

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 Разработка локальной системы очистки сточных вод для автомоек

Студент

Н.А. Сапожникова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Ю.Н. Шевченко

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

## Аннотация

Тема бакалаврской работы: «Разработка локальной системы очистки сточных вод для автомоек».

Актуальность данной темы обусловлена необходимостью снизить воздействия загрязнённых вод на окружающую среду.

Целью работы является снижение воздействия загрязнённых вод малых автопредприятий на окружающую среду путем повышения качества очистки на локальных очистных сооружениях, разработанных для автомоек.

Поставлены следующие задачи:

- провести анализ состава и степени загрязнения сточных вод малых автопредприятий;
- провести сравнительный анализ существующих технологических схем очистки сточных вод для автомоек;
- предложить эффективный и экономичный вариант технологической схемы локальной очистки с высокой степенью очистки, позволяющий снизить нагрузку на городские очистные сооружения.

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

В первом разделе рассмотрен теоретический анализ проблемы исследования. Определены технологические расходы воды на мойку автомобиля. Проанализированы состав и характеристика сточных вод, объёмы образования отходов.

Во втором разделе проанализированы технологические схемы очистки воды, реализуемые на автомойках. Определены требования, предъявляемые к сточной воде при создании замкнутого водооборотного цикла.

В третьем разделе на основании проведенного патентного поиска локальных очистных сооружений, разработана технологическая схемы создания замкнутого водооборотного цикла. Проведен математический баланс

разработанной технологической схемы. Предложено и математически обосновано конструктивное решение по модернизации конструкции отстойника - нефтеловушки. Проведены конструктивные расчёты аппаратной части: горизонтального тонкослойного отстойника-нефтеловушки, бака осветлителя, растворного бака и напорного фильтра. Дано обоснование по выбору зернистой загрузки. Проведен расчет реагентного хозяйства. Проведен расчет объема образования шлама.

Заключение содержит основные выводы о проделанной работе, направленные на снижение негативного воздействия на окружающую среду. Приложение А содержит расчет загрязняющих веществ на автомойке.

Бакалаврская работа изложена на 61 листе, включает 13 таблиц, 9 рисунков, список из 32 используемых источников и литературы.

## **Abstract**

This graduation work is about the treatment of wastewater after washing cars at car companies.

The aim of the work is to give some information about reducing the anthropogenic load on the environment.

The object of the graduation work is wastewater from car washes.

The subject of the graduation work is the development of a local wastewater treatment system for car washes.

The issues of environmental problems, the sewage load on the sewage treatment plant, the technological costs of water for washing a car are highlighted in the general part of the graduation work. The composition and characteristics of sewage, wastewater generated volume and the technological schemes of water purification implemented at car washes are analyzed.

The special part of the project gives details about the requirements for wastewater when creating a closed water circulation cycle. The development is done by devising a technological scheme for wastewater treatment and proposing various methods of waste disposal after washing. The dimensions of the proposed cleaning scheme are calculated. The technology used corresponds to safety regulations.

## Содержание

Введение.....	6
1 Анализ состава и степени загрязнения сточных вод малых автопредприятий .....	7
1.1 Состав и характеристика сточных вод, образующихся на автомойках....	8
1.2 Проблема использования СПАВ .....	11
1.3 Объемы образования отходов.....	12
2 Анализ существующих технологических схем очистки сточных вод для автомоек .....	13
2.1 Процесс очистки воды на автомойке .....	15
2.2 Стоимость систем очистки для автомоек .....	17
2.3 Требования по созданию замкнутого водооборотного цикла.....	18
3 Предлагаемая технологическая схема локальной очистки с высокой степенью очистки.....	20
3.1 Патентный поиск.....	20
3.2 Концентрации загрязняющих веществ на основе проведенных анализов.....	21
3.3 Предлагаемая технологическая схема очистки воды.....	22
3.4 Описание аппаратов взятых в технологическую схему.....	23
3.5 Расчеты аппаратов.....	38
3.6 Материальный баланс.....	51
3.7 Возможное использование (рециклинг) шлама .....	56
Заключение .....	58
Список используемой литературы и используемых источников.....	59
Приложение А Расчет загрязняющих веществ на автомойке .....	64

## Введение

С масштабами урбанизации в настоящее время объекты городского хозяйства оказывают большое влияние на экологическое состояние города. Значительный вклад в загрязнение вносит автомобильный транспорт. В связи с ежегодным увеличением городского автопарка появляется большое количество предприятий по обслуживанию автомобилей, которые оказывают негативное воздействие на компоненты городской среды. Одним из источников загрязнения окружающей среды являются автомойки. В результате деятельности автотранспортных предприятий образуется большое количество сточных вод от мойки автомобилей. В сточную воду образующуюся после мойки автомобилей входят механические примеси, нефтепродукты, АПАВы и растворенные ионные компоненты противогололедных реагентов.

В настоящее время государством предъявляются жесткие требования к воде, поступающей в городскую систему канализации. Поэтому на автомойки необходимо установить локальные очистные системы, позволяющие довести сточную воду до требуемых нормативов.

Таким образом можно сказать, что цель бакалаврской работы заключается в снижении воздействия загрязнённых вод после мойки автомобилей на окружающую среду путем повышения качества очистки на локальных очистных сооружениях, разработанных для автомоек.

И соответственно поставлены следующие задачи:

- провести анализ состава и степени загрязнения сточных вод малых автопредприятий;
- провести сравнительный анализ существующих технологических схем очистки сточных вод для автомоек;
- предложить эффективный и экономичный вариант технологической схемы локальной очистки с высокой степенью очистки, позволяющий снизить нагрузку на городские очистные сооружения.

## **1 Анализ состава и степени загрязнения сточных вод малых автопредприятий**

«По данным аналитического агентства «АВТОСТАТ», по состоянию на 1 июля 2019 года в Тольятти зарегистрировано 214,3 тыс. легковых автомобилей. Население города на ту же дату составило 700,4 тысячи человек. В результате обеспеченность автомобилями здесь составляет 306 единиц на 1000 жителей – столько же, сколько в среднем по России» [20].

«С увеличением количества автомобилей соответственно увеличиваются и станции технического обслуживания. В Тольятти уже насчитывается около 360 таких автосервисов. Основными загрязнителями сточных вод после станции являются в основном взвешенные» [18] твердые вещества, поверхностно-активные вещества и нефтепродукты. Если учитывать то, что «последние относятся к веществам, которые довольно непросто окисляются на городских очистных сооружениях, возникает необходимость очистки загрязненной воды непосредственно на самом предприятии перед сбросом в городскую канализацию» [11].

«По данным санитарно-гигиенических исследований, в сточных водах автомобильного предприятия (автомойки) обнаружены следующие загрязняющие вещества: бензин, керосин, сернистый ангидрид и диоксид серы, нитриты и нитраты, хлориды, сульфаты, железо, марганец.» [20].

Попадание в водные объекты отрицательно сказывается на живых организмах и качестве воды. Автомойки являются источником 80-85% промышленных сточных вод автомобильной промышленности. Водным кодексом Российской Федерации и ФЗ «Об охране окружающей среды» запрещается сбрасывать в водные объекты дождевой, талой и оросительной воды, не очищенной до установленных нормативов, а также организованной и отводимой из населенных пунктов и объектов. «Местные очистные сооружения, которые принимают сточные воды, накопленные на автомойке, играют роль сооружений для поддержания экологического равновесия» [19].

«Необходимость очистки воды обусловлена требованиями, предъявляемыми к автомойкам. Таким образом, если автомойка не пройдет сертификацию и не подтвердит свою экологическую безопасность, она не будет допущена к работе. Основным документом регламентирующим очистку стоков — СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод». Контроль деятельности осуществляет Санэпидемстанция» [12].

### **1.1 Состав и характеристика сточных вод, образующихся на автомойках**

«Морфологический состав загрязнителей, попадающих в воды, образующиеся после мойки автомобилей, и определяющих их физические и химические свойства, включает в себя, как правило, следующие вещества: моторные масла, асфальт, песок, смазочно-охлаждающие жидкости, ПАВ, соли тяжелых металлов, различные виды топлива.

Концентрация вредных веществ зависит от большого числа факторов: типа автомобиля, его размера, характера дорожного покрытия, сезонных условий, состава грунтов в районе эксплуатации, периодичности мойки и типа применяемой мойки.

Объемное содержание загрязняющих веществ, присутствующих в сточных водах автомоек при мойке легковых автомобилей установлен на основании анализа технической информации, изложенной в работах авторов» [13], [17], [18], [23] и представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав сточных вод автомоек

Наименование загрязнителя	Содержание
Взвешенные вещества, мг/л	не более 1500
Нефтепродукты, мг/л	не более 75
СПАВ, мг/л	не более 15
рН	6,5-8,5
Хлориды, мг/л	65-100
Сульфаты, мг/л	27-60
Железо общ. мг/л	0,22-0,6
Хром <sup>+6</sup> , мг/л	0,023-0,035
Медь, мг/л	0,005-0,008
Свинец, мг/л	0,02-0,053
Цинк, мг/л	0,015-0,03

«Наличие эмульгированных нефтепродуктов характеризуется попаданием в сток эмульсий и синтетических моющих средств при мойке автомашин. Масляные эмульсии, попадающие в сток, представляют собой коллоидные растворы, которые состоят из капель минерального масла, окруженных ионами эмульгатора (органической кислотой). Отработанные масла являются основными органическими загрязнениями, задерживаемыми на очистных сооружениях автотранспортных предприятий. Отработанные масла автотранспортных предприятий относятся к группе СНО (смесь нефтепродуктов, отработанных), в том числе масел, бензина, керосина и дизельного топлива. Нефтепродукты группы СНО должны соответствовать следующим техническим условиям: содержание механических примесей не более 3%; содержание воды не более 5%» [19].

В таблице 2 представлен перечень допустимых значений нормативных показателей общих свойств сточных вод и концентраций загрязняющих веществ в сточных водах, установленный в целях предотвращения негативного воздействия на работу централизованных систем водоотведения.

Таблица 2 – Максимальные допустимые значения нормативных показателей общих свойств сточных вод

Наименование вещества(показателя)	Единица измерения	Максимально допустимое значение показателя и (или) концентрации (по валовому содержанию в натуральной пробе сточных вод)
Взвешенные вещества	мг/дм <sup>3</sup>	300
Сульфаты	мг/дм <sup>3</sup>	500
Хлориды	мг/дм <sup>3</sup>	1000
Водородный показатель (рН)	ед, рН	6-9
Алюминий	мг/дм <sup>3</sup>	5
Железо	мг/дм <sup>3</sup>	5
Медь	мг/дм <sup>3</sup>	1
Цинк	мг/дм <sup>3</sup>	1
Хром общий	мг/дм <sup>3</sup>	0,5
АПАВ	мг/дм <sup>3</sup>	10
Аммоний	мг/дм <sup>3</sup>	2
Мутность	ЕМФ	2.6-3,5
Нефтепродукты	мг/дм <sup>3</sup>	8
Щелочность	ммоль/дм <sup>3</sup>	4,4

Очищенная вода может быть пригодна для вторичного использования, когда концентрации загрязнений не превышает следующие предельно допустимые значения представлены в таблице 3:

Таблица 3 – Концентрации веществ пригодных для повторного использования

Вещество	Концентрация
Взвешенные вещества	40 мг/л
БПК <sub>5</sub>	3 мг О <sub>2</sub> /л
ХПК	30 мг О <sub>2</sub> /л
Нефтепродукты	20 мг/л
Железо (общ.)	5 мг/л
рН	6,5–8,5

«Анализ данных таблицы 1 указывает на целесообразность создания оборотных систем водоснабжения и возможность исключить загрязнение окружающей среды токсичными и инфицированными ингредиентами» [15].

## 1.2 Проблема использования СПАВ

«Значительную часть антропогенной нагрузки, приходящейся на поверхностные водные объекты, составляют сточные воды, содержащие синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), которые входят в состав всех хозяйственно – бытовых и большинства промышленных сточных вод» [4]. «95-98 % общего количества применяемых в нашей стране детергентов - синтетических моющих средств (СМС), вырабатываемых промышленностью, составляют анионные и неионогенные СПАВ и моющие средства на их основе, которые, как правило, характеризуются низкой биологической разлагаемостью и в силу своей химической природы оказывают существенное отрицательное воздействие на водные объекты. Устойчивость СПАВ к биохимическому окислению является причиной накопления их в водных объектах, особенно в донных отложениях, что, в свою очередь, приводит к снижению природных вод к самоочищению и создаёт опасность вторичного загрязнения водоёмов и водотоков» [5].

«Именно по этой причине СПАВ входят в группу наиболее распространённых в поверхностных водах загрязняющих веществ и проблемы, связанные с охраной водных объектов, приобрели за последнее время особую остроту и актуальность» [13]. «Важную роль играют вещества, предотвращающие повторное отложение загрязнений из моющего раствора на отмытую поверхность. Средства применяются в виде водного раствора с уровнем рН = 8–10 (щелочная реакция). Обычно шампунь и загрязнения удаляются с кузова щетками и смываются струями воды» [9]. «Широкое распространение получил и так называемый «бесконтактный» способ мойки автомобилей, когда на кузов с помощью специального генератора наносится моющее средство, образующее пышную пену. Щетки и иные приспособления не применяются, а пена с растворенной грязью смывается сильной струей воды. Все шампуни для «бесконтактной» мойки содержат повышенные концентрации ПАВ и растворителей загрязнений. Присутствие этих веществ в

сточной воде резко осложняет ее очистку, а высокие концентрации ПАВ приводят к значительному увеличению расхода коагулянта и снижают эффективность процессов отстаивания и фильтрации воды» [7].

### 1.3 Объемы образования отходов

«На станциях автосервиса в ходе технологической деятельности образуются отходы 1 - 4 классов опасности. В таблице 4 приведен перечень отходов станции автосервиса» [15].

Таблица 4 – Отходы автомоек

Код ФККО	Класс опасности	Наименование отхода
9 19 201 01 39 3	III	Песок, загрязненный нефтью или нефтепродуктами (содержание нефти или нефтепродуктов 15 % и более).
4 43 501 01 61 3	III	Нетканые фильтровальные материалы отработанные.
9 19 205 01 39 3	III	Отходы опилок и стружки древесных, загрязненных нефтью или нефтепродуктами.
7 23 101 01 39 4	IV	Отходы при механической очистке нефтесодержащих сточных вод.
9 19 201 02 39 4	IV	Обтирочный материал, загрязненный нефтью или нефтепродуктами.
7 23 101 01 39 4	IV	Осадок (шлам) механической очистки нефтесодержащих сточных вод, содержащий нефтепродукты в количестве менее 15 %, обводненный.
7 23 910 01 49 4	IV	Прочие отходы при очистке нефтесодержащих сточных вод на локальных очистных сооружениях.
7 23 910 01 49 4	IV	Отходы при очистке нефтесодержащих сточных вод на локальных очистных сооружениях.
4 43 702 12 20 4	IV	Зернистые фильтровальные материалы (отходы фильтрующих загрузок при водоочистке).
4 43 611 15 61 4	IV	Сетчатые фильтровальные материалы отработанные.

Вывод: Рассмотрен теоретический анализ проблемы исследования. Определены технологические расходы воды на мойку автомобиля. Проанализированы состав и характеристика сточных вод, объёмы образования отходов.

## **2 Анализ существующих технологических схем очистки сточных вод для автомоек**

«При выборе системы очистки воды для автомоек необходимо руководствоваться следующими параметрами:

1) Объем воды. Для небольших автомоек и крупных моечных комплексов требуются разные очистные сооружения;

2) План помещения, характеристики территории, а также тип грунта;

3) Дальнейшее использование отходов. Если сброс воды будет осуществляться в муниципальную канализацию, для очистки применяют отстойники и простые фильтры. Если на предприятии замкнутый цикл очистки воды, то система будет представлять собой многоступенчатую очистку (фильтрация, флотация, воздействие реагентами);

4) Место установки – наземная или подземная. Под землей обычно устанавливаются отстойники. Системы флотации, например, расположены на поверхности» [6].

«Выбор системы очистки необходимо делать на стадии проектирования автомойки, чтобы избежать проблем с водоотведением. На конструктивные особенности технологической схемы будет влиять расположение автомойки. Например, за городом придется в основном иметь дело с грязью и пылью. В городе очистным сооружениям придется столкнуться с антигололедными реагентами и технической солью» [3].

«Практически все технологические решения базируются на методах механической и физико-химической очистки с использованием отстаивания, коагуляции, флотации, фильтрации на различных загрузках при различных сочетаниях методов конструктивных решений и видов загрузочных фильтрующих материалов» [3], [22], [31].

Первым вариантом может быть очистка воды с водооборотным циклом. Это означает, что вода будет повторно использована после определенных

методов очистки. Потери воды в нем составят всего 10%. Соответственно, оплата будет происходить только за 10% воды.

На рисунке 1 представлена типовая схема очистки воды на автомойках с водооборотным циклом.

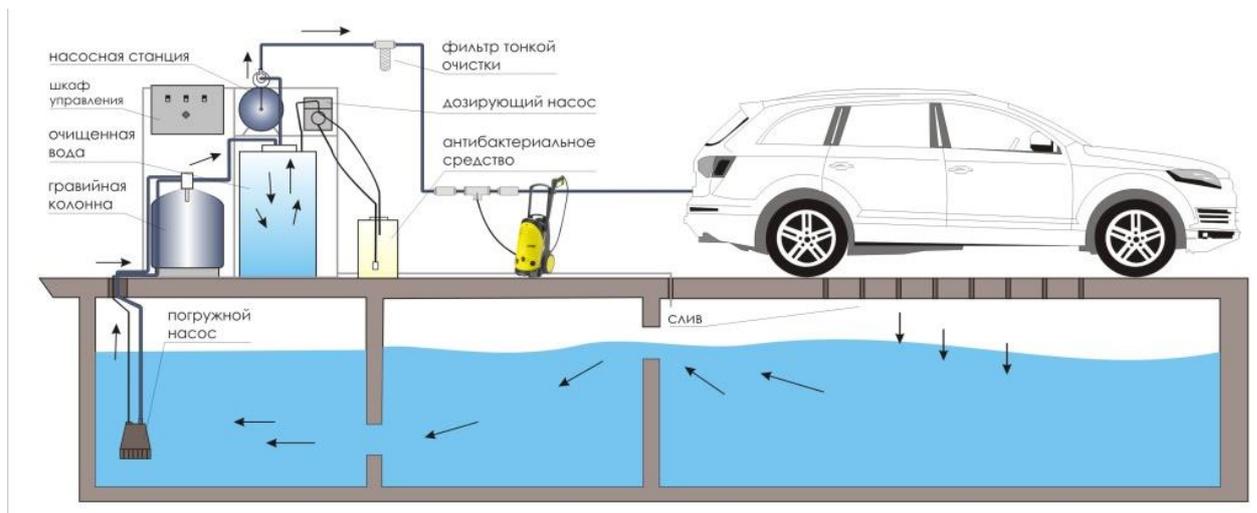
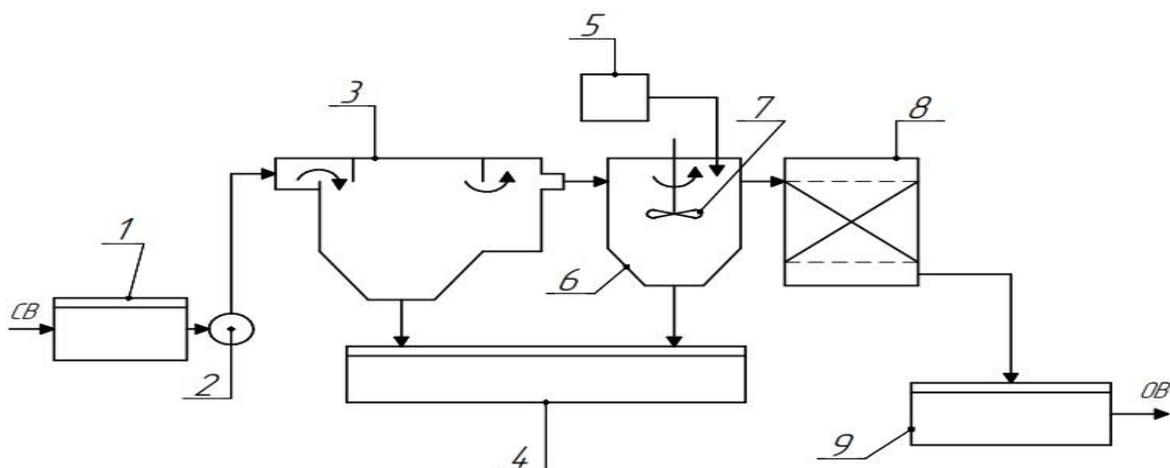


Рисунок 1 – Типовая система очистки воды

Самым простым вариантом будет механическая очистка от инородных тел. Он состоит из ряда песколовков и отстойников. Можно сравнить его с большим септиком.

Вторым вариантом может быть поочередная фильтрация с адсорбцией маленьких частиц. Такая очистка эффективна при низких концентрациях загрязняющих веществ.

Схема реагентной отчистки воды на автомойке представлена на рисунке 2.



СВ – сточная вода, ОВ – очищенная вода, 1 – приемник, 2 – погружной насос, 3 – отстойник, 4 – шламонакопитель, 5 – растворный бак, 6 – бак-смеситель, 7 – мешалка, 8 – фильтр, 9 – бак очищенной воды

Рисунок 2 – Схема реагентной отчистки воды на автомойке

Одной из популярных систем очистки воды автомоек является реагентная очистка и дальнейшая фильтрация. Его можно использовать несколько раз, а отходы перерабатывать.

## 2.1 Процесс очистки воды на автомойке

«За один рабочий день на автомойках смывается несколько десятков килограммов глины и песка с маслами и нефтепродуктами» [7]. Чтобы смыть «грязь, используют много воды со специальным моющим средством» [17]. Подробно рассмотрим классическую систему очистки воды автомойки.

Отстойники являются неотъемлемым атрибутом системы очистки. Он состоит из нескольких различных емкостей для сбора и отстаивания воды. Удаляются посторонние фракции, вода улучшает собственные органолептические качества.

Дальше воду подвергают узкой фильтрации. Конечным рубежом считается абсорбция. Впоследствии чего воду разрешается сливать в городскую сточную канаву. Но возможно продолжить автономно ее чистить

для способности повторного применения. Жидкость перегоняют сквозь кассеты для оседания маленьких частиц. Нефтепродукты удаляются с помощью флотации.

Основные факторы при выборе системы очистки воды для автомоек:

Прежде всего, подрядчик должен быть «ознакомлен с техническими требованиями производителя моечного оборудования. Автоматические системы и аппараты высокого давления могут использовать только воду определенного химического состава. Если планируется рециркуляция воды, то есть ее многократное использование, то должно быть обеспечено необходимое качество воды» [20].

Затем следует разобраться с составом сточных вод. Рассмотрим используемые моющие средства. Фильтры следует очищать не только от нефтепродуктов, но и от поверхностно-активных веществ.

«Расположение автомойки также повлияет на комплект фильтров. Например, джипы с большим количеством грязи будут частыми гостями за городом, а вот автомобили с противогололедными реагентами – в городе. Системы очистки воды в обоих случаях будут совершенно разными» [8]. Первые недели вода будет чистой, но потом фильтры, которые не подходят для загрязнения, засорятся и перестанут работать.

При разработке технологической схемы необходимо учитывать, что примерный объем воды на мойку: легкового автомобиля около 160 литров, а для грузового-200 литров.

Фильтры с регенерирующей загрузкой помогают снизить затраты. Следует учитывать время работы фильтра и вовремя его промывать, чтоб увеличить его ресурсный цикл.

