



**МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский  
технологический университет»

## **ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

Учебное пособие



Казань 2020

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«Казанский национальный исследовательский**  
**технологический университет»**

С.В. Степанова, А.А. Алексеева

**ОСНОВЫ**  
**ПРОЕКТИРОВАНИЯ**  
**ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

Учебное пособие

Казань 2020

УДК 66.06  
ББК 35.79, 35.11

**Степанова С.В., Алексеева А.А.**

**Основы проектирования химических производств:**  
учебное пособие / С.В. Степанова, А.А. Алексеева;  
Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. - Казань:  
Изд-во АН РТ, 2020. – 186 с.  
ISBN 978-5-9690-0682-9

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» и 20.03.01 «Техносферная безопасность» для дисциплин «Основы проектирования химических производств», «Проектирование технологических процессов», а также дисциплин связанных с проектированием очистных сооружений предприятий химической и нефтехимической промышленности, и при выполнении курсового проекта и выпускной квалификационной работы.

Подготовлено на кафедре «Инженерная экология».

Печатается по решению редакционно-издательского совета Казанского национального исследовательского технологического университета.

*Рецензенты:*

д.х.н., профессор, зав. кафедрой общей химии и экологии  
ФГБОУ ВО КНИТУ-КАИ *Тунакова Ю.А.*

д.т.н., профессор кафедры технологии воды и топлива, ФГБОУ  
ВО КГЭУ *Николаева Л.А.*

ISBN 978-5-9690-0682-9

© С.В. Степанова, А.А. Алексеева, 2020

© КНИТУ, 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Список условных сокращений .....	5
Предисловие.....	6
Введение .....	7
1 ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ. ПОНЯТИЯ, ПРИНЦИПЫ, ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ .....	8
Вопросы и задания к разделу 1 .....	21
2 ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ .....	22
2.1 Предпроектирование .....	22
2.2 Задание на проектирование .....	23
2.3 Выбор метода производства .....	23
2.4 Выбор района размещения предприятия и площадки строительства.....	27
2.5 Разработка проектной документации по охране окружающей среды.....	35
2.5.1 Экологическое прогнозирование. ....	35
2.5.2 Разработка прогноза загрязнения воздуха .....	36
2.5.3 Прогнозирование состояния поверхностных и подземных вод.....	37
2.5.4 Прогноз воздействия объекта при возможных авариях.....	38
Вопросы и задания к разделу 2 .....	40
3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРОИЗВОДСТВА .....	41
3.1 Основные аспекты и составляющие технологической схемы производства .....	41
3.1.1 Составление принципиальной технологической схемы .....	48
3.2 Размещение технологического оборудования .....	53
3.3 Компоновка производства .....	54
Вопросы и задания к разделу 3 .....	79
4 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО И ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТОВ.....	80
4.1 Пример разработки технологической схемы очистки сточных вод нефтехимического предприятия.....	81
4.2 Физико-химические параметры, свойства и технические характеристики исходных, промежуточных и конечных продуктов .....	83
4.2.1 Характеристика исходного сырья, материалов и полупродуктов... ..	84
4.3 Характеристика сточных вод, газовых выбросов и жидких отходов.....	85
4.4 Основные стадии процесса очистки сточных вод. Химизм, физико-химические основы .....	92
4.4.1 Аэробный процесс .....	92
4.4.2 Анаэробный процесс .....	93

4.5 Описание технологической схемы очистных сооружений нефтехимического предприятия.....	94
4.5.1 Механическая очистка производственных сточных вод .....	95
4.5.2 Механическая очистка промышленно-ливневых стоков.....	98
4.5.3 Механическая очистка бытовых сточных вод .....	98
4.5.4 Биологическая очистка.....	99
4.6 Материальный баланс производства .....	103
4.7 Техничко-технологические расчеты .....	131
4.7.1 Механическая очистка бытовых сточных вод .....	132
4.7.2 Механическая очистка промышленно-ливневого стока .....	136
4.7.3 Расчет оборудования для первого потока промышленных сточных вод.....	137
4.7.4 Расчет оборудования для второго потока промывных сточных вод .....	150
4.7.5 Расчет илоуплотнителей .....	156
4.7.6 Расчет метантенков .....	157
4.7.7 Расчет иловых площадок .....	159
4.7.8 Расчет площади песковых площадок.....	160
4.7.9 Расчет вспомогательного оборудования .....	160
4.8 Тепловой баланс метантенка .....	170
4.9. Описание работы основного оборудования.....	171
4.10 Аналитический контроль производства .....	173
Задания к курсовым проектам .....	179
Заключение.....	181
Список литературы.....	182
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	184

