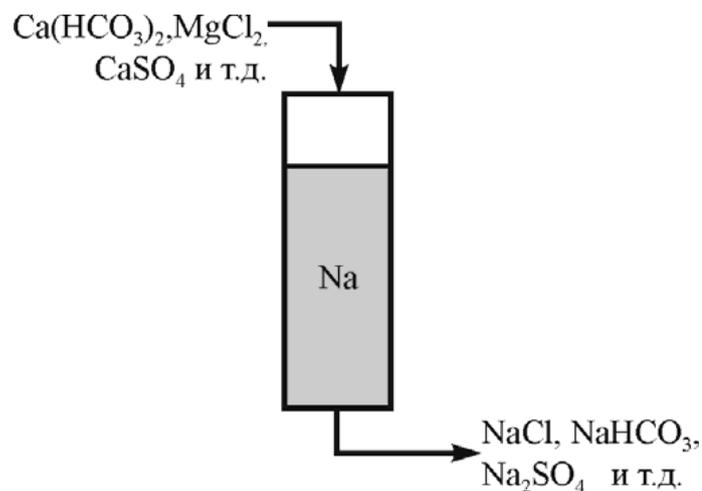
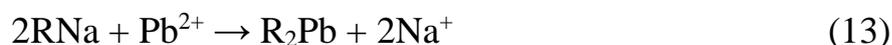


Рисунок 10- Процесс натрий-катионирования воды [14]

Протекающие при этом реакции ионного обмена можно записать в виде реакций (12), (13):



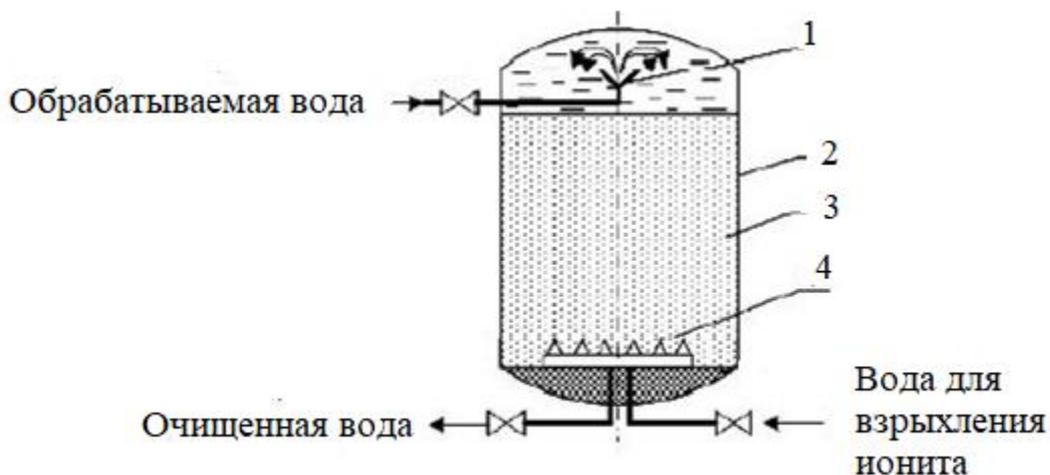
Для восстановления обменных свойств катионита используют поваренную соль в виде раствора 6-10% концентрации  $\text{NaCl}$ . Вследствие относительно большой концентрации ионов натрия в регенерационном растворе происходит замена поглощенных ранее катионов жесткости по реакциям (14), (15):



$\text{Na}$ -катионирование применяют, преимущественно, для извлечения ионов тяжелых металлов из различных многокомпонентных растворов, для однокомпонентных слабо концентрированных растворов используют  $\text{H}$ -

катионирование.

На рисунке 11 представлена схема предлагаемого катионитного фильтра.



1 - распределительное устройство; 2 корпус фильтра; 3 - слой катионита; 4 - дренажная система

Рисунок 11-Принципиальная схема работы катионитового фильтра ФИПа I-2,6-0,6 Na [14]

Сырьем процесса является остаточный концентрат после установки обратного осмоса (УОО). Полупродукты процесса: катионит КУ-2-8, предназначенные для Na-катионитовых фильтров, инерт ИФ-62. Целевым продуктом процесса является частично-обессоленная вода, содержание солей тяжелых металлов в которой не более 10 мг/л.

Принцип действия ионита в данном процессе заключается в том, что обрабатываемый концентрат после установки обратного осмоса направляется на Na-катионированный фильтр, проходит между зерен ионита и обменивает часть ионов, растворенных в нем на эквивалентное количество ионов, находящихся в диффузионном слое ионита. Фильтр состоит из двух камер наполненный сильнокислотным катионитом КУ-2-8 высота загрузки 2,5 м, и инерт объемом 6,5 м<sup>3</sup>. Параметры воды на выходе из катионитного фильтра ФИПа I-2,6-0,6 Na приведены в таблице 12.

Таблица 12 - Параметры воды на выходе из предлагаемого Na- катионитного фильтра ФИПа I-2,6-0,6 Na

Наименование	Концентрация до очистки, мг/л	Концентрация после очистки мг/л	Эффективность очистки, %	ПДК, мг/л
Солесодержание	3300	363	89	1000
Ионы железа( $Fe^{2+}$ )	38,0	3,8	90	10
Ионы свинца ( $Pb^{2+}$ )	22,0	3,08	86	10

После процесса обессоливания раствора на катионитном фильтре, концентрация солей значительно снизилась для требуемых значений ПДК и возвращается в начало процесса с намного меньшей нагрузкой на водооборотную систему.

#### Регенерация катионита

«В процессе водоподготовки по мере прохождения исходной воды через катионитовый слой, количество катионов  $Na^+$ , способных к обмену, уменьшается, а число катионов находящихся в сточной воде, отсорбированных на смоле, увеличивается. Ионные процессы обратимы, поэтому по мере насыщения обрабатываемой воды  $Na^+$ , замедляется поглощение ионов, обуславливающих жесткость, и ионообменная очистка теряет свою эффективность. Для этого и нужен процесс регенерации ионообменной смолы» [19].

На рисунке 12 схематично представлены стадии регенерации катионитов.



Рисунок 12- Стадии регенерации катионита [19]

«Для ускорения процесса регенерации накопленных ионов, в систему направляют водный раствор поваренной соли (6–10% NaCl) со значительным превышением сверх необходимого стехиометрического её количества. В целях уменьшения удельного расхода соли при регенерации иногда практикуют первую половину расходного количества соли пропускать в виде 2 -3%-го раствора, а вторую половину – в виде 6 -9% раствора» [21].

Скорости прохождения регенерирующих растворов обычно выдерживают на уровне 7 – 10 м/ч.

«Таким образом, технология ионного обмена для обессоливания воды представляет собой двунаправленный процесс, где сначала осуществляется замещение ионов тяжелых металлов, содержащихся в исходной воде на ионы натрия, содержащиеся в матрице катионита. Далее, во время регенерации, осуществляется обратный процесс замещения -«перезарядка катионита», а

продукты регенерации в виде соединений хлоридов свинца и железа – вымываются вместе с регенерирующим раствором в дренаж. После регенерации фильтры полностью восстанавливают свои свойства» [21].

«Оставшиеся тяжелые металлы после регенерации солевого раствора могут быть использованы в качестве дополнительного сырья в металлургической промышленности, для изготовления запчастей и деталей на самом электрохимическом предприятии или складироваться в накопительной емкости с последующей утилизацией» [22].

Регенерацию ионообменных смол необходимо проводить 1 раз в две недели.

Выводы по третьему разделу:

1) Разработано технологическое решение использование в существующей системе очистки сточных вод циклонной флотации, для повышения качества очистки (от взвешенных веществ и тяжелых металлов до 80-90).

2) Проанализирована необходимость роторно-диспергирующего устройства в работе циклонного флотатора для повышения эффективности аэрации сточных вод.

3) Разработано технологическое решение для стабилизации работы водооборотного цикла, обессоливать образующийся концентрированный раствор после обратного осмоса на ионообменной установке.

4) Изучен процесс регенерации ионообменных смол (не менее чем 1 раз в неделю) для сохранения эффективности работы катионитного фильтра.

## 4 Расчетная часть

В данной главе выполнены необходимые расчеты конструкционных параметров предлагаемых аппаратов, материальный баланс для расчета степени эффективности процессов.

### 4.1 Расчет циклонного флотатора

Суточный расход промывных сточных вод, поступающих на локальные очистные сооружения равен  $300 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

1) Часовой расход сточных вод, поступающих на один циклонный флотатор, с учетом рециркуляционного потока очищенных сточных вод, рассчитывается по формуле (16),  $\text{м}^3/\text{ч}$ :

$$Q_{\text{чф}} = \frac{Q_{\text{ч}}(1 + K_{\text{р}})}{N_{\text{ф}}}, \quad (16)$$

где  $K_{\text{р}} = 0,3$  – коэффициент рециркуляции очищенных сточных вод;

$N_{\text{ф}} = 2$  шт-число циклонных флотаторов;

$Q_{\text{ч}} = 12,5 \text{ м}^3/\text{ч}$  – часовой расход промывных сточных вод, поступающих на локальные очистные сооружения.

Подставляем наши данные в формулу 16:

$$Q_{\text{чф}} = \frac{12,5 (1 + 0,4)}{2} = 7$$

Используется именно 2 циклонных флотатора, так как загрузка сточной воды на каждом этапе очистки составляет по  $7 \text{ м}^3$ .

2) Площадь поперечного сечения циклонного флотатора рассчитывается по формуле (17),  $\text{м}^2$ :

$$F_{\phi} = \frac{Q_{\text{ч}\phi}}{q_y}, \quad (17)$$

где  $q_y = 3,5 \text{ м}^3$ , удельная гидравлическая нагрузка на циклонный флотатор.

Подставим наши значения в формулу 17:

$$F_{\phi} = \frac{7}{3,5} = 1,98$$

Примем для дальнейшего расчета стандартное значение  $F_{\phi} = 2 \text{ м}^2$ .

3) Объем рабочей зоны отстойника циклонного флотатора, рассчитывается по формуле (18),  $\text{м}^3$

$$W_{\phi} = Q_{\text{ч}\phi} \cdot T_{\phi}, \quad (18)$$

где  $T_{\phi} = 0,52$  - расчетная продолжительность пребывания сточных вод в отстойной части циклонного флотатора.

Подставим наши значения в формулу 18:

$$W_{\phi} = 7 \cdot 0,52 = 3,64$$

Примем для дальнейшего расчета стандартное значение  $W_{\phi} = 3,70 \text{ м}^3$ .

4) Высота циклонного флотатора рассчитывается по формуле (19), м:

$$H_{\phi} = \frac{W_{\phi}}{F_{\phi}}, \quad (19)$$

Подставляем наши значения в формулу 19:

$$H_{\phi} = \frac{3,70}{2} = 1,85$$

Примем для дальнейшего расчета стандартное значение  $H_{\phi} = 2 \text{ м}$ .

5) Диаметр циклонного флотатора рассчитываем по формуле (20), м:

$$D_{\phi} = \sqrt{\frac{4W_{\phi}}{\pi}}, \quad (20)$$

Подставим наши значения 20:

$$D_{\phi} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,70}{\pi}} = 2,17$$

Примем для дальнейшего расчета стандартное значение  $D_{\phi} = 2,2$  м.

6) Размер конической части циклонного флотатора рассчитывается по формуле (21), м:

$$H_{\phi\kappa} = \frac{D_{\phi}}{2\operatorname{tg}\alpha'}, \quad (21)$$

Подставляем в формулу 21 наши значения:

$$H_{\phi\kappa} = \frac{2,2}{2\operatorname{tg}30^{\circ}} = 1,42 \text{ м}$$

Примем для дальнейшего расчета стандартное значение  $H_{\phi\kappa} = 1,5$  м.

7) Общая высота циклонного флотатора рассчитывается по формуле (22), м:

$$H_{\text{оф}} = H_{\phi} + H_{\phi\kappa}, \quad (22)$$

Подставим наши значения в формулу 22:

$$H_{\text{оф}} = 2 + 1,5 = 3,5 \text{ м}$$

Проделанные расчеты представим в таблице 13.

Таблица 13- Конструкционные параметры циклонного флотатора с роторно-диспергирующим устройством Megacell

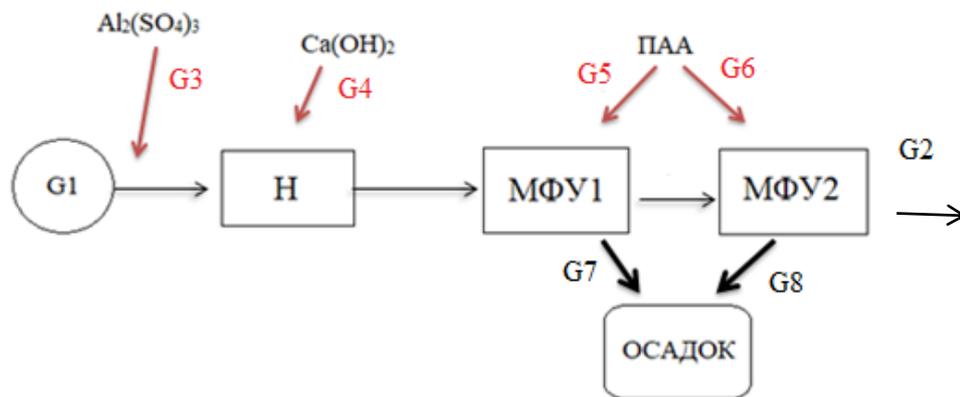
Обозначение	Параметры	Единицы измерения	Значения
$W_{\phi}$	Объём рабочей зоны	$\text{м}^3$	3,0
$H_{\text{оф}}$	Высота	$\text{м}^3$	3,5
$D_{\phi}$	Диаметр	м	2,2

Исходя из рассчитанных параметров, в работе будет рассмотрен циклонный флотатор с роторно-диспергирующим устройством Megacell.