«Часто предпочтение отдается полностью автоматическим системам, чтобы не отвлекать персонал от основной работы. Но с повышением влажности электрика начинает давать сбои, и большое количество насосов нуждается в чрезмерном потреблении энергии» [7].

Особое внимание уделяется антикоррозионному покрытию оборудования. Незащищенные поверхности в условиях повышенной влажности будут разрушаться в течение года.

На сегодняшний день при недостатке площадей целесообразно располагать очистные сооружения под землей.

## **2.2 Стоимость систем очистки для автомоек**

Цена систем очистки лежит в диапазоне 5 – 20 тысяч долларов. Около 20% вероятно оплачено за его проект, 20% – за монтаж и 7% – за ввод в эксплуатацию. Идеальным видом бы было нанять независимого эксперта, который будет проверять все этапы конструкции системы – 10%. Если такое невозможно, то возможно попробовать прописать в контракте повторный анализ воды после двух недель эксплуатации. Только при его положительном итоге можно подписать акт приемки произведенных работ.

При отсутствии замкнутого водооборотного цикла.

«В современных автомойках допустима только система автономной канализации» [2].

«Если на автомойке не предусмотрено создание замкнутого водооборотного цикла, то согласно техническим регламентам на автомойке должна быть реализована грубая механическая очистка воды для подготовки сброса ее в ГКС (городские канализационные системы)» [23].

«Стоки проходят только механическую очистку от песка и крупных частиц. В напольном покрытии помещения под решеткой устанавливаются емкости разного диаметра (1 – 3 отстойника). Обычно емкость резервуаров проектируют из расчета 15 – 20 м<sup>3</sup> на одну стационарную мойку. Если мойка относится к конвейерному типу, то объем резервуаров от 50 до 100 м<sup>3</sup>» [25].

«После мойки сточная вода сквозь решетку последовательно переливается из большей емкости в меньшую, в итоге твердые частички

оседают на дно. Очищенная таким методом вода скидывается в городскую канализацию» [16].

### **2.3 Требования по созданию замкнутого водооборотного цикла**

«Изолированные системы водооборотного цикла представляются в данный момент основным течением рационального использования водных ресурсов и снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду от загрязнений» [10].

«В целом автоматическая мойка использует два типа воды:

1) Чистая водопроводная вода - ее расход составляет до 20% от общего количества воды, используемой для мойки 1-го автомобиля. Чистая вода используется для нанесения моющей химии, различных восков, а также для финального ополаскивания автомобиля;

2) Очищенная (оборотная) вода - ее доля в общем расходе воды составляет до 80%. Очищенная вода используется для бесконтактной мойки высоким давлением» [7].

«Следует учитывать, что ПАВы из стоков не убираются полностью, следовательно, в емкости с очищенной водой мы имеем мыльную воду. При этом она может быть прозрачной и на вид очень чистой. Однако если мыть автомобиль только оборотной очищенной водой (с ПАВами в своем составе), то автомобиль покроется белым (мыльным) налетом. Именно по этой причине необходимо споласкивать автомобиль чистой водой» [9].

«Таким образом, по статистике, в процессе автоматической мойки используются примерно 20% свежей чистой воды и 80% оборотной, прошедшей очистку воды. С учетом использования для предварительной и основной мойки автомобилей восстановленной воды, позволяющей экономить до 85% от ее общей потребности, суточная потребность в чистой воде для мойки 24 автомобилей составляет ~ 480 л» [6].

«Полное мытье одного легкового автомобиля требует только 100 литров воды, 1 м<sup>3</sup> воды достаточно на помывку 9-10 легковых автомашин. Обратная конструкция водоснабжения позволит при том же объемном расходе чистой воды помыть 50 – 60 автомобилей.

На рисунке 3 представлена принципиальная схема замкнутого водооборотного цикла, реализуемого на автомойке» [1].

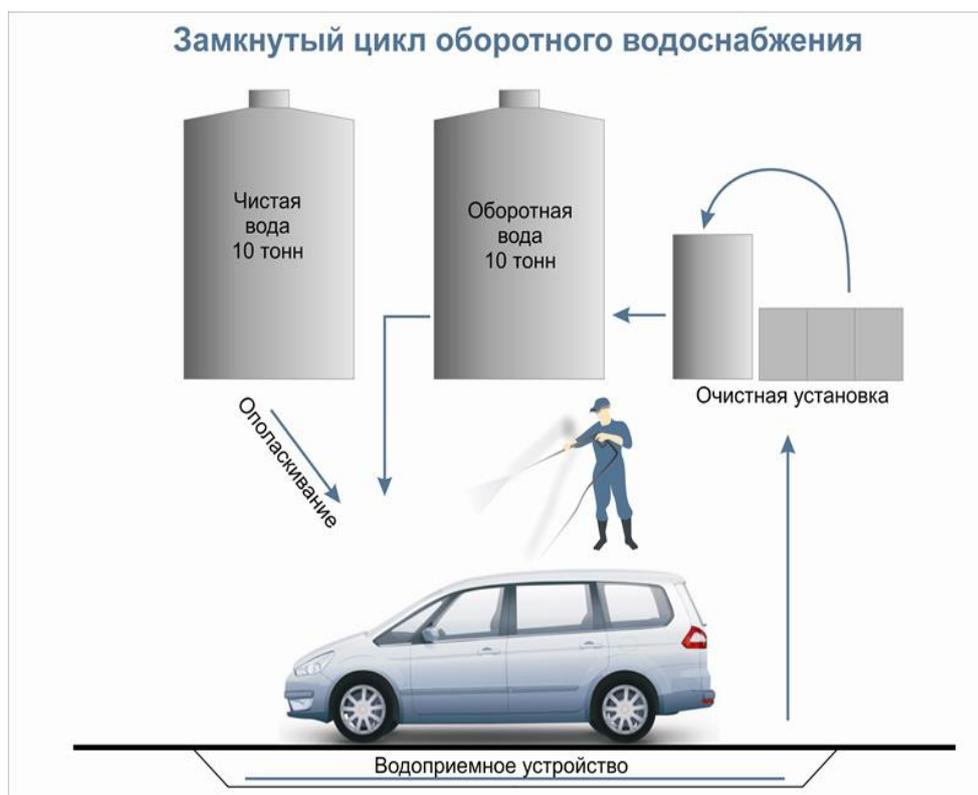


Рисунок 3– Замкнутый водооборотный цикл

Вывод: Проанализированы технологические схемы очистки воды, реализуемые на автомойках. Определены типовые объемы воды на мойку автомобиля. Определены требования, предъявляемые к сточной воде при создании замкнутого водооборотного цикла.

### 3 Предлагаемая технологическая схема локальной очистки с высокой степенью очистки

#### 3.1 Патентный поиск

«Был проанализирован большой объем патентной литературы [5-11] на предмет реализации оптимальной технологической схемы очистки (создание замкнутого водооборотного цикла).

Наиболее интересные технологические решения представлены в таблице 5» [5]-[11].

Таблица 5 – Проведенный патентный поиск

Номер патента	Авторы	Название
Патент Россия, № 2010008 МПК C02F1/28	Алексеев М.И., Светашова Е.С., Панов С.Н.	Способ очистки нефтедержащих вод автомоек
Патент Россия, № 2 523 802, МПК C02F 9/02 (2006.01)	Кочетов О. С. (Ru), Стареева М. О. (Ru), Стареева М. М. (Ru)	Система обратного водоснабжения для автомойки
Патент 2712571 C1	Москвичева Е. В. (RU) Радченко О. П. (RU) Клочков Д. П. (RU)	Система обратного водоснабжения для автотранспортных предприятий
Патент 2642799 РФ, МПК B01J 20/16(2006.01) B01J 20/30(2006.01)	Малькова В. Н. (RU)	Способ получения сорбента для очистки твердых поверхностей и воды от нефти и жидких нефтепродуктов.
Патент РФ №180115	Малкин В.С. (RU), Викарчук А. А.(RU), Картавцева Е. Ю. (RU), Соснин И. М. (RU)	Напорный фильтр с зернистой загрузкой
Патент РФ № 170906	Малкин В.С. (RU), Рузанов А. А. (RU)	Устройство для очистки воды от загрязнений
Патент РФ № 180012 U 1	Гребенщиков Николай Романович (RU), Фридкин Александр Михайлович (RU), Пименов Александр Всеволодович (RU), Иванов Евгений Юрьевич (RU), Петрова Юлия Валерьевна (RU), Гефнер Юлия Александровна (RU)	Устройство для обратного водоснабжения автомобильных моек

Критериям оценивания работ выступали такие параметры как:

- Простота реализации,
- Простота обслуживания,
- Стабильность качества очистки.

### 3.2 Концентрации загрязняющих веществ на основе проведенных анализов

«Расчет и проектирование сооружений для механической очистки сточных вод (песколовок, баков-отстойников) и обработки их осадков следует выполнять на основании СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения» [14].

Была выбрана популярная автомойка в г. Тольятти, Центральный район, на которой, по словам владельца этой автомойки, не осуществляется очистка сточной воды, а просто сбрасывается в ливневую систему водоотведения. На основании проведенных исследований на базе лаборатории ТГУ выяснено, что в воде после мойки легковых автомобилей содержатся следующие вещества представленные в таблице 6 (расчеты представлены в Приложении А).

Таблица 6 – Концентрации исследуемых веществ и их ПДК

Исследуемое вещество	Концентрация	ПДК
Хлориды	$(25,45 \pm 2,8)$ мг/дм <sup>3</sup>	1000 мг/дм <sup>3</sup>
Медь	$(0,2 \pm 0,1)$ мг/дм <sup>3</sup>	1 мг/дм <sup>3</sup>
Щелочность	$(2,4 \pm 0,5)$ ммоль/дм <sup>3</sup>	4,4 ммоль/дм <sup>3</sup>
рН	$(8,9 \pm 0,2)$ ед. рН	6-9 ед. рН
Сульфаты	$(20 \pm 4)$ мг/дм <sup>3</sup>	500 мг/дм <sup>3</sup>
Цинк	$(0,45 \pm 0,15)$ мг/дм <sup>3</sup>	1 мг/дм <sup>3</sup>
Железо	$(0,039 \pm 0,279)$ мг/дм <sup>3</sup>	5 мг/дм <sup>3</sup>
Аммоний	$(1,1 \pm 0,33)$ мг/дм <sup>3</sup>	2 мг/дм <sup>3</sup>
Хром	$(0,43 \pm 0,08)$ мг/дм <sup>3</sup>	0,5 мг/дм <sup>3</sup>

Продолжение таблицы 6

Алюминий	$(0,3 \pm 0,07) \text{ мг/дм}^3$	5 мг/дм <sup>3</sup>
Взвешенные вещества	$(400 \pm 40) \text{ мг/дм}^3$	300 мг/дм <sup>3</sup>
АПАВ	$(92 \pm 0,4) \text{ мг/дм}^3$	10 мг/дм <sup>3</sup>
Мутность	$(88 \pm 12,3) \text{ ЕМФ}$	2.6-3,5 ЕМФ
Нефтепродукты	$(12 \pm 0,048) \text{ мг/дм}^3$	8 мг/дм <sup>3</sup>

Из таблицы 6 видно, что имеются превышения по 4 показателям: АПАВы, взвешенные вещества, нефтепродукты и мутность. Ливневая вода как правило не очищается на очистных сооружениях города, а сбрасывается в близ лежащие реки и водоемы. Эти вещества сильно отравляют реки и водоемы, на которые поступает данная вода.

### 3.3 Предлагаемая технологическая схема очистки воды

«На рисунке 4 представлена предлагаемая технологическая схема локальной очистки сточных вод для автомойки» [7].

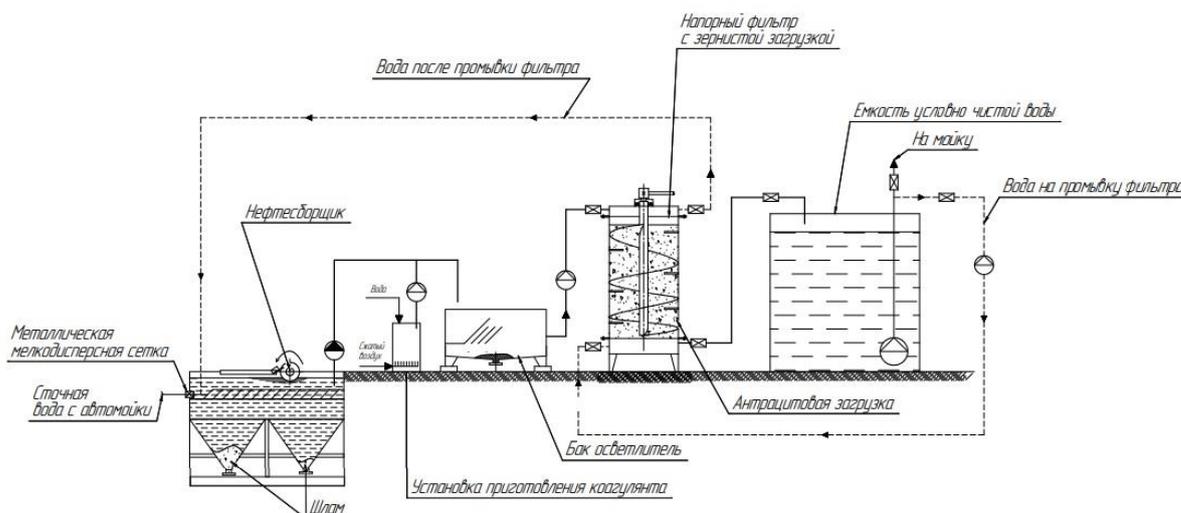


Рисунок 4 – Предполагаемая технологическая схема

Предполагается схема очистной установки, если изначальная очистка воды производится конкретно под автомобилем в канаве прямоугольного сечения.

Удаляемые с автомобилей загрязнения поступают в тонкослойный отстойник, где осаждаются на пластинах и стекают на дно канавы, от куда потом с конусовидного дна удаляются через дренаж.

Сверху образуются нефтесодержащие продукты, которые собираются валиком в нефтесборщик, которые потом удаляются механически. Далее вода подается насосом в бак осветлитель, куда дозируется реагент для нейтрализации АПАВ. Для коагуляции используется оксихлорид алюминия ( $Al_2(OH)_5Cl$ ).

После чего из бака осветлителя вода поступает в напорный фильтр. «В качестве зернистой загрузки фильтра могут использоваться натуральные материалы: песок, гравий, антрацит, керамзиты, мраморная крошка и т.п., или искусственные материалы в форме гранул (зерен). Размер зерен обычно 0,8-2,5 мм» [31].

Из фильтра вода попадает в емкость условно чистой воды, от куда происходит забор на автомойку. А также вода из емкости условно чистой воды подается на промывку фильтра, после чего подается на первую стадию очистки.

Периодически при переполнении емкости с очищенной водой она может сбрасываться в городскую канализацию.

### **3.4 Описание аппаратов взятых в технологическую схему**

Тонкослойный отстойник.

«Тонкослойные отстойники состоят из двух модулей, каждый из которых имеет по 2 конуса (шламосборника), при этом каждый модуль собирается из двух частей, что делает транспортировку отстойников удобной.

Применение тонкослойных блоков прямоочного типа значительно увеличивает эффективность очистки сточных вод. Угол наклона тонкослойных блоков –  $60^\circ$ , что исключает их зашламляемость.

Отстойники серии ТСО эффективно осаждают как легкие загрязнения (ил, органические остатки), так и тяжелые примеси (песок, грунт). Эффективность очистки стоков – 90...95%.

Отстойники имеют глубокие конусы – 1290 мм с углом наклона в  $53^\circ$ , что позволяет шламу легко сползать по стенкам конуса и накапливаться, не принося ущерба процессу очистки.

Накопленный осадок легко удаляется из конусов, без опорожнения всего отстойника, и без прерывания технологического процесса очистки, простым открытием задвижки в нижней части конусов. Это возможно благодаря давлению столба очищаемой воды, высота которого 3200 мм» [21]. Которые дренируются в «тележку и вывозятся на площадку временного хранения, с которой загрязнения периодически грузятся экскаватором в самосвал и вывозятся на свалку.

Все детали отстойников покрыты антикоррозионным, износостойким покрытием» [21].

Адгезионный щеточный нефтесборщик. Позволяет проводить сбор нефти и нефтепродуктов с поверхности воды быстро, эффективно и экономически выгодно.

«Принцип действия нефтесборщика основан на эффекте смачивания пластиковых щетинок в среде вода-нефтепродукт. Рабочий орган нефтесборщика представляет собой две щетки, расположенных на одном валу, которые в процессе вращения очищаются о гребенку, расположенную над сборным коллектором нефтесборщика. Собранный нефтепродукт из сборного коллектора поступает в емкость для временного хранения нефти и нефтепродуктов» [24].

Коагулянт.

Выбор и обоснование применяемого реагента.

Коагуляцией примесей воды называют процесс укрупнения коллоидных и взвешенных частичек дисперсной системы, происходящей в итоге их межмолекулярного взаимодействия и объединения в агрегаты. Данный процесс заканчивается отделением агрегатов слипшихся частичек от жидкой фазы.

На скорость коагуляции влияют условия перемешивания, pH, температура, щелочность, состав воды, доза коагулянта и др.

Для коагуляции используется оксихлорид алюминия ( $Al_2(OH)_5Cl$ ).

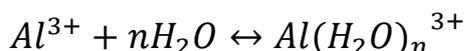
Химизм коагулянта.

При введении в воду солей железа и алюминия происходит ряд химических процессов. Рассмотрим их на примере хлорида алюминия.

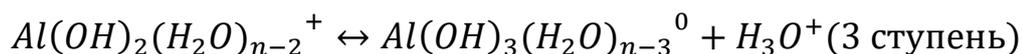
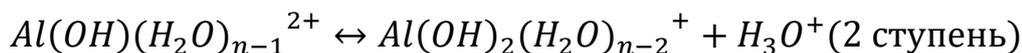
- Электролитическая диссоциация



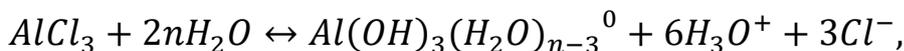
- Гидратация иона алюминия:



- Гидролиз гидратированного иона алюминия



Таким образом, суммарная реакция взаимодействия хлорида алюминия с водой будет выглядеть следующим образом:



то есть на 1 моль хлорида выделится 6 молей ионов водорода (оксония).

Ионы водорода в природной воде будут взаимодействовать с бикарбонат-ионами:



«Следовательно, один грамм-эквивалент хлорида алюминия будет равен  $M_r(AlCl_3)/3$ . Молярная масса хлорида алюминия равна 133 г/моль,

следовательно, эквивалентная – 44 г/г-экв, то есть 44 г хлорида алюминия составляет его 1 г-экв» [16]

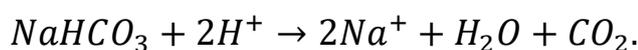
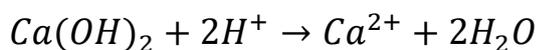
Хлорид алюминия – это кислотный реагент (с учетом гидролиза). Согласно закону эквивалентов, 1 г-экв вступает в реакцию с 1 г-экв. Таким образом, для нейтрализации ионов водорода, выделившихся при введении в воду 44 мг хлорида алюминия, требуется щёлочность 1 мг-экв.

Образующийся при  $pH > 4,5$  гидроксид алюминия обладает амфотерными свойствами. При  $pH > 8,5$  происходит его растворение с образованием растворимых алюминатов:



Оптимальное значение  $pH$  гидролиза хлорида алюминия 6,5–7,5 (изоэлектрическая точка золя).

«Если естественная щелочность воды недостаточна, то для связывания  $H_3O^+$  и полноты гидролиза коагулянта дополнительно вводят известь ( $Ca(OH)_2$ ) или соду ( $Na_2CO_3$ )» [10]:



Необходимость подщелачивания проверяется расчетом по формуле, приведенной в [12]:

$$D_{щ} = K_{щ} \left( \frac{D_k}{e_k} - Щ_0 \right) + 1,$$

где  $D_{щ}$  – доза подщелачивающего реагента, мг/л;

$D_k$  – максимальная в период подщелачивания доза безводного коагулянта, мг/л;

$e_k$  – эквивалентная масса безводного коагулянта, мг/мг-экв, принимаемая для хлорида алюминия 44;

$K_{щ}$  – эквивалент 28 подщелачивающего реагента, мг/мг-экв, равный для извести (по  $CaO$ ) – 28, для соды (по  $Na_2CO_3$ ) – 53 мг/мг-экв;

$\text{Щ}_0$  – минимальная щёлочность воды, мгэкв/л, принимается по данным анализа природной воды.

- Полимеризация и образование зародышей хлопьев коагулянта.

Частицы, образующиеся при гидролизе, взаимодействуют друг с другом, образуя оловые связи, т.е. связи с участием ОН-группы:



По прочности они находятся между валентными и координационными. Трехслойный аквагидроксикомплекс вместе с гидратной оболочкой – это мицелла размером около  $2 \cdot 10^{-9}$  м.

В общем процесс полимеризации упрощенно можно записать:



где  $n$  – степень полимеризации, составляет от 100 до 10 000.

«Частицы, образовавшиеся на стадии полимеризации, являются зародышами хлопьев коагулянта. Коллоидный раствор (золь) гидроксида алюминия имеет положительный заряд из-за адсорбции катионов алюминия на коллоидной частице. Противоионами являются анионы раствора, например, хлорид-анионы.

На положительно заряженные частицы коагулянта начинают адсорбироваться отрицательно заряженные коллоидные примеси воды: в мутной воде это коллоидные частицы алюмосиликатов (глинистые), кремниевой кислоты, органоминеральных комплексов почвы, в цветной – гумусовые соединения.

Скоагулировавшие частицы гидроксида алюминия имеют очень развитую поверхность и поэтому являются прекрасными адсорбентами для коллоидных примесей, содержащихся в воде. Максимальная адсорбция коллоидных частиц примесей воды происходит в начальный период формирования коагеля» [17].

- «Агрегация с последующей седиментацией. Зародыши хлопьев взаимодействуют друг с другом, образуя хлопья (агрегаты). При агрегации происходит сорбция частиц загрязнений, которые помещаются внутрь агрегата и таким образом изолируются от очищаемой воды. Чем быстрее растут хлопья, чем больше их масса и размер, тем интенсивнее идет седиментация, тем выше степень осветления воды» [7].

«Сорбционная активность коагулянта по отношению к высокодисперсным частицам связана с небольшими размерами зародышей коагуляции: избыток поверхностной энергии приводит к высокой активности дисперсионных взаимодействий. Для такого взаимодействия природа загрязнений (гидрофильные/ гидрофобные) не имеет большого значения, поэтому при коагуляции адсорбируются и органические, и неорганические частицы.

Сорбционная активность коагулянта в отношении растворенных веществ связана с наличием на поверхности большого числа сорбционных центров (концевые ОН-группы). Сорбционная активность коагулянта в отношении минеральных соединений выше, чем органических, что обусловлено высокой полярностью ОН-групп» [17].

«Полиоксихлорид алюминия представляет собой высокоэффективный неорганический коагулянт, образующий устойчивые соединения со многими неорганическими и органическими веществами» [10].

Применение оксихлорида алюминия, повышает скорость коагуляции коллоидных частиц органических и неорганических загрязнений, не подщелачивая воду и обеспечивает более высокое качество очистки воды без каких-либо отложений и с минимальным содержанием остаточного алюминия в воде.