## Список условных сокращений

БОС – биологические очистные сооружения  
БПК – биологическое потребление кислорода  
БСВ - бытовые сточные воды  
ВКР – выпускная квалификационная работа  
ГИП – главный инженер проекта  
ГОСТ – государственный стандарт  
ЕСКД – единая система конструкторской документации  
КИПиА – контрольно-измерительные приборы и автоматика  
КП – курсовой проект  
ПДК – предельно-допустимая концентрация  
ПДС – предельно допустимый сброс  
ПЛСВ –промышленно-ливневые сточные воды  
ПСВ – производственные сточные воды  
СанПин – санитарные нормы и правила  
СВ – сточная вода  
СНиП – строительные нормы и правила  
СП – свод правил  
СПАВ – синтетические поверхностно-активные вещества  
ТУ – технические условия  
ТЭС – тепло-электростанция  
ТЭЦ – тепло-электроцентраль  
ХПК – химическое потребление кислорода  
ХТС – химико-технологические системы

## Предисловие

Перед проектировщиками-технологами не ставится задача разработки самой технологии, так как она уже выбрана до начала проектирования предприятий химической промышленности и скорее всего уже применяется на каком-либо производстве и подтверждена предварительными расчетами. Перед проектировщиком или проектной организацией ставится задача рассчитать весь производственный цикл от расчета (подбора) требуемого оборудования до созданий условий труда рабочему персоналу на всех стадиях производства, включая вспомогательные операции.

Также среди основных задач при проектировании химических объектов можно выделить: обеспечение безопасности на всем протяжении жизненного цикла производства; обеспечение требуемой надежности оборудования; расчет и выбор оптимальных показателей оборудования и протекания процессов производства, позволяющих снизить энергоемкость; максимальное использование исходного сырья и снижение отходов производства; снижение трудоемкости операций и повышение безопасности процессов.

Не стоит забывать о том, что проектирование химических объектов выполняется при строгом соблюдении действующей нормативной базы, начиная с этапа выбора местоположения и заканчивая подбором оборудования.

Среди первоочередных задач при проведении предпроектных и проектных работ стоит отметить выбор местоположения производства с учетом действующих норм и требований действующего законодательства, а также рациональную и безопасную компоновку самого химического производства или его участков.

## Введение

Проект производства – это комплекс технической документации, необходимой для его сооружения. В проект входят пояснительные записки, инженерно-технические расчеты, чертежи, сведения о удалении отходов производства на все производственные и культурно-бытовые сооружения проектируемого объекта. Проектирование производств химической и смежных с ней отраслей промышленности представляет собой сложный, многообразный и трудоемкий процесс, который необходимо рассматривать как совокупность целого ряда социально-организационных и инженерно-технических стадий.

Учебное пособие «Основы проектирования химических предприятий» разработано с целью формирования у обучающихся знаний в области проектирования технологических процессов на химических предприятиях и приобретения теоретических знаний и навыков инженерных расчетов.

В пособии рассматривается системный подход к проектированию сложных систем очистки сточных вод, которые всегда присутствуют на любых химических производствах. В частности, рассмотрены приемы и методы разработки технологической схемы производства, эскизное конструирование оборудования. Кроме того, приводится методика проведения материальных и тепловых балансов, расчеты основного оборудования и вспомогательного оборудования.

Пособие поможет обучающимся в освоении методов и основных этапов проектирования, необходимых при выполнении выпускной квалификационной работы и организационно-управленческой, научно-исследовательской, проектной, производственно-технологической деятельности. Приведенные в данном пособии методические указания, которые необходимы при оформлении выпускных квалификационных работ, курсовых проектов по дисциплинам «Основы проектирования химических производств», «Проектирование технологических процессов», направлены на развитие умений работать с нормативно-техническими документами и подбирать оборудование в соответствующих каталогах, нормализациях, справочниках.

# 1 ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ. ПОНЯТИЯ, ПРИНЦИПЫ, ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Сутью проектирования производств, является соединение идеи с инженерным поиском, диктуемых экономическими и экологическими факторами.

**Проект** в инженерной деятельности (англ. design от лат. designare «размечать, указывать, описывать, изобретать») – совокупность моделей, свойств или характеристик, описанных в форме, пригодной для реализации системы. Проект является результатом проектирования – процесса определения архитектуры, компонентов, интерфейсов и других характеристик системы или её части. В основе термина заложен смысл творческой технической деятельности. Проект есть результат умственной деятельности в сфере информации.

**Проектирование и конструирование** – это деятельность с замыслами, а изготовление и эксплуатация – деятельность с изделиями. Указанные области инженерной деятельности дополняются исследованиями – научными и практическими. Результаты этих исследований приводят к появлению новой информации, т.е. создают новый проект.

**Проектирование** – это поиск научно-обоснованных, технически осуществимых и экономически целесообразных инженерных решений. Результатом проектирования является проект будущего изделия. Проект анализируется, обсуждается, корректируется и принимается как основа для дальнейшей разработки.

Конструкция изделия основывается на его проекте. Поэтому проектирование изделия предшествует его конструированию.