#### **4.2 Материальный баланс предлагаемого метода очистки от взвешенных веществ и стружки тяжелых металлов с использованием циклонного флотатора**

Для того чтобы определить эффективность предлагаемой технологии усовершенствования системы очистки сточных вод, на предприятие ОАО«Аком», необходимо составить материальный баланс до модернизации и после.

На рисунке 13 представлена сокращенная блок схема очистки [33].



Н-реактор нейтрализации, МФУ<sub>1,2</sub>-многофункциональные установки; G<sub>1</sub>-вода из усреднителя, вода из нейтрализатора, G<sub>2</sub>-очищенная вода из МФУ<sub>1</sub>, G<sub>3</sub>-очищенная вода из МФУ<sub>2</sub>, G<sub>4</sub>, -доза Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, G<sub>5</sub>-доза Ca(OH)<sub>2</sub>, G<sub>6</sub>, G<sub>7</sub>- доза флокулянта в МФУ<sub>1</sub> и МФУ<sub>2</sub>, G<sub>8</sub>, G<sub>9</sub>-осадок от установки МФУ<sub>1</sub> и МФУ<sub>2</sub>

Рисунок 13 – Схема очистки для расчета материального баланса

Уравнение материального баланса исходя из рассмотренной схемы:

$$G_1 + G_3 + G_4 + G_5 + G_6 = G_2 + G_7 + G_8$$

1) Рассчитаем среднечасовую производительность по формуле (23), кг/ч:

$$G_{\text{с.ч.}} = \frac{G_{\text{с.с.}}}{24 \text{ ч}}, \quad (23)$$

где G<sub>с.с.</sub> – производительность среднесуточная, м<sup>3</sup>/ч ;

24 – коэффициент перевода суток в часы.

Вычислим:

$$G_{\text{с.ч.}} = \frac{300}{24} = 12,5$$

2) Переведем 12,5 м<sup>3</sup>/ч в 12500 дм<sup>3</sup>/ч.

3) Рассчитаем массу проходящей воды по формуле (24), кг/ч:

$$m_{\text{воды}} = \rho_{\text{воды}} \cdot G_{\text{с.ч.}}, \quad (24)$$

где  $\rho_{\text{воды}}$  – плотность воды 1 кг/дм<sup>3</sup>;

$G_{\text{с.ч.}}$  – производительность среднечасовая, кг/ч.

Произведем расчет:

$$m_{\text{воды}} = 1 \cdot 12500 = 12500$$

3) Доза коагулянтов и флокулянтов на предприятии ОАО «Аком» фиксированная и составляет:

$$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 = 0,0005 \text{ кг/ч}$$

$$\text{Ca}(\text{OH})_2 = 0,0005 \text{ кг/ч}$$

$$\text{ПАА} = 0,0005 \text{ кг/ч}$$

4) До очистки концентрация железа  $C_{\text{Fe}} = 36,6 \text{ мг/дм}^3 = 0,000036 \text{ кг/дм}^3$ , находим массу железа до очистки по формуле (25), кг/ч:

$$m_{1\text{Fe}} = C \cdot G_{\text{с.ч.}} \quad (25)$$

Вычислим:

$$m_{1\text{Fe}} = 0,000036 \cdot 12500 = 0,45$$

5) До очистки концентрация свинца  $C_{\text{Pb}} = 30,0 = 0,000030 \text{ кг/дм}^3$ , кг/дм<sup>3</sup>, находим массу свинца до очистки по формуле (26), кг/ч:

$$m_{1\text{Pb}} = C \cdot G_{\text{с.ч.}} \quad (26)$$

Вычислим:

$$m_{1\text{Pb}} = 0,000030 \cdot 12500 = 0,375$$

6) До очистки концентрация взвешенных веществ  $C_{\text{вз-в}} = 40 \text{ мг/дм}^3 = 0,00004 \text{ кг/дм}^3$ , находим массу взвешенных веществ до очистки по формуле (27), кг/ч:

$$m_{\text{вз-в}} = C \cdot G_{\text{с.ч.}} \quad (27)$$

Вычисляем:

$$m_{1\text{ВЗ-В}} = 0,00004 \cdot 12500 = 0,5$$

7) После очистки сточных вод в многофункционально установке 1, концентрация железа составила:  $C_{\text{Fe}} = 15 \text{ мг/дм}^3 = 0,000015 \text{ кг/дм}^3$ , находим массу взвешенных веществ до очистки по формуле (28), кг/ч:

$$m_{2\text{Fe}} = C \cdot G_{\text{с.ч.}} \quad (28)$$

Вычислим:

$$m_{2\text{Fe}} = 0,000015 \cdot 12500 = 0,1875$$

8) Рассчитаем эффективность очистки от железа в МФУ по формуле (29), %:

$$\eta_{\text{МФУFe}} = \frac{C_{\text{вх}} - C_{\text{вых}}}{C_{\text{вх}}} \cdot 100\% \quad (29)$$

где  $C_{\text{вх}}$  - концентрация загрязняющего вещества в сточных водах на входе в очистку, мг/л;

$C_{\text{вых}}$  - концентрация загрязняющего вещества в сточных водах на выходе с очистки, мг/л.

Вычислим:

$$\eta_{\text{МФУ1Fe}} = \frac{0,45 - 0,1875}{0,45} \cdot 100 = 58,3\%$$

9) После очистки сточных вод в многофункционально установке 1, концентрация свинца составила:  $C_{\text{Pb}} = 15 \text{ мг/дм}^3 = 0,000015 \text{ кг/дм}^3$ , находим массу взвешенных веществ до очистки по формуле (30), кг/ч:

$$m_{2\text{Pb}} = C \cdot G_{\text{с.ч.}} \quad (30)$$

Вычислим:

$$m_{2Pb} = 0,000015 \cdot 12500 = 0,1875$$

10) Рассчитаем эффективность очистки от свинца в МФУ по формуле (31),%:

$$\eta_{\text{МФУРb}} = \frac{C_{\text{вх}} - C_{\text{вых}}}{C_{\text{вх}}} \cdot 100\% \quad (31)$$

где  $C_{\text{вх}}$  - концентрация загрязняющего вещества в сточных водах на входе в очистку, мг/л;

$C_{\text{вых}}$  - концентрация загрязняющего вещества в сточных водах на выходе с очистки, мг/л.

Вычислим:

$$\eta_{\text{МФУ1Pb}} = \frac{0,375 - 0,1875}{0,375} \cdot 100 = 50\%$$

11) После очистки сточных вод в многофункционально установке 1, концентрация взвешенных веществ составила:  $C_{\text{Fe}} = 15 \text{ мг/дм}^3 = 0,000015 \text{ кг/дм}^3$ , находим массу взвешенных веществ до очистки по формуле (32), кг/ч:

$$m_{2\text{вз-в}} = C \cdot G_{\text{с.ч.}} \quad (32)$$

Вычислим:

$$m_{2\text{вз-в}} = 0,00002 \cdot 12500 = 0,25$$

12) Рассчитаем эффективность очистки от взвешенных веществ в МФУ по формуле (33),%:

$$\eta_{\text{МФУвз-в}} = \frac{C_{\text{вх}} - C_{\text{вых}}}{C_{\text{вх}}} \cdot 100\% \quad (33)$$

где  $C_{\text{вх}}$  - концентрация загрязняющего вещества в сточных водах на входе в очистку, мг/л;

$C_{\text{вых}}$  - концентрация загрязняющего вещества в сточных

водах на выходе с очистки, мг/л.

Вычислим:

$$\eta_{\text{МФУ}_{1\text{ВЗ-В}}} = \frac{0,5 - 0,25}{0,5} \cdot 100 = 50\%$$

13) После очистки сточных вод в многофункционально установке 2, концентрация железа составила:  $C_{\text{Fe}} = 1,2 \text{ мг/дм}^3 = 0,0000012 \text{ кг/дм}^3$ , находим массу железа до очистки по формуле (34), кг/ч:

$$m_{3\text{Fe}} = C \cdot G_{\text{с.ч.}}, \quad (34)$$

Вычислим:

$$m_{2\text{Fe}} = 0,0000012 \cdot 12500 = 0,015$$

14) Рассчитаем эффективность очистки от железа в МФУ<sub>2</sub> по формуле (35), %:

$$\eta_{\text{МФУ}_{2\text{Fe}}} = \frac{C_{\text{ВХ}} - C_{\text{ВЫХ}}}{C_{\text{ВХ}}} \cdot 100\% \quad (35)$$

где  $C_{\text{ВХ}}$  - концентрация загрязняющего вещества в сточных водах на входе в очистку, мг/л;

$C_{\text{ВЫХ}}$  - концентрация загрязняющего вещества в сточных водах на выходе с очистки, мг/л.

Вычислим:

$$\eta_{\text{МФУ}_{2\text{Fe}}} = \frac{0,1875 - 0,015}{0,1875} \cdot 100 = 92\%$$

15) После очистки сточных вод в многофункционально установке 2, концентрация свинца составила:  $C_{\text{Pb}} = 3,10 = 0,000003 \text{ кг/дм}^3$ , находим массу свинца до очистки по формуле (36), кг/ч:

$$m_{3\text{Pb}} = C \cdot G_{\text{с.ч.}}, \quad (36)$$

Вычислим:

$$m_{3Pb} = 0,000003 \cdot 12500 = 0,0375$$

16) Рассчитаем эффективность очистки от свинца в МФУ<sub>2</sub> по формуле (37),%:

$$\eta_{\text{МФУ}_{2Pb}} = \frac{C_{\text{ВХ}} - C_{\text{ВЫХ}}}{C_{\text{ВХ}}} \cdot 100\% \quad (37)$$

где  $C_{\text{ВХ}}$  - концентрация загрязняющего вещества в сточных водах на входе в очистку, мг/л;

$C_{\text{ВЫХ}}$  - концентрация загрязняющего вещества в сточных водах на выходе с очистки, мг/л.

Вычислим:

$$\eta_{\text{МФУ}_{2Pb}} = \frac{0,1875 - 0,0375}{0,1875} \cdot 100 = 80\%$$

17) После очистки сточных вод в многофункционально установке 2, концентрация взвешенных веществ составила:  $C_{\text{ВЗ-В}} = 10\text{мг/дм}^3 = 0,00001 \text{ кг/дм}^3$ , находим массу взвешенных веществ до очистки по формуле (38), кг/ч:

$$m_{\text{ЗВЗ-В}} = C \cdot G_{\text{с.ч.}} \quad (38)$$

Вычислим

$$m_{\text{ЗВЗ-В}} = 0,00001 \cdot 12500 = 0,125$$

18) Рассчитаем эффективность очистки от взвешенных веществ в МФУ<sub>2</sub> по формуле (39), %:

$$\eta_{\text{МФУ}_{2\text{ВЗ-В}}} = \frac{C_{\text{ВХ}} - C_{\text{ВЫХ}}}{C_{\text{ВХ}}} \cdot 100\% \quad (39)$$

где  $C_{\text{ВХ}}$  - концентрация загрязняющего вещества в сточных водах на входе в очистку, мг/л;

$C_{\text{ВЫХ}}$  - концентрация загрязняющего вещества в сточных

водах на выходе с очистки, мг/л.

Вычислим:

$$\eta_{\text{МФУ}_{2\text{ВЗ-В}}} = \frac{0,25 - 0,125}{0,25} \cdot 100 = 50\%$$

19) Рассчитаем массу осадка железа после МФУ<sub>1</sub> по формуле (40), кг/ч:

$$m_3 = m_{1\text{Fe}} - m_{2\text{Fe}}, \quad (41)$$

Вычислим:

$$m_{3\text{Fe}} = 0,45 - 0,1875 = 0,2625 \text{ кг/ч}$$

20) Рассчитаем массу осадка свинца после МФУ<sub>1</sub> по формуле (42), кг/ч:

$$m_3 = m_{1\text{Pb}} - m_{2\text{Pb}}, \quad (42)$$

Вычислим:

$$m_{3\text{Pb}} = 0,375 - 0,1875 = 0,1875 \text{ кг/ч}$$

21) Рассчитаем массу осадка взвешенных веществ после МФУ<sub>1</sub> по формуле (43), кг/ч:

$$m_{3\text{ВЗ-В}} = m_{1\text{ВЗ-В}} - m_{2\text{ВЗ-В}}, \quad (43)$$

Вычислим:

$$m_{3\text{ВЗ-В}} = 0,5 - 0,25 = 0,25 \text{ кг/ч}$$

22) Рассчитаем массу осадка железа после МФУ<sub>2</sub> по формуле (44), кг/ч:

$$m_{4\text{Fe}} = m_{2\text{Fe}} - m_{3\text{Fe}}, \quad (44)$$

Вычислим:

$$m_{4\text{Fe}} = 0,1875 - 0,015 = 0,1725 \text{ кг/ч}$$

23) Рассчитаем массу осадка свинца после МФУ<sub>2</sub> по формуле (45), кг/ч:

$$m_{4Pb} = m_{2Pb} - m_{3Pb}, \quad (45)$$

Вычислим:

$$m_{4Pb} = 0,1875 - 0,03875 = 0,14875 \text{ кг/ч}$$

24) Рассчитаем массу осадка взвешенных веществ после МФУ<sub>2</sub> по формуле (46), кг/ч:

$$m_{4B3-B} = m_{2B3-B} - m_{3B3-B}, \quad (46)$$

Вычислим:

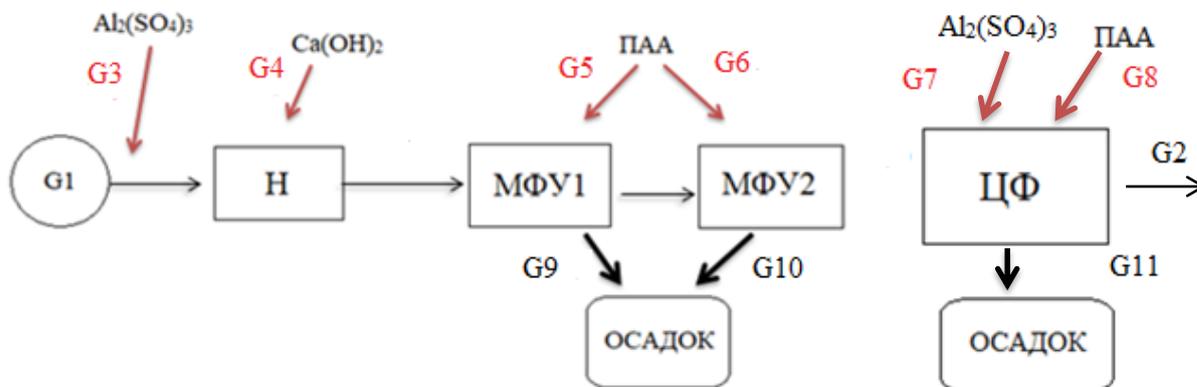
$$m_{4B3-B} = 0,25 - 0,125 = 0,125 \text{ кг/ч}$$

Сведем данные материального баланса до использования циклонного флотатора с роторно-диспергирующим устройством в таблицу 14.