«Коагулянты (сульфаты или хлориды алюминия и железа) являются солями сильных кислот (серная, соляная) и слабых оснований. Гидролиз этих солей сопровождается выделением катионов водорода и понижением рН воды» [9]. Константа гидролиза и рН связаны зависимостью:

$$pH = 7 - pK + \lg C,$$

где  $pK$  – отрицательный логарифм константы гидролиза,  
 $C$  – концентрация соли.

«При больших дозах рН резко уменьшается, и воду необходимо подщелачивать. При коагуляции воды катионы водорода взаимодействуют с гидрокарбонат-ионами  $HCO_3^-$  и образуют слабую плохо диссоциирующую угольную кислоту. Если буферность воды недостаточна и катионы водорода не будут связываться в недиссоциируемые соединения, то гидролиз прекратится» [17].

Как известно, в результате коагуляции формируются хлопья гидроксидов железа и алюминия. Разумеется, они не должны растворяться в воде, что зависит от значений водородного показателя. Гидроксид железа практически нерастворим при  $pH > 4,1$ . Гидроксид алюминия обладает амфотерными свойствами и растворяется как в кислой, так и в щелочной среде; минимум растворимости  $Al(OH)_3$  при  $pH = 5.2$ .

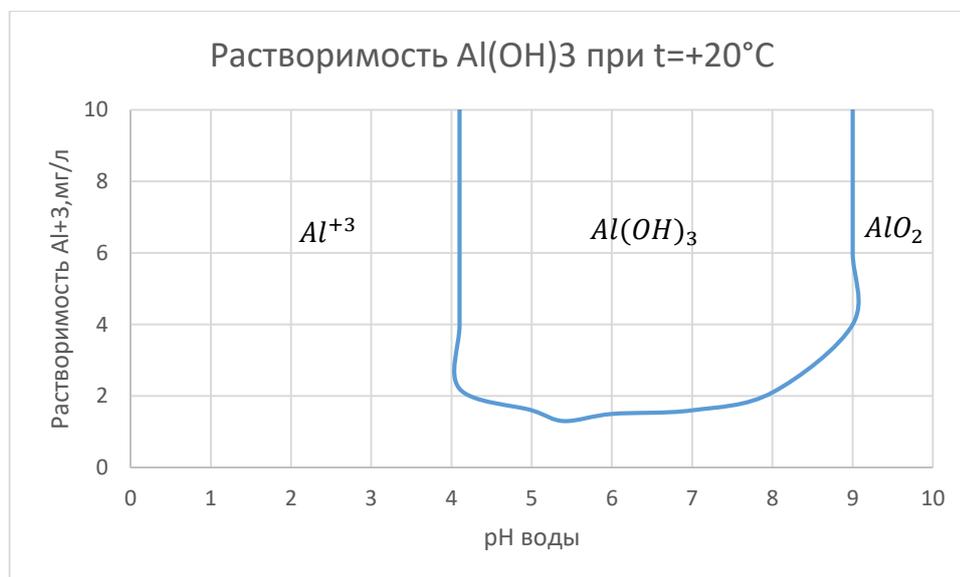


Рисунок 5 – График растворимости  $Al(OH)_3$  при  $t = +20^\circ C$

Растворимость гидроксида алюминия в кислой среде зависит от концентрации катионов водорода в третьей степени, а в щелочной – от концентрации анионов  $\text{OH}^-$  в первой степени. Это определяет несимметричную форму графика растворения  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , приведенного на рисунке 5.

«Гидроксид алюминия образуется при  $\text{pH} \sim 7,5$ . При меньших значениях водородного показателя наряду с гидроксидом в воде присутствуют труднорастворимые основные соли алюминия  $\text{AlOH}\text{SO}_4$  и  $\text{Al}_2(\text{OH})_4\text{SO}_4$ , обладающие хорошей адсорбционной способностью. Максимальное количество этих солей наблюдается при  $\text{pH} \leq 6,5$ » [3].

Обычно, при коагуляции сернокислым алюминием мягких, маломутных и цветных вод принимают  $\text{pH} = 6,5$ ; воды средней мутности, цветности и жесткости – около 7; при обработке жестких, мутных и малоцветных вод – до 7,5. Повышение в последнем случае  $\text{pH}$  объясняется тем, что  $\text{AlO}_2^-$  – взаимодействует с катионами кальция и образует с ними плохо растворимые соединения. Поддержание  $\text{pH}$  воды на оптимальном уровне снижает растворимость  $\text{Al}(\text{OH})_3$  и позволяет уменьшить концентрации алюминия в питьевой воде (ПДК = 0,5 мг/л).

Для данного «приготовления и хранения раствора предоставленного коагулянта предполагается использовать стандартную схему для станций очистки маленькой производительности, изображенную для рисунке 6» [15].

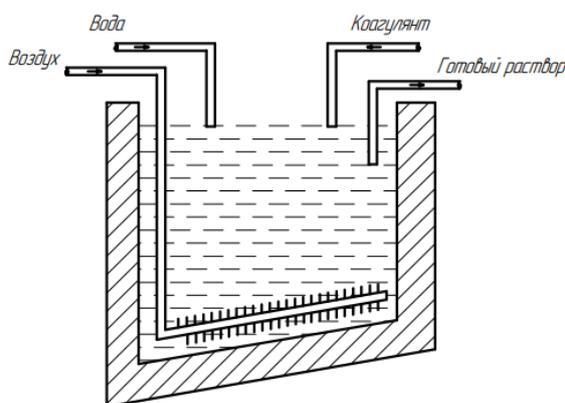


Рисунок 6 – Схема растворного бака для коагулянта сухого хранения

Фильтр.

«Напорные фильтры с зернистой загрузкой серийно производятся и широко используются в системах оборотного водоснабжения, например, автомоек. Для продления срока использования зернистой загрузки обычно осуществляют ее периодическую промывку обратным потоком воды с направлением ее в дренаж (отстойники, осушители и т.д.).

Недостаточная эффективность очистки, т.е. регенерации зернистой загрузки, обуславливает необходимость частой частичной или полной замены зернистой загрузки, что усложняет и удорожает процесс очистки жидкости.

Известен фильтр для очистки нефтесодержащих сточных вод по патенту RU 2040947, в котором применяется загрузка из упруго-эластичного фильтрующего материала, содержащий шнек с полым валом, использующийся для распределения очищаемой воды по объему загрузки и ее регенерации путем отжима при вращении шнека специальным приводом» [2].

Несовершенством данного фильтра является сложность установки и применимость исключительно ради упруго-эластичного фильтрующего материала.

«Известен фильтр по патенту RU 2124382, в котором используется два шнека, располагаемые над зернистой загрузкой и под ней, с возможностью реверсного вращения специальным приводом. Шнеки играют роль шнековых насосов и позволяют сгребать загрязнения, накапливающиеся в верхнем слое зернистой загрузки и на плавающей над ней перфорированной перегородке, что облегчает вымывание накопившихся загрязнений из зернистой засыпки» [2].

Несовершенством фильтра является сложность конструкции, огромные размеры фильтра при относительно маленьком размере используемой гранулированной загрузки и, соответственно, маленькой ее грязеемкости.

«Наиболее близким к заявляемому техническому решению конструкции напорного фильтра можно считать патент RU 2201789, в котором предлагается для увеличения грязеемкости и облегчения процесса регенерации зернистой

загрузки фильтра путем пропускания через нее обратного потока воды и слива ее вместе с загрязнениями в дренаж, производить механическое рыхление зернистой загрузки.

По указанному патенту механическое рыхление верхнего слоя зернистой загрузки осуществляется возвратно-поступательным перемещением пространственной рамы с наклонными лотками, которые при опускании вниз внедряются в зернистую загрузку, а после этого поднимаются вверх и сдвигают слои зернистой загрузки.

Реверсивное возвратно-поступательное движение осуществляет специальный механизм» [2].

Недостатком рассматриваемого фильтра является то, что разрыхление производится исключительно верхнего слоя гранулированной загрузки, а загрязнения, проникшие в более глубокие слои, будут отмываться возвратным потоком воды и плохо, как и в обыкновенный установки напорного фильтра с зернистой загрузкой.

«Конструкция механизма реверсивного возвратно-поступательного движения, располагаемого вне корпуса фильтра, является сложной и трудно осуществимой в практических условиях. Техническими задачами, решаемыми предлагаемой полезной моделью является создание простой конструкции фильтра с зернистой загрузкой, увеличение ее грязеемкости и улучшение условий промывания от задерживаемых фильтром загрязнений, что увеличивает срок использования зернистой загрузки и уменьшает затраты на очистку воды или другой очищаемой жидкости» [23].

Для зернистой загрузки используется антрацит фильтрант.

«Антрацит фильтрант производится методом сухого дробления угля без применения каких-либо химических веществ. Фильтрующий материал «подготовленный антрацит-фильтрант» изготавливается из высококачественных, высокопрочных, низкосольных (зольность до 5,0%), низкосеросодержащих, (сера до 1,0%) сортов антрацита, по своей кристаллической решетке пригодных для изготовления технических алмазов.

Истинная плотность антрацита 1600-1750кг/м<sup>3</sup>, насыпная плотность 850-1000 кг/м<sup>3</sup>» [16].

«Подготовленный антрацит-фильтрант абсолютно безвреден для человека и не образует токсичных соединений, не растворим в нейтральных, кислотных и щелочных средах, обладает высокой стойкостью к истиранию и измельчению в процессе фильтрования, химической стойкостью. Использование продукта, например, для глубокой очистки биологически очищенных сточных вод, доочищенных через щебень, позволяет снизить содержание органических загрязнений и нефтепродуктов до требований, предъявляемых к качеству сточных вод.

Исследованиями фильтрующих свойств «подготовленного антрацита-фильтранта» установлено следующее:

- сорбционные свойства антрацитовых фильтрантов проявляются за счет имеющихся в основном макропор с радиусом кривизны 500-1000 А и протяженностью, не превышающей 10 мкм. Сорбционная емкость образцов (удельная адсорбция 3-7 мг О<sub>2</sub>/г) в 2-3 раза ниже, чем у активного угля. Использование фильтрантов в качестве сорбентов при физико-химической очистке сточных вод позволяет снизить содержание взвешенных частиц на 90-98%, органических загрязнений на 60-70%» [16];

- использование антрацит-фильтранта крупностью 0,5-5 мм для очистки сточных вод предприятий позволяет снизить содержание взвешенных частиц на 97%; органических примесей на 54%; масел на 99%;

Пористость фильтранта - 46%, сферичность зерен - 0,65%, истираемость - 0,3-0,5%, измельчаемость - до 2,5%.

«Подготовленный антрацит-фильтрант предназначен для первичной очистки воды и используется в системах подготовки питательной воды для котлов АЭС, ТЭЦ, ГРЭС, ТЭС, металлургических комбинатов, химической и нефтеперерабатывающей промышленности, а также в многоступенчатом цикле подготовки питьевой воды из поверхностных и подземных источников» [16].

Фильтраты-антрациты не токсичны, не образует токсичных соединений и абсолютно безвредны для человека. Антрациты-фильтрант невзрывоопасен, пожароопасен.

Преимущества данной засыпки фильтра:

- Высокие скорости потока в режиме сервиса по сравнению с механическими/песчаными фильтрами.
- Эффективное удаление взвешенных частиц вследствие постоянного гранулометрического состава, а также твердости и чистоты загрузки.
- Малая величина потока воды при обратной промывке по сравнению с другими фильтрующими загрузкими.
- Использование его в мультимедийных фильтрах ввиду низкой плотности.

На рисунке 7 представлен напорный фильтр с зернистой загрузкой.

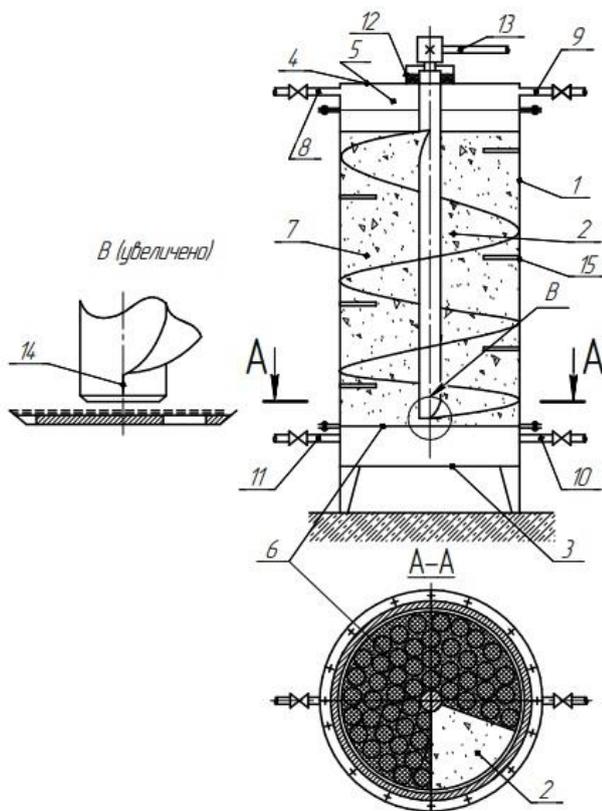


Рисунок 7 – Напорный фильтр с зернистой загрузкой

«Представлена схема предлагаемого напорного фильтра с зернистой загрузкой, состоящего из вертикально расположенного цилиндрического корпуса 1, расположенного в нем шнека 2 с переменным шагом винтовой поверхности, увеличивающимся снизу вверх, нижней крышки 3 и верхней крышки 4, верхней перфорированной перегородки с сеткой 5 и нижней перфорированной перегородки с сеткой 6. Внутри корпуса в пространстве между перегородками располагается зернистая загрузка 7, при этом в исходном положении шнека между верхней перфорированной перегородкой и уровнем находящейся в корпусе зернистой загрузкой имеется свободное пространство, которое может быть заполнено зернистой загрузкой при повороте шнека на предусмотренный угол его поворота в направлении ввинчивания» [22].

«Верхняя крышка имеет патрубок подвода очищаемой воды 8 и патрубок 9 для отвода загрязнений в дренаж. Нижняя крышка имеет патрубок 10 отвода очищенной воды и патрубок 11 подвода воды для промывки фильтра. В верхней крышке имеется устройство 12, фиксирующее проходящий через отверстия в верхней перфорированной перегородке и крышке вал шнека от осевого смещения и герметизирующее зазор между валом и крышкой. К верхнему концу вала прикреплена рукоятка 13 для поворота шнека. В нижней части шнека пластина его винтовой поверхности отогнута вниз в плоскости оси шнека, образуя скребок 14, сдвигающий зерновую загрузку на перфорированной перегородке при повороте шнека. На внутренней поверхности корпуса в несколько ярусов по его высоте закреплены радиально направленные строжки 15 длиной примерно 0,15 диаметра шнека, ограничивающие вращение зернистой загрузки при повороте шнека. Места крепления стержней выбираются из расчета обеспечения возможности установки шнека в корпус путем его ввинчивания, при этом позволяя в штатном положении поворачивать шнек на угол не менее 90° от исходного положения, когда шнек вывинчен» [16].

«Фильтр используется следующим образом. После проведения монтажных работ, связанных с соединением корпуса 1 с нижней крышкой 3 и закрепляемой между ними перфорированной перегородки 6, в корпус устанавливается шнек 2 путем его ввинчивания между штырями 15. Далее корпус заполняется зернистой загрузкой 7 требуемого состава, обеспечивая требуемое свободное пространство между ее верхним уровнем и плоскостью торца корпуса. После этого на вал шнека надевается перфорированная перегородка 5 и верхняя крышка 4 с устройством 12, и производится крепление фланцев крышки и корпуса. На выступающий конец вала шнека крепят рукоятку 13 и поворачивают шнек по направлению его вывинчивания до предельного положения (его упора в штырь). При закрытых кранах патрубка 9 и патрубка 11 и открытом кране патрубка 10 через патрубков 8 в фильтр подается очищаемая вода, которая проходя через капилляры зернистой загрузки очищается. По мере забивания капилляров зернистой загрузки улавливаемыми загрязнениями увеличивается противодействие подаваемому в фильтр потоку воды, что может контролироваться манометром (на рисунке манометр не показан). При достижении установленного предельного давления производят очистку фильтра путем вымывания загрязнений из зернистой загрузки водой, подаваемой в противоположном направлении. Для этого закрывают краны патрубков 8 и 10, и при открытом кране патрубка 9 подают в фильтр воду через патрубков 11, при этом поворачивают рукояткой 13 шнек 2 на угол не менее  $90^\circ$  по направлению завинчивания.

Ввинчиваясь в зернистую загрузку, вращательное движение которой ограничивается закрепленными на стенках корпуса штырями, шнек поднимает ее вверх, при этом, при переменном шаге винтовой поверхности шнека, ниже располагаемые слои загрузки переходят в большее по объему пространство и таким образом разрыхляются. Это облегчает вымывание имеющихся между зернами загрязнений» [16].

«Кроме того, механические сдвиги зерен относительно друг друга приводят к оттиранию прилипших к зернам загрязнений - это также активизирует процесс регенерации зернистой загрузки.

После завершения промывки, о чем можно судить по визуальному наблюдению за сливом загрязнений в дренаж, рукояткой 13 поворачивают шнек 2 по направлению его вывинчивания до его исходного положения. При этом скребок 14 сгребает зернистую загрузку с поверхности перегородки 6, исключая заклинивание зерен между тыльной поверхностью лопасти шнека и перфорированной перегородкой, предотвращая ее повреждение. Далее краны патрубков переводятся в положение очистки жидкости и процесс очистки повторяется. Таким образом, предлагаемая конструкция напорного фильтра с зернистой загрузкой обеспечивает хорошее промывание зернистой загрузки во всем ее объеме» [16].

«Механическое оттирание загрязнений с поверхности сдвигаемых относительно друг друга зерен повышает качество регенерации зернистой загрузки. Дополнительным преимуществом предлагаемого фильтра является то, что длина коридора, образуемого винтовой поверхностью шнека и корпусом, больше непосредственно высоты слоя зернистой загрузки в корпусе фильтра, т.е. путь проходимый очищаемой водой больше. Это способствует повышению качества очистки воды.

В конечном счете, предлагаемая конструкция увеличивает срок работы фильтра между промывками зернистой загрузки и ее замены, что повышает производительность процесса очистки воды и снижает себестоимость очищенной воды, при этом качество очистки воды повышается» [16].

### 3.5 Расчеты аппаратов

«За основу расчетов была взята автомойка на два поста.

Принимаем режим работы мойки с 8 утра до 10 вечера, т.е. 14 часов в сутки.

На рисунке 8 представлена схема компоновки автомойки на два поста» [23].

Технологические расходы воды.

В таблице 7 представлен типовой расход воды на пунктах мойки.

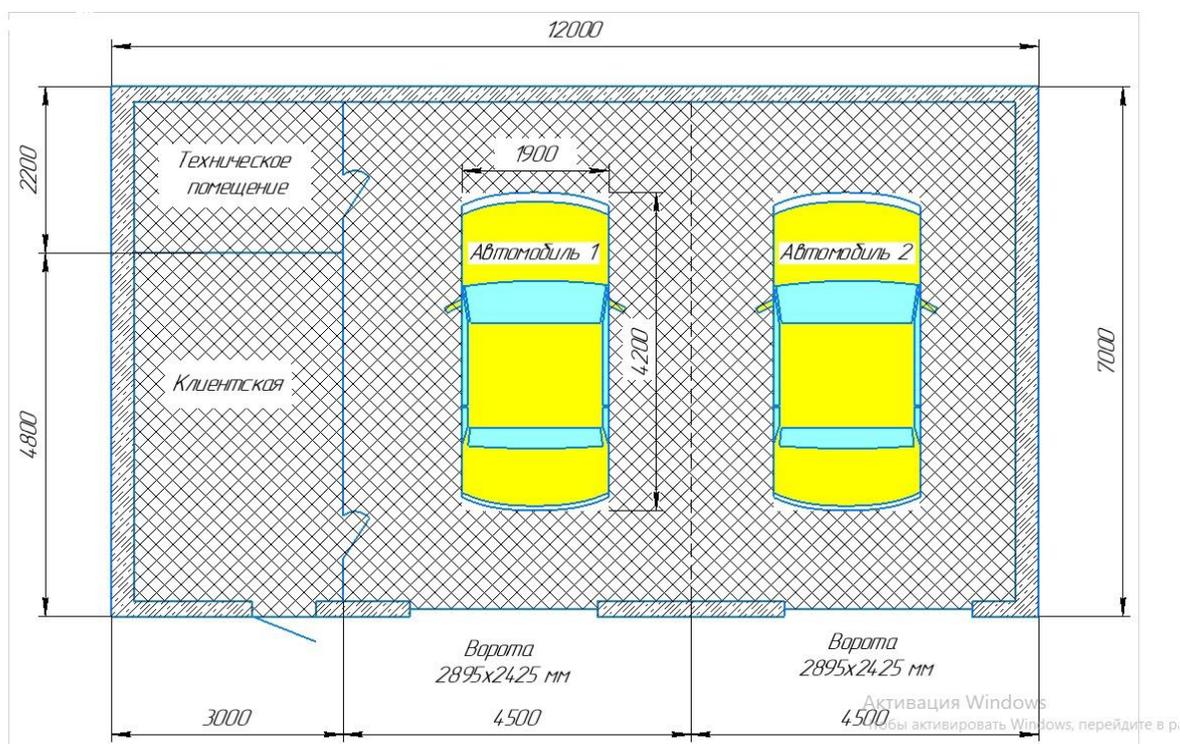


Рисунок 8 - Схема компоновки автомойки на 2 поста

Таблица 7 - Расход воды на обмыв колес и днища автомобилей на пунктах мойки (очистки), м<sup>3</sup>/час

Виды используемых моющих аппаратов	Количество постов	
	2	4
Моющие аппараты высокого давления	0,72	1,44
Шланговая мойка, другие аппараты или насосы	1,08	2,16

«Согласно «Рекомендации по устройству пунктов мойки (очистки) колес автотранспорта» в среднем для мытья одной машины в течение 10 минут при использовании аппарата высокого давления необходимо 100 – 300 литров воды» [23].

Получается на мойку одной машины уходит:

- Расход воды примерно 180 л,
- Затрачиваемое время — 20 минут.

Рассчитаем расход ( $Q$ ) на один пост мойки за 14 часов (в работе принимаем, что мойка работает с 8 утра до 10 вечера, без перерыва) по формуле (1):

$$Q = Q_m \cdot \frac{T \cdot 60}{t}, \quad (1)$$

где  $Q_m$  – расход воды на мойку одного автомобиля, л;

$T$  – количество часов, в течении которых работает мойка, ч;

$t$  – время, затрачиваемое на мойку одного автомобиля, мин.

Подставляем исходные данные в формулу 1:

$$Q = 180 \cdot \frac{14 \cdot 60}{20} = 7560 \text{ л}$$

Мы приняли к рассмотрению автомойку на два поста, следовательно, общий расход воды на автомойке на 2 поста составляет:

$$Q_{\text{общ}} = 2 \times Q_{\text{1пост}} = 15120 \text{ л/сут} = 15,12 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Система локальной очистки будет работать в нерабочий период с 10 вечера до 8 утра, поэтому принимаем расчетный расход воды

$$Q = 15,12 \text{ м}^3/\text{раб.смену}$$

Конструктивный расчёт горизонтального отстойника.

«Для расчета горизонтального отстойника очистки воды от минеральных примесей необходимы следующие данные:

- $Q$  (расход сточных вод) = 15,12 м<sup>3</sup>/ч;
- $d_{\text{ч}}$  (минимальный эквивалентный диаметр частиц) = 45 мкм;

- $C_o$  (концентрация до очистки) = 400 мг/м<sup>3</sup>;
- $\rho_{ж}$  (плотность жидкости) = 1020 кг/м<sup>3</sup>;
- $g$  (ускорение свободного падения) = 9,81 м/с<sup>2</sup>;
- $\mu$  (динамическая вязкость жидкости) = 10<sup>-3</sup> Па·с;
- $\rho_{ч}$  (кажущаяся плотность частиц) = 1550 кг/м<sup>3</sup>;
- $v$  (скорость движения сточных вод в отстойнике) = 0,005 м/с;

В таблице 8 представлены исходные параметры по загрязняющим веществам» [32].