**Конструирование** – это создание конкретной, однозначной конструкции изделия. Конструирование опирается на результаты проектирования и уточняет все инженерные решения, принятые при проектировании.

**Проектирование и конструирование** служат одной цели: разработке нового изделия, технологии. Это – виды умственной деятельности, когда в уме разработчика создается конкретный мысленный образ. Системный подход есть основа системного проектирования. Сущность системного подхода к проектированию и конструированию изделий состоит в том, что техническую задачу для

части целого рассматривают с учетом всего целого.

**Система** – это совокупность элементов, которая обладает такими качествами, которые присущи только системе в целом, но не свойственны ни одному из ее элементов в отдельности.

**Подсистемы.** Любая система допускает разделение ее на конечное число подсистем в зависимости от вида решаемых задач и внутренней сложности системы в целом. В подсистемы обычно выделяют более или менее самостоятельно функционирующие части системы.

**Элементом** называют объект, который при конкретном рассмотрении системы нецелесообразно далее разделять на части.

На процесс проектирования и конструирования оказывает также влияние внешняя среда.

Под **внешней средой** применительно к рассматриваемой системе понимают совокупность не входящих в состав системы объектов, взаимодействие с которыми должно учитываться при изучении данной системы.

Главная движущая сила создания новой технологии – **потребность**.

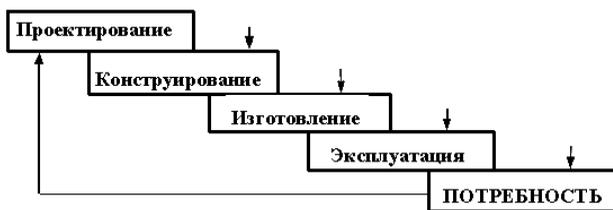
Социальная обязанность инженера сводится к тщательному выявлению и определению потребности.

После выявления потребности следует **проектирование** – первый операционный элемент.

В результате проектирования создается основа для конструирования. **Конструирование** – **второй операционный элемент**. При этом конструктор исходит из свойств того изделия, которое должно стать техническим средством.

За конструированием следует **изготовление**, операционной основой которого является конструкция. Изделие должно иметь свойства, определенные конструкцией.

Процесс создания изделия завершается его **эксплуатацией**. Готовое изделие передается для эксплуатации. Это последний операционный элемент в процессе удовлетворения потребностей общества [1]. Описанный процесс можно представить схемой (рис. 1):



*Рис. 1. Схема процесса создания изделия*

Проектирование любых химико-технологических систем, в том числе технологий очистки сточных вод, отходящих газов и т.п. начинается с **предпроектной подготовки**, которая предполагает решение следующих задач:

- 1) определение мощности производства;
- 2) выбор метода (технологии) очистки и типа оборудования;
- 3) составление структурной (эскизной) технологической схемы;
- 4) расчет материальных и тепловых балансов производства;
- 5) выбор площадки строительства;
- 6) определение технико-экономических показателей производства;
- 7) подготовку задания на проектирование и исходные материалы.

Главной задачей предпроектирования (предпроектной подготовки) является обоснование инвестиций в строительство объекта (далее просто обоснование), т.е. определение экономической и технической целесообразности создания производства. В обосновании дается краткое описание технологического процесса и оборудования, содержатся основные данные по ситуационному и генеральному планам промышленного предприятия, сведения о строительных, архитектурно-планировочных и конструктивных решениях зданий и сооружений, о складском хозяйстве, ремонтной службе, о мероприятиях по охране окружающей среды.

Отправным пунктом разработки проектной документации является утвержденное обоснование инвестиций в строительство предприятия. Это технико-экономическое доказательство необходимости создания промышленного объекта. Обоснование инвестиций делает заказчик, в ходе которого раскрывается ее технический, кадровый, финансовый потенциал и ориентировочно оцениваются технико-экономические показатели проектируемого предприятия.

Обоснование инвестиций утверждается руководителем предприятия-заказчика. Проектировщик в своей деятельности руководствуется законодательными нормативными актами Российской Федерации и ее субъектов. Предварительно заказчик с проектировщиком выбирают площадку строительства, т.е. место расположения будущего предприятия. Проектная документация на строительство промышленных предприятий может разрабатываться в одну или две стадии. Для технически несложных объектов, а также строящихся по проектам массового и повторного применения документация разрабатывается в *одну стадию* – рабочий проект. Для технически сложных объектов с целью исключения ошибок и улучшения качества технической документации используют *двухстадийное* проектирование. На первой стадии разрабатывается проект, а затем на его основе рабочая документация для строительства промышленного объекта.

*Рабочий проект* состоит из следующих разделов:

1) общая пояснительная записка, в основе которой содержатся исходные данные для проектирования: обоснование инвестиций, акт выбора площадки, данные о потребностях в энерго- и трудовых ресурсах, чертежи ситуационного плана размещения предприятия, зданий и сооружений с указанием на нем инженерных коммуникаций (при необходимости делают дополнительные чертежи по так называемой привязке типовых и повторно применяемых проектов);

2) организация строительства: этот раздел готовится в соответствии с нормативными документами, утвержденными Госстроем;

3) сметная документация;

4) паспорт рабочего проекта.