Таблица 14 – Материальный баланс до использования циклонной флотации

Приход			Расход		
Наименование	кг/ч	%	Наименование	кг/ч	%
m <sub>1</sub> (р-ра флокулянта)	0,0005	0,000004	-	-	-
m <sub>1</sub> (р-ра флокулянта)	0,0005	0,000004	m <sub>1</sub> (общ.воды)	12499,1770	99,9934
m <sub>1</sub> Ca(OH) <sub>2</sub>	0,0005	0,000004	m <sub>ос</sub> (железо)	0,25	0,0024
m <sub>1</sub> Al(SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	0,0005	0,000004	m <sub>ос</sub> (свинец)	0,15	0,0027
m <sub>1</sub> (общ.воды)	12499,1750	99,9934	m <sub>ос</sub> (вз-в)	0,125	-
m <sub>1</sub> (железо)	0,4500	0,0036	m <sub>3</sub> (железо)	0,0150	0,0012
m <sub>1</sub> (свинец)	0,3750	0,003	m <sub>3</sub> (свинец)	0,0375	0,0003
m <sub>1</sub> (вз-в)	0,5	0,004	m <sub>3</sub> (вз-в))	0,125	-
-	-	-	m <sub>2</sub> (железо)	0,1875	0,0015
-	-	-	m <sub>2</sub> (свинец)	0,1875	0,0015
-	-	-	m <sub>2</sub> (вз-ы)	0,25	-
Сумма	12500,5020	100	Сумма	12500,5020	100

На рисунке 14 представлена сокращенная блок схема очистки после использования циклонного флотатора.



Н-реактор нейтрализации, МФУ<sub>1,2</sub>-многофункциональные установки; ЦФ-циклонный флотатор, G<sub>1</sub>-вода из усреднителя, G<sub>2</sub>- очищенная вода, G<sub>3</sub>,-доза Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, G<sub>4</sub>-доза Ca(OH)<sub>2</sub>, G<sub>5</sub>,G<sub>6</sub>- доза флокулянта в МФУ<sub>1</sub> и МФУ<sub>2</sub>,G<sub>9</sub>,G<sub>10</sub>-осадок от установки МФУ<sub>1</sub> и МФУ<sub>2</sub>, G<sub>8</sub>- доза флокулянта в циклонный флотатор, G<sub>7</sub>- доза коагулянта в циклонный флотатор, G<sub>11</sub>-осадок от циклонного флотатора

Рисунок 14 – Схема очистки для расчета материального баланса

Уравнение материального баланса исходя из рассмотренной схемы:

$$G_1 + G_3 + G_4 + G_5 + G_6 + G_7 + G_8 = G_2 + G_{11} + G_{10} + G_9$$

20) Исходя из экспериментальных данных в работе [1], после циклонного флотатора концентрация железа составляла  $C_{Fe} = 0,2 \text{ мг/дм}^3 = 0,0000002 \text{ кг/дм}^3$ , находим массу железа после очистки по формуле (47), кг/ч:

$$m_{5Fe} = C \cdot G_{с.ч.} \quad (47)$$

Вычислим:

$$m_{5Fe} = 0,0000002 \cdot 12500 = 0,0025$$

21) Эффективность очистки от железа рассчитываем по формуле (25),%:

$$\eta = \frac{C_{вх} - C_{вых}}{C_{вх}} \cdot 100\%$$

где  $C_{вх}$  - концентрация загрязняющего вещества в сточных водах на

входе в очистку, мг/л;

$C_{\text{вых}}$  – концентрация загрязняющего вещества в сточных водах на выходе с очистки, мг/л.

Рассчитываем:

$$\eta_{\text{ЦФFe}} = \frac{0,015 - 0,0025}{0,015} \cdot 100 = 83$$

24) Рассчитаем массу осадка железа после циклонного флотатора по формуле (48), кг/ч:

$$m_{6Fe} = m_{4Fe} - m_{5Fe}, \quad (48)$$

Рассчитываем:

$$m_{3Fe} = 0,015 - 0,0025 = 0,0125$$

25) Исходя из экспериментальных данных в работе [1], после циклонного флотатора концентрация свинца составляла  $C_{Pb} = 0,3 = 0,0000003$  кг/дм<sup>3</sup>, находим массу свинца после очистки по формуле (49), кг/ч:

$$m_{5Pb} = C \cdot G_{\text{с.ч.}}, \quad (49)$$

Вычислим:

$$m_{5Pb} = 0,0000003 \cdot 12500 = 0,00375$$

26) Эффективность очистки от свинца рассчитываем по формуле (49), %:

$$\eta_{\text{ЦФPb}} = \frac{0,0375 - 0,00375}{0,0375} \cdot 100 = 90$$

27) Рассчитаем массу осадка свинца после циклонного флотатора по формуле (50), кг/ч:

$$m_{6Pb} = m_{4Pb} - m_{5Pb}, \quad (50)$$

Рассчитываем:

$$m_{зpb} = 0,03875 - 0,00375 = 0,035$$

28) Исходя из экспериментальных данных в работе [1], после циклонного флотатора концентрация взвешенных веществ составляла  $C_{вз-в} = 2,0 \text{ мг/дм}^3 = 0,000005 \text{ кг/дм}^3$ , находим массу взвешенных веществ после очистки по формуле (51), кг/ч:

$$m_{5вз-в} = C \cdot G_{с.ч.}, \quad (51)$$

Вычисляем:

$$m_{5вз-в} = 0,000005 \cdot 12500 = 0,025$$

29) Рассчитаем эффективность очистки от взвешенных веществ в циклонном флотаторе по формуле, %:

$$\eta_{цфвз-в} = \frac{0,125 - 0,025}{0,125} \cdot 100 = 80$$

30) Рассчитаем массу осадка взвешенных веществ после циклонного флотатора по формуле (52), кг/ч:

$$m_{6вз-в} = m_{4вз-в} - m_{5вз-в}, \quad (52)$$

Вычисляем:

$$m_{вз-в} = 0,125 - 0,025 = 0,1$$

Сведем данные материального баланса после использования циклонного флотатора с роторно-диспергирующим устройством в таблицу 15. В таблице 16 выписаны концентрации до и после предлагаемой схемы очистки.

Таблица 15- Материальный баланс с применением циклонной флотации

Приход			Расход		
Наименование	кг/ч	%	Наименование	кг/ч	%
m <sub>1</sub> (р-ра флокулянта)	0,0005	0,000004	-	-	-
m <sub>1</sub> (р-ра флокулянта)	0,0005	0,000004	m <sub>1</sub> (общ.воды)	12499,1770	99,9934
m <sub>1</sub> Ca(OH) <sub>2</sub>	0,0005	0,000004	m <sub>1</sub> (железо)	0,0025	0,00176
m <sub>1</sub> (Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> )	0,0005	0,000004	m <sub>1</sub> (свинец)	0,0037	0,00112
m <sub>1</sub> (общ.воды)	12499,1750	99,9934	m <sub>1</sub> (свинец)	0,025	0,0002
m <sub>1</sub> (р-ра флокулянта)	0,0120	0,000096	-	-	-
m <sub>1</sub> Ca(OH) <sub>2</sub>	0,05	0,0004	-	-	-
m <sub>1</sub> (железо)	0,4500	0,0036	m <sub>2</sub> (железо)	0,4375	0,00002
m <sub>1</sub> (свинец)	0,3750	0,003	m <sub>2</sub> (свинец)	0,3363	0,00003
m <sub>1</sub> (вз-в)	0,5	0,0039	m <sub>2</sub> (вз-в)	0,375	0,0001
-	-	-	m <sub>3</sub> (железо)	0,0125	0,00010
-	-	-	m <sub>3</sub> (свинец)	0,0351	0,0003
-	-	-	m <sub>3</sub> (вз-ы)	0,1	0,0007
Сумма	12500,0640	100	Сумма	12500,0640	100

Таблица 16 – Концентрации веществ до и после очистки

Исследуемое вещество	Концентрация до очистки, мг/дм <sup>3</sup> (с погрешностью ±0,01)	Концентрация после очистки, мг/дм <sup>3</sup> (с погрешностью ±0,01)	ПДК, мг/дм <sup>3</sup>
Стружка железа	36,2	0,2	0,2
Стружка свинца	30	0,3	0,3
Взвешенные вещества	40	2	5

Материальный баланс предлагаемой технологической схемы для создания более эффективной очистки сточных вод предприятия ОАО «Аком» от тяжелых металлов показывает, что метод является высокоэффективным так как содержание загрязняющих веществ не превышает ПДК.

#### 4.3 Экономическое обоснование целесообразности применения циклонного флотатора в системе очистки сточных вод

Внедрение предложенной технологии позволяет отказаться от циркуляционного насоса повышенного давления. Предусмотрена замена

насоса производительностью 5 м<sup>3</sup>/ч, с напором 40 м вод. ст. и мощностью электродвигателя N=1,7 кВт на насос производительностью 5 м<sup>3</sup>/ч, напором 14м вод. ст. и мощностью электродвигателя N<sub>2</sub>=0,6 кВт.

1) Снижение расходов на электроэнергию в связи с уменьшением мощности циркуляционного насоса рассчитывается по формуле (53),руб/год:

$$\mathcal{E}_{\text{э.э}} = (N_1 - N_2) \cdot T \cdot \text{Ц}_э \cdot N \quad (53)$$

где: T-продолжительность работы локальных очистных сооружений в течение суток, T= 8ч;

Ц<sub>э</sub> -цена электроэнергии;

Ц<sub>э</sub> =4.25 руб/кВт·ч;

N-число дней работы локальных очистных сооружений в течении года;

N=247 дней.

Подставляем наши значения:

$$\mathcal{E}_{\text{э.э}} = (1,7 - 0,6) \cdot 8 \cdot 4,25 \cdot 247 = 9238$$

2) Годовые затраты на приобретение реагентов по предложенной технологии рассчитываются по формуле (54),руб/год:

$$\mathcal{Z}_{\text{р.1}} = N \cdot Q_{\text{ч}} \cdot T \cdot (\text{Ц}_и \cdot D_и + \text{Ц}_ф \cdot D_ф) \quad (54)$$

где: Ц<sub>и</sub> =30 - цена негашеной извести, руб/кг;

D<sub>и</sub> = 0,25 -расчетная доза известкового молока по товарному продукту, кг/м<sup>3</sup>;

Ц<sub>ф</sub> = 220 цена флокулянта (ПАА), руб/кг;

D<sub>ф</sub> = 0,04 -расчетная доза флокулянта (ПАА) по товарному продукту, кг/м<sup>3</sup>;

Q<sub>ч</sub>·- средне часовой расход сточной воды;

T-время работы очистных сооружений.

Подставляем наши значения:

$$Z_{p.1} = 247 \cdot 12,5 \cdot 24 \cdot (30 \cdot 0,25 + 220 \cdot 0,004) = 620\,958$$

3) Годовые затраты на приобретение реагентов по рассмотренной технологии ферритизации, предусматривающая использование, железного купороса, гашеную известь и нитрата натрия, рассчитывается по формуле (55), руб/год:

$$Z_{p.2} = N \cdot Q_{\text{ч}} \cdot T \cdot (C_{\text{ф}} \cdot D_{\text{ф}} + C_{\text{н}} \cdot D_{\text{н}} + C_{\text{к}} \cdot D_{\text{к}}) \quad (55)$$

где:  $C_{\text{ф}} = 75$  - цена железного купороса, руб/кг;

$D_{\text{к}} = 0,05$  - расчетная доза железного купороса, кг/м<sup>3</sup>,

$C_{\text{н}} = 62$  - цена нитрата натрия, руб/кг;

$D_{\text{н}} = 0,05$  - расчетная доза нитрата натрия, кг/м<sup>3</sup>;

$C_{\text{к}} = 30$  - цена каустика, руб/кг;

$D_{\text{к}} = 0,03$  - расчетная доза железного купороса, кг/м<sup>3</sup>,

$Q_{\text{ч}}$  - средне часовой расход сточной воды;

$T$  - время работы очистных.