Таблица 8 – Исходные параметры по загрязняющим веществам для расчета

На входе в горизонтальный отстойник	Показатели, мг/дм <sup>3</sup>
Взвешенные вещества	400
Нефтепродукты	12

Расчет:

а) «скорость осаждения частиц в отстойнике, м/с (для мелких частиц сферической формы, осаждающихся в ламинарном режиме и в нестесненных условиях (критерий Архимеда  $Ar \leq 3,6$ )) можно рассчитать по уравнению Стокса (2):

$$v_{oc} = \frac{(\rho_{ч} - \rho_{ж}) \cdot g \cdot d_{ч}^2}{1,8 \cdot \mu}, \quad (2)$$

где  $d_{ч}$  – минимальный эквивалентный диаметр частиц, высаждаемых в отстойнике, м;

$\rho_{ч}$  – кажущаяся плотность частиц, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{ж}$  – плотность жидкости, примем 1020 кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с<sup>2</sup>;

$\mu$  – динамическая вязкость жидкости, принимаем 10<sup>-3</sup> Па·с.

Подставим исходные данные в формулу (2):

$$v_{oc} = \frac{(1550 - 1020) \cdot 9,81 \cdot (4,5 \cdot 10^{-5})^2}{1,8 \cdot 10^{-3}} = 0,0058 \text{ м/с}$$

- рабочий объем отстойника определяется по формуле (3):

$$V = Q \cdot \tau, \quad (3)$$

где  $\tau$  – время отстаивания.

Принимаем типовое время отстаивания: 3 часа.

Подставляем заданные параметры в формулу (3):

$$V = 15,12 \cdot 3 = 22,68 \text{ м}^3$$

Коэффициент использования объема отстойника  $K=0,5$ . С учетом этого принимаем объем аккумулирующей емкости равным  $50 \text{ м}^3$ .

- Длину отстойника исходя из подсчитанного объема емкости и компоновочной схемы автомойки на 2 поста принимаем равной 5 м.  $L=5 \text{ м}$ .
- Глубину отстойника принимаем равной 2 м.  $H=2 \text{ м}$ .
- Рассчитаем ширину отстойника по формуле (4), м:

$$B = \frac{V}{L \cdot H}, \quad (4)$$

Подставляем заданные параметры в формулу (4):

$$B = \frac{50}{5 \cdot 2} = 5 \text{ м}$$

Принимаем ширину отстойника, равной 5 м.

- Отстойники имеют глубокие конусы – 1290 мм с углом наклона в  $53^\circ$ , что позволяет шламу легко сползать по стенкам конуса и накапливаться, не принося ущерба процессу очистки.

- Эффективность очистки по взвешенным веществам рассчитаем по формуле (5):

$$m = \frac{C_0 \cdot (100 - \eta)}{100}, \quad (5)$$

где  $C_0$  – количество взвешенных веществ в исходной (очищаемой) воде, мг/л;

$\eta$  – эффективность очистки взвешенных веществ в отстойнике, %.

Эффективность осаждения у тонкослойного горизонтального отстойника принимаем минимальную 90%» [27].

$$m = \frac{400 \cdot (100 - 90)}{100} = 40 \text{ мг/л}$$

Порядок установки котлована:

- «в месте согласно, имеющегося проекта на строительный объект, необходимо выкопать котлован;

- размер котлована по дну:

- ширина = 5 м;

- длина = 5 м (с учетом величины колодца);

- глубина – с учетом отметок привязки по лотку впускной трубы и расчетного значения 2 м.

- уложить песчаную подушку под фундамент толщиной 10 см;

- уложить бетонный раствор горизонтально, по уровню, толщиной 20» [26].

Расчет тонкослойного модуля:

- Ключевым условием беспроегрешной и действенной работы сооружений оснащённых тонкослойными модулями представляется обеспечение ламинарного гидродинамического режима в зоне ТМ.

При ламинарном режиме число Рейнольдса  $Re$  определяется по следующему выражению (6):

$$Re = v_{cp} \cdot h / \nu \leq 500, \quad (6)$$

где  $v_{cp}$  — средняя скорость движения потока обрабатываемой воды в ТМ, см/с;

$h \approx \omega / \chi$  для полочных ТМ;

$\omega$  - площадь поперечного сечения блока ТМ, см<sup>2</sup>;

$\chi$  - смоченный периметр, см;

$\nu$  - кинематическая вязкость воды при заданной температуре, м<sup>2</sup>/с.

Максимально допустимая скорость движения потока обрабатываемой воды  $v_{max}$  определяется следующим выражением (7):

$$v_{max} \leq 500 * \nu/h \quad (7)$$

- Длина тонкослойного модуля  $l_o$  определяется по формуле(8):

$$l_o = \varphi [v_{cp} \cdot 2h / (u_0 \cdot \cos\alpha)], \quad (8)$$

где  $\varphi$  - коэффициент, учитывающий гидродинамические условия осаждения частиц в тонкослойных модулях;

$\alpha$  - угол наклона ТМ к горизонту, принимаемый 45÷60°;

$u_0$ — гидравлическая крупность, мм/с.

$v_{cp}$ — средняя скорость движения потока обрабатываемой воды в ТМ, мм/с;

2h - шаг полок или диаметр труб ТМ, принимаемый в диапазоне 0,025÷0,2 м;

«При определённом числе Рейнольдса  $Re$  и  $\varphi = 1$  определяют в первом приближении длину тонкослойного модуля  $l_{п}$ . Следующим шагом следует вычислить значение безразмерного комплекса  $l_{п}/(h \cdot Re)$  и найти значение  $\varphi$  по таблице 9» [4]:

Таблица 9 – Значения  $l_{п}/(h \cdot Re)$  и  $\varphi$

$l_{п}/(h \cdot Re)$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1,0	2,0	4,0
$\varphi$	1,78	1,61	1,48	1,42	1,38	1,35	1,28	1,22	1,17

«При найденном приближенном значении  $\varphi$  уточняют длину  $l_{п}$  и повторяют расчёт, определяя более точное значение коэффициента  $\varphi$ . Второе приближение позволяет получить достаточное для расчётов значение» [4].

- Примем  $H_{\text{блок}} = 0,047$  м;  $B_{\text{блок(ширина)}} = 2$  м

$$\omega = H \cdot B = 0,047 \cdot 2 = 0,094 \text{ м}^2$$

$$\chi = 2H + B = 2 \cdot 0,047 + 2 = 2,094 \text{ м}$$

$$h = \frac{\omega}{\chi} = \frac{0,094}{2,094} = 0,045 \text{ м}$$

Примем  $v_{\text{ср}} = 4$  мм/с и  $v_{20^\circ\text{C}} = 0,000001004$  м<sup>3</sup>/с

По формуле (21):

$$Re = 0,4 \cdot \frac{0,045}{0,000001004} = 179 - \text{Ламинарный режим}$$

По формуле (22):

$$v_{\text{max}} \leq 500 * \frac{0,000001004}{0,045} = 0,01 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 10 \frac{\text{мм}}{\text{с}} = 1 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

- Примем  $u_0 = 0,2$  мм/с и  $\alpha = 60^\circ$

При  $\varphi = 1$

По формуле (23):

$$l_o = 1[4 \cdot 2 \cdot 0,045 / (0,2 \cdot \cos 60)] = 3,6 \text{ м}$$

$$\frac{l_{\text{п}}}{h \cdot Re} = \frac{3,6}{0,045 \cdot 500} = 0,2 \text{ и } \varphi = 1,48$$

Пересчитаем

$$l_o = 1,48[4 \cdot 2 \cdot 0,045 / (0,2 \cdot \cos 60)] = 5,32 \text{ м}$$

$$\frac{l_{\text{п}}}{h \cdot Re} = \frac{5,32}{0,045 \cdot 500} = 0,3 \text{ и } \varphi = 1,42$$

$$l_o = 1,42[4 \cdot 2 \cdot 0,08 / (0,2 \cdot \cos 60)] = 5 \text{ м}$$

Производительность одного из тонкослойных блоков:

$$f_{\text{ср}} = \omega = 0,1 \text{ м}^2$$

$$q_{\text{блок}} = 3,6 \cdot V_{\text{о.ср}} \cdot f_{\text{ср}} = 3,6 \cdot 4 \cdot 0,1 = 1,44 \text{ м}^2/\text{ч}$$

Количество тонкослойных модулей:

$$n = \frac{Q}{q_{\text{блок}}} = \frac{0,63}{1,44} = 1 \text{ шт}$$

Конструктивный расчёт бака осветлителя, растворного бака и реагентного хозяйства:

«Доза коагулянта, которая нужна для обесцвечивания, находится пробной коагуляцией воды без подкисления, при подкислении, а также при подщелачивании» [29]. Мутность рассчитана по пункту А.13.

В «соответствии с исходной максимальной мутностью по таблице 10 выбирают дозу коагулянта» [29].

Таблица 10 – Доза коагулянта в зависимости от мутности обрабатываемой воды

Мутность воды, г/м <sup>3</sup>	Доза коагулянта, г/м <sup>3</sup>	Мутность воды, г/м <sup>3</sup>	Доза коагулянта, г/м <sup>3</sup>
менее 100	25 – 35	600 – 800	50 – 60
100 – 200	30 – 40	800 – 1000	60 – 70
200 – 400	35 – 45	1000 – 1500	70 – 80
400 – 600	45 – 50		

Мутность анализируемой воды составила 88 ЕМФ. 1 ЕМФ = 0,58 г/м<sup>3</sup> каолина, 88 ЕМФ = 51,04 г/м<sup>3</sup> каолина. Значит доза коагулянта нужна 25 г/м<sup>3</sup>.

«В предлагаемой технологической схеме учитывая небольшой расход реагента оптимальным вариантом хранения коагулянта является сухой тип. Коагулянт подают в растворный бак, затем происходит его растворение до раствора с концентрацией 4 % – 10%. Подготовленный таким образом раствор коагулянта добавляется в обрабатываемую сточную воду. Погрузочные работы для доставки реагента в баки растворные с позиции охраны труда должны быть максимально механизированы, с целью исключения контакта персонала с химическими реагентами» [15].

Расчёт реагентного хозяйства:

«Расчёт реагентного хозяйства для приготовления, а также хранения, добавления коагулянта оксихлорид алюминия (сухой способ).

При классической схеме расчета определяют следующие параметры.

- Определяем суточный расход коагулянта» [29].

Считаем суточный расход коагулянта по формуле (9), (кг/сут.):

$$G_k = \frac{D_k \cdot Q_{сут}}{1000 \cdot P_i'} \quad (9)$$

где  $D_k$  –предварительная доза коагулянта;

$Q_{\text{сут}}$  - суточная производительность станции, м<sup>3</sup>/сут,  $Q_{\text{сут}} = Q_{\text{полн}}$ ;

$P_i$  - процентное содержание безводного продукта в товарном коагулянте, составляет 30%.

- Определяем площадь склада по формуле (10), м<sup>2</sup>:

$$F_{\text{скл}} = \frac{G_k \cdot T \cdot \alpha}{G_0 \cdot h_k}, \quad (10)$$

где  $T$  - продолжительность хранения коагулянта на складе (15-30 суток);

$\alpha$  - коэффициент, учитывающий дополнительные площади проходов на складе, при расчете принимаем равным 1,15;

$G_0$  - объемный вес коагулянта при загрузке склада навалом составляет 11000 кг/м<sup>3</sup>;

$h_k$  - допустимая высота слоя коагулянта на складе, для сернокислого алюминия составляет 2 м.

«В зависимости от площади принимают размеры склада в плане. Этот параметр рассчитывать в рассматриваемой бакалаврской работе технологической схеме очистке сточных вод не целесообразно» [29].

- «Определяем объём растворного бака:

Определение объема растворного бака по формуле (11), м<sup>3</sup>:

$$W_{\text{раств}} = \frac{D_k \cdot q \cdot T}{10000 \cdot b_p \cdot \gamma}, \quad (11)$$

где  $T$  - продолжительность хранения коагулянта на складе (15-30 суток);

$b_p$  - концентрация коагулянта в растворном баке, 4 - 10%;

$\gamma$  - объемный вес коагулянта = 1 кг/м<sup>3</sup>.

Размеры бака назначают конструктивно» [29].

Учитывая незначительную продуктивность «разрабатываемой технологической схемы очистки сточных вод и посему маленький расход коагулянта принимаем сухой способ использования коагулянта.

Проведем обыкновенный расчет реагентного хозяйства для приготовления, сохранения и дозирования коагулянта (оксихлорид алюминия) для разрабатываемой автомоечной станции с целью нахождения необходимых площадей и оборудования» [7].

Исходные данные для расчета коагулянта:

$$Q_{\text{сут}} = 15,12 \text{ м}^3 / \text{сут};$$

$$D_k = 25 \text{ г/м}^3.$$

- Определяем суточный расход коагулянта по формуле (9):

$$G_k = \frac{25 \cdot 15,12}{1000 \cdot 33,5} = 0,01 \text{ кг/сут}$$

«Учитывая маленький низкий расход коагулянта, нет необходимости рассчитывать площадь склада, так как хранение будет осуществляться в одном баке» [20].

- Определить объём растворного бака по формуле (11) :

$$W_{\text{раств}} = \frac{25 \cdot 15,12 \cdot 15}{10000 \cdot 10 \cdot 1} = 0,06 \text{ м}^3$$

Таким образом, проведенные расчеты позволили определить суточный расход коагулянта и объём расходного бака для реагентного хозяйства.

Берем стандартные габариты бака для данного объема

$$H=0,3 \text{ м}; V=0,4 \text{ м}; L=0,5 \text{ м}.$$

Конструктивный расчет бака осветлителя:

Примем что рабочий объем (V) бака осветлителя 6 м<sup>3</sup>, значит:

$$V=3 \text{ м}; H=1 \text{ м}; l=2 \text{ м};$$

В баке имеются так же тонкослойные пластины, только уже для того чтобы не образовывалось много пены.

Расчет тонкослойных пластин в баке осветлителя, рассчитывается так же, как и для отстойника по формулам (6-8):

- Примем  $H_{\text{блок}} = 0,027 \text{ м}; B_{\text{блок(ширина)}} = 3 \text{ м}$

$$\omega = H \cdot B = 0,027 \cdot 3 = 0,081 \text{ м}^2$$

$$\chi = 2H + B = 2 \cdot 0,027 + 3 = 3,054 \text{ м}$$

$$h = \frac{\omega}{\chi} = \frac{0,0081}{3,054} = 0,026 \text{ м}$$

Примем  $v_{\text{ср}} = 4 \text{ мм/с}$  и  $v_{20^\circ\text{C}} = 0,000001004 \text{ м}^3/\text{с}$

По формуле (21):

$$Re = 0,4 \cdot \frac{0,026}{0,000001004} = 104 - \text{Ламинарный режим}$$

По формуле (22):

$$v_{\text{max}} \leq 500 * \frac{0,000001004}{0,026} = 0,019 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 19 \frac{\text{мм}}{\text{с}} = 1,9 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

- Примем  $u_0 = 0,2 \text{ мм/с}$  и  $\alpha = 45^\circ$

При  $\varphi = 1$

По формуле (23):

$$l_o = 1[4 \cdot 2 \cdot 0,026 / (0,2 \cdot \cos 45)] = 1,48 \text{ м}$$

$$\frac{l_{\text{п}}}{h \cdot Re} = \frac{2,1}{0,036 \cdot 500} = 0,1 \text{ и } \varphi = 1,61$$

Пересчитаем

$$l_o = 1,61[4 \cdot 2 \cdot 0,026 / (0,2 \cdot \cos 45)] = 3,4 \text{ м}$$

$$\frac{l_{\text{п}}}{h \cdot Re} = \frac{3,4}{0,026 \cdot 500} = 0,3 \text{ и } \varphi = 1,42$$

$$l_o = 1,42[4 \cdot 2 \cdot 0,026 / (0,2 \cdot \cos 45)] = 2 \text{ м}$$

Производительность одного из тонкослойных блоков:

$$f_{\text{ср}} = \omega = 0,026 \text{ м}^2$$

$$q_{\text{блок}} = 3,6 \cdot V_{\text{о.ср}} \cdot f_{\text{ср}} = 3,6 \cdot 4 \cdot 0,026 = 0,4 \text{ м}^2/\text{ч}$$

Количество тонкослойных модулей:

$$n = \frac{Q}{q_{\text{блок}}} = \frac{0,63}{0,5} = 1 \text{ шт}$$

Расчет фильтра с зернистой загрузкой:

- Определим расход сточной воды по формуле (12):

$$Q_{\text{ф}} = 24 \cdot q_w, \tag{12}$$

где  $q_w$  – максимальный часовой приток,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

- Определим количество промывок фильтра за сутки по формуле (13):

$$n = \frac{24}{T_{\phi}}, \quad (13)$$

где  $T_{\phi}$  – время фильтроцикла, ч.

- Определим общую площадь фильтрования по формуле (14):

$$F_{\text{Б}}^{\text{общ}} = \frac{Q_{\phi} \cdot (1 + m)}{V_{\text{н}} \cdot \left(T - \frac{n \cdot t_4}{60}\right) - 0.6 \cdot n \cdot (w_1 \cdot t_1 + w_2 \cdot t_2 + w_3 \cdot t_3)}, \quad (14)$$

где  $V_{\text{н}}$  – скорость фильтрования, м/ч;

$T$  – продолжительность работы водоочистного комплекса в течение суток, ч;

$m$  – коэффициент учета воды на промывку;

$w_i$  – интенсивность взрыхления, подачи или промывки, л/(с\*м<sup>3</sup>)

$t_i$  – время взрыхления, подачи, промывки или простоя, мин.

Расчет:

- Определим расход сточной воды по формуле (12):

$$Q_{\phi} = 24 \cdot 0,63 = 15,12 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Определим количество промывок фильтра за сутки по формуле (13):

$$n = \frac{24}{24} = 1$$

- Определим общую площадь фильтрования по формуле (14):

$$F_{\text{Б}}^{\text{общ}} = \frac{15,12 \cdot (1 + 0,003)}{8 \cdot \left(14 - \frac{1 \cdot 20}{60}\right) - 0.6 \cdot 1 \cdot (12 \cdot 10 + 3 \cdot 7 + 5 \cdot 5)} = 1,56 \text{ м}^2$$

Берем стандартные данные для габаритов фильтра под данную площадь

$H=0,8\text{м}$ ;  $r=0,31\text{м}$ .

Расчет объема образования объемов шлама:

«Основные составляющие шлама: вода, механические загрязнители, нефтепродукты. По степени воздействия на организм человека данный отход относят к третьему классу опасности (умеренно опасный)» [27].

«Кроме песка и грязи, иловый осадок состоит:

- из органических соединений,
- неорганических включений; солей тяжелых металлов,
- нефтепродуктов, содержание которых может быть более 15% от общего объема,
- ПАВ (поверхностно-активных веществ), избыточное содержание которых повышает класс опасности илового осадка.
- Расчёт осадка из очистных сооружений поверхностных вод определяется по формуле (15)» [27]:

$$n = (k_1 - k_2) \cdot Q_{\text{год}}, \quad (15)$$

где  $k_1$  – концентрация загрязняющих веществ до очистки;

$k_2$  – концентрация загрязняющих веществ после очистки;

$Q_{\text{год}}$  - годовой расход сточных вод.

Рассчитаем годовой расход сточных вод по формуле (16):

$$Q_{\text{год}} = Q_{\text{раб.смену}} \cdot N \quad (16)$$

где  $Q_{\text{раб.смену}}$  – расход сточных вод в рабочую смену, м<sup>3</sup>/с;

$N$  – количество рабочих дней в году.

Принимаем  $N=247$  дней (согласно рабочему календарю на 2021 год).

Подставляем исходные данные в формулу (16):

$$Q_{\text{год}} = 15,12 \cdot 247 = 3734,64 \text{ м}^3$$

В технологической схеме, разрабатываемой в данной бакалаврской работе были предприняты показатели загрязняющих веществ, представленные в таблице 11.

Таблица 11 – Концентрации загрязняющих веществ

Загрязняющее вещество	На входе	На выходе
Взвешенные вещества, мг/л	$(400 \pm 40)$ мг/дм <sup>3</sup>	12 мг/дм <sup>3</sup>
Нефтепродукты, мг/л	$(12 \pm 0,048)$ мг/дм <sup>3</sup>	0,06 мг/дм <sup>3</sup>
АПАВ	$(92 \pm 0,4)$ мг/дм <sup>3</sup>	0,92 мг/дм <sup>3</sup>

Проведем расчет:

а) взвешенные вещества:

Подставим данные из таблицы 10 в формулу (15):

$$n = (400 - 12) \cdot 3734,64 \cdot 100 = 144904032 \text{ мг/год} = 1,45 \text{ т/год}$$

б) нефтепродукты:

$$n = (12 - 0,06) \cdot 3734,64 \cdot 100 = 4459160 \text{ мг/год} = 0,45 \text{ т/год}$$

в) АПАВ

$$n = (92 - 0,96) \cdot 3734,64 \cdot 100 = 34000162 \text{ мг/год} = 0,34 \text{ т/год}$$

Для накопления и хранения твердых отходов до их вывоза на утилизацию заказчику необходимо оборудовать места временного хранения отходов.

### 3.6 Материальный баланс

1) Найдем среднечасовую производительность по формуле (17):

$$G_{\text{с.ч.}} = \frac{G_{\text{с.с.}}}{24 \text{ ч}}, (\text{кг/ч}) \quad (17)$$

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

24 – коэффициент перевода суток в часы.

Вычислим:

$$G_{\text{с.ч.}} = \frac{15,12}{24} = 0,063 \text{ м}^3/\text{ч} = 630 \text{ дм}^3/\text{ч}$$

Рассчитаем массу проходящей воды по формуле (18):

$$m_{\text{воды}} = \rho_{\text{воды}} \cdot G_{\text{с.ч.}}, \text{ кг/ч} \quad (18)$$

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

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

Произведем расчет:

$$m_{\text{воды}} = 1 \cdot 630 = 630 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

Переведем суточный расход сухого коагулянта в средне часовую массу раствора коагулянта:

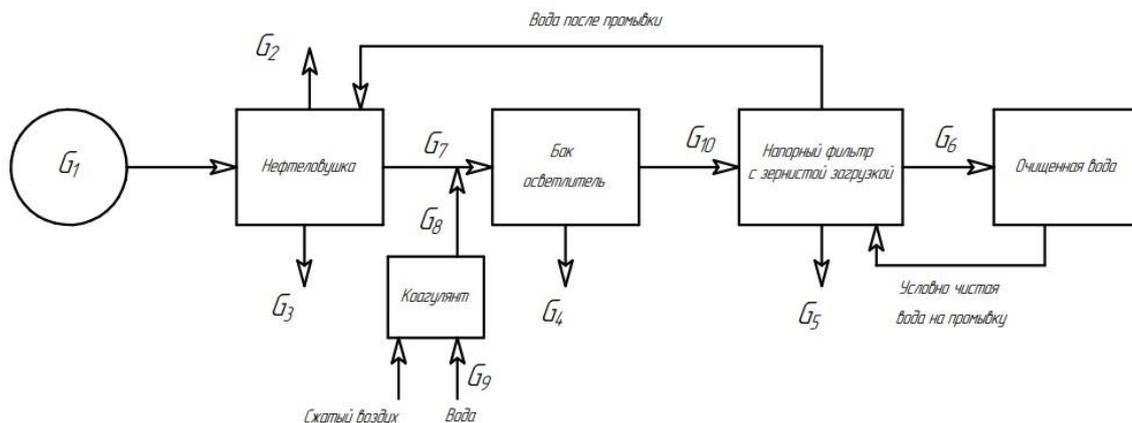
Нужно приготовить раствор коагулянта с  $w_{\text{р-ра}} = 5\%$ , значит находим массу раствора коагулянта по формуле (19):

$$m_{\text{р-ра коагулянта}} = \frac{G_k}{w_{\text{р-ра}}} [\text{кг/ч}] \quad (19)$$

Подставляем значения формулу (19):

$$m_{\text{р-ра коагулянта}} = \frac{0,01}{0,05} = 0,2 \text{ кг/ч}$$

Составим сокращенную схему очистки представленную на рисунке 9.