Проект подвергается государственной экспертизе и согласовывается с другими заинтересованными организациями.

Основой для выполнения проекта является утвержденное заказчиком *задание на проектирование*.

На стадии разработки проекта решаются с учетом новейших достижений науки и техники все основные технические, технико-экономические, экологические и другие проблемы проектируемого производства: обосновывается технология производства; разрабатывается принципиальная технологическая схема производства; рассчитывается и выбирается оборудование; осуществляется размещение оборудования технологической схемы по

этажам строительных конструкций (компоновка оборудования); решаются вопросы энергоснабжения, автоматизации и механизации производства; составляются сметы и заказные спецификации на соответствующее оборудование.

Полностью состав проекта определяется инструкцией. **Проект должен содержать разделы:**

1. Общая пояснительная записка.
2. Генеральный план и транспорт.
3. Технологические решения.
4. Управление производством, предприятием и организация условий и охраны труда рабочих и служащих.
5. Архитектурно-строительные решения.
6. Инженерное оборудование, сети и системы.
7. Организация строительства.
8. Охрана окружающей среды.
9. Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны, мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций.

10. Сметная документация.

11. Эффективность инвестиций.

1. Общая пояснительная записка содержит:

- 1) основание для разработки проекта;
- 2) исходные материалы для проектирования;
- 3) краткую характеристику предприятия и входящих в его состав производств;

4) данные о проектной мощности и номенклатуре, качестве, конкурентоспособности, технологическом уровне продукции, сырьевой базе, потребности в топливе, воде, тепловой и электрической энергии, комплексном использовании сырья, отходов производства, вторичных энергоресурсов;

5) сведения о социально-экономических и экологических условиях района строительства;

6) основные показатели по генеральному плану, инженерным сетям и коммуникациям, мероприятия по инженерной защите территории;

7) общие сведения, характеризующие условия и охрану труда работающих; санитарно-эпидемиологические мероприятия;

8) сведения об использованных в проекте изобретениях;

9) технико-экономические показатели, полученные в результате разработки проекта, их сопоставление с показателями утвержденного

(одобренного) обоснования инвестиций в строительство объекта и установленными заданием на проектирование;

10) сведения о проведенных согласованиях проектных решений; подтверждении соответствия разработанной проектной документации государственным нормам, правилам, стандартам, исходным данным, а так же техническим условиям и требованиям, выданным органами государственного надзора (контроля) и заинтересованными организациями при согласовании места размещения объекта (площадки строительства).

2. Генеральный план и транспорт – приводятся краткая характеристика района и площадки строительства; решения и показатели по ситуационному и генеральному плану (с учетом зонирования территории), внутриплощадочному и внешнему транспорту, выбор вида транспорта, основные планировочные решения, мероприятия по благоустройству территории; решения по расположению инженерных сетей и коммуникаций; организация охраны предприятия.

Данный раздел содержит чертежи:

- ситуационный план размещения предприятия, здания, сооружения с указанием на нем существующих и проектируемых внешних коммуникаций, инженерных сетей и подсобных территорий, границы санитарно-защитной зоны, особо охраняемой территории. Для линейных сооружений приводится план трасс (внутри- и внешне площадочных), а при необходимости – продольный профиль трассы;

- картограмму земельных масс;

- генеральный план, на котором наносятся существующие и проектируемые (рекомендуемые) и подлежащие сносу здания и сооружения, объекты охраны окружающей среды и благоустройства, озеленение территории, принципиальные решения по расположению внутриплощадочных инженерных линий и транспортных коммуникаций, планировочные отметки территории. Выделяются объекты, сети транспортные коммуникации, входящие в пусковые комплексы.

3. Технологические решения содержат:

1) данные о производственной программе;

2) характеристику и обоснование решений по технологии производства;

3) данные о трудоемкости изготовления продукции, механизация и автоматизация технологических процессов;

4) состав и обоснование применяемого оборудования (в том числе импортного);

5) решения по применению малоотходных и безотходных технологических процессов и производств, вторичному использованию ресурсов;

6) предложения по организации контроля качества продукции;

7) решения по организации ремонтного хозяйства;

8) данные о количестве и составе вредных выбросов в атмосферу и сбросов в водные источники по отдельным цехам, производствам, сооружениям;

9) технические решения по предотвращению (сокращению) выбросов и сбросов вредных веществ в окружающую среду; оценка возможности возникновения аварийных ситуаций и решения по их предотвращению;

10) вид, состав и объем отходов производства, подлежащих утилизации и захоронению;

11) топливно-энергетический и материальный балансы технологических процессов;

12) потребность в основных видах ресурсов для технологических нужд.