Подставляем наши значения:

$$Z_{p.2} = 247 \cdot 12,5 \cdot 24 \cdot (62 \cdot 0,05 + 55 \cdot 0,045 + 15 \cdot 0,03) = 574\,275$$

4) Годовые затраты на приобретение реагентов по технологии использования микропеска, рассчитывается по формуле (56), руб/год:

$$Z_{p.3} = N \cdot Q_{\text{ч}} \cdot T \cdot (C_{\text{м}} \cdot D_{\text{м}}) \quad (56)$$

где:  $C_{\text{м}} = 100$  - цена микропеска, руб/кг;

$D_{\text{м}} = 0,21$  - расчетная доза микропеска, кг/м<sup>3</sup>,

$Q_{\text{ч}}$  - средне часовой расход сточной воды;

$T$  - время работы очистных.

Подставляем наши значения:

$$Z_{p,3} = 247 \cdot 24 \cdot 12,5 \cdot (0,21 \cdot 50) = 1\,556\,100$$

5) Снижение расходов на приобретение реагентов рассчитывается по формуле (57),руб/год:

$$\mathcal{E}_p = (Z_{p,2} + Z_{p,3}) - Z_{p,1} \quad (57)$$

Подставим наши значения:

$$\mathcal{E}_p = \mathcal{E}_p = (574\,275 + 1\,556\,100) - 620\,958 = 1\,509\,417$$

6) Экономический эффект от предложенной технологии в ценах 2021г рассчитывается по формуле (58), руб/год:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_p + \mathcal{E}_{э,э} \quad (58)$$

Подставим наши значения:

$$\mathcal{E} = 1\,381\,224 + 9\,238 = 1\,518\,655 \text{ руб/год}$$

Сравнительный анализ результатов представлен в таблице 17.

Таблица 17 - Цены на закупку рассмотренных технологических решений модернизации очистных сооружений

Наименование метода	Стоимость реагентов,руб/год
Циклонная флотация	621000
Микропесок	1556000
Ферритизация	574300

Данные по необходимым дозам и ценам на реагенты, используемые в данном расчете, взяты из диссертации, по экспериментальному внедрению данной технологии Петрунин А.А 2015 года [18].

#### 4.4 Расчет натрий-катионного метода обессоливания воды по одноступенчатой схеме

Заданная производительность установки  $Q_{\text{час}} = 300 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

Основной характеристикой катионитовых материалов является полная обменная способность  $E_{\text{полн}}$ , выраженная в г-экв/ $\text{м}^3$ .

1) Рабочая обменная способность Na-катионита рассчитывается по формуле (59), г – экв/ $\text{м}^3$ :

$$E_{\text{расч}}^{\text{Na}} = \alpha_3 \cdot \beta \cdot E_{\text{полн}} - 0,5 \cdot q_{\text{уд}} \cdot Ж_0, \quad (59)$$

где  $\alpha_3$  – коэффициент эффективности регенерации, учитывающий неполноту регенерации катионита (таблица 18); при удельном расходе соли на регенерацию  $D_c=200$  г/г-экв  $\alpha_3 = 0,81$ ;

Таблица 18 – Значения коэффициента  $\alpha_3$

Удельный расход соли $D_c$ на регенерацию катионита, г / г-экв	100	150	200	250	300	400
Коэффициент эффективности регенерации $\alpha_3$	0,62	0,74	0,81	0,86	0,90	0,91

$\beta$  – коэффициент, учитывающий снижение обменной способности катионита по вследствие частичного задержания катионов  $\text{Na}^+ = 0,86$ ;

$q_{\text{уд}} = 4$ -удельный расход воды на отмывку катионита в  $\text{м}^3$  на  $1\text{м}^3$  катионита;

$Ж_0$  - общая жесткость исходной воды, г-экв/ $\text{м}^3$ ;

$E_{\text{полн}} = 550$  - полная обменная способность, г-экв/ $\text{м}^3$

Рассчитываем:

$$E_{\text{расч}}^{\text{Na}} = 0,81 \cdot 0,86 \cdot 550 - 0,5 \cdot 4 \cdot 6 = 370 \text{ г – экв}/\text{м}^3$$

2) Скорость фильтрования через Na-катионитовый фильтр рассчитываем по формуле (60), м/ч:

$$V_{\text{расч}}^{\text{Na}} = \frac{E_{\text{расч}}^{\text{Na}} \cdot h_k}{T_m J_0 + 0,02 E_{\text{расч}}^{\text{Na}} d_{80}^2 (\ln J_0 - \ln J_y)}, \quad (60)$$

где  $d_{80} = 0,8$  - 80 %-й калибр катионитовой загрузки, мм;

$J_y = 0,2$  мг- допустимая жесткость воды, экв/дм<sup>3</sup>;

$T_m$  - продолжительность межрегенерационного периода, ч;

$h_k = 2,5$  м - высота катионитовой загрузки;

$E_{\text{расч}}^{\text{Na}}$  - рабочая обменная способность Na-катионита;

$J_0$  - общая жесткость исходной воды, г-экв/м<sup>3</sup>.

Вычисляем:

$$V_{\text{расч}}^{\text{Na}} = \frac{370 \cdot 2,5}{10,5 \cdot 6 + 0,02 \cdot 370 \cdot 0,8^2 (\ln 6 - \ln 0,2)} = 13 \text{ м/ч}$$

3) Рассчитываем время, которое занимает весь процесс фильтрования, находим по формуле (61), ч:

$$T_m = \frac{24}{2} - (t_{\text{взр}} + t_{\text{рег}} + t_{\text{отм}}), \text{ ч} \quad (61)$$

где:  $t_{\text{взр}} = 0,25$  ч (15 мин) - продолжительность взрыхления катионита;

$t_{\text{рег}} = 0,42$  ч (25 мин) - продолжительность регенерации;

$t_{\text{отм}} = 0,83$  ч (50 мин) - продолжительность отмывки.

Вычислим:

$$T_m = \frac{24}{2} - (0,25 + 0,42 + 0,83) = 10,5 \text{ ч}$$

4) Необходимая суммарная площадь Na-катионитовых фильтров рассчитывается по формуле (62), м<sup>2</sup>:

$$F = \frac{Q_{\text{сут}}}{V_{\text{расч}}^{\text{Na}} [T - n(t_{\text{взр}} + t_{\text{рег}} + t_{\text{отм}})]} \quad (62)$$

где:  $t_{\text{взр}} = 0,25$  ч (15 мин) - продолжительность взрыхления катионита;

$t_{\text{рег}} = 0,42$  ч (25 мин) - продолжительность регенерации;

$t_{\text{отм}} = 0,83$  ч (50 мин) - продолжительность отмывки;

$T$  – продолжительность работы фильтров, ч/сут,;

$n$  – число фильтров;

$V_{\text{расч}}^{\text{Na}}$  - скорость фильтрования через Na-катионитовый фильтр;

$Q_{\text{сут}}$  - суточный расход сточной воды, м<sup>3</sup>/ч.

Вычисляем:

$$F_{\text{Na}} = \frac{300}{13 (24 - 2(0,25 + 0,42 + 0,83))} = 16,3$$

По таблице 19 подбираем катионитовые фильтры. Принимаем три рабочих фильтра 2 диаметром 2,6 м, площадью по 8,5 м<sup>2</sup> и один резервный фильтр тех же размеров. Высоту катионитовой загрузки принимаем  $h_{\text{к}} = 2,5$  м.

Таблица 19 - Параметры известных катионитовых фильтров[14]

Наименование	Рабочее давление, МПа	Условный диаметр фильтра, мм	Высота фильтрующего слоя, мм, не более	Производительность, м <sup>3</sup> /ч	Масса комплекта, кг	Стоимость, руб.
ФИПа I-0,5-0,6 Na	0,4	500	1000	10	307	72000
ФИПа I-0,7-0,6 Na	0,6	700	2000	10	620	84900
ФИПа I-1,0-0,6 Na	0,6	1000	2000	20	1090	106200
ФИПа I-1,4-0,6 Na	0,6	1400	2000	46	1240	242300
ФИПа I-1,5-0,6 Na	0,6	1500	2000	50	1570	292300
ФИПа I-2,0-0,6 Na	0,6	2000	2500	80	3100	468400
ФИПа I-2,6-0,6 Na	0,6	2600	2500	130	4600	622100

Исходя из рассмотренных катионитовых фильтров, по рассчитанным параметрам выбираем ФИПа I-2,6-0,6 Na.

Расчет параметров регенерации катионита

1) Суммарная рабочая площадь фильтров рассчитываем по формуле (63), м<sup>2</sup>:

$$f_{\text{раб}} = n \cdot S, \quad (63)$$

где  $n$  – число фильтров;

$S$ - площадь 1 фильтра, м<sup>2</sup>.

Подставляем в формулу наши значения:

$$f_{\text{раб}} = 2 \cdot 8,5 = 17$$

2) Фактическая скорость фильтрования при нормальном режиме рассчитывается по формуле (64), м/ч:

$$V_{\text{фф}} = \frac{Q_c}{\sum f_{\text{раб}}}, \quad (64)$$

где  $Q_c$ -расход сточной воды в час м<sup>3</sup>/ч

$\sum f_{\text{раб}}$  – суммарная рабочая площадь фильтров.

Подставим наши значения в формулу 64:

$$V_{\text{ф}} = \frac{300}{17} = 17,6$$

3) Расход технической поваренной соли на одну регенерацию фильтра находим по формуле (65), кг:

$$G_c = \frac{E_{\text{раб}}^{\text{Na}} \cdot h_k \cdot D_c \cdot S}{1000}, \quad (65)$$

где  $D_c = 200$  г/г-экв - удельный расход соли для регенерации Na-катионитовой загрузки (при одноступенчатой схеме);

$h_k$  –высота фильтрующего слоя, м;

$S$ - площадь 1 фильтра, м<sup>2</sup>;

$E_{\text{раб}}^{\text{Na}}$  – рабочая обменная способность Na-катионита.

Подставляем наши значения:

$$G_c = \frac{370 \cdot 2,5 \cdot 200 \cdot 8,5}{1000} = 1573$$

4) Расход воды на собственные нужды установки:

а) на промывку (взрыхление) катионитовой загрузки, рассчитываем по формуле (66), м<sup>3</sup>:

$$q_{\text{взр}} = \frac{w_{\text{взр}} \cdot f \cdot t_{\text{взр}} \cdot 60}{1000}, \quad (66)$$

где  $w_{\text{взр}} = 3 \text{ дм}^3/\text{с}$  на  $1 \text{ м}^2$  - интенсивность взрыхления

$t_{\text{взр}} = 15$  мин- продолжительность взрыхления,

$f$  - площадь катионитового фильтра.

Подставляем наши значения:

$$q_{\text{взр}} = \frac{3 \cdot 8,5 \cdot 15 \cdot 60}{1000} = 23$$

б) на отмывку катионитовой загрузки от продуктов регенерации рассчитывается по формуле (67):

$$q_{\text{отм}} = q_{\text{уд.отм}} \cdot f \cdot h_k, \quad (67)$$

где  $q_{\text{уд.отм}} = 4,5$ - удельный расход воды на отмывку на  $1 \text{ м}^3$  катионитовой загрузки;

$f$ - площадь катионитового фильтра;

$h_k$  – высота фильтрующего слоя, м.

Подставляем в формулу наши значения:

$$q_{\text{отм}} = 4,5 \cdot 8,5 \cdot 2,5 = 59,7$$

в) на растворение соли рассчитывается по формуле (68), м<sup>3</sup>:

$$q_{pc} = \frac{G_c \cdot q_{уд.р.с}}{1000}, \text{ м}^3 \quad (68)$$

где  $q_{уд.р.с} = 10$  дм<sup>3</sup> воды на 1 кг технической соли - удельный расход воды на растворение соли;

$G_c$  – расход соли на одну регенерацию каждого фильтра, кг.

Подставляем наши значения:

$$q_{pc} = \frac{1573 \cdot 10}{1000} = 15,8 \text{ м}^3$$

г) на промывку солерастворителя диаметром 2600 мм рассчитываем по формуле (69), м<sup>3</sup>:

$$q_{пр.с} = \frac{f_c w_c 60 t_c}{1000}, \text{ м}^3 \quad (69)$$

где  $f_c = 0,8$  - площадь солерастворителя, м<sup>2</sup>;

$w_c = 5$  - интенсивность его промывки, л/с·м<sup>2</sup>;

$t_c = 5$  - продолжительность промывки солерастворителя, мин.

Подставляем наши значения:

$$q_{пр.с} = \frac{0,8 \cdot 5 \cdot 60 \cdot 5}{1000} = 1,2$$

5) Суммарный расход воды на одну регенерацию одного фильтра при условии, что отмывочные воды катионитовых фильтров не используются повторно для взрыхления катионитовой загрузки:

$$\sum q = 23 + 59,7 + 15,8 + 1,2 = 99,7 \text{ м}^3$$

б) Общий добавочный расход осветленной воды при двукратной за сутки регенерации трех Na-катионитовых фильтров:

$$q_{\text{доб}} = 99,7 \cdot 2 \cdot 3 = 598,2 \text{ м}^3$$

Для сокращения расхода воды на собственные нужды установки следует предусмотреть повторное использование отмывочных вод для взрыхления катионита и приготовления регенерационного раствора соли.

Одна половина воды от отмывки катионита отправляется в начало процесса, а вторая - направляется в бак для использования при взрыхлении катионита или приготовлении регенерационного раствора

8) При этих условиях расход воды на собственные нужды Na-катионитовой установки составит в процентном отношении:

$$q_{\text{сн}} = \frac{59,7 \cdot 2 \cdot 3}{300} \cdot 100 = 11 \% Q_{\text{сут}}$$

Рассчитанные параметры сведем в таблицу 20

Таблица 20- Данные по расчету ионообменной установки [20]

Обозначения	Наименование	Единицы измерения	Значение
$V_{\text{ф}}$	Скорость фильтрования	м/с	13,0
$T_{\text{м}}$	Время фильтрования	ч	10,5
$F_{\text{Na}}$	Площадь	$\text{м}^2$	16,3
Регенерация			
$V_{\text{фф}}$	Скорость фильтрации	м/ч	17,6
$G_{\text{с}}$	Расход NaCl на 1 регенерацию	кг	1573
$\sum q$	Суммарный расход воды на 1 регенерацию	$\text{м}^3$	99,7

Затраты на реагенты

Стоимость ионообменной смолы: КУ-2-8 = 90 руб/кг (сухой) [14].