где,  $G_1$  – сточная вода с автомойки;  $G_2$  – легкие фракции НП,  $G_3$  – шлам  
 $G_4$  – осадок от нейтрализации АПАВ,  $G_5$  – отработанный антрацит,  $G_6$  – очищенная вода  
 $G_7$  – вода после нефтеловушки,  $G_8$  – раствор коагулянта,  $G_9$  – вода для растворения  
коагулянта,  $G_{10}$  – вода после нейтрализации АПАВ

Рисунок 9 – Схема очистки для расчета материального баланса

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

Из экспериментальных данных знаем, что до очистки концентрация нефтепродуктов  $C_{НП} = 12 \frac{\text{мг}}{\text{дм}^3} = 0,000012 \frac{\text{кг}}{\text{дм}^3}$ , значит рассчитаем массу нефтепродуктов после очистки по формуле (20):

$$m_{1НП} = C_{НП} \cdot G_{\text{с.ч.}}, \text{ кг/ч} \quad (20)$$

Вычислим:

$$m_{1НП} = 0,000012 \cdot 630 = 0,0076 \text{ кг/ч}$$

До очистки концентрация АПАВ  $C_{\text{АПАВ}} = 92 \frac{\text{мг}}{\text{дм}^3} = 0,000092 \frac{\text{кг}}{\text{дм}^3}$ , значит рассчитаем массу АПАВ до очистки по формуле (21):

$$m_{1\text{АПАВ}} = C_{\text{АПАВ}} \cdot G_{\text{с.ч.}}, \text{ кг/ч} \quad (21)$$

Вычислим:

$$m_{1\text{АПАВ}} = 0,000092 \cdot 630 = 0,058 \text{ кг/ч}$$

До очистки концентрация взвешенных веществ  $C_{В.В.} = 400 \frac{\text{мг}}{\text{дм}^3} = 0,0004 \frac{\text{кг}}{\text{дм}^3}$ , значит рассчитаем массу взвешенных веществ до очистки по формуле (22):

$$m_{1В.В.} = C_{В.В.} \cdot G_{с.ч.}, \text{ кг/ч} \quad (22)$$

Вычислим:

$$m_{1В.В.} = 0,0004 \cdot 630 = 0,252 \text{ кг/ч}$$

По литературным источникам известно, что коэффициент очистки на нефтеловушке  $\omega_{НП} = 0,95$ , значит рассчитаем массу нефтепродуктов после очистки по формуле (23):

$$m'_{НП} = \omega_{НП} \cdot m_{НП}, \text{ кг/ч} \quad (23)$$

где  $\omega_{НП}$  – коэффициент очистки нефтеловушки, масс.%;

Вычислим:

$$m'_{НП} = 0,95 \cdot 0,0076 = 0,0072 \text{ кг/ч}$$

Коэффициент очистки реагента в баке смесителя  $\omega_{АПав} = 0,9$ , значит рассчитаем массу АПАВ после очистки по формуле (24):

$$m'_{АПав} = \omega_{АПав} \cdot m_{АПав}, \text{ кг/ч} \quad (24)$$

где  $\omega_{АПав}$  – коэффициент очистки реагента от АПАВ, масс.%;

Вычислим:

$$m'_{АПав} = 0,9 \cdot 0,058 = 0,052 \text{ кг/ч}$$

Коэффициент очистки фильтра  $\omega_{В.В.} = 0,97$ , значит рассчитаем массу взвешенных веществ после очистки по формуле (25):

$$m'_{В.В.} = \omega_{В.В.} \cdot m_{В.В.}, \text{ кг/ч} \quad (25)$$

где  $\omega_{В.В.}$  – коэффициент очистки фильтра, масс.%;

Вычислим:

$$m'_{АПав} = 0,97 \cdot 0,252 = 0,244 \text{ кг/ч}$$

Рассчитаем массу нефтепродуктов, которые остались в воде по формуле (26):

$$m_{2\text{НП}} = m_{1\text{НП}} - m'_{\text{НП}}, \text{ кг/ч} \quad (26)$$

Вычислим:

$$m_{2\text{НП}} = 0,0076 - 0,0072 = 0,0004 \text{ кг/ч}$$

Рассчитаем массу АПАВ, которые остались в воде по формуле (27):

$$m_{2\text{АПАВ}} = m_{1\text{АПАВ}} - m'_{\text{АПАВ}}, \text{ кг/ч} \quad (27)$$

Вычислим:

$$m_{2\text{АПАВ}} = 0,058 - 0,052 = 0,006 \text{ кг/ч}$$

Рассчитаем массу взвешенных веществ, которые остались в воде по формуле (28):

$$m_{2\text{В.В.}} = m_{1\text{В.В.}} - m'_{\text{В.В.}}, \text{ кг/ч} \quad (28)$$

Вычислим:

$$m_{2\text{В.В.}} = 0,252 - 0,244 = 0,008 \text{ кг/ч}$$

Составим таблицу 12 по данным расчёта:

Таблица 12 – Материальный баланс

Наименование	Приход		Наименование	Расход	
	кг/ч	%		кг/ч	%
m1(р-ра коагулянта)	0,2	0,03			
m1(общ.воды):	629,6824	99,9179	m'(общ.воды):	629,8687	99,9496
m1(НП)	0,0076	0,0012	m2(НП)	0,0004	0,0001
m1(в.в.)	0,2520	0,0400	m2(в.в.)	0,0076	0,0012
m1(АПАВ)	0,0580	0,0092	m2(АПАВ)	0,0058	0,0009
			m'(НП)	0,0072	0,0011
			m'(в.в.)	0,2444	0,0388
			m'(АПАВ)	0,0522	0,0083
Сумма	630,2	100	Сумма	630,2	100

В таблице 13 выписаны концентрации до и после предлагаемой схемы очистки.

Таблица 13 – 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>
АПАВ	92	0,92	10
Взвешенные вещества	400	12	300
Нефтепродукты	12	0,06	10

Материальный баланс предлагаемой технологической схемы для создания локальной станции очистки для автомоечных предприятий показывает, что метод является высокоэффективным так как содержание загрязняющих веществ не превышает ПДК.

### 3.7 Возможное использование (рециклинг) шлама

«Использование в качестве пирокарбоната, какой выходит методом пиролиза. Осадок перерабатывается при высокой температуре в камере с недостатком воздуха. Пирокарбонат один из видов технологического газового углерода, который абсолютно не имеет вредоносных свойств. Используется в аграрном хозяйстве в качестве добавки для почвы, а вдобавок в резинотехническом или лакокрасочном производстве.

Применение осадка в качестве сложного компонента для производства сухого цемента. подобное использование возможно уменьшить себестоимость конечного продукта, при этом, абсолютно не ухудшая его эксплуатационных данных» [28].

«Применение осадка в дорожном хозяйстве – им посыпают дорожное полотно» [15].

Мероприятия по технике безопасности и пожарной безопасности.

В процессе эксплуатации нефтеочистных сооружений необходимо руководствоваться положениями и требованиями, изложенными в следующих документах:

Правила безопасности при эксплуатации водопроводно-канализационных сооружений, автозаправочные станции. Требования пожарной безопасности» НПБ 111-98\*.

«Охрана труда и техника безопасности в коммунальном хозяйстве» [10].

«Меры личной профилактики при работе с осадком и нефтепродуктами, содержащими тетраэтилсвинец, обезвреживание территории, тары, контейнеров, хранение спецодежды должны производиться в соответствии с «Санитарными правилами по хранению, перевозке и применению этилового бензина в автотранспорте». Во время проведения регламентных работ внутри камер рабочий обязан быть в страховочном поясе с надежно закрепленным фалом, другой конец которого должен находиться у второго рабочего, находящегося наверху.

Порядок контроля (частота забора воды, объема анализов и пр.) согласовывается с учреждениями санитарно-эпидемиологической службы, комитетом природных ресурсов» [19].

Вывод: На основании проведенного патентного поиска разработана технологическая схемы создания замкнутого водооборотного цикла. Проведен математический баланс разработанной технологической схемы. Предложено и математически обосновано конструктивные решение по модернизации конструкции отстойника - нефтеловушки. Проведены конструктивные расчёты аппаратной части: горизонтального тонкослойного отстойника-нефтеловушки, бака осветлителя, растворного бака и напорного фильтра. Дано обоснование по выбору зернистой загрузки. Проведен расчет реагентного хозяйства. Проведен расчет объема образования шлама.

## Заключение

В работе предложены технические мероприятия по повышению качества очистки локальных очистных сооружений для малых автопредприятий на примере автомойки с целью снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду. В результате проведенного исследования:

- Представлен анализ проблемы загрязнения окружающей среды сточными водами небольших автопредприятий. Определены технологические расходы воды на мойку автомобиля и количественный и качественный состав сточных во от автомоек, требования, предъявляемые к технологической воде, для создания, замкнутого водооборотного цикла.

- Разработана технологическая схема для создания локальной станции очистки для автомоечных предприятий.

- Предложены технические конструктивные решения по повышению качества очистки локальных очистных сооружений: - модернизация конструкции нефтеловушки - отстойника; напорный фильтр с зернистой загрузкой

- Проведены конструктивные расчёты аппаратной части: тонкослойного отстойника; напорного фильтра с зернистой загрузкой.

- Проведен расчет объема образования объемов шлама.

Представленные решения для создания местных очистных сооружений на примере автомоек по предложенной технологической схеме гарантируют последующие преимущества: это снижение нагрузки на городские очистные сооружения, что способствует повышению степени очистки сточных вод городского цикла; это экономию расхода пресной воды; это повышение эффективности работы системы водоснабжения для автотранспортных предприятий, направленное на повышение эффективности очистки сточных вод за счет использования материалов с высокой сорбционной способностью и инновационных конструкционных решений при одновременном упрощении обслуживания и сокращении экономических затрат.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Бахтина И.А., Проектирование и расчёт очистных сооружений водопровода: учебное пособие для студентов специальности 270112 «Водоснабжение и водоотведение», Москва 2016. С. 7-27.
2. Галкин Ю.А., Селицкий Г.А. Глубокая очистка нефтесодержащих сточных вод с применением отстойников-флокуляторов и нанодисперсных реагентов: журнал Водоснабжение и канализация 7-8/2016. С .54-65.
3. Малкин В.С. Устройство и эксплуатация технологического оборудования предприятий автомобильного транспорта: электронное учеб.пособие/ В.С.Малкин . –Тольятти: Изд-во ТГУ, 2016. С. 25-43.
4. Методическое пособие разработано авторским коллективом специалистов НИИСФ РААСН под руководством Д.Б. Фрога. Классификатор тонкослойных модулей для наружных сетей водоснабжения, Москва 2016. С. 25-38.
5. Патент РФ 2010008 МПК C02F1/28 /Способ очистки сточных вод от нефтепродуктов. Оpubл. 30.03.2018. Автор(ы): Алексеев М.И., Светашова Е.С., Панов С.Н. [Электронный ресурс] URL: <https://patents.google.com/patent/RU2010008C1/ru?q=%D0%9F%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%82+2010008+> (дата обращения 13.05.2020).
6. Патент РФ № 170906 МПК B04C 5/00 Устройство для очистки воды от загрязнений. Оpubл. 15.05.2017. Автор(ы): Малкин В.С. [Электронный ресурс] URL: <https://patents.google.com/patent/RU170906U1/ru?q=%D0%9F%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%82+170906> (дата обращения 13.05.2020).
7. Патент РФ 2712571, МПК C02F 9/02 Система оборотного водоснабжения для автотранспортных предприятий. Оpubл. 29.01.2020. Автор(ы): Москвичева Е.В, Радченко О.П., Ключков Д.П. [Электронный ресурс] URL: <https://patents.google.com/patent/RU2712571C1/ru?q=%D0%>

9F%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%82+%D0%A0%D0%A4+2712571 (дата обращения 13.05.2020).

8. Патент РФ 2523802, МПК C02F 9/02 (2006.01) Система оборотного водоснабжения для мойки автомашин. Оpubл. 27.07.2020. Автор(ы): Кочетов О. С., Стареева М. О., Стареева М. М. [Электронный ресурс] URL: <https://patents.google.com/patent/RU2523802C1/ru?q=%D0%9F%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%82+%D0%A0%D0%A4+2523802> (дата обращения 13.05.2020).

9. Патент РФ 2642799 Способ получения сорбента для очистки твердых поверхностей и воды от нефти и жидких нефтепродуктов. Оpubл. 26.01.2018. Автор(ы): Малькова В. Н. [Электронный ресурс] URL: <https://patents.google.com/patent/RU2642799C2/ru?q=%D0%9F%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%82+%D0%A0%D0%A4+2642799> (дата обращения 13.05.2020).

10. Патент РФ 180115 Напорный фильтр с зернистой загрузкой. Оpubл. 04.06.2018. Автор(ы): Малкин В. С., Викарчук А. А., Картавцева Е. Ю., Соснин И. М. [Электронный ресурс] URL: <https://patents.google.com/patent/RU180115U1/ru?q=%D0%9F%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%82+%D0%A0%D0%A4+180115> (дата обращения 13.05.2020).

11. Патент РФ 180012 Устройство для оборотного водоснабжения автомобильных моек. Оpubл. 30.05.2018. Автор(ы): Гребенщиков Н. Р., Фридкин А. М., Пименов А. В., Иванов Е. Ю., Петрова Ю. В., Гефнер Ю. А. [Электронный ресурс] URL: <https://patents.google.com/patent/RU180012U1/ru?q=%D0%9F%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%82+%D0%A0%D0%A4+180012> (дата обращения 13.05.2020).

13. Сергеев В.В., Папурин Н.М. Новые технологии очистки оборотных вод автотранспортных моек журнал Экология производства №9,2016. С.60-62.

14. СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения».

15. Шаламаев А.М., Елисеев И.В. Использование дождевой воды в системах технического водоснабжения предприятий по обслуживанию автомобилей // Сборник докладов XXI Международной научно-практической конференции Водные ресурсы - основа устойчивого развития поселений Сибири и Арктики в 21 веке Тюмень, 22 марта 2019г.- Изд-во Тюменский индустриальный университет (Тюмень),2019. С. 285-289.

16. Фомин А. А. Обработка сточных вод для повторного использования / А. А. Фомин, О. М. Ковалева. – Москва: НПК Медиана – Фильтр, 2016. С. 55-57.

17. Антрацит [Электронный ресурс] URL: <http://www.promglobal.ru/himicheskaja-produkcija/promyshlennaja--fil'trant.html> (дата обращения: 12.05.2021).

18. Букатенко Н. А., Кузьменко Е. А., Лисогор Е. С. Состав сточных вод после автомойки [Электронный ресурс] URL: <http://www.kpi.kharkov.ua/archive/microcad/2014/S18/p252-p252.pdf> (дата обращения: 02.12.2020).

19. Гогина Е.С., Саломеев В.П., Побегайло Ю.П. Решение проблемы очистки сточных вод от автомоек и транспортных предприятий вестник МГСУ 12/2017 С. 166-176. [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reshenie-problemy-ochistki-stochnyh-vod-ot-avtomoe-k-i-transportnyh-predpriyatij-1/viewer> (дата обращения: 21.03.2020).

20. Гудков А.Г. Механическая очистка сточных вод: учеб. пособие / А.Г. Гудков. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. 188 с. - ISBN 978-5-9729-0311-5. [Электронный ресурс] URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/1053347> (дата обращения: 14.05.2020).

21. Лобода Виктория Источник: АВТОСТАТ 22 июля 2019. [Электронный ресурс] URL: <https://www.autostat.ru/news/40146/> (дата обращения: 21.03.2020).

22. Обуздина, М. В. Очистка сточных вод: процессы очистки сточных вод от нефтепродуктов с использованием модифицированных цеолитов:

монография / М. В. Обуздина, Е. А. Руш. - Германия: LAP LAMBERT Acad. Publ., 2016. 212 с. - ISBN 978-3-659-49724-7. [Электронный ресурс] URL: <https://new.znaniium.com/catalog/product/1070256> (дата обращения: 06.04.2020).

23. Промышленный адсорбент ГЛИН – фильтрующий материал для комплексной очистки воды [Электронный ресурс] URL: <http://kvantmineral.com/filtruyushhij-material> (дата обращения: 11.04.2020).

24. Рекомендации по устройству пунктов мойки (очистки) колес автотранспорта на строительной площадке. [Электронный ресурс] URL: [https://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/norma/529261/#i156782](https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/529261/#i156782) (дата обращения: 12.01.2020).

25. Сакулин А. С. Комплексные технологические решения очистки нефтесодержащих стоков // Сборник докладов седьмой конференции «Вода в промышленности - 2016». [Электронный ресурс] URL: [http://www.intecheco.ru/doc/sb\\_voda2016.pdf](http://www.intecheco.ru/doc/sb_voda2016.pdf) (дата обращения: 02.12.2020).

26. Сибаров Д. А., Катализ, каталитические процессы и реакторы: учебное пособие / Д. А. Сибаров, Д. А. Смирнова. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2018. 200 с. ISBN 978-5-8114-2158-9. Лань: электронно-библиотечная система. [Электронный ресурс] URL: <https://e.lanbook.com/book/102250> (дата обращения: 12.04.2020).

27. Тонкослойный отстойник для очистки сточных вод. [Электронный ресурс] URL: [http://ecopoliedr.ru/?page\\_id=15](http://ecopoliedr.ru/?page_id=15) (дата обращения: 12.01.2020).

28. Jimenez S, Mico M., Arnaldos M. , Medina F. , Contreras S., State of the art of produced water treatment State of the art of produced water treatment//Chemosphere,2018 Volume 192,February 2018, pp 186-208.

29. Okoh I., Triclosan in water, implications for human and environmental health / Okoh I. // Environ Health Perspect, 2016, 116:1203–1210.

30. Rödel S., Günthert F.W., Brüggemann T., Investigating the impacts of extraneous water on wastewater treatment plants, 2017 Feb;75(3-4):847-855.

31. Sadegh. H., The role of nanomaterials as effective adsorbents and their applications in wastewater treatment / Sadegh H. // Journal of Nanostructure in Chemistr, March 2017, Volume 7, Issue 1, pp 1–14.

32. Yalcinkaya F., Boyraz E., Maryska J., Kucerova K., A Review on Membrane Technology and Chemical Surface Modification for the Oily Wastewater Treatment, 2020 Jan 20;13(2):493.

## Приложение А

### Расчет загрязняющих веществ на автомойке

#### 1. Хлориды (ПНД Ф 14.1:2:3.96-97)

##### 1.1 Принцип метода

Титриметрический метод определения массовой концентрации хлоридов основан на образовании труднорастворимого осадка хлорида серебра при прибавлении раствора нитрата серебра к анализируемой воде. После полного осаждения хлоридов избыток ионов серебра реагирует с индикатором – хроматом калия – с образованием красновато-оранжевого осадка хромата серебра. Титрование проводят в нейтральной или слабощелочной среде (рН 7 – 10), поскольку в кислой среде не образуется хромат серебра, а в сильнощелочной возможно образование оксида серебра  $Ag_2O$ .

##### 1.2 Предварительная оценка содержания хлоридов в воде

«Провели качественную оценку содержания хлоридов в анализируемой пробе. Добавили 3 капли 10% раствора  $AgNO_3$  и перемешали. О содержании хлоридов судят по интенсивности помутнения пробы, в таблице» [3] А.1.1 представлена ориентировочная концентрация хлоридов по интенсивности помутнения воды.

Таблица А.1.1 – Качественная реакция хлоридов пробе воды

Характер помутнения пробы	Ориентировочная концентрация хлоридов, мг/дм <sup>3</sup>
Слабая муть	5-10
Сильная муть	10-50
Плавающие хлопья	50-150
Оседающие хлопья	100-150
Белый объемистый садок	250-1000 и более

## Продолжение приложения А

В нашем случае наблюдалась слабая муть что соответствует концентрации 5-10 мг/дм<sup>3</sup>. По результатам этой оценки отобрали аликвоту 100 см<sup>3</sup>.

### 1.3 Титрование

В коническую колбу вместимостью 250 см<sup>3</sup> отобрали пипеткой 100 см<sup>3</sup> анализируемой воды. Довели пробу до рН 6-10 по каплям добавляя азотную кислоту 0,1 моль/дм<sup>3</sup>. Добавили 1 см<sup>3</sup> раствора хромата калия 10%, и при непрерывном перемешивании медленно титруем из бюретки рабочим раствором нитрата серебра.

При титровании вначале появляется белый осадок хлорида серебра. По мере приближения к концу титрования возникает оранжевая окраска, которая должна не исчезнуть при перемешивании.

То же самое проделываем и с холостой пробой. Результаты титрования приведены в таблице А.1.2.

Таблица А.1.2 – Результаты титрования

Проба	V <sub>1</sub> , см <sup>3</sup>
Холостая	0,4
Первая	3,6
Вторая	3,6
Третья	3,5

### 1.4 Обработка результатов измерений

Массовую концентрацию хлоридов в анализируемой пробе воды находят по формуле А.1.1:

$$X = \frac{35,45 \cdot (V - V_{\text{хол}}) \cdot C_{\text{Ag}} \cdot 1000}{V_1}, \quad (\text{А.1.1})$$

где  $X$  – массовая концентрация хлоридов в воде, мг/дм<sup>3</sup>;

## Продолжение приложения А

$V$  – объем раствора нитрата серебра, израсходованного на титрование холостой пробы, см<sup>3</sup>;

$V_{\text{хол}}$  – объем раствора нитрата серебра, израсходованного на титрование холостой пробы, см<sup>3</sup>;

$C_{Ag}$  – концентрация раствора нитрата серебра, моль/дм<sup>3</sup>;

$V_1$  – объем пробы воды, взятой для определения, см<sup>3</sup>;

35,34 – молярная масса Cl<sup>-</sup>, г/моль.

Подставляем полученные значения в формулу А.1.1:

$$X = \frac{35,45 \cdot (3,6 - 0,4) \cdot 0,05 \cdot 1000}{100} = 25,45 \text{ мг/л}$$

### 1.5 Оформление результатов измерений

Результат измерений, может быть представлен по формуле А.1.2:

$$(X_{\text{ср}} \pm \Delta) \text{ мг/дм}^3, P = 0,95, \quad (\text{А.1.2})$$

где  $\Delta$  – границы характеристики погрешности результатов измерений для данной массовой концентрации хлоридов.

Значение  $\Delta$  рассчитывают по формуле А.1.3:

$$\Delta = 0,01 \cdot \delta \cdot X_{\text{ср}} \quad (\text{А.1.3})$$

Значение  $\delta$  приведено в таблице А.1.3.