Основные чертежи этого раздела:

- принципиальные технологические схемы производства;
- компоновочные чертежи (планы и разрезы) по корпусам (цехам);

- функциональные и принципиальные схемы автоматизации технологических процессов и энергоснабжения технологического оборудования;

- схемы грузопотоков.

4. Управление производством, предприятием и организация условий и охраны труда рабочих и служащих – выполняется в соответствии с нормативными документами. В нем рассматриваются организационная структура управления предприятием и отдельными производствами, автоматизированная система управления и ее информационное, функциональное, организационное и техническое обеспечение; автоматизация и механизация труда работников управления, результаты расчетов численного и профессионально-квалификационного состава работающих; число и оснащенность рабочих мест; санитарно-гигиенические условия труда работающих; мероприятия по охране труда и технике безопасности, в том числе

решения по снижению производственных шумов и вибраций, загрязненности помещений, избытка тепла, повышению комфортности условий труда и т.д.

5. Архитектурно-строительные решения – в них приводятся сведения об инженерно-геологических, гидрогеологических условиях площадки строительства. Дается краткое описание и обоснование архитектурно-строительных решений по основным зданиям и сооружениям; обоснование принципиальных решений по снижению производственных шумов и вибрации; бытовому, санитарному обслуживанию работающих. Разрабатываются мероприятия по электро-, взрыво- и пожаробезопасности; защите строительных конструкций, сетей и сооружений от коррозии.

Основные чертежи: планы, разрезы и фасады основных зданий и сооружений со схематическим изображением основных несущих и ограждающих конструкций.

6. Инженерное оборудование, сети и системы – раздел содержит решения по водоснабжению, канализации, теплоснабжению, газоснабжению, электроснабжению, отоплению, вентиляции и кондиционированию воздуха. Дано инженерное оборудование зданий и сооружений, в том числе: электрооборудование, электроосвещение, связь и сигнализация, радиофикация и телевидение, противопожарные устройства и молниезащита; диспетчеризация и автоматизация управления инженерными сетями.

Основные чертежи раздела:

- планы и схемы теплоснабжения, электроснабжения, газоснабжения, водоснабжения и канализации и др.;
- планы и профили инженерных сетей;
- чертежи основных сооружений;
- планы и схемы внутрицеховых отопительно-вентиляционных устройств, электроснабжения и электрооборудования, радиофикации и сигнализации, автоматизации управления инженерными сетями и др.

7. Организация строительства – разрабатывается в соответствии со СНиП «Организация строительного производства» и с учетом условий и требований, изложенных в договоре на выполнение проектных работ, и имеющихся данных о рынке строительных услуг.

8. Охрана окружающей среды – выполняется в соответствии с государственными стандартами, строительными нормами и правилами, утвержденными Минстроем России, нормативными

документами и другими нормативными актами, регулирующими природоохранную деятельность.

9. Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны, по предупреждению чрезвычайных ситуаций – выполняется в соответствии с нормами и правилами в области гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Для определения стоимости строительства предприятий, зданий и сооружений (или их очередей) составляется сметная документация в соответствии с положениями и формами, приводимыми в нормативно-методических документах Минстроя России по определению стоимости строительства.

10. Сметная документация – разрабатываемая на стадии проекта, должна иметь:

- 1) сводные сметные расчеты стоимости строительства и, при необходимости, сводку затрат;
- 2) объектные и локальные сметные расчеты;
- 3) сметные расчеты на отдельные виды затрат (в том числе на проектные и изыскательские работы).

В состав рабочей документации включаются: объектные и локальные сметы.

Для определения стоимости строительства рекомендуется использовать действующую сметно-нормативную (нормативно-информационную) базу, разрабатываемую, вводимую в действие и уточняемую в установленном порядке.

Разработку сметной документации рекомендуется приводить в двух уровнях цен:

- в базисном (постоянном) уровне, определяемом на основе действующих сметных норм и цен;
- в текущем или прогнозируемом уровне, определяемом на основе цен, сложившихся ко времени составления смет или прогнозируемых к периоду осуществления строительства.

В состав сметной документации проектов строительства включается также пояснительная записка, в которой приводятся данные, характеризующие применяемую сметно-нормативную (нормативно-информационную) базу, уровень цен и другие сведения, отражающие условия данной стройки.

На основе текущего (прогнозируемого) уровня стоимости, определенного в составе сметной документации, заказчика и

подрядчики формируют свободные (договорные) цены на строительную продукцию. Эти цены могут быть открытыми, то есть уточняемыми в соответствии с условиями договора(контракта) в ходе строительства, или твердыми (окончательными). В результате совместного решения заказчика и подрядной строительной организации оформляется протокол (ведомость) свободной (договорной) цены на строительную продукцию по соответствующей форме.