Дальнейший расчет будет вестись на 2000 кг смолы на 1 регенерацию.

9) На 1 загрузку стоимость катионита рассчитывается по формуле (70), руб.:

$$C = c \cdot n \quad (70)$$

где  $c$ -стоимость ионообменной смолы;

$n$ -необходимое количество смолы, кг.

Вычислим:

$$C = 90 \cdot 2000 = 180\,000$$

10) Себестоимость очищенной воды методом ионного обмена находится по формуле (71), руб/м<sup>3</sup>:

$$S = \frac{C}{Q_{\text{ч}} \cdot 24 \cdot 247 \cdot 3} \quad (71)$$

где:  $C$ - на 1 цикл фильтрования стоимость катионита, руб;

$Q_{\text{ч}}$ -расход сточной воды в час, м<sup>3</sup>/ч.

Вычислим:

$$S = \frac{180000}{12,5 \cdot 24 \cdot 247 \cdot 3} = 0,81$$

Затраты на регенерацию:

Стоимость поваренной соли: NaCl= 30 руб/кг [14].

Удельный расход соли для регенерации найденный по формуле, составляет 2000 кг.

11) Находим стоимость поваренной соли для одного процесса регенерации по формуле (72), руб

Вычислим:

$$C = 30 \cdot 2000 = 60000$$

12) Себестоимость регенерации находится по формуле 14, руб/м<sup>3</sup>:

$$S = \frac{C}{Q_{\text{ч}} \cdot 24 \cdot 247 \cdot 3} \quad (72)$$

где: C - на 1 цикл фильтрования стоимость катионита, руб;

Q<sub>ч</sub>-расход сточной воды в час, м<sup>3</sup>/ч.

Вычислим:

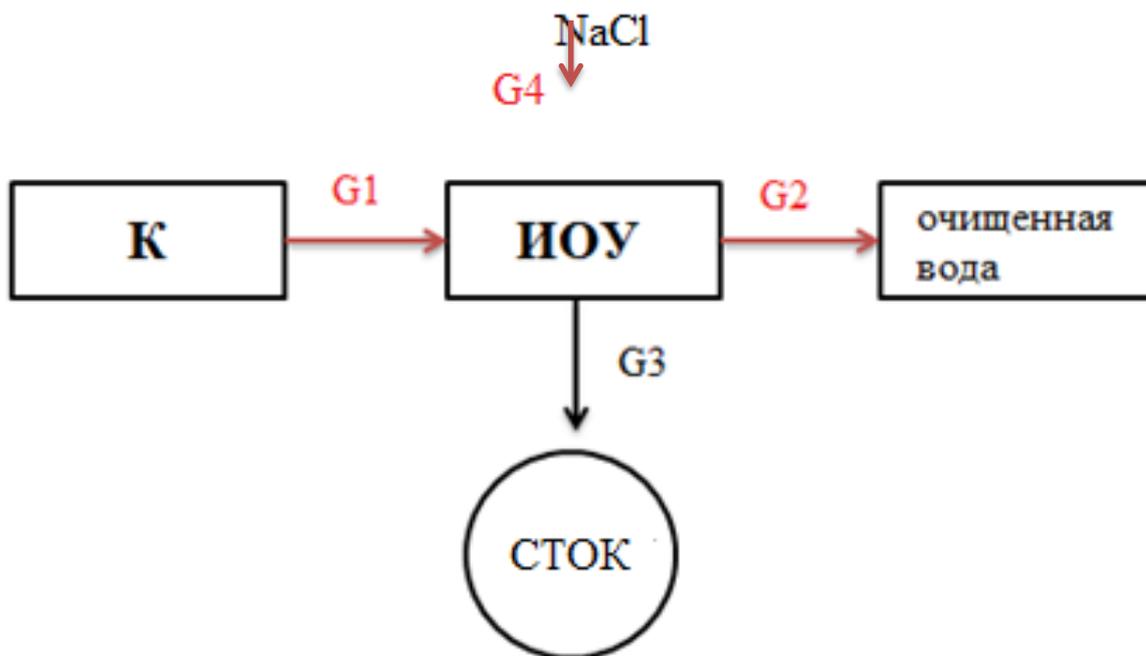
$$S = \frac{60000}{12,5 \cdot 24 \cdot 247 \cdot 3} = 0,26$$

Таким образом: суммарный расход на реагенты составляет 240 000 р.

#### **4.5 Материальный баланс процесса Na-катионирования водоочистки**

Для того чтобы определить эффективность использования катионитовых фильтров в существующей системе очистки, на предприятие ОАО «Аком», необходимо составить материальный баланс.

На рисунке 15 представлена сокращенная схема очистки на ионообменной установке.



К-концентрат после обратного осмоса, ИОУ-ионообменная установка,  $G_1$ -концентрат после установки обратного осмоса,  $G_3$ -осадок после установки обратного осмоса,  $G_2$ -очищенная вода,  $G_4$ -доза поваренной соли для регенерации.

Рисунок 15 – Схема очистки для расчета материального баланса

Уравнение материального баланса исходя из схемы:  $G_1 + G_4 = G_2 + G_3$

1) Расход сточной воды в сутки составляет  $300 \text{ м}^3$ , найдем среднечасовую производительность по формуле (73),  $\text{м}^3/\text{ч}$ :

$$G_{\text{с.ч.}} = \frac{G_{\text{с.с.}}}{24 \text{ ч}}, \quad (73)$$

где  $G_{\text{с.с.}}$  – среднесуточная производительность,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

24 – коэффициент перевода суток в часы.

Вычислим:

$$G_{\text{с.ч.}} = \frac{300}{24} = 12,5$$

2) Переведем  $12,5 \text{ м}^3/\text{ч}$  в  $12500 \text{ дм}^3/\text{ч}$

3) Рассчитаем массу проходящей воды по формуле (74), кг/ч:

$$m_{\text{воды}} = \rho_{\text{воды}} \cdot G_{\text{с.ч.}} \quad (74)$$

где  $\rho_{\text{воды}}$  – плотность воды 1 кг/дм<sup>3</sup>;

$G_{\text{с.ч.}}$  – производительность среднечасовая, кг/ч.

Произведем расчет:

$$m_{\text{воды}} = 1 \cdot 12500 = 12500$$

4) Доза поваренной соли (NaCl) для эффективного процесса регенерации фиксированная из экспериментальных данных в работе [16] составляет: NaCl = 0,2 кг/ч.

5) До очистки концентрация железа составляла  $C_{\text{Fe}} = 38,8 \text{ мг/л} = 0,000038 \text{ кг/дм}^3$ , значит рассчитаем массу железа до очистки по формуле (75), кг/ч:

$$m_{1\text{Fe}} = C_{\text{Fe}} \cdot G_{\text{с.ч.}} \quad (75)$$

Вычислим:

$$m_{1\text{Fe}} = 0,000038 \cdot 12500 = 0,475$$

6) Из литературного источника [17] известно, что коэффициент очистки от солей железа на катионитовом фильтре  $\omega_{\text{КФ}} = 0,90$ , рассчитаем массу железа после очистки по формуле (76), кг/ч:

$$m'_{\text{Fe}} = \omega_{\text{КФ}} \cdot m_{\text{Fe}}, \quad (76)$$

Вычислим:

$$m'_{\text{Fe}} = 0,90 \cdot 0,475 = 0,4275$$

7) Рассчитаем массу железа, которая осталась в воде по формуле (77), кг/ч:

$$m_{2Fe} = m_{1Fe} - m'_{Fe}, \quad (77)$$

Вычислим:

$$m_{2Fe} = 0,475 - 0,4275 = 0,0475$$

8) До очистки концентрация свинца составляла  $C_{Fe} = 38,8 \text{ мг/л} = 0,000038 \text{ кг/дм}^3$ , значит, рассчитаем массу свинца до очистки по формуле (78), кг/ч:

$$m_{1Pb} = C_{Pb} \cdot G_{с.ч.}, \quad (78)$$

Вычислим:

$$m_{Pb} = 0,000022 \cdot 12500 = 0,275$$

9) Из литературного источника [22] известно, что коэффициент очистки от солей свинца на катионитовом фильтре  $\omega_{КФ} = 0,86$ , рассчитаем массу свинца после очистки по формуле (79), кг/ч:

$$m'_{Pb} = \omega_{КФ} \cdot m_{Pb}, \quad (79)$$

Вычислим:

$$m'_{Pb} = 0,90 \cdot 0,0475 = 0,2365$$

10) Рассчитаем массу свинца, которая осталась в воде по формуле (80), кг/ч:

$$m_{2Pb} = m_{1Pb} - m'_{Pb}, \quad (80)$$

Вычислим:

$$m_{2Pb} = 0,275 - 0,2365 = 0,0385$$

11) До очистки концентрация солей составляла  $C_{соли} = 3300 \text{ мг/л} = 0,0033 \text{ кг/дм}^3$ , рассчитаем массу солей до очистки по формуле (81), кг/ч:

$$m_{1\text{соли}} = C_{\text{соли}} \cdot G_{\text{с.ч.}}, \quad (81)$$

Вычислим:

$$m_{\text{соли}} = 0,0033 \cdot 12500 = 41,25$$

12) Из литературного источника [22] известно, что коэффициент очистки от солей на катионитовом фильтре  $\omega_{\text{КФ}} = 0,89$ , значит, рассчитаем массу солей после очистки по формуле (82), кг/ч:

$$m'_{\text{соли}} = \omega_{\text{КФ}} \cdot m_{\text{соли}}, \quad (82)$$

Вычислим:

$$m'_{\text{соли}} = 0,89 \cdot 41,25 = 36,7125$$

113) Рассчитаем массу солей, которые остались в воде по формуле (83), кг/ч:

$$m_{2\text{соли}} = m_{1\text{соли}} - m'_{\text{соли}}, \quad (83)$$

Вычислим:

$$m_{2\text{соли}} = 41,25 - 36,7125 = 4,53$$

Сведем данные материального баланса после использования ионообменной установки с Na-катионирование в таблицу 21.

Таблица 21- Материальный баланс с применением Na- катионирования

Приход	Расход
--------	--------

Наименование	кг/ч	%	Наименование	кг/ч	%
m <sub>1</sub> (общ.воды)	12458,00	99,6624	m <sub>1</sub> (общ.воды)	12458,20	99,6640
m <sub>1</sub> (железо)	0,4750	0,0037875	m <sub>2</sub> (железо)	0,0475	0,0004
m <sub>1</sub> (свинец)	0,2750	0,0021928	m <sub>2</sub> (свинец)	0,0385	0,0003
m <sub>1</sub> (соли)	41,25	0,3289146	m <sub>2</sub> (соли)	4,5375	0,0363
m <sub>1</sub> (NaCl)	0,2	-	-	-	-
-	-	-	m'(железо)	0,4275	0,0034
-	-	-	m'(свинец)	0,2365	0,0019
-	-	-	m'(соли)	36,7125	0,2927
-	-	-	-	-	-
Сумма	12500,2	100	Сумма	12500,2	100

Материальный баланс дополнительного обессоливания концентрата после установки обратного осмоса на одноступенчатой системе очистки в На-катионитовых фильтрах является высокоэффективным так как содержание солей не превышает ПДК.

В таблице 20 выписаны концентрации до и после предлагаемой схемы очистки.

Таблица 20 – Концентрации веществ до и после очистки

Исследуемое вещество	Концентрация до очистки, мг/дм <sup>3</sup> (с погрешностью ±0,01)	Концентрация после очистки, мг/дм <sup>3</sup> (с погрешностью ±0,01)	ПДК, мг/дм <sup>3</sup>
Солесодержание	3300	363	1000
Ионы железа (Fe <sup>2+</sup> )	38,0	3,8	10
Ионы свинца (Pb <sup>2+</sup> )	22,0	3,08	10

Вывод по четвертому разделу: в данном разделе были рассчитаны необходимые конструкционные параметры предлагаемых аппаратов (циклонный флотатор, ионообменная установка), произведен расчет материального баланса предлагаемых процессов и расчет экономической целесообразности внедрения рассмотренных методов.

## Заключение

В бакалаврской работе предложены технические мероприятия по повышению качества очистки сточных вод образующиеся на предприятии по выпуску свинцовых, кислотных и стартерных аккумуляторов.

В результате проведённой работы:

1) Произведен анализ сточных вод после существующей системы очистки на предприятии ОАО "Аком":

-обнаружены существенные превышения по таким показателям как: стружка тяжелых металлов (свинец, железо), взвешенные вещества, ионов тяжелых металлов ( $Fe^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ) и солей;

-проанализирована необходимость использования в системе очистки электрохимических стоков коагулянтов и флокулянтов;

- рассмотрена химическая составляющая процесса применение флокулянта (ПАА) и коагулянта ( $Al_2(SO_4)_3$ ) для очистки стоков на электрохимическом предприятии.