## Продолжение приложения А

Таблица А.1.3 – Диапазон измерений, значения показателей точности

Диапазон измерений массовой концентрации хлоридов, мг/дм <sup>3</sup>	Показатель точности (границы относительной погрешности при вероятности Р=0,95), ±δ, %
От 10,0 до 25,0 включительно	16
Свыше 25,0 до 50,0 включительно	11
Свыше 50,0 до 5000 включительно	9

Подставляем данные в формулу А.1.3:

$$\Delta = 0,01 \cdot 11 \cdot 25,45 = 2,8$$

Запишем результат измерений по формуле А.1.2:

$$(25,45 \pm 2,8) \text{ мг/дм}^3$$

2. Медь (ПНД Ф 14.1:2.48-96)

2.1 Принцип метода

Фотометрический метод определения массовой концентрации ионов меди основан на взаимодействии «диэтилдитиокарбамата свинца в хлороформе с ионами меди в кислой среде (рН=1,0-1,5) с образованием диэтилдитиокарбамата меди, окрашенного в желто-коричневый цвет, с максимумом светопоглощения при  $\lambda=560$  нм» [5].

2.2 Построение градуировочного графика

Результаты измерений оптической плотности от концентрации градуировочных растворов представлены в таблице А.2.1.

Таблица А.2.1 – Результаты измерений оптической плотности от концентрации градуировочных растворов

Концентрация С, мг/дм <sup>3</sup>	Оптическая плотность А
0	0
0,2	0,1
0,4	0,347
0,6	0,583

## Продолжение приложения А

Градуировочный график представлен на рисунке А.2.1.

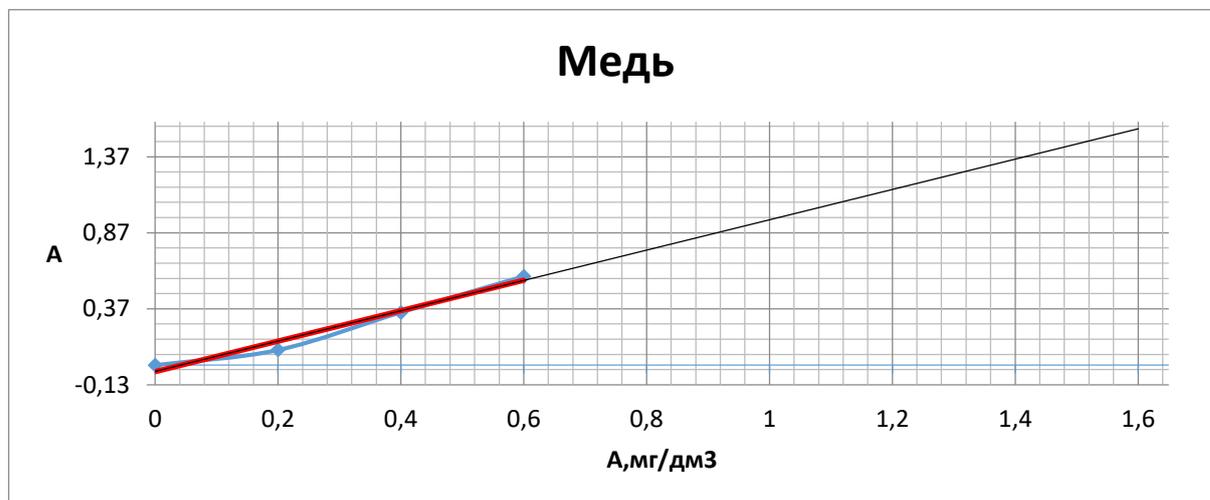


Рисунок А.2.1 – Градуировочный график ионов меди

### 2.3 Выполнение измерений

К объему 100 см<sup>3</sup> «анализируемой воды прилили 2 см<sup>3</sup> концентрированной серной кислоты, выпарили до появления белого дыма» [4] серной кислоты. Раствор стал прозрачным и не окрашенным. «Комплексные цианиды разрушаем выпариванием после добавления к ней 0,5 см<sup>3</sup> разбавленной (1:1) серной кислоты и 5 см<sup>3</sup> концентрированной азотной кислоты. К остатку после выпаривания добавляем 1 см<sup>3</sup> концентрированной соляной кислоты и вновь выпариваем досуха. Полученный» [19] осадок растворяем в дистиллированной воде. Затем фильтруем через бумажный фильтр. В делительную воронку вместимостью 200 см<sup>3</sup> поместили анализируемый раствор доведенный примерно «до 100 см<sup>3</sup>. Приливаем в делительную воронку 5 капель разбавленной (1:1) соляной кислоты и 4 см<sup>3</sup> раствора диэтилдитиокарбамата свинца в тетрахлориде углерода. Смесь» [10] встряхивали в течении 2 минут. Оставляем воронку для разделения слоев органического слоя. После чего сливаем органический слой в кювету и измеряем оптическую плотность по отношению к тетрахлорид углероду.

## Продолжение приложения А

Результат измерений «оптической плотности в анализируемой пробе  $A=0,092$ » [10].

«Определили по градуировочному графику концентрацию содержания ионов меди в анализируемой воде  $A=0,14$  мг/дм<sup>3</sup>.

### 2.4 Обработка результатов измерений

Содержание меди (мг/дм<sup>3</sup>) рассчитывают» [10] по формуле А.2.1:

$$X = \frac{A \cdot 100}{V}, \quad (\text{А.2.1})$$

где  $A$  – концентрация меди, найденная по градуировочному графику, мг/дм<sup>3</sup>;

100 – объем, до которого была разбавлена проба, см<sup>3</sup>;

$V$  – объем, взятый для анализа, см<sup>3</sup>.

Подставляем данные в формулу 2.1:

$$X = \frac{0,14 \cdot 100}{70} = 0,2 \text{ мг/дм}^3$$

### 2.5 Оформление результатов анализа

Результат измерений, может быть представлен по формуле А.2.2:

$$(X_{\text{ср}} \pm \Delta) \text{ мг/дм}^3, P = 0,95, \quad (\text{А.2.2})$$

где  $\Delta$  – показатель точности методики.

Значение  $\Delta$  рассчитывают по формуле А.2.3:

$$\Delta = 0,01 \cdot \delta \cdot X_{\text{ср}} \quad (\text{А.2.3})$$

Значение  $\delta$  приведено в таблице А.2.2.

## Продолжение приложения А

Таблица А.2.2 – Диапазон измерений, значения показателей точности

Диапазон измерений, мг/дм <sup>3</sup>	Показатель точности (границы относительной погрешности при вероятности Р=0,95), ±δ, %
От 0,002 до 0,005 включительно	55
Свыше 0,005 до 0,01 включительно	31
Свыше 0,01 до 0,6 включительно	20

Подставляем данные в формулу А.2.3:

$$\Delta = 0,01 \cdot 20 \cdot 0,2 = 0,04$$

Запишем результат измерений по формуле А.2.2:

$$(0,2 \pm 0,1) \text{ мг/дм}^3$$

### 3. Щелочность (ПНД Ф 14.1:2:3:4.245-2007)

#### 3.1 Принцип метода

«Определение щелочности основано на титровании пробы раствором сильной кислоты.

3.2 Определение поправочного коэффициента для растворов соляной кислоты

Отобрали 20 см<sup>3</sup> раствора карбоната натрия, разбавили до 100 см<sup>3</sup> дистиллированной водой и титруем раствором соляной кислоты с концентрацией 0,1 н» [10].

Результаты титрования записаны в таблице А.3.1.

## Продолжение приложения А

Таблица А.3.1 – Результаты титрования для определения поправочного коэффициента

Проба	Объем HCl, см <sup>3</sup>
Первая	21,0
Вторая	20,9

«Коэффициент поправки для раствора соляной кислоты находят по формуле А.3.1» [10]:

$$K = \frac{V_6}{V_k}, \quad (\text{А.3.1})$$

где  $K$  – коэффициент поправки раствора соляной кислоты;

$V_6$  – объем раствора карбоната натрия, взятый для титрования, см<sup>3</sup>;

$V_k$  – объем раствор соляной кислоты, израсходованный на титрование, см<sup>3</sup>.

Подставляем данные в формулу А.3.1:

$$K = \frac{20}{21} = 0,952$$

### 3.3 Выполнение измерений

Предварительно определили, что вода имеет свободную щелочность по индикаторной бумаге(универсальная) (рН= 6).

Анализируемая вода имела мутность. Удалили мутность с помощью фильтрования через бумажный фильтр.

«Определение общей щелочности

Отмеряем 100 см<sup>3</sup> пробы, прибавили три капли смешанного индикатора. Затем титруем 0,1 н раствором соляной кислоты до момента, когда зелёная окраска смешанного индикаторы перейдет в грязно-серую» [10].

Получили объем соляной кислоты ушедшей на титрование 2,4 и 2,5 см<sup>3</sup>.

### 3.4 Обработка результатов измерений

## Продолжение приложения А

«Расчет общей щелочности, ммоль/дм<sup>3</sup>, проводят по формуле А.3.2»

[10]:

$$M = \frac{V_1 \cdot N \cdot K \cdot 1000}{V_{\text{пр}}}, \quad (\text{А.3.2})$$

где  $V_1$  – объем раствора соляной кислоты, пошедшей на титрование по смешенному индикатору;

$N$  – концентрация раствора соляной кислоты, 0,1 ммоль/дм<sup>3</sup>;

$K$  – коэффициент поправки к концентрации раствора соляной кислоты;

$V_{\text{пр}}$  – объем пробы взятой для анализа, см<sup>3</sup>.

Подставим данные в формулу А.3.2:

$$M = \frac{2,5 \cdot 0,1 \cdot 0,945 \cdot 1000}{100} = 2,4 \text{ ммоль/дм}^3$$

### 3.5 Оформление результатов анализа

Результат измерений, может быть представлен по формуле А.3.3:

$$(M_{\text{ср}} \pm U) \text{ мг/дм}^3, P = 0,95, \quad (\text{А.3.3})$$

где  $U$  – показатель точности методики.

Значение  $U$  рассчитывают по формуле А.3.4:

$$U = 0,01 \cdot U_{\text{отн.}} \cdot M_{\text{ср}} \quad (\text{А.3.4})$$

Значение  $U$  приведено в таблице А.3.2.

## Продолжение приложения А

Таблица А.3.2 – Диапазон измерений, значения показателей точности

Диапазон измерений, ммоль/дм <sup>3</sup>	Расширенная относительная неопределенность, U при коэффициенте охвата k=2, %
От 0,005 до 0,1 включительно	28
Свыше 0,1 до 1 включительно	24
Свыше 1 до 10 включительно	19

Подставляем данные в формулу А.3.4:

$$U = 0,01 \cdot 19 \cdot 2,4 = 0,5$$

Запишем результат измерений по формуле А.3.3:

$$(2,4 \pm 0,5) \text{ ммоль/дм}^3$$

#### 4. рН воды (ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97)

##### 4.1 Принцип метода

Метод определения величины рН проб вод основан на измерении ЭДС электродной системы, состоящей из стеклянного электрода, потенциал которого определяется активностью водородных ионов, и вспомогательного электрода сравнения с известным потенциалом.

##### 4.2 Выполнение анализа

«Измерения рН с использованием иономеров (рН-метров) проводили согласно инструкции к прибору. Анализируемый раствор 30 см<sup>3</sup> помещаем в химический стакан вместимостью 50 см<sup>3</sup>.

Электроды промываем дистиллированной водой, обмываем исследуемой водой, погружаем в стакан с анализируемым раствором» [10].

Результаты измерений показали, что рН = 8,8 и 8,9.

##### 4.3 Обработка результатов измерений

«За результат анализа  $X_{\text{cp}}$  ед. рН, применяют среднее арифметическое значение результатов двух параллельных определений по формуле А.4.1» [10]:

## Продолжение приложения А

$$X_{\text{cp}} = \frac{X_1 + X_2}{2} \quad (\text{A.4.1})$$

Подставляем данные в формулу А.4.1:

$$X_{\text{cp}} = \frac{8,8 + 8,9}{2} = 8,9$$

### 4.3 Оформление результатов анализа

Результат измерений, может быть представлен по формуле А.4.2:

$$(X_{\text{cp}} \pm \Delta) \text{ед. рН}, P = 0,95, \quad (\text{A.4.2})$$

где  $\Delta$  – показатель точности методики.

Значение  $\Delta$  приведено в таблице А.4.1.

Таблица А.4.1– Диапазон измерений, значения показателей точности

Диапазон измерений, ед, рН	Границы погрешности при $P=0,95, \pm\Delta$
От 1 до 14,0 включительно	0,2

Запишем результат измерений по формуле А.4.2:

$$(8,9 \pm 0,2) \text{ед. рН}$$

## 5. 2. Сульфат-ион (ПНД Ф 14.1:2.159-2000)

### 5.1 Принцип метода

Метод измерения массовой концентрации сульфат-иона основана образовании стабилизированной суспензии сульфата бария в солянокислой среде с последующим измерением светорассеяния в направлении падающего луча (в единицах оптической плотности), при  $\lambda=650$  нм.

### 5.2 Построение градуировочного графика

Результаты измерений оптической плотности от концентрации градуировочных растворов представлены в таблице А.5.1.

## Продолжение приложения А

Таблица А.5.1 – Результаты измерений оптической плотности от концентрации градуировочных растворов

Концентрация С, мг/дм <sup>3</sup>	Оптическая плотность А
0	0
0,2	0,1
0,4	0,347
0,6	0,583

Градуировочный график представлен на рисунке А.5.1.

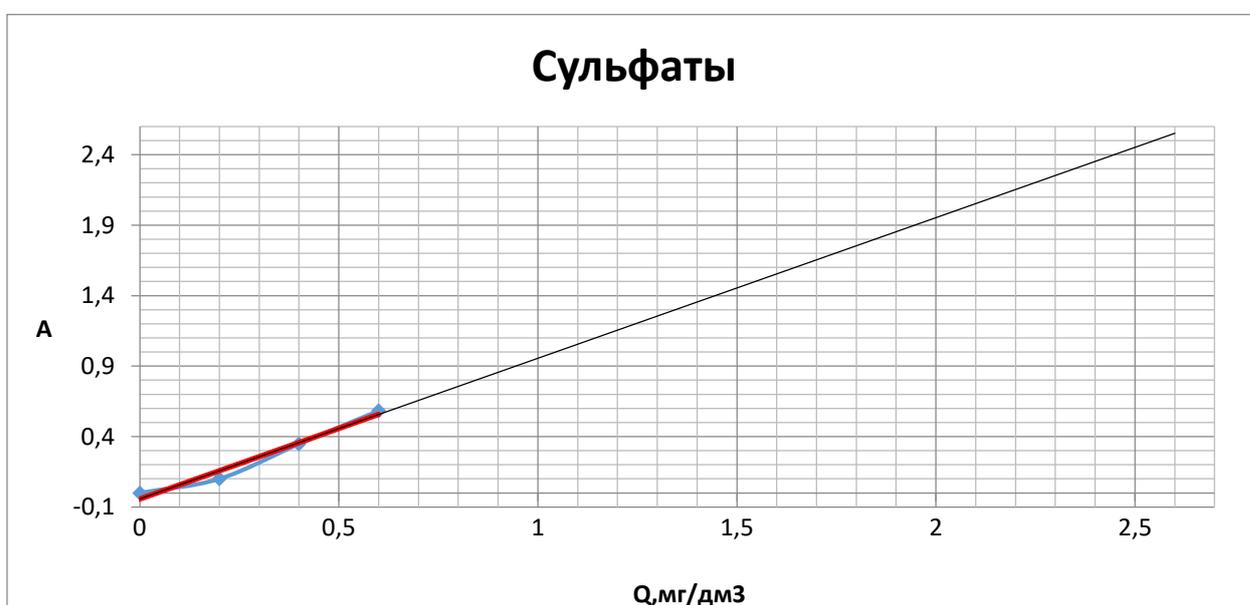


Рисунок А.5.1 – Градуировочный график сульфат-ионов

### 5.3 Выполнение измерений

Фильтруем анализируемую воду через бумажный фильтр, отбрасывая первые порции фильтрата.

«Затем по 20 см<sup>3</sup> осадительной смеси помещаем в три мерные колбы на 50 см<sup>3</sup>, затем по каплям вносим в две колбы анализируемый раствор по 10 см<sup>3</sup>, доводим до метки дистиллированной водой, перемешиваем в течении 30

## Продолжение приложения А

секунд и через 10-15 минут измеряем оптическую плотность, относительно раствора, приготовленного без введения пробы.

Результат измерений оптической плотности в анализируемой пробе»  
[10]  $A_1 = 0,136$  ,  $A_2 = 0,138$ .

Определили по градуировочному графику концентрацию содержания сульфат-ионов в анализируемой воде  $Q_1 = 0,2$ ;  $Q_2 = 0,2$ ;  $Q_{\text{ср}} = 0,2$  мг/дм<sup>3</sup>.

### 5.4 Обработка результатов измерений

Содержание сульфат-ионов (мг/дм<sup>3</sup>) рассчитывают по формуле А.5.1:

$$X = 1000 \cdot \frac{Q}{V}, \quad (\text{А.5.1})$$

где  $X$  – массовая концентрация сульфат-ионов в пробе, мг/дм<sup>3</sup>;

$Q$  – содержание сульфат ионов в аликвотной порции пробы, найденное по градуировочному графику, мг;

$V$  – объем, аликвотной порции пробы, см<sup>3</sup>.

Подставляем данные в формулу А.5.1:

$$X = 1000 \cdot \frac{0,2}{10} = 20 \text{ мг/дм}^3$$

### 5.5 Оформление результатов анализа

Результат измерений, может быть представлен по формуле А.5.2:

$$(X_{\text{ср}} \pm \Delta) \text{ мг/дм}^3, P = 0,95, \quad (\text{А.5.2})$$

где  $\Delta$  – показатель точности методики.

Значение  $\Delta$  рассчитывают по формуле А.5.3:

$$\Delta = 0,01 \cdot \delta \cdot X_{\text{ср}} \quad (\text{А.5.3})$$

## Продолжение приложения А

Значение  $\delta$  приведено в таблице А.5.2.

Таблица А.5.2 – Диапазон измерений, значения показателей точности

Диапазон измерений, мг/дм <sup>3</sup>	Показатель точности (границы относительной погрешности при вероятности Р=0,95), $\pm\delta$ ,%
От 10 до 50 включительно	20
Свыше 50 до 1000 включительно	15

Подставляем данные в формулу А.5.3:

$$\Delta = 0,01 \cdot 20 \cdot 20 = 4$$

Запишем результат измерений по формуле А.5.2:

$$(20 \pm 4) \text{ мг/дм}^3$$

### 6. Цинк (ПНД Ф 14.1:2:4.60-96)

#### 6.1 Принцип метода

«Фотометрический метод определения массовой концентрации ионов цинка основан на их взаимодействии с дифенилтиокарбазоном (дитизоном) в четырёххлористом углероде, в результате которого образуется окрашенный в красный цвет дитизонат цинка. Оптическую плотность определяют при  $\lambda=535$  нм.

6.2 Построение градуировочного графика. Результаты измерений оптической плотности от концентрации градуировочных растворов представлены в таблице А.6.1.

Таблица А.6.1 – Результаты измерений оптической плотности от концентрации градуировочных растворов» [10]

Концентрация а, мг/дм <sup>3</sup>	Оптическая плотность А
0	0
0,1	0,493
0,2	0,534
0,4	0,628
0,5	1,001

## Продолжение приложения А

Градуировочный график представлен на рисунке А.6.1.

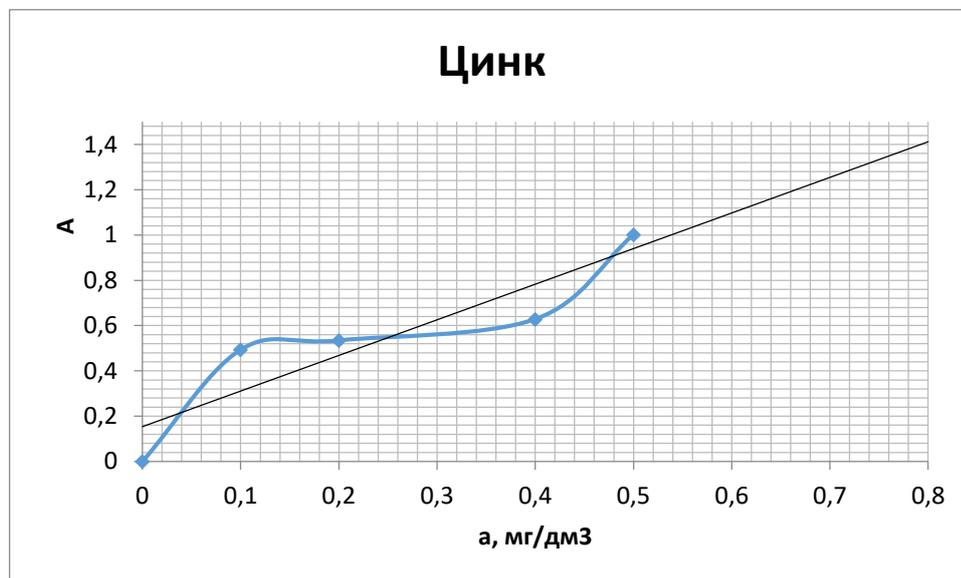


Рисунок А.6.1 – Градуировочный график ионов цинка

### 6.3 Выполнение измерений

Доводим рН пробы до 2-3.

«Переносим 10 см<sup>3</sup> анализируемой воды в делительную воронку вместимостью 125 см<sup>3</sup>, приливаем 5 см<sup>3</sup> ацетатного буферного раствора, 1 см<sup>3</sup> раствора тиосульфата натрия и перемешиваем. Приливаем 10 см<sup>3</sup> раствора дитизона и сильно взбалтываем 4 минуты, даем слоям разделиться» [10]. Нижний слой сливаем в кювету и измеряем оптическую плотность против холостого раствора.

Результат измерений оптической плотности в анализируемой пробе  $A_1 = 0,800$ ,  $A_2 = 0,801$ .

Определили по градуировочному графику концентрацию содержания сульфат-ионов в анализируемой воде  $a_1 = 0,4$ ;  $a_2 = 0,41$ ;  $a_{cp} = 0,41$  мг/дм<sup>3</sup>.

6.4 Обработка результатов измерений. Массовую концентрацию ионов цинка,  $X$  (мг/дм<sup>3</sup>) рассчитывают по формуле А.6.1:

## Продолжение приложения А

$$X = a \cdot K, \quad (\text{А.6.1})$$

где  $a$  – содержание ионов цинка, найденное по градуировочному графику, мг;

$K$  – коэффициент разбавления или концентрирования исходной пробы.

Подставляем данные в формулу А.6.1:

$$X = 0,41 \cdot 1,1 = 0,45 \text{ мг/дм}^3$$

### 6.5 Оформление результатов анализа

Результат измерений, может быть представлен по формуле А.6.2:

$$(X_{\text{ср}} \pm U) \text{ мг/дм}^3, P = 0,95, \quad (\text{А.6.2})$$

где  $U$  – показатель точности методики.

Значение  $U$  рассчитывают по формуле А.6.3:

$$U = 0,01 \cdot U_{\text{отн.}} \cdot M_{\text{ср}} \quad (\text{А.6.3})$$

Значение  $U$  приведено в таблице А.6.2.