При составлении сметной документации, как правило, применяется ресурсный (ресурсно-индексный) метод, при котором сметная стоимость строительства определяется на основе данных проектных материалов о потребных ресурсах (рабочей силе, строительных машинах, материалах и конструкциях) и текущих (прогнозируемых) ценах на эти ресурсы.

В сводном сметном расчете отдельной строкой предусматривается резерв на непредвиденные работы и затраты, исчисляемые от общей сметной стоимости (в текущем уровне цен) в зависимости от степени проработки и новизны проектных решений. Для строек, осуществляемых за счет капитальных вложений, финансируемых из республиканского бюджета Российской Федерации, размер резерва не должен превышать трех процентов – по объектам производственного назначения и двух процентов – по объектам социальной сферы.

11. Эффективность инвестиций – раздел готовится на основе количественных и качественных показателей, полученных при разработке соответствующих частей проекта, выполняются расчеты эффективности инвестиций. Производится сопоставление обобщенных данных и результатов расчетов с основными технико-экономическими показателями, определенными в составе обоснований инвестиций в строительство данного объекта.

Современные химические производства отличаются много стадийностью получения целевых продуктов, сложностью технологических решений, высокой энергонасыщенностью и материалоемкостью, большой протяженностью и сложностью трубопроводных и кабельных коммуникаций, глубокой функциональной взаимозависимостью по материальным, энергетическим и информационным потокам отдельных стадий. Для размещения таких сложных производств, коммуникаций и всех служб возникает необходимость в создании специализированных зданий,

подземных сооружений и эстакад. Строительство и ввод в действие промышленных производств связаны со значительными затратами поэтому проекты должны обеспечивать:

- реализацию последних достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта;
- внедрение высокопроизводительного энергосберегающего оборудования, установок и агрегатов большой единичной мощности;
- рациональное использование природных ресурсов, комплексное использование сырья и материалов, организацию безотходной энергосберегающей технологии производства;
- автоматизацию и механизацию производственных процессов, отдельных технологических машин и аппаратов.

Развитие современных *химико-технологических систем* (ХТС) сопровождается значительным усложнением технологических схем, созданием энерготехнологических циклов, машин и аппаратов сложных конструкций, работающих в условиях агрессивных сред, высоких температур и давлений. В связи с этим при их проектировании необходимо решать проблемы охраны окружающей среды, обоснованного применения конструкционных материалов, обеспечения надежности технологического оборудования, безопасности производства. Все это требует совершенствования самого процесса проектирования, повышения качества проектной документации, четкого определения совокупности нормативных документов по отдельным стадиям проекта. В проектировании современных ХТС ведущая роль принадлежит технологу, который выбирает метод (технологии) получения продукта, рассчитывает и выбирает оборудование, разрабатывает технологическую схему производства, выдает задания специалистам-смежникам проектной организации на разработку общинженерных разделов проекта (строительного, монтажного, электротехнического, КИПиА, сантехнического и т.д.), согласовывает результаты выполнения этих заданий с основными решениями по технологическому разделу. Для координации и увязки всех разделов назначается главный инженер проекта (ГИП). Он является техническим руководителем не только в период разработки проекта, но и монтажа технологической схемы, а также пуско-наладочных работ (авторский надзор). Он несет ответственность за правильность решений, сроки выполнения и технико-экономические показатели проектируемого объекта [2]

В целом методику разработки проектной документации можно иллюстрировать блок-схемой, представленной на рис. 2.



*Рис. 2. Схема взаимодействия служб при проектировании предприятий*

Схема, представленная на рис. 2, указывает, что проектирование является итерационным процессом. Проект промышленного предприятия в широком понимании – это комплекс технических документов, содержащий описание с принципиальными обоснованиями, расчеты, чертежи, макеты предназначенных к постройке, изготовлению или реконструкции сооружений, установок, машин, станков, аппаратов, приборов и т. п.

Проект промышленного предприятия складывается из трех основных частей:

- технологии производства, как системы оборудования для изготовления продукции, основанной на новейших достижениях науки и техники в данной и смежных областях народного хозяйства;

- объемно-планировочного решения, обеспечивающего оптимальный технологический процесс в его постоянном развитии, простоту и универсальность экономичного инженерно-строительного решения, создание трудового и бытового комфорта трудящимся, идейно художественную выразительность образа сооружения в целом и красоту отдельных его деталей;

- рациональных строительных конструкций и инженерного оборудования, обеспечивающего наилучшие условия для организации технологического процесса и развития его во времени, отвечающие условиям механизированного строительного производства и являющиеся органической основой объемно-планировочного построения сооружения или комплекса. Таким образом, область архитектурного проектирования промышленных предприятий – это

такая область творчества, в которой комплексно решаются многие научно-технические, экономические, строительные и эстетические вопросы, среди которых особое место занимают проблемы, связанные с заботой о здоровье, удобствах работы и отдыха работников промышленности.