2) Произведен сравнительный анализ существующих методов доочистки стоков с целью повышения стабильно работы водооборотного цикла после изучения справочников НДТ и патентного поиска:

-с целью повышения качества очистки от тяжелых металлов и взвешенных веществ были предложены следующие методы : ферритизация , коагуляция с использованием микропеска и флотация;

-с целью повышения стабильно работы водооборотного цикла после обратного осмоса было предложено техническое решение по внедрению следующих методов доочистки образующихся солей в концентрированном растворе: электродиализ, ультрафильтрация и ионообменные процессы;

-в результате сравнительного обоснования оптимальных методов доочистки стоков от имеющихся загрязнений с точки зрения эффективности и экономической целесообразности стали: флотация и ионообменные процессы.

3) Предложены технические конструктивные решения по повышению качества очистки стоков и стабилизации работы водооборотного цикла:

- внедрение циклонного флотатора с роторно-диспергирующим устройством в существующую систему очистки (эффективность очистки от тяжелых металлов и взвешенных частиц 80-90 %);

- дополнительная очистка концентрата после установки обратного осмоса на катионитовых фильтрах ФИПа I-2,6-0,6 Na.

4) Произведены конструкционные расчеты предложенных аппаратов.

5) Произведен расчет материального баланса предлагаемой системы очистки.

Следовательно, представляемые решения в области создания мероприятий направленных на повышения существующей системы очистки на предприятии ОАО «Аком» гарантируют последующие преимущества:

- снижение концентрации загрязняющих веществ образующихся в сточных водах электрохимического предприятия до регламентируемых значений;

- повышения качества и стабильности работы водооборотного цикла;

- экономически небольшие затраты на предложенный процесс модернизации очистных сооружений.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Адамсон А.А. Физическая химия поверхностей.: методическое пособие для студентов М.: Москва,2006.319-320 с. (Высшая школа).
2. Адельшин А.Б. Интенсификация очистки сточных вод на основе применения струйно-отстойных аппаратов: автореф. дис. канд. техн. наук: 03.02.08. – Казань.: КГАСА. 2016.- с. 207-209.
3. Аграноник Р. Я. Биофлотационная и микрофлотационная технологии очистки сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2017г. № 9. С. 27-29.
4. Андреев С.Ю. Теоретические основы процессов генерации динамических двухфазных систем вода-воздух и их использование в технологиях очистки автореф. дис. канд. техн. Наук. М.: Пенза: ПГУАС, 2017.С.194-196.
5. Андреев С.Ю. Использование технологии обработки газовой смеси импульсным магнитным полем для интенсификации флотационной очистки сточных вод // Проблемы энергосбережения и экологии в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах: сб. трудов XIII международной научно- практической конференции. -Пенза: ПГУАС, 2016 г. С. 23-26.
6. Андреев С.Ю. Кинетические закономерности процесса флотации из сточных вод без инерционных дисперсных частиц // Региональная архитектура и строительство. 2016. №3.С.181-185.
7. Андреев С.Ю. Теоретические основы процесса диспергирования водовоздушной смеси используемой для флотационной очистки сточных вод // Региональная архитектура и строительство. 2018. №3.С.154-157.
8. Андреев С.Ю. Лабораторные исследования технологии диспергирования водовоздушной смеси в роторно-кавитационном устройстве // Региональная архитектура и строительство. 2017. №3.С.784-810.
9. Андреев С.Ю. Совершенствование флотационной очистки производственных сточных вод // Региональная архитектура и строительства.

– 2014.№2.С. 212-215.

10. Алейников Н.А. Флотация окислов железа синтетическими: научно-исследовательская литература. М.:2017.№9. С.123-345.

11. Аким Э. Л. Флотационная очистка стоков электрохимических предприятий как путь к реализации лучших достигнутых технологий // Материалы международной научно- практической конференции. М.: Санкт-Петербург. 2017.С. 102-106.

12. Алексеев, Е.В. Основы технологии очистки сточных вод флотацией // Монография, научное издание. М.: Изд-во АСВ, 2017. с. 136-157.

13. Алексеев Д.В. Комплексная очистка стоков промышленных предприятий методом струйной флотации // Монография, научное издание. М.: Изд-во АСВ, 2015. с.320- 345.

14. Асонов А.М. Расчет катионитных установок для умягчения воды в промышленных котельных // Водоподготовка в промышленных котельных на железнодорожном транспорте. 2017.С.20-26.

15. Бабиков А.А. Повышение качества очистки стоков за счет совершенствования линии водоподготовки на предприятии ЗАО «Аком»: выпускная квалификационная работа: 05.06.16. Тольятти.:2016. С.10-60.

16. Маунг Л.Л. Разработка технологии очистки сточных вод от тяжелых металлов методам нанофльтрации и ионного обмена: методическое пособие. М: 2018. 2-12 с.

17. Мусорина Т.М. Сорбция и извлечение органических поллютантов из воды на углеродсодержащих материалах // Защита окружающей среды в области ресурсопотребления. 2018.№3.С. 134-211.

18. Петрунин А.А. Совершенствование технологии флотационной очистки производственных сточных вод с использованием роторно-диспергирующего устройства: дис. канд. тех. Наук:03.02.08: защищена 06.05.2016.-Москва, 2016-154 с.

19.Фазлутдинов К.К. Метод ионного обмена при очистке сточных вод: методическое пособие по применению. М.:2017.1-10с.

20. Аборнев, Д. В. Динамические характеристики катионитных фильтров в процессе умягчения высокоминерализованных вод [Электронный ресурс]: Методическое пособие. URL: <https://e.lanbook.com/book/155076> (дата обращения: 16.06.2021).

21. Баранов Д. А. Процессы и аппараты химической технологии [Электронный ресурс]: Научно-исследовательская литература. URL: <https://e.lanbook.com/book/130186> (дата обращения: 11.06.2021).

22. Волков В. А. Коллоидная химия. Поверхностные явления и дисперсные системы [Электронный ресурс]: Методический справочник. URL: <https://e.lanbook.com/book/65045> (дата обращения: 11.06.2021).

23. Гречушкин А. Н. Исследование процессов очистки воды методом обратного осмоса. [Электронный ресурс]: Методические указания. URL: <https://e.lanbook.com/book/172719> (дата обращения: 11.06.2021).

24. Малов, В. А. Коллоидная химия. Диспергирование водо-воздушных систем [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие. URL: <https://e.lanbook.com/book/133889> (дата обращения: 11.06.2021).

25. Карпычев Е. А. Наладка и эксплуатация водоподготовительных установок [Электронный ресурс]: Справочная литература. URL: <https://e.lanbook.com/book/154560> (дата обращения: 16.06.2021).

26. Ларин Б. М. Проблемы энерго- и ресурсосбережения в теплоэнергетике [Электронный ресурс]: Справочная литература. URL: <https://e.lanbook.com/book/154568> (дата обращения: 16.06.2021).

27. Рудаков В.Ф., Селеменев, В.А. Иванов. Сорбционные и хроматографические процессы [Электронный ресурс]: Учебное пособие. URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/298011> (дата обращения: 11.06.2021).

25. Филиппов Д. В. Физико-химические свойства, устойчивость и коагуляция лиофобных дисперсных систем [Электронный ресурс]: Научно-исследовательская литература. URL: <https://e.lanbook.com/book/4494> (дата обращения: 11.06.2021).

28. Фридрихсберг, Д. А. Курс коллоидной химии [Электронный ресурс]:

Методическое пособие. URL: <https://e.lanbook.com/book/4027> (дата обращения: 11.06.2021).

29. Lawrence K. W., Jiaping P. C., Yung-Tse H., Nazih K. S. «Heavy Metals in the Environment».

30. Gautam R.K., Sanjay K.S., Suresh M. «Contamination of Heavy Metals in Aquatic Media: Transport, Toxicity and Technologies for Remediation» [Электронный ресурс] URL <https://pubs.rsc.org/en/content/chapterhtml/2014/bk978184973885900001?isbn=978-1-84973-885-9>.

31. Maulin S., Rodriguez-Couto S., Kumar V. «New Trends in Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewater» [Электронный ресурс] URL <https://www.elsevier.com/books/new-trends-in-removal-of-heavy-metals-from-industrial-wastewater/shah/978-0-12-822965-1> (дата обращения: 11.06.2021).

32. Pamukoglu Y. Heavy Metal Removal Techniques Using Response Surface Methodology: Water/Wastewater Treatment [Электронный ресурс] URL <https://www.intechopen.com/books/biochemical-toxicology-heavy-metals-and-nanomaterials/heavy-metal-removal-techniques-using-response-surface-methodology-water-wastewater-treatment> (дата обращения 1.06.2021).

33. Condorchem envitech [Электронный ресурс]. URL: <https://condorchem.com/en/industrial-wastewater-treatment> (дата обращения 25.05.2021 10:35);

## Приложение А

### Повышения качества очистки сточных вод от взвешенных веществ и стружки тяжелых металлов

С использованием коагуляции и микропеска.

«Задача данного метода: ускорить процесс коагуляции и отстаивания в подаче всей полученной пульпы на гидроциклон, который отделяет песок от осадка и возвращает песок в процесс. Данная технология позволит повысить производительность в 15 раз» [24].

«Используют специальный кварцевый микропесок в качестве затравочных зерен для хлопьеобразования. Он обеспечивает развитую поверхность, которая усиливает флокуляцию и одновременно является балластом или весом, ускоряющим осаждение. Это обеспечивает проведение интенсивной контактной коагуляции и быстрое осаждение её продуктов. Хлопья, которые утяжелили микропеском, обладают высокой скоростью осаждения для сточных вод (100-150 м/ч)» [32].

«В таблице А.1 представлены сравнительные данные по существующим методам отстаивания сточных вод и с использованием микропеска» [20].

Таблица А.1 - Сравнительная таблица очистки сточной воды методами отстаивания

Параметры	Микропесок	Процесс отстаивания		
		Горизонтальный отстойник	Вертикальный отстойник	Радиальный отстойник
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	1-15 тыс.	40-50 тыс.	5-15 тыс.	25 тыс.
Время осаждения частиц, ч	0,1	1-1,5	0,5-1,5	1,5
Скорость осаждения частиц, мм/с	-	0,5-0,8	0,4-0,7	-
Эффективность очистки,%	92	55-65	45-50	50-65

## Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.1

Параметры	Микро-песок	Процесс отстаивания		
		Горизонтальный отстойник	Вертикальный отстойник	Радиальный отстойник
Влажность осадка, %	99	-	92	95
Исходная концентрация в-в, мг/л	400	150-300	-	500
Скорость потока, м/с	0,02-0,04	0,7-0,8	0,4-0,5	0,8

Использование микропеска влечет за собой такие важные аспекты, как:

- 1) высокое отношение удельной поверхности к объёму частиц;
- 2) «присадка» из микропеска и флокулянта способствует сцеплению тяжелых металлов и приводит к формированию больших устойчивых хлопьев;
- 3) большой вес микропеска (2,65 кг/л) служит балластом для образования хлопьев высокой плотности.

«Использование микропеска приводит к образованию хлопьев, значительно более плотных и устойчивых, чем хлопья, получающиеся при использовании обычных технологий осветления. Эти хлопья обладают значительно более высокой скоростью осаждения, что позволяет значительно увеличить производительность. Это ведет к сокращению объема установок, занимаемой системой площади и снижению затрат на общестроительные работы» [3].

Процесс осветления воды с использованием микропеска включает следующие стадии, представленные на рисунке А.1 [3].

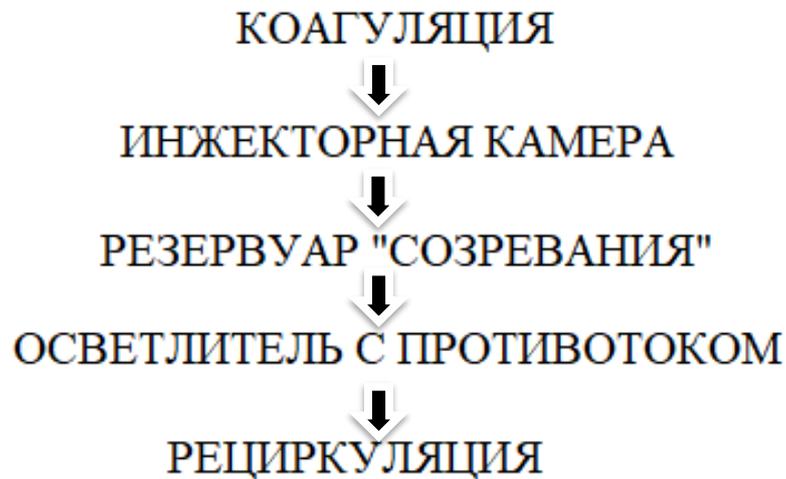


Рисунок А.1 - Технологический процесс очистки сточных вод от тяжелых металлов с применением микропеска [3].

Изначально вода поступает в камеру коагуляции, где происходит дестабилизация взвешенных и коллоидных частиц. Затем добавляют коагулянт ( $FeCl_3$ ), одновременно с этим корректируют pH. Далее происходит интенсивное перемешивание для того, чтобы коагулянт распространился равномерно в исходной воде. Коагуляция занимает две-три минуты.

Потом вода направляется во вторую камеру, где добавляется микропесок. Микропесок добавляют для ускорения процесса хлопьеобразования. Данный этап занимает в среднем две-три минуты.

«Далее вода подается из камеры ввода микропеска в камеру созревания. В воду вводят флокулянт (ПАА), для ускорения прилипания хлопьев к частичкам микропеска. Затем интенсивно перемешивают, чтобы образовались полимерные цепочки между микропеском и дестабилизированными веществами» [5].

## Продолжение приложения А

«Ускоряется этот процесс благодаря удельной поверхности песка, которая увеличивает возможность образования полимерных цепочек, вследствие чего происходит слипание микропеска с хлопьями, которые уже присутствуют в тяжелых металлах» [5].

Данный этап занимает в среднем пять-шесть минут.

Схема хлопьеобразовательного процесса представлена на рисунке А.2.