Таблица А.6.2 – Диапазон измерений, значения показателей точности

Диапазон измерений, мг/дм <sup>3</sup>	Расширенная относительная неопределенность, $U$ при коэффициенте охвата $k=2$ , %
От 0,005 до 0,05 включительно	46
Свыше 0,05 до 0,5 включительно	34
Свыше 0,5 до 5 включительно	28

Подставляем данные в формулу А.6.3:

## Продолжение приложения А

$$U = 0,01 \cdot 34 \cdot 0,45 = 0,15$$

Запишем результат измерений по формуле А.6.2:

$$(0,45 \pm 0,15)\text{мг/дм}^3$$

### 7. Общее железо (ПНД Ф 14.1:2:4.50-96)

#### 7.1 Принцип метода

Фотометрический метод определения массовой концентрации общего железа основан на «образовании сульфосалициловой кислотой или ее натриевой солью с солями железа окрашенных комплексных соединений, причем в слабокислотной среде сульфосалициловая кислота реагирует только с солями железа (III) (красное окрашивание), а в слабощелочной среде – с солями железа (II) и железа (III) (желтое окрашивание). Оптическую плотность» [10] определяют при  $\lambda=425$  нм.

#### 7.2 Построение градуировочного графика

Результаты измерений оптической плотности от концентрации градуировочных растворов представлены в таблице А.7.1.

Таблица А.7.1 – Результаты измерений оптической плотности от концентрации градуировочных растворов

Концентрация С, мг/дм <sup>3</sup>	Оптическая плотность А
0	0
0,1	0,016
0,25	0,02
0,5	0,033
0,75	0,048
1	0,05

Градуировочный график представлен на рисунке А.7.1.

## Продолжение приложения А

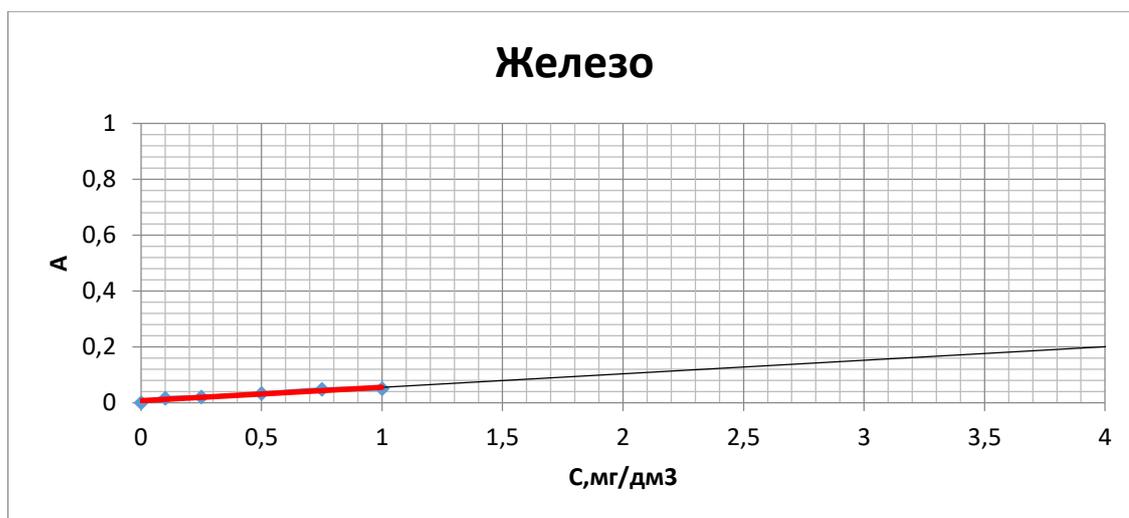


Рисунок А.7.1 – Градуировочный график общего железа

### 7.3 Выполнение измерений

«К 100 см<sup>3</sup> добавляем 0,5 см<sup>3</sup> концентрированной азотной кислоте и упаривали до 1/3 объема. Полученный раствор фильтруем через бумажный фильтр в мерную колбу на 100 см<sup>3</sup>, прилили 2,0 см<sup>3</sup> аммония хлористого, 2,0 см<sup>3</sup> сульфосалициловой кислоты, 2,0 см<sup>3</sup> аммиака. Доводим до метки дистиллированной водой, тщательно перемешиваем и измеряем оптическую плотность. Результат измерений оптической плотности в анализируемой пробе» [10]  $A_1 = 0,205$ ,  $A_2 = 0,207$ .

Определили по градуировочному графику концентрацию содержания сульфат-ионов в анализируемой воде  $Q_1 = 3,9$ ;  $Q_2 = 3,95$ ;  $Q_{cp} = 3,9$  мг/дм<sup>3</sup>.

### 7.4 Обработка результатов измерений

Массовую концентрацию железа,  $X$  (мг/дм<sup>3</sup>) рассчитывают по формуле А.7.1:

$$X = \frac{C \cdot 100}{V}, \quad (\text{А.7.1})$$

## Продолжение приложения А

где  $X$  – массовая концентрация железа в анализируемой пробе, мг/дм<sup>3</sup>;

$C$  – массовая концентрация железа, найденная по градуировочному графику, мг/дм<sup>3</sup>;

100 – объем до которого была разбавлена проба, см<sup>3</sup>;

$V$  – объем, взятый для измерений, см<sup>3</sup>.

Подставляем данные в формулу А.7.1:

$$X = \frac{3,9 \cdot 1}{100} = 0,039 \text{ мг/дм}^3$$

### 7.5 Оформление результатов анализа

Результат измерений, может быть представлен по формуле А.7.2:

$$(X_{\text{ср}} \pm U) \text{ мг/дм}^3, P = 0,95, \quad (\text{А.7.2})$$

где  $U$  – показатель точности методики.

Значение  $U$  рассчитывают по формуле А.7.3:

$$U = 0,01 \cdot U_{\text{отн.}} \cdot M_{\text{ср}} \quad (\text{А.7.3})$$

Значение  $U$  приведено в таблице А.7.2.

Таблица А.7.2 – Диапазон измерений, значения показателей точности

Диапазон измерений, мг/дм <sup>3</sup>	Расширенная относительная неопределенность, $U$ при коэффициенте охвата $k=2$ , %
От 0,05 до 0,5 включительно	24
Свыше 0,5 до 5 включительно	15
Свыше 5 до 10 включительно	10

Подставляем данные в формулу А.7.3:

## Продолжение приложения А

$$U = 0,01 \cdot 24 \cdot 0,039 = 0,279$$

Запишем результат измерений по формуле А.7.2:

$$(0,039 \pm 0,279)\text{мг/дм}^3$$

### 8. Аммоний (ПНД Ф 14.1:2:4.262-10)

#### 8.1 Принцип метода

Фотометрический метод определения массовой концентрации ионов аммония основан на взаимодействии «аммония с тетрамеркуратом калия в щелочной среде (реактив Несселера) с образованием коричневой, нерастворимой в воде соли основания Милона, переходящей в коллоидную форму желтого цвета при малых содержаниях ионов аммония при  $\lambda=425$  нм» [10].

#### 8.2 Построение градуировочного графика

Результаты измерений оптической плотности от концентрации градуировочных растворов представлены в таблице А.8.1.

Таблица А.8.1 – Результаты измерений оптической плотности от концентрации градуировочных растворов

Концентрация С, мг/дм <sup>3</sup>	Оптическая плотность А
0	0
0,05	0,008
0,1	0,009
0,2	0,016
0,4	0,021
0,5	0,062
0,6	0,15
1	0,226
2	0,415
4	0,522

Градуировочный график представлен на рисунке А.8.1.

## Продолжение приложения А

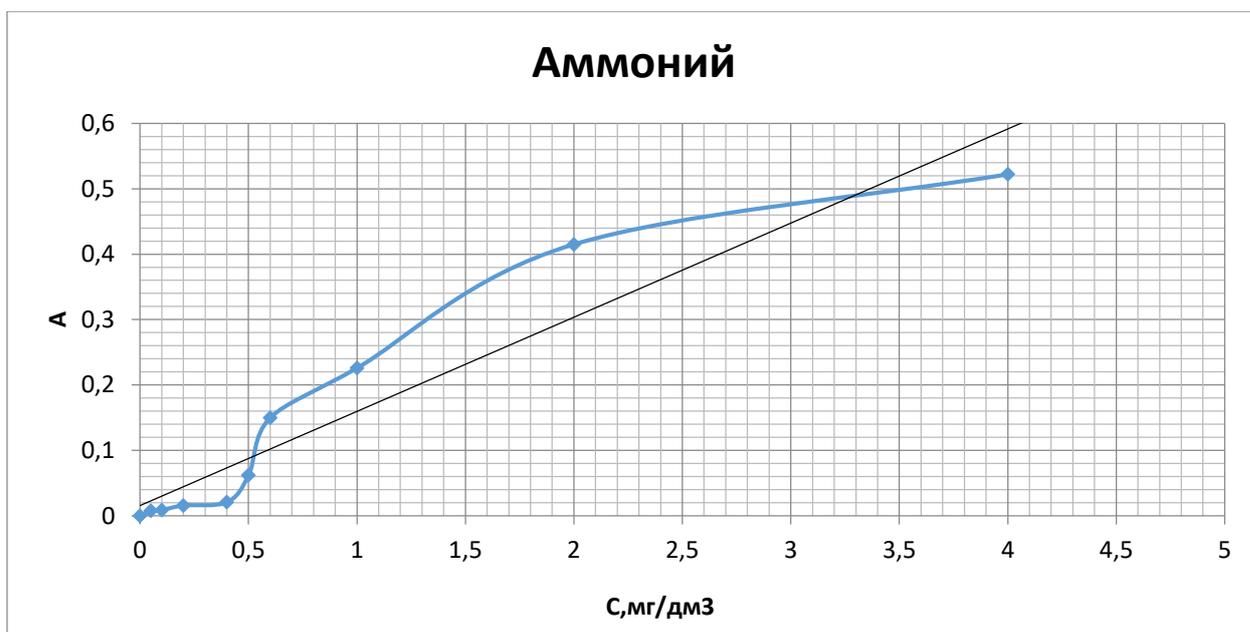


Рисунок А.8.1 – Градуировочный график ионов аммония

### 8.3 Выполнение измерений

К объему 10 см<sup>3</sup> анализируемой воды прибавили несколько кристалликов сегнетовой соли и 0,5 см<sup>3</sup> реактива Несселера. Желтое окрашивание не наблюдали, что говорит о отсутствии ионов аммония.

К 50 см<sup>3</sup> пробы прибавили 1-2 капли раствора сегнетовой соли и тщательно перемешали, добавили 1 см<sup>3</sup> реактива Несселера и снова перемешиваем. Через 10 минут измеряем оптическую плотность.

Результат измерений оптической плотности в анализируемой пробе А=0,441.

Определили по градуировочному графику концентрацию содержания ионов меди в анализируемой воде А=2,2 мг/дм<sup>3</sup>.

### 8.4 Обработка результатов измерений

Содержание ионов аммония (мг/дм<sup>3</sup>) рассчитывают по формуле А.8.1:

## Продолжение приложения А

$$X = \frac{C \cdot 50 \cdot n}{V}, \quad (\text{A.8.1})$$

где  $C$  – содержание ионов аммония, найденная по градуировочному графику, мг;

$V$  – объем пробы, взятый для анализа, см<sup>3</sup>;

$n$  – при прямом определении ионов аммония  $n=1$ .

Подставляем данные в формулу А.8.1:

$$X = \frac{2,2 \cdot 50 \cdot 1}{100} = 1,1 \text{ мг/дм}^3$$

### 8.5 Оформление результатов анализа

Результат измерений, может быть представлен по формуле А.8.2:

$$(X_{\text{ср}} \pm \Delta) \text{ мг/дм}^3, P = 0,95, \quad (\text{A.8.2})$$

где  $\Delta$  – показатель точности методики.

Значение  $\Delta$  рассчитывают по формуле А.8.3:

$$\Delta = 0,01 \cdot \delta \cdot X_{\text{ср}} \quad (\text{A.8.3})$$

Значение  $\delta$  приведено в таблице А.8.2.

Таблица А.8.2 – Диапазон измерений, значения показателей точности

Диапазон измерений, мг/дм <sup>3</sup>	Показатель точности (границы относительной погрешности при вероятности $P=0,95$ ), $\pm \delta, \%$
От 0,05 до 0,25 включительно	36
Свыше 0,25 до 2,5 включительно	30
Свыше 2,5 до 4 включительно	24

## Продолжение приложения А

Подставляем данные в формулу А.8.3:

$$\Delta = 0,01 \cdot 30 \cdot 1,1 = 0,33$$

Запишем результат измерений по формуле А.8.2:

$$(1,1 \pm 0,33) \text{ мг/дм}^3$$

### 9. Хром (ПНД Ф 14.1:2:4.52-96)

#### 9.1 Принцип метода

«Фотометрический метод определения массовой концентрации ионов хрома основан на реакции дифенилкарбазида в кислой среде с бихромат-ионами с образованием соединения фиолетового цвета, в котором хром содержится в восстановленной форме в виде хрома (III), а дифенилкарбазид окислен до дефенилкарбазида.

Оптическую плотность» [10] определяют при  $\lambda=540$  нм.

#### 9.2 Построение градуировочного графика

Результаты измерений оптической плотности от концентрации градуировочных растворов представлены в таблице А.9.1.

Таблица А.9.1 – Результаты измерений оптической плотности от концентрации градуировочных растворов

Концентрация С, мг/дм <sup>3</sup>	Оптическая плотность А
0	0
0,1	0,034
0,3	0,103
0,8	0,286

Градуировочный график представлен на рисунке А.9.1.

## Продолжение приложения А

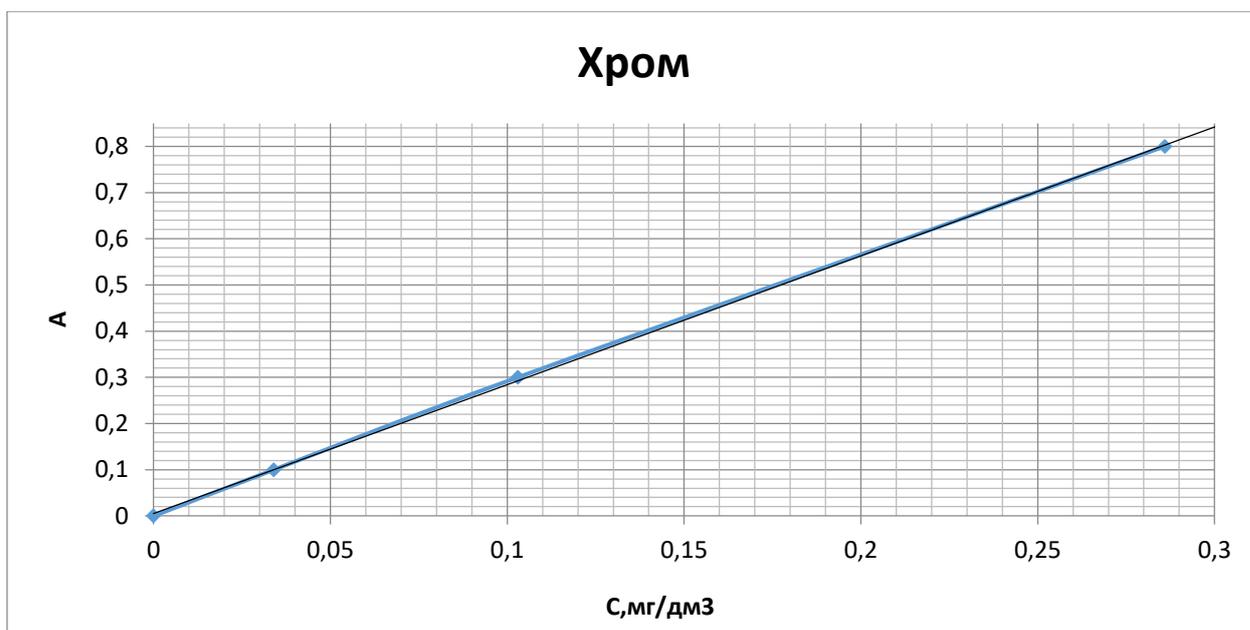


Рисунок А.9.1 – Градуировочный график ионов хрома

### 9.3 Выполнение измерений

Доводим рН нашей пробы до «4, отмеряем 100 см<sup>3</sup> прибавляем 0,3 см<sup>3</sup> раствора серной кислоты и 10 см<sup>3</sup> раствора персульфата аммония и кипятим 20-25 минут для окисления Cr<sup>+3</sup> до Cr<sup>+6</sup>.

Выпариваем примерно до 50 см<sup>3</sup>, охлаждаем и переносим в мерную колбу на 100 см<sup>3</sup>, и дальше приливаем 1 см<sup>3</sup> серной кислоты, 0,3 см<sup>3</sup> фосфорной кислоты, перемешиваем, затем вносим 2 см<sup>3</sup> раствора дифенилкарбазида, перемешиваем. Доводим до метки дистиллированной водой, через 10-15 минут измерили оптическую плотность по отношению к холостой пробе.

Результат измерений оптической плотности в анализируемой пробе  $A_1 = 0,155$ » [10].

Определили по градуировочному графику концентрацию содержания сульфат-ионов в анализируемой воде  $C = 0,43$  мг/дм<sup>3</sup>.

### 9.4 Обработка результатов измерений

## Продолжение приложения А

«Массовую концентрацию ионов хрома,  $X$  (мг/дм<sup>3</sup>) рассчитывают по формуле А.9.1» [10]:

$$X = \frac{C \cdot 100}{V}, \quad (\text{А.9.1})$$

где  $X$  – массовая концентрация ионов хрома в анализируемой пробе, мг/дм<sup>3</sup>;

$C$  – массовая концентрация хрома, найденная по градуировочному графику, мг/дм<sup>3</sup>;

100 – объем до которого была разбавлена проба, см<sup>3</sup>;

$V$  – объем, взятый для измерений, см<sup>3</sup>.

Подставляем данные в формулу А.9.1:

$$X = \frac{0,43 \cdot 100}{100} = 0,43 \text{ мг/дм}^3$$

### 9.5 Оформление результатов анализа

Результат измерений, может быть представлен по формуле А.9.2:

$$(X_{\text{ср}} \pm U) \text{ мг/дм}^3, P = 0,95, \quad (\text{А.9.2})$$

где  $U$  – показатель точности методики.

Значение  $U$  рассчитывают по формуле А.9.3:

$$U = 0,01 \cdot U_{\text{отн.}} \cdot M_{\text{ср}} \quad (\text{А.9.3})$$

Значение  $U$  приведено в таблице А.9.2.

## Продолжение приложения А

Таблица А.9.2 – Диапазон измерений, значения показателей точности

Диапазон измерений, мг/дм <sup>3</sup>	Расширенная относительная неопределенность, U при коэффициенте охвата k=2, %
От 0,01 до 0,10 включительно	28
Свыше 0,10 до 3,0 включительно	18

Подставляем данные в формулу А.9.3:

$$U = 0,01 \cdot 18 \cdot 0,43 = 0,08$$

Запишем результат измерений по формуле А.9.2:

$$(0,43 \pm 0,08) \text{ мг/дм}^3$$

10. Алюминий (ПНД Ф 14.1:2:4.166-2000)

10.1 Принцип метода

«Метод основан на способности иона алюминия образовывать с алюминоном комплексное соединение оранжево-красного цвета, которая фотометрируется при  $\lambda=525-540$  нм. Реакция осуществляется в слабокислом растворе при рН 4,5-4,65 в присутствии сульфата аммония в качестве стабилизатора окраски комплексного соединения» [10].

10.2 Построение градуировочного графика

Результаты измерений оптической плотности от концентрации градуировочных растворов представлены в таблице А.10.1

Таблица А.10.1 – Результаты измерений оптической плотности от концентрации градуировочных растворов

Концентрация С, мг/дм <sup>3</sup>	Оптическая плотность А
0	0,254
0,04	0,293
0,08	0,333
0,16	0,350
0,28	0,448
0,4	0,609
0,56	0,741

## Продолжение приложения А

Градуировочный график представлен на рисунке А.10.1.

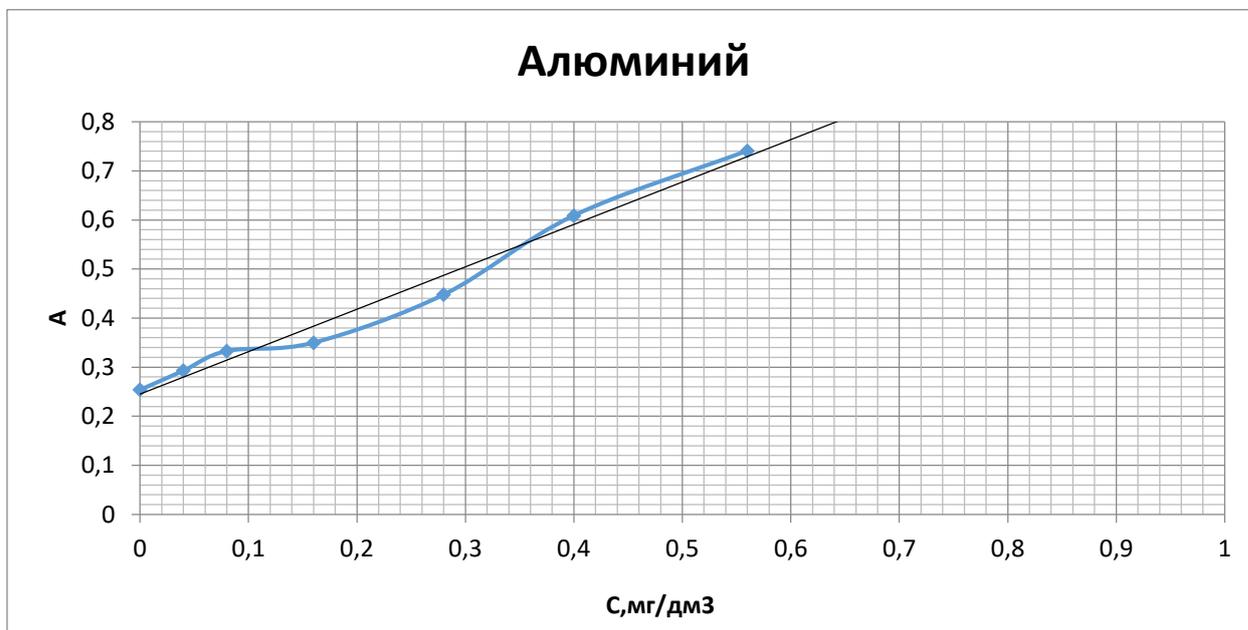


Рисунок А.10.1 – Градуировочный график ионов алюминия

10.3 Выполнение измерений. «В нейтрализуемый раствор добавляем 1 см<sup>3</sup> раствора сульфата аммония, 2,5 см<sup>3</sup> ацетатного буферного раствора, перемешиваем. Прилили 1 см<sup>3</sup> раствора аскорбиновой кислоты и 2 см<sup>3</sup> раствора алюминона. Через 25-30 минут раствор переносит в мерную колбу вместимостью 50 см<sup>3</sup>, доводим до метки дистиллированной водой. Перемешиваем и измеряем оптическую плотность по отношению к дистиллированной воде. Так же готовим холостую пробу. Оптическую плотность рабочей пробы получают, вычитая из замеренной оптической плотности пробы значение оптической плотности холостой пробы.

Результат измерений оптической плотности в анализируемой пробе» [30]  $A=0,501$ , в холостой  $A=0,254$ ,  $A_{\text{рабочей пробы}}=0,247$ .

Определили по градуировочному графику концентрацию содержания ионов меди в анализируемой воде  $A=0,3$  мг/дм<sup>3</sup>.

## Продолжение приложения А

### 10.4 Обработка результатов измерений

Содержание ионов алюминия (мг/дм<sup>3</sup>):

$$X = 0,3 \text{ мг/дм}^3$$

### 10.5 Оформление результатов анализа

Результат измерений, может быть представлен по формуле А.10.1:

$$(X_{\text{ср}} \pm \Delta) \text{ мг/дм}^3, P = 0,95, \quad (\text{А.10.1})$$

где  $\Delta$  – показатель точности методики.