Основной частью проекта любого предприятия является экологическое обоснование проекта. Нормативной основой для экологического обоснования проектов служат:

- закон РФ и об охране окружающей среды;
- инструкция по экологическому обоснованию хозяйственной деятельности (утверждена приказом Министерства России от 29.12.1995г., № 5351).

На рис 3. представлена процедура экологического обоснования инвестируемых проектов химических производств. Экологическая экспертиза технологий химических веществ – это оценка малоотходности производства в сравнении с выработанными нормативами или имеющимися лучшими образцами. При этом определяется степень экономичности и экологической опасности способа производства и технологических переделов, выхода технологии в окружающую среду и т. д. Методы экологической оценки технологии, следующие:

- материальные балансы и технологические расчеты;
- технологическая альтернатива;
- прогнозирование технологического риска;
- оценка экологической опасности технологии;
- регистрация экологических последствий технологии производства химического продукта.

Метод материальных балансов и технологических расчетов позволяет выявить источники выбросов и сбросов химических продуктов, дать количественную оценку техногенных потоков в окружающую среду, выявить качественный состав и агрегатное состояние загрязнителей и в целом все каналы взаимосвязи в системе «технология–окружающая среда». В свою очередь метод технологической альтернативы предполагает анализ и оценку технологии по отношению к существующим технологическим аналогам химических производств с заданной экологичностью. Он позволяет сравнивать проектируемую технологию с экологически безопасными аналогами. Методы прогнозирования технологического риска предусматривают системный анализ и прогнозирование

возможных аварийных ситуаций, а также оценку технологического риска и аварийности при нормальной эксплуатации. С позиции системного анализа методы регистрации экологических последствий технологий производства включают в себя анализ связей промышленной технологии химических веществ с окружающей средой, а также анализ каналов связей и оценку их экологичности [3].

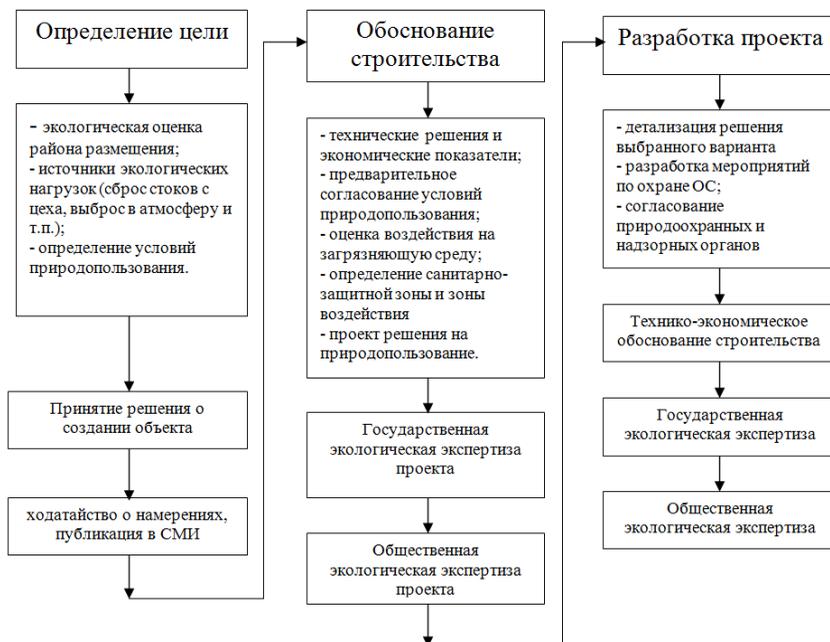


Рис. 3. Процедура экологического обоснования проектов производств

### Вопросы и задания к разделу 1

1. Основные принципы и методика проектирования?
2. Как происходит выбор технологии производства?
3. С какой целью составляется эскизная технологическая схема?
4. Задачи и начальные стадии проектирования?
5. Составные части проекта промышленного предприятия?
6. Начальные стадии проектирования?

## 2 ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

### 2.1 Предпроектирование

*Предпроектная подготовка* (предпроектирование) включает в себя обоснование инвестиций в строительство объекта:

- определение мощности производства;
- выбор метода (технологии) производства и типа оборудования;
- составление структурной (эскизной) технологической схемы;
- расчет материальных и тепловых балансов производства;
- выбор площадки строительства;
- технико-экономические показатели производства;
- задание на проектирование и исходные материалы.

Главной задачей этого этапа является *обоснование инвестиций* (далее просто обоснование), т.е. определение экономической целесообразности и технической необходимости создания промышленного объекта. К основным вопросам, разрабатываемым в обосновании, в первую очередь относятся: определение и обоснование мощности производства, номенклатуры и качество продукции; выбор метода производства, выявление потребности в сырье и др.[3].