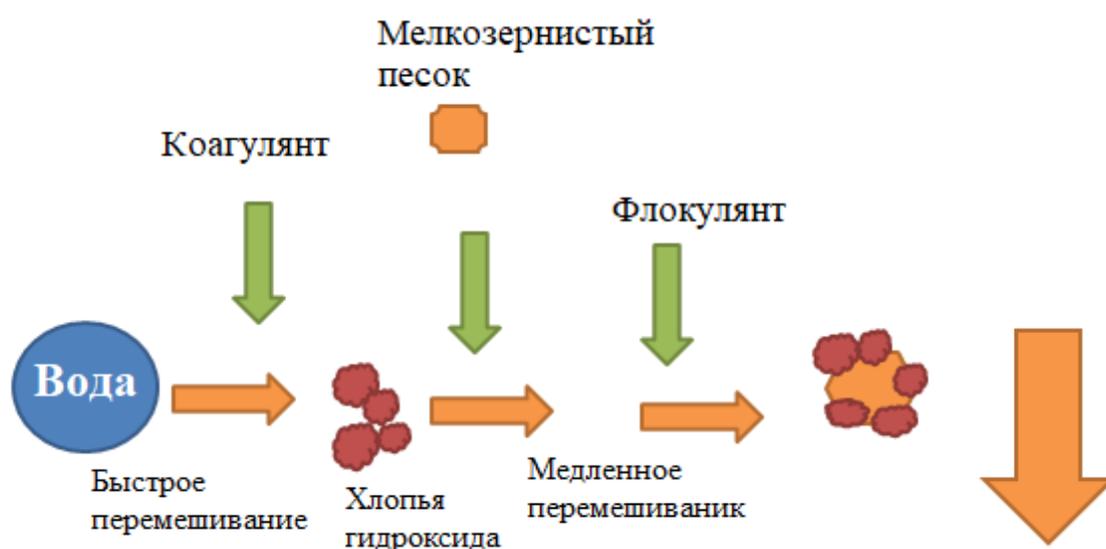


Рисунок А.2- Схема хлопьеобразования процесса

Сточная вода с образовавшимися хлопьями, содержащие микропесок, направляется в камеру отстаивания. Где происходит расслоение осадка. Осадок оседает на дно МФУ и удаляется с помощью интенсивного потока воды.

Завершается процесс очисткой в тонкослойном отстойнике. Суспензия с осадком насосами подается в гидроциклон, где происходит отделения осадка от микропеска благодаря центробежным силам. В итоге, очищенный микропесок, возвращается в блок флокуляции. Осадок, влажность которого больше 98% направляется на обезвреживание.

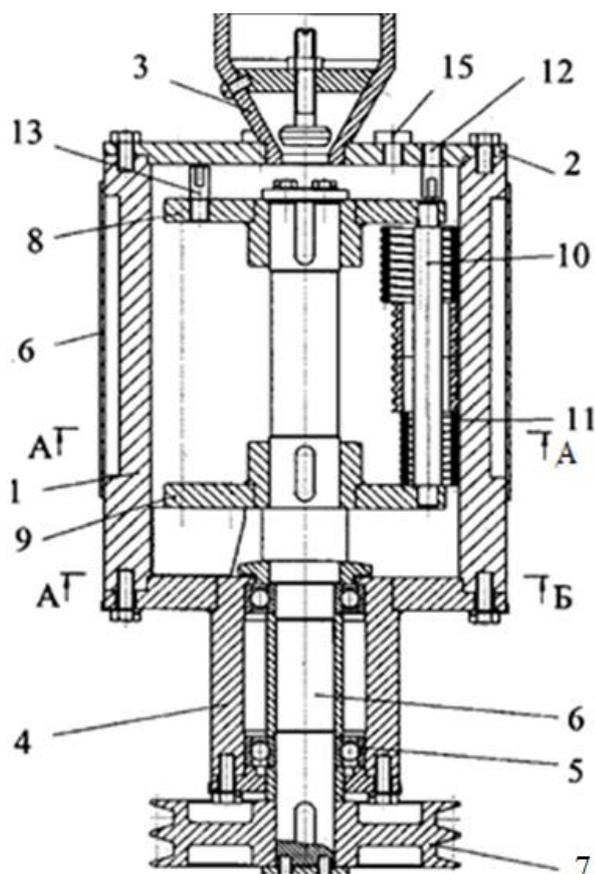
## Продолжение приложения А

«Чтобы сократить затраты на закупку микропеска, исходя из предусмотренных требований, который используется в технологии Актифло(Actiflo), целесообразней и экономически выгодней для предприятия самостоятельно измельчать обычный кварцевый песок в мельцах» [20].

### Выбор оборудования для измельчения кварцевого песка

В результате патентного поиска необходимого для выбора подходящего оборудования, чтобы измельчат кварцевый песок на предприятии ОАО «Аком», наиболее оптимальным решением, будет использовать модель мельницы с роторной головкой, которая обладает намного меньшими энергозатратами, подходит по параметрам загрузки, а главное эффективно измельчает кварцевый песок до необходимого размера частиц (0,01 мм).

«На рисунке А.3 представлен чертеж роторной головки, состоящей из корпуса 1, закрытого сверху фланцем 2 с дозирующей материал воронкой, снизу – фланцем 4 со ступицей и подшипниками 5. В корпусе соосно с ним установлен ротор, на консольных шейках вала 6 которого закреплены шкив 7 и два диска 8 и 9 со шпильками 10 между ними. На шпильках свободно насажены размольные тела, выполненные в виде спиральных пружин и втулок 11. На верхних фланце 2 и диске 8 по концентрическим окружностям установлены пальцы 12 и 13. К нижнему диску прикреплены лопатки 14, на уровне которых в корпусе выполнено отверстие с патрубком. В верхнем фланце 2 выполнены предназначенные для поступления в корпус воздуха и подачи технологической жидкости отверстия, заглушенные болтом 15. Выполненная на корпусе проточка закрыта кожухом 16 со штуцерами для подачи и удаления охлаждающей корпус воды» [20].



1-корпус; 2-фланец; 3- дозирующая воронка; 4-ступица; 5-подшипники; 6-вал; 7-шків;  
8,9-два диска; 10-шпилька; 11-разномольные тела; 12,13-пальцы; 14-лопатки; 15-болты;  
16-кожух

Рисунок А.3 - Роторная мельница RTM<sub>4</sub> [20]

«Мельница работает следующим образом. При включенном электродвигателе и вращающемся роторе через дозирующую воронку непрерывно подается подлежащий размолу материал, который верхним диском 8 отбрасывается к внутренней поверхности корпуса, при этом попадает под ударное воздействие пальцев, вызывающее разрушение и дробление частиц. Создаваемый лопатками поток воздуха вовлекает обрабатываемый материал в зону действия размольных тел–пружин и втулок» [20].

## Продолжение приложения А

«При этом материал перемещается по винтовой спирали вниз к выходному отверстию с патрубком, подвергаясь многократному ударно-истирающему воздействию со стороны пружин и втулок, которые центробежными и действующими со стороны шпильки силами прижимаются к рабочей поверхности корпуса. Продукты размола создаваемым лопатками потоком воздуха удаляются через отверстие и патрубок в систему его улавливания. Охлаждение корпуса водой и размольных тел принудительным потоком воздуха предотвращает их нагрев до температур реакции обрабатываемого материала с окружающей средой» [11].

«Интенсивность и степень размола регулируются подбором количества, размеров и массы размольных тел (пружины и втулки)» [3].

Для определения технических возможностей (таблица 4) разработанной мельницы проведены эксперименты измельчения в ней кварцевого песка с различной крупностью частинок из работы [3].

В таблице 4 приведены результаты измельчения за один проход кварцевого песка, описывающиеся в работе [3]. На первом этапе измельчения пальцами происходит дробление преимущественно крупных частиц. При полной загрузке размольными телами почти 50% кварцевым песком после первого прохода имеют размер частиц менее 0,01 мм.

Мощность привода мельницы на холостом ходу составляет ~1,2 кВт, под нагрузкой – 1,7–1,8 кВт (один проход). Удельная энергоёмкость размола, составляющую 36–40 кВт·ч/т.

Характеристики предлагаемой мельницы представлены в таблице А.2.

## Продолжение приложения А

Таблица А.2 - Техническая характеристика мельницы RTM4

Марка	Размер частиц, мм	Производительность, кг/ч	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм	Стоимость, млн
RTM4	0,2–0,01 и менее	До 40	525	356	524	3800000

Для одного цикла работы необходимо использовать 5-7 кг микропеска, в год используется около 3000 кг микропеска. Проводить замену микропеска необходимо по мере загрязнения и изношенности материала, как правило, это раз в полгода. Для сохранения оптимальных условий работы установки, необходимо эксплуатировать мельницу RTM 4 два раза в год (1500 кг в полгода).

«В данной технологии очистки так же необходимо использовать гидроциклон. Балластная смесь хлопьев с песком и шламом накапливается в нижней части камеры отстойника и удаляется с помощью центробежного гуммированного шламowego насоса и подается в гидроциклон для сепарации. В гидроциклоне за счет центробежных сил обеспечивается отделение флокул шлама от микропеска, обладающего более высокой плотностью. После сепарирования микропесок собирается в нижней зоне гидроциклона, откуда он возвращается во вторую камеру установки для повторного использования. Шлам с более низкой плотностью выводится из верхней части гидроциклона и направляется на шламоуплотнители или на захоронение» [20].

Подбираем подходящий нам по производительности 7 м<sup>3</sup> в час гидроциклон и производим расчет.

Сравнительная характеристика гидроциклонов представлена в таблице А.3.

Продолжение приложения А

Таблица А.3 - Сравнительная таблица мельниц для измельчения кварцевого песка

Наименование	Производительность, м <sup>3</sup> /ч	Достоинства	Недостатки
ФЛ-10000	8	1) удобство в эксплуатации ; 2) компактность; 3) высокая удельная производительность.	ограниченная производительность
ФЛ-750	5	1) центробежное поле создается за счет тангенциального ввода сточной воды; 2) небольшие энергозатраты.	1) сложность конструкции 2) небольшая мощность
УСК-07	5-8	1) отсутствие вращающихся механизмов, 2) генерирование центробежной силы;	невысокая степень разделения..
М149	6	возможность создания компактных автоматизированных установок.	1) ограниченная производительность 2) сложность конструкции

## Продолжение приложения А

Исходя из изученных и рассмотренных гидроциклонов вписывающихся по производительности в технологическую схему предприятия ОАО «Аком» наиболее подходящим является ФЛ-10000.

Параметры гидроциклона ФЛ-10000 представлены в таблице А.4.

Таблица А.4 – Параметры гидроциклона ФЛ-10000

Параметр	Единицы измерения	Значение
Производительность	м <sup>3</sup> /ч	8
Гидравлическая нагрузка	м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·час	0,07
Объем	л	1000
Площадь сечения	м	21,1
Высота с подставкой	мм	1880
Диаметр емкости	мм	1200
Стоимость	млн	250 000

Преимущества использования гидроциклона:

- 1) не требуется электроэнергия, работает автономно;
- 2) отсутствие механических частей, большая надёжность;
- 3) гидроциклон изготавливается из полимерных композитов;
- 4) потери давления практически отсутствуют;
- 5) отсутствуют движущиеся механизмы и детали, ломаться просто нечему;
- 6) простота обслуживания.

Схема работы гидроциклона представлена на рисунке А.4[20].

## Продолжение приложения А

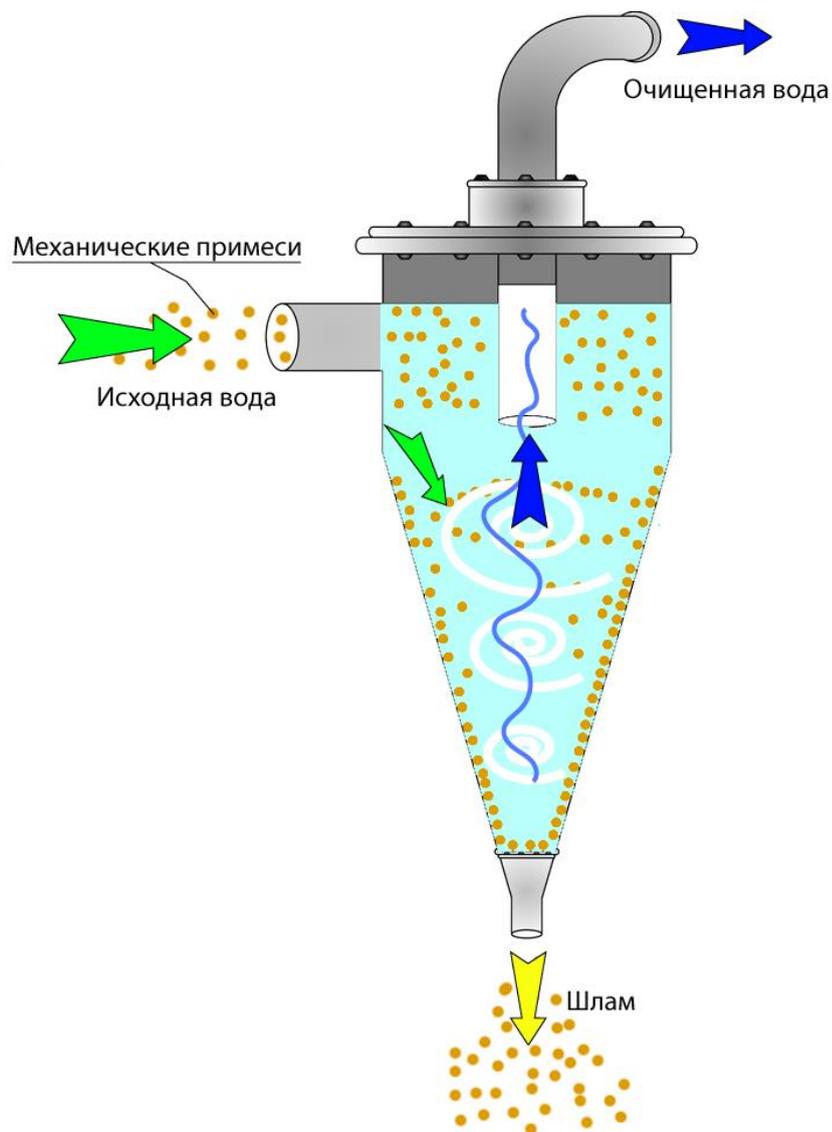


Рисунок А.4 - Схема работы гидроциклона[20].