Значение  $\Delta$  рассчитывают по формуле А.10.2:

$$\Delta = 0,01 \cdot \delta \cdot X_{\text{ср}} \quad (\text{А.10.2})$$

Значение  $\delta$  приведено в таблице А.10.2.

Таблица А.10.2 – Диапазон измерений, значения показателей точности

Диапазон измерений, мг/дм <sup>3</sup>	Показатель точности (границы относительной погрешности при вероятности $P=0,95$ ), $\pm \delta, \%$
От 0,04 до 0,56 включительно	24

Подставляем данные в формулу А.10.2:

$$\Delta = 0,01 \cdot 24 \cdot 0,3 = 0,07$$

Запишем результат измерений по формуле А.10.1:

$$(0,3 \pm 0,07) \text{ мг/дм}^3$$

## 11. Взвешенные вещества (ПНД Ф 14.1:2:4.254-2009)

### 11.1 Метод измерений

«Методика определения взвешенных веществ основана на выделении их из пробы путем фильтрования воды через предварительно взвешенный

## Продолжение приложения А

бумажный фильтр и определении веса осадка на фильтре, высушенного до постоянной массы при  $(105\pm 2)^\circ\text{C}$ » [10].

«Методика определения прокалённых взвешенных веществ основана на выделении их из пробы путем фильтрования воды через предварительно взвешенный бумажный фильтр, высушивании до постоянной массы при  $(105\pm 2)^\circ\text{C}$  и далее определении веса осадка на фильтре, прокаленного до постоянной массы в муфельной печи при  $(600\pm 15)^\circ\text{C}$ » [10].

### 11.2 Выполнение измерений

Перед проведением анализа пробы тщательно перемешиваем. Берем  $100\text{ см}^3$  пробы. Через бумажный фильтр пропускаем нашу пробу. Промываем фильтр с осадком трижды промываем дистиллированной водой порциями по  $10\text{ см}^3$ . «После чего сушим на воздухе 2-3 часа, затем в течении 4 часов сушим в сушильном шкафу. Повторяем процедуру сушки до тех пор, пока разница между двумя последними результатами взвешивания не будет превышать  $0,5\text{ мг}$ » [10].

«Взвешенный фильтр с взвешенными веществами помещают в подготовленный фарфоровый тигель, который устанавливаем в муфельную печь и прокаливаем в течении 1 часа. Повторяем процедуру до тех пор, пока разница между двумя последними результатами взвешивания не будет превышать  $0,5\text{ мг}$ » [10].

Масса сухого стакана и фильтра  $m_1 = 69,6458\text{ г}$

Масса стакана и фильтра после прокаливания  $m_2 = 109,2632\text{ г}$

Масса пустого тигля  $m_3 = 33,5786\text{ г}$

Масса тигля и фильтра после прокаливания  $m_4 = 60,4865\text{ г}$

### 11.3 Обработка результатов измерений

Содержание взвешенных веществ в анализируемой пробе воды рассчитывают по формуле А.11.1:

## Продолжение приложения А

$$X_1 = \frac{m_2 - m_1}{V} \cdot 1000, \quad (\text{A.11.1})$$

где  $X_1$  – содержание взвешенных вещества, мг/дм<sup>3</sup>;

$m_2$  – масса стакана и фильтра со взвешенными веществами, г;

$m_1$  – масса стакана и фильтра г;

$V$  – объем пробы воды, взятой для анализа, дм<sup>3</sup>.

Подставляем данные в формулу А.11.1:

$$X_1 = \frac{109,2632 - 69,6458}{100} \cdot 1000 = 396,2 \text{ мг/дм}^3$$

### 11.4 Оформление результатов

Результат измерений, может быть представлен по формуле А.11.2:

$$(X_{\text{ср}} \pm \Delta) \text{ мг/дм}^3, P = 0,95, \quad (\text{A.11.2})$$

где  $\Delta$  – показатель точности методики.

Значение  $\Delta$  рассчитывают по формуле А.11.3:

$$\Delta = 0,01 \cdot \delta \cdot X_{\text{ср}} \quad (\text{A.11.3})$$

Значение  $\delta$  приведено в таблице А.11.1.

Таблица А.11.1 – Диапазон измерений, значения показателей точности

Диапазон измерений, мг/дм <sup>3</sup>	Показатель точности (границы относительной погрешности при вероятности $P=0,95$ ), $\pm\delta, \%$
От 0,5 до 1,0 включительно	22
Свыше 1 до 10 включительно	18
Свыше 10 до 100 включительно	10
Свыше 100 до 5000 включительно	5

## Продолжение приложения А

Подставляем данные в формулу 11.3:

$$\Delta = 0,01 \cdot 10 \cdot 400 = 40$$

Запишем результат измерений по формуле 11.2:

$$(400 \pm 40) \text{ мг/дм}^3$$

### 12. АПАВ (ГОСТ 31857-2012)

#### 12.1 Принцип метода

Метод основан на образовании в щелочной среде ионных пар анионных поверхностно-активных веществ (АПАВ) с метиленовым синим, экстракция этих ионных пар хлороформом с последующей обработкой полученного экстракта кислотой для устранения мешающих факторов и изменении оптической плотности полученного экстракта при длине волны  $\lambda=650$  нм.

#### 12.2 Построение градуировочного графика

Результаты измерений оптической плотности от концентрации градуировочных растворов представлены в таблице А.12.1.

Таблица А.12.1 – Результаты измерений оптической плотности от концентрации градуировочных растворов

Концентрация С, мг/дм <sup>3</sup>	Оптическая плотность А
1	0,205
2	0,295
5	0,320
10	0,355
25	0,800

Градуировочный график представлен на рисунке А.12.1.

## Продолжение приложения А

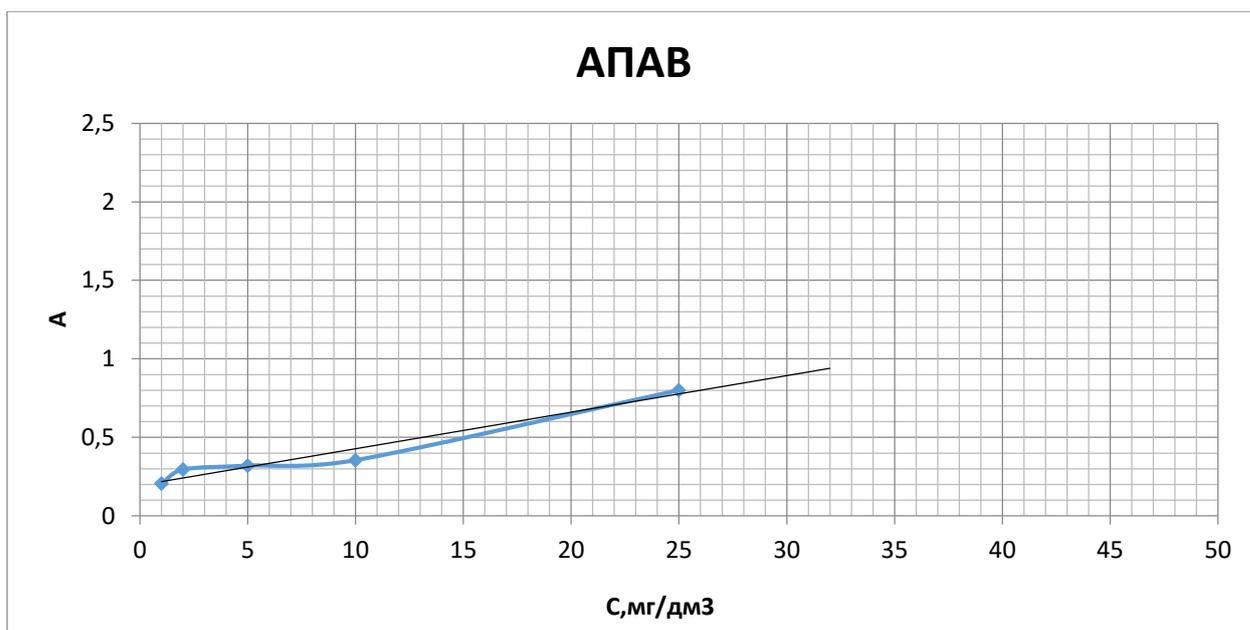


Рисунок А.12.1 – Градуировочный график АПАВ

### 12.3 Выполнение измерений

«100 см<sup>3</sup> анализируемого раствора помещаем в делительную воронку, пипеткой добавляем 10 см<sup>3</sup> фосфатного буферного раствора и 5 см<sup>3</sup> нейтрального раствора метиленового синего. Содержимое воронки перемешиваем и добавляем 10 см<sup>3</sup> хлороформа. Смесь встряхиваем в течении 2 мин и после расслоения фаз нижний слой сливаем в другую делительную воронку, содержащую 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды и 5 см<sup>3</sup> кислого раствора метиленового синего. Содержимое второй воронки встряхиваем и после расслоения фаз сливаем нижний слой в мерную колбу на 25 см<sup>3</sup>, через ватку смоченную хлороформом» [10].

«В первую делительную воронку наливаем 10 см<sup>3</sup> хлороформа и обрабатываем так же как описано выше.

Затем в первую делительную воронку наливаем 5 см<sup>3</sup> хлороформа и обрабатываем так же как описано выше» [10].

## Продолжение приложения А

Объединённый в мерной колбе три порции экстракта доводим четыреххлористым углеродом до метки и измеряем оптическую плотность по отношению к четыреххлористому углероду.

Результат измерений оптической плотности в анализируемой пробе  $A=2,495$ .

Определили по градуировочному графику концентрацию АПАВ в анализируемой воде  $C=92$  мг/дм<sup>3</sup>. Так как метод определяет концентрацию АПАВ в пределах от 0,025-2,0, 92 мг/дм<sup>3</sup>, значит нужно разбавить пробу в 46 раз. Разбавили нашу пробу в 46 раз. Взяли 2,2 см<sup>3</sup> и добавили 97,8 см<sup>3</sup> дистиллированной воды.

Проделали опыт еще раз, получили:

Оптическую плотность  $A=0,025$ . По градуировочному графику получили концентрацию АПАВ в анализируемой воде  $C = 2$  мг/дм<sup>3</sup>.

### 12.4 Обработка результатов

Концентрация АПАВ,  $X$ , мг/дм<sup>3</sup>:

$$X = 2 \text{ мг/дм}^3$$

### 12.5 Оформление результатов анализа

Результат измерений, может быть представлен по формуле А.12.1:

$$(X_{\text{ср}} \pm \Delta) \text{ мг/дм}^3, P = 0,95, \quad (\text{А.12.1})$$

где  $\Delta$  – показатель точности методики.

Значение  $\Delta$  рассчитывают по формуле А.12.2:

$$\Delta = 0,01 \cdot \delta \cdot X_{\text{ср}} \quad (\text{А.12.2})$$

Значение  $\delta$  приведено в таблице А.12.2.

## Продолжение приложения А

Таблица А.12.2 – Диапазон измерений, значения показателей точности

Диапазон измерений, мг/дм <sup>3</sup>	Показатель точности (границы относительной погрешности при вероятности Р=0,95), ±δ, %
От 0,025 до 0,1 включительно	36
Свыше 0,1 до 1 включительно	26
Свыше 1 до 2 включительно	20

Подставляем данные в формулу А.12.2:

$$\Delta = 0,01 \cdot 20 \cdot 2 = 0,4$$

Запишем результат измерений по формуле А.12.1:

$$(2 \pm 0,4) \text{ мг/дм}^3$$

Учитывая разбавление умножаем наше значение концентрации на 46, получаем:

$$(92 \pm 0,4) \text{ мг/дм}^3$$

13. Мутность (ПНД Ф 14.1:2:4.213-05)

13.1 Принцип метода

Турбодиметрический метод определения мутности основан на сравнении испытуемых проб со стандартами суспензиями формазина.

Оптическую плотность мутности измеряют при  $\lambda=520$  нм.

13.2 Построение градуировочного графика

Результаты измерений оптической плотности от концентрации градуировочных растворов представлены в таблице А.13.1

## Продолжение приложения А

Таблица А.13.1 – Результаты измерений оптической плотности от концентрации градуировочных растворов

Концентрация С, ЕМФ	Оптическая плотность А
1	0,0057
2	0,016
4	0,0347
8	0,0713
16	0,15
20	0,1853
30	0,2867
40	0,3633

Градуировочный график представлен на рисунке А.13.1.

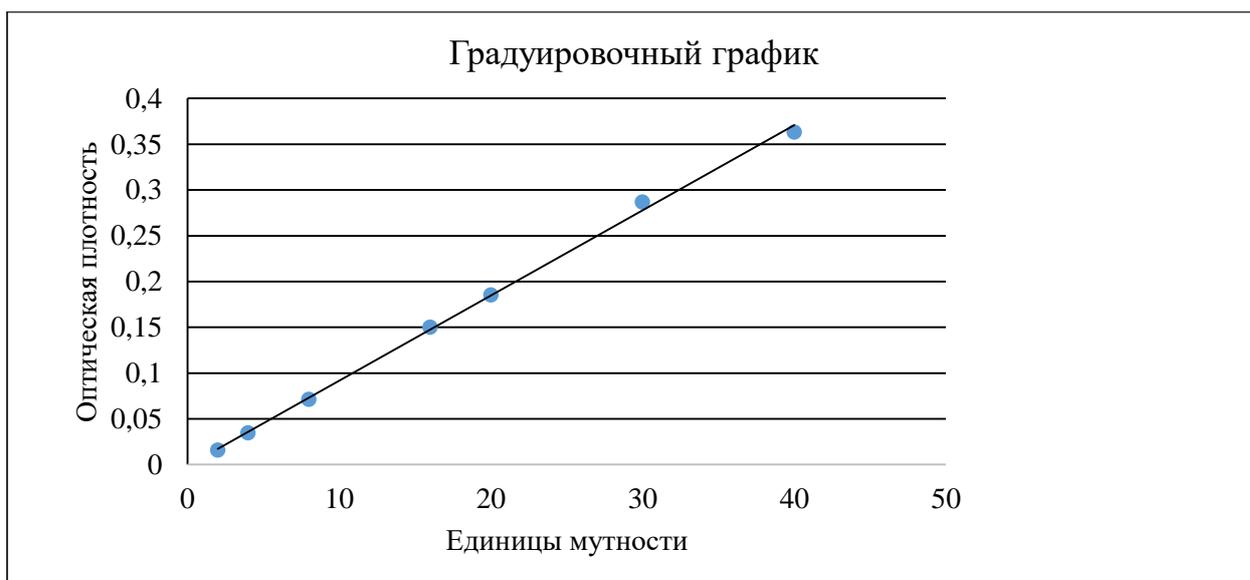


Рисунок А.13.1 – Градуировочный график мутности по формазину

### 13.3 Выполнение измерений

В кювету помещаем анализируемый раствор и измеряем оптическую плотность.

Результат измерений оптической плотности в анализируемой пробе  $A=0,833$

## Продолжение приложения А

Определили по градуировочному графику единицу мутности в анализируемой воде  $C=88$  ЕМФ.

### 13.4 Обработка результатов

Величина мутности  $X$  (ЕМФ):

$$X = 88 \text{ ЕМФ}$$

### 13.5 Оформление результатов анализа

Результат измерений, может быть представлен по формуле А.13.1:

$$(X_{\text{ср}} \pm \Delta) \text{ ЕМФ}, P = 0,95, \quad (\text{А.13.1})$$

где  $\Delta$  – показатель точности методики.

Значение  $\Delta$  рассчитывают по формуле А.13.2:

$$\Delta = 0,01 \cdot \delta \cdot X_{\text{ср}} \quad (\text{А.13.2})$$

Значение  $\delta$  приведено в таблице А.13.2.

Таблица А.13.2 – Диапазон измерений, значения показателей точности

Диапазон измерений, ЕМФ	Показатель точности (границы относительной погрешности при вероятности $P=0,95$ ), $\pm\delta, \%$
От 1,0 до 13 включительно	20
Свыше 13 до 100 включительно	14

Подставляем данные в формулу А.13.2:

$$\Delta = 0,01 \cdot 14 \cdot 88 = 12,3$$

Запишем результат измерений по формуле А.13.1:

$$(88 \pm 12,3) \text{ ЕМФ}$$

## 14. Нефтепродукты (ПНД Ф 14.1:2:4.168-20000)

### 14.1 Принцип метода

## Продолжение приложения А

«Измерение массовой концентрации нефтепродуктов в пробках питьевых, природных и очищенных сточных вод выполняют ИК-спектрофотометрическим методом» [10].

«Метод измерения массовой концентрации нефтепродуктов основан на зависимости интенсивности поглощения С-Н связей в инфракрасной области спектра  $(2930 \pm 70) \text{ см}^{-1}$  от концентрации нефтепродуктов в растворе» [10].

«Процедура анализа заключается в извлечении эмульгированных и растворенных нефтяных компонентов из воды экстракцией четыреххлористым углеродом, хроматографическом отделении нефтепродуктов от сопутствующих органических соединений других классов на колонке, заполненной оксидом алюминия» [10].

### 14.2 Выполнение измерений

Метод является очень чувствительным, нужно предварительно промыть четыреххлористым углеродом всю используемую посуду и избегать попадания воды и других мешающих компонентов. Отбираем анализируемую воду  $50 \text{ см}^3$ , доводим до  $\text{pH} \approx 2$  (контролировали по индикаторной бумаге).

«Затем переливаем в делительную воронку, добавляем 2 г хлорида натрия, ополаскиваем емкость, в которой находился хлорид натрия  $5 \text{ см}^3$  четыреххлористым углеродом, добавляем еще  $5 \text{ см}^3$  четыреххлористым углеродом, общий объем четыреххлористого углерода в делительной воронке должно содержаться  $10 \text{ см}^3$ » [10]. Выполняем экстракцию, встряхиваем делительную воронку 10 минут, нижний слой сливаем в стакан. Сушим экстракт натрием серноокислым течением 10 минут. Добавляем 2 г натрия серноокислого, потому что объем экстракта составил  $V=10 \text{ см}^3$ .

В подготовленную делительную воронку наливаем  $3 \text{ см}^3$  четыреххлористого углерода, после чего пропускаем наш экстракт через колонку. Первые  $3 \text{ см}^3$  элюата отбрасываем.

## Продолжение приложения А

Измеряем концентрацию анализируемой пробы. Предварительно омываем кювету нашим элюатом. Получилась концентрация  $X=13,4$  мг/дм<sup>3</sup>.

Так как метод определяет концентрацию нефтепродуктов в пределах от 0,1-2,0, мг/дм<sup>3</sup>, значит нужно разбавить пробу в 6 раза. Разбавили нашу пробу в 6 раза. Взяли 8,3 см<sup>3</sup> и добавили 41,7 см<sup>3</sup> дистиллированной воды.

Проделали опыт еще раз, получили:

$$X=2 \text{ мг/дм}^3$$

### 14.3 Обработка результатов

Результат измерений – массовую концентрацию нефтепродуктов в пробе воды,  $X$ , мг/дм<sup>3</sup>, рассчитывают по формуле А.14.1:

$$X = \frac{X_{\text{изм}} \cdot V_{\text{эк}} \cdot K}{V} - X_{\text{хол}}, \quad (\text{А.14.1})$$

где  $X_{\text{изм}}$  – результат измерений массовой концентрации нефтепродуктов в элюате на концентрамере, мг/дм<sup>3</sup>;

$V_{\text{эк}}$  – объем четыреххлористого углерода, использованного для проведения экстракции ( $V_{\text{эк}} = 10$  см<sup>3</sup>);

$K$  – коэффициент разбавления т.е. соотношение объемов мерной колбы и аликвоты элюата (учитывается при разбавлении при проведении измерений);

$V$  – объем пробы анализируемой пробы, см<sup>3</sup>;

$X_{\text{хол}}$  – результат измерений массовой концентрации нефтепродуктов в холостой пробе в перерасчете на объем пробы дистиллированной воды, мг/дм<sup>3</sup>.

Массовая концентрация нефтепродуктов в холостой пробе  $X_{\text{хол}}$ , рассчитывается по формуле А.14.2:

## Продолжение приложения А

$$X_{\text{хол}} = \frac{X_{\text{изм}} \cdot V_{\text{эк}}}{V} \quad (\text{А.14.2})$$

Подставляем данные в формулу А.14.2:

$$X_{\text{хол}} = \frac{2 \cdot 10}{50} = 0,4 \text{ мг/дм}^3$$

Подставляем данные в формулу А.14.1:

$$X = \frac{2 \cdot 10 \cdot 6}{50} - 0,4 = 2 \text{ мг/дм}^3$$

### 14.2 Оформление результатов анализа

Результат измерений, может быть представлен по формуле А.14.3:

$$(X \pm \Delta) \text{ мг/дм}^3, P = 0,95, \quad (\text{А.14.3})$$

где  $\Delta$  – показатель точности методики.

Значение  $\Delta$  рассчитывают по формуле А.14.4:

$$\Delta = 0,01 \cdot \delta \cdot X \quad (\text{А.14.4})$$

Значение  $\delta$  приведено в таблице А.14.1.

Таблица А.14.1 – Диапазон измерений, значения показателей точности

Диапазон измерений, мг/дм <sup>3</sup>	Показатель точности (границы относительной погрешности при вероятности P=0,95), $\pm\delta$ , %
От 0.020 до 0.025 включительно	48
Свыше 0.025 до 0.100 включительно	40
Свыше 0,1 до 2,0 включительно	24

Подставляем данные в формулу А.14.4:

## Продолжение приложения А

$$\Delta = 0,01 \cdot 24 \cdot 2 = 0,48$$

Запишем результат измерений по формуле А.13.1:

$$(2 \pm 0,048) \text{ мг/дм}^3$$

Учитывая разбавление умножаем наше значение концентрации на 6, получаем:

$$(12 \pm 0,048) \text{ мг/дм}^3$$

15 Экспресс-метод проведения пробной коагуляции оксихлорид алюминия

### 15.1 Выполнение измерений

Нам нужно подобрать оптимальную дозу коагулянта оксихлорид алюминия в лабораторных условиях.

Для проведения пробной коагуляции приготовили раствор коагулянта с содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,1%.

В коническую колбу емкость 250  $\text{см}^3$  поместили навеску  $0,5 \pm 0,001$  г порошка оксихлорид алюминия с массовой долей  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 30,0 %, добавили 150  $\text{см}^3$  дистиллированной воды.

Взяли 5 цилиндров и налили анализируемую воду по 100  $\text{см}^3$  в каждый.

После чего добавили 2,3,5,7,10  $\text{см}^3$  раствора коагулянта 0,1%.

Произвели сильное перемешивание в течение 2 минут – стадия гидролиза.

Оставили на 20 минут для стадии осаждения.

Затем отфильтровали наш раствор и обработали каждый раствор по пункту А.12.3 измерили оптическую плотность каждого. В таблице А.15.1 записаны результаты.

## Продолжение приложения А

Таблица А.15.1 – Результаты оптической плотности после коагуляции анализируемой воды

Концентрация коагулянта, мг/л	Оптическая плотность
2	1,376
3	0,976
5	0,537
7	0,390
10	0,168

По градуировочному графику видим, что концентрация АПАВ составила  $X_1 = 70 \text{ мг/см}^3$ ;  $X_2 = 34,4 \text{ мг/см}^3$ ;  $X_3 = 12 \text{ мг/см}^3$ ;  $X_4 = 8 \text{ мг/см}^3$ ;  $X_5 = 0,1 \text{ мг/см}^3$ ;

Получается, что для того чтобы показатель АПАВ был ниже ПДК нужно брать коагулянт с концентрацией 0,1 % 7-10 мг/л.