Вывод: изучив предлагаемый метод, можно сделать вывод, что наиболее выгодным с экономической точки зрения для предприятия будет закупать уже готовый микро песок у компании Активфло(Actiflo), но с точки зрения практичности, наиболее выгодно измельчать песок на своем предприятии, однако это требует значительных вложений для закупки необходимого оборудования.

## Продолжение приложения А

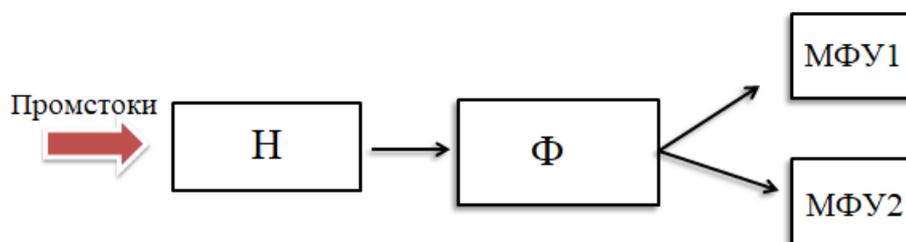
### Метод ферритизации

«Доочистку на сорбционных материалах, используют как правило после нейтрализации, с целью понижения концентрации тяжелых металлов в сточной воде.

Чаще всего используют такие сорбционные материалы, как: природные, синтетические и даже отходы производства» [25].

«Метод использования ферритизированных гальванических шламов (ФГШ) в качестве сорбента. Использование данной технологии улучшает качество сбрасываемых (или тех, что возвращаются в водооборотный цикл) сточных вод и снижает объём отходов» [25].

На рисунке А.5 представлена модернизированная схема нейтрализации стоков с внедрением процесса ферритизации.



Н – реактор нейтрализации сточных вод; Ф – реактор ферритизации; МФУ<sub>1</sub>, МФУ<sub>2</sub> – многофункциональные установки для последующей флотационной очистки сточных вод

Рисунок А.5- Структурная технологическая схема очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов с ФГШ [25]

Сравнительная таблица А.5 показывает, разность показателей применяя различные реагенты  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и ФГШ как утяжеляющей добавки для интенсификации процессов осветления стоков при нейтрализации, а также при сорбционной доочистке сточных вод.

## Продолжение приложения А

Таблица А.5- Сравнительная характеристика реагентной очистки сточных вод

Me	C <sub>исх</sub> , мг/л	Реагентная очистка стоков		Сорбционная доочистка с применением ФГШ
		С применением Ca(OH) <sub>2</sub>	С применением Ca(OH) <sub>2</sub> + ФГШ	
		C <sub>кон</sub> , мг/л	C <sub>кон</sub> , мг/л	C <sub>кон</sub> , мг/л
Pb	20,14	0,78	0,520	0,220
Cu	34,62	2,08	1,308	0,760
Fe	30,83	1,91	0,920	0,400
Zn	27,16	1,79	1,140	0,410
Степень извлечения, %	-	94%	96%	98,5%

Предлагаемая технология позволяет увеличить степень очистки стоков от ионов тяжелых металлов до 98,5 %.

Метод ферритизации является своего рода модификацией реагентного метода очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов, используя железосодержащие реагенты.

«Железо является элементом побочной подгруппы VIII группы, поэтому проявляет значительную химическую активность, обладает высокой приверженностью к аллотропическим модификациям и пространственно-фазовым превращениям. Железо может образовывать множество соединений, как стехиометрического состава характера» [24].

«Сущность метода ферритизации заключается в применении для очистки сточных вод от тяжелых металлов магнитных гидроокисей железа. В результате образуются ферриты, которые захватывают сорбционные вещества кристаллической решеткой» [24].

В ферритах ионы водорода замещены на ионы металлов. Они являются производными железистой кислоты.

## Продолжение приложения А

Основной компонент ферритизационной обработки является гидрат сернокислого железа ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ).

«Образование хлопьеобразного желто-белого осадка происходит после добавления щелочи к водному раствору железного купороса (начиная  $\text{pH}=7,0$ ). При взаимодействии с воздухом осадок приобретает коричневый цвет из-за образования:  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ - $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Последний гидроксид отличается своей активностью и способностью превращаться в различные соединения в зависимости от температуры и  $\text{pH}$ » [6]. Например, в такие соединения как:

1) парамагнитный метагидроксид  $\text{FeO}(\text{OH})$  со структурой минерала гётита;

2) ферромагнитный метагидроксид  $\text{FeO}(\text{OH})$  со структурой минерала лепидокрокита;

3) неферромагнитный метагидроксид  $\text{FeO}(\text{OH})$ ;

4) черно-коричневый магнетит  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ;

5) ферромагнитный ржаво-коричневый полигидрат  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ .

Чем больше  $\text{pH}$  в растворе, тем больше концентрация железа и процессы ферритообразования протекают более успешно.

### Способы ферритизации

Существует два способа, как можно очистить сточные воды, от ионов тяжелых металлов применяя метод ферритизации.

«Первый метод. В емкость со сточной водой, в которой находятся ионы тяжелых металлов, добавляют такие реагенты как: железный купорос, едкий натрий (40% концентрации) и азотнокислый натрий. Примерная дозировка данных реагентов на концентрацию ионов тяжелых металлов 30 мг/л (450 г/м<sup>3</sup> железного купороса (90 г-ион/м<sup>3</sup> в пересчете на железо), 322 г/м<sup>3</sup> раствора каустика и 45,6 г/м<sup>3</sup> нитрата натрия). Затем сточную воду нагревают острым паром примерно до 60-70°C (100 кг пара на 1 м<sup>3</sup> стоков) и

## Продолжение приложения А

выдерживают при барботировании воздухом на протяжении 1 часа (расход воздуха  $100 \text{ м}^3/\text{м}^3$  стоков в час). Затем все сбрасывается в отстойник на 15-20 минут. В конечном итоге происходит разделение стоков, осветленная воды направляется на фильтрацию, а затем в хозяйственно-бытовую канализацию» [6].

«Второй метод. Очистка происходит в две стадии. На первой формируется железосодержащая суспензия, которая имеет развитую поверхность, высокую химическую активность и адсорбционную способность. Суспензию выдерживают около 15-20 минут. Продолжительность выдержки определяет способность к ферритообразованию (чем дольше, тем полнее реализуется способность). На второй стадии формируется суспензия, которая дозируется в очищаемые сточные воды» [6].

«Адсорбционная обработка имеет ряд схожих черт с ферритизационной, чаще всего их сравнивают из-за кристаллической решетки феритов. Чтобы достичь максимального адсорбционного явления, необходимо провести дополнительный синтез ферритов. Синтез представляет собой обработку ферритов нитратами гидроокисей двух и трехвалентного железа. Ферриты хорошо сорбируют ионы различных металлов: медь, свинец, хром, кадмий» [6].

Ферритная обработка сточных вод (особенно по первому методу) влечет за собой коагуляционную очистку тонкодиспергированных взвесей и эмульгированных загрязнений из-за образования железосодержащих мицелл, способных к некоторым реакциям включения.

Вывод: исходя из приведенных выше теоретических обоснований применение метода ферритизации не подходит для существующей системы очистки по ряду причин: время (выдерживание сточной воды до 1 часа), дополнительные энергозатраты на подачу воздуха, дорогостоящие реагенты.

## Приложение Б

### **Повышения качества очистки сточных вод от солей тяжелых металлов**

#### Ультрафильтрация

«При ультрафильтрации происходят разделение, фракционирование и концентрирование растворов. Один из растворов обогащается растворенным веществом, а другой обедняется. Мембраны пропускают растворитель и определенные фракции молекулярных соединений. Движущая сила ультрафильтрации - разность давления по обе стороны мембраны. Эта сила затрачивается на преодоление сил трения и взаимодействия между молекулами жидкой фазы и полимерными молекулами мембраны. Обычно процесс ультрафильтрации проводят при сравнительно низких рабочих давлениях 0,3 - 1 МПа. Увеличение давления выше указанного приводит к уплотнению мембраны, уменьшению диаметра пор, изменению селективности разделения и, как правило, к снижению производительности» [16].

«Ультрафильтрации обычно подвергаются вещества, в которых молекулярная масса растворенных компонентов намного больше молекулярной массы растворителя. Эффективность разделения зависит от структуры мембран, скорости течения и концентрации разделяемого раствора, формы, размера и диффузионной способности растворенных молекул» [16].

«Область использования ультрафильтрации постоянно расширяется. Причина - возможность восстановления из сточных вод ценных компонентов, которые другим способом восстановить очень трудно или вообще невозможно» [16].

Недостаток процесса - сильная концентрационная поляризация, на поверхности мембраны может образовываться плотный осадок - слой геля.

## Продолжение приложения Б

Гидравлическое сопротивление этого слоя в ряде случаев может быть выше, чем сопротивление самой мембраны.

«Мембраны на основе производных целлюлозы неустойчивы к действию кислот и щелочей. Ацетатные мембраны наиболее устойчивы в области рН=4,5-5, а при рН=6 срок службы этих мембран сокращается почти вдвое, а при рН=10 составляет всего несколько дней. Ацетатные мембраны неустойчивы к действию органических растворителей и активных веществ, так как они образуют сольваты с ацетатами целлюлозы, вызывая их набухание» [7].

### Электродиализ

«Электродиализом называется процесс обработки воды, производимый в электродиализаторах -аппаратах, которые представляют собой систему рабочих ячеек (дилюатных и рассольных камер)», содержащих мембраны противоположной полярности, разделенные лабиринтно-сетчатыми перегородками-прокладками или корпусными рамками с закладкой либо ввариваемой сеткой. Прокладки и корпусные рамки с сеткой выполняют двойную функцию: направляют течение жидкости между мембранами и создают турбулентность потока, повышающую эффективность процесса» [26].

«Эта система находится между двух электродов, погруженных в электролит. Они поддерживают постоянное напряжение. На электродах происходит электрохимическая реакция, которая трансформирует электронный ток в ионный: ионы водорода  $H^+$  восстанавливаются на катоде до молекулярного водорода  $H_2$  и выделяются в виде газа, а ионы гидроксидов  $OH^-$  и хлор-ионы  $Cl^-$  окисляются на аноде до хлора  $Cl_2$  и кислорода  $O_2$  и также выделяются в виде газов» [26].

Для осуществления электродиализа требуется только электрический ток и незначительное количество реагентов (кислоты, щелочи, фосфатов).

## Продолжение приложения Б

«Перед электродиализными аппаратами необходима глубокая очистка воды от органических веществ, соединений железа и других загрязнений.

Очистка воды от взвешенных веществ осуществляется известными методами (коагуляцией, отстаиванием, фильтрованием, содоизвесткованием и др.). Особенно эффективно применение перед электродиализными установками ультрафильтрации и фильтрования воды через специальные фильтровальные патроны» [26].

Устройство электродиализной ячейки представлена на рисунке Б.1.

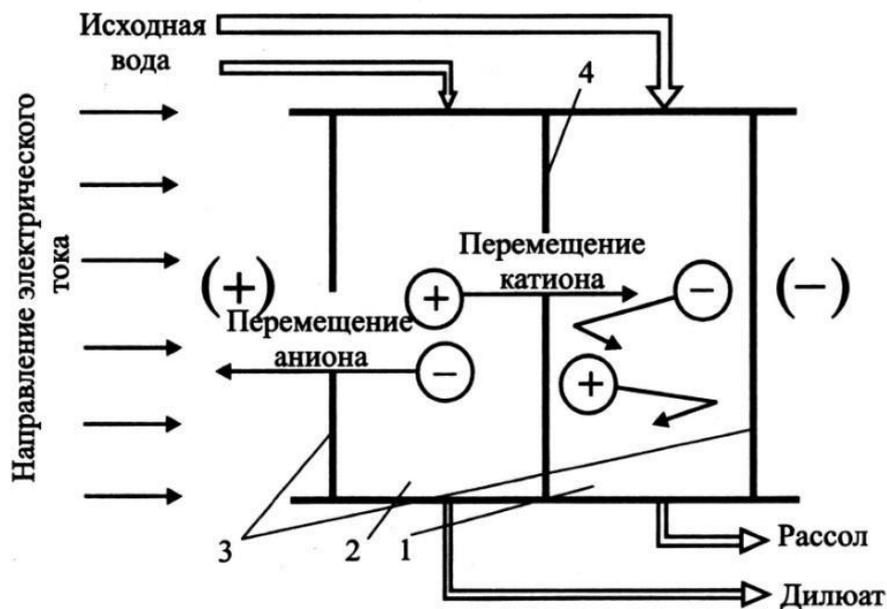


Рисунок Б.1- Устройство электродиализной ячейки [20]

«Недостатками процесса электродиализа являются концентрационная поляризация, увеличение сопротивления раствора в обессоливающих камерах при снижении концентрации солей, образование осадков на катоде и мембранах, отравление мембран различными веществами, присутствующими в воде» [23].