Обоснование является исходным документом для выдачи задания на разработку новых видов оборудования и составления программ научно-исследовательских работ. При выполнении обоснования намечают площадку для строительства и определяют расчетную стоимость строительства и основные технико-экономические показатели предприятия (производства). В обосновании дается краткое описание технологического процесса и оборудования, основные данные по генеральному плану строительства, сведения о строительных, архитектурно-планировочных и конструктивных решениях зданий и сооружений, о складском хозяйстве, ремонтной службе, о мероприятиях по охране окружающей среды. Приводятся основные решения по организации строительства, и выполняется расчет его стоимости. В обосновании рассчитывают определяющие показатели: себестоимость продукции; годовой выпуск товарной продукции, прибыль, численность персонала; годовой фонд заработной платы, производительность

труда одного работающего, общую сметную стоимость строительства; удельные капитальные и т.д.

## **2.2 Задание на проектирование**

Основным исходным документом для составления проекта промышленного предприятия является *задание на проектирование*, в котором должны быть указаны следующие сведения:

- наименование предприятия;
- основание для проектирования, район, пункт и площадка строительства;
- номенклатура продукции и мощность производства по основным ее видам (в натуральном или денежном выражении) на полное развитие и на первую очередь;
- режим работы и намеченная специализация предприятия;
- основные источники обеспечения предприятия при его эксплуатации и строительстве сырьем, водой, теплом, газом, электрической энергией;
- условия по очистке и сбросу сточных вод;
- основные технологические процессы и оборудование;
- предполагаемое развитие (расширение) предприятий;
- намеченные сроки строительства;
- намеченный размер капиталовложений и основные технико-экономические показатели предприятия, которые должны быть достигнуты при проектировании;
- данные для проектирования объектов жилищного и культурно-бытового строительства, стадии проектирования;
- наименование генеральной проектной организации;
- наименование строительной организации генерального подрядчика.

## **2.3 Выбор метода производства**

При выборе метода производства используют следующие критерии:

- технико-экономические показатели; возможности обеспечения сырьем; организацию доставки сырья и вывоза готовой продукции;
- наличие оборудования для промышленной реализации метода;
- обеспечение заданной мощности и качества продукции;
- соблюдение санитарно-гигиенических условий труда на производстве; вопросы экологии.

Существующие способы разработки технологии получения целевых продуктов включают стадии выбора метода производства, разработки и оптимизации технологической схемы [4].

Выбор оптимального маршрута производства осуществляют технологи-исследователи на основе аналогий. Материальные балансы стадий процесса позволяют выяснить избытки тех или иных компонентов, которые, в конечном счете, либо будут присутствовать в качестве примесей в целевых продуктах, либо после их отделения образуют отходы производства или продукты для переработки в других производствах. На этой стадии можно произвести предварительный расчет экономической эффективности метода (технологии) производства, основанного на предполагаемой стоимости продуктов и сырья, без учета капитальных и эксплуатационных затрат. В результате такого анализа выясняется целесообразность дальнейшей проработки данного метода производства целевых продуктов.

При разработке схемы промышленного производства проверяются как ресурсы сырья, так и денежные затраты на него по рекомендованному способу в сравнении с затратами по другим известным методам. В настоящее время многие из отходов используются в существующих производствах.

Принципы выбора метода производства можно сформулировать следующим образом:

- 1) переход на новые технологии, которые позволили бы увеличить выпуск необходимой продукции заданного качества, не нарушая требований экологии;
- 2) создание новых производств, использующих в качестве сырья отходы;
- 3) определение перечня продуктов, которые могут быть усвоены природными биологическими системами;
- 4) определение допустимых количеств различных химических продуктов, которые могут попадать в биосферу без вредных последствий для окружающей среды и человека;
- 5) создание малоэнергоемких производств и производств с малым потреблением воды.

Особенностью прогресса в химической промышленности является **повышение степени комплексности переработки сырья**. Во всех странах наблюдается стремление сократить потребление природных ресурсов и увеличить степень использования вторичных

материальных и энергетических ресурсов. Мировой и отечественный опыт показывает, что 80 % экономии материальных ресурсов связано с внедрением ресурсосберегающих технологий и лишь 20 % – с другими мероприятиями. Более 50 % экономии топливно-энергетических ресурсов в химической промышленности в России можно получить за счет совершенствования технологических процессов, примерно 20 % – путем более полного использования вторичных энергетических ресурсов и около 25 % – за счет организационно-технических мероприятий [5].

При условии роста масштабов производства и высоких экологических требованиях можно определить два принципиально отличных друг от друга направления получения химических продуктов.

Первое направление предусматривает реконструкцию действующих производств и создание технологии с дальнейшей (более глубокой) очисткой газовых выбросов, воды, выводимой из производства и твердых отходов, вредных для природы и здоровья человека веществ. Такой путь в настоящее время широко применяется, но он малоэффективен. С помощью очистных сооружений не всегда удается полностью освободить выбросы от вредных веществ, и они попадают в биосферу. Кроме того, очистные сооружения являются дорогостоящими, занимают большие площади, создают новые проблемы уничтожения твердых отходов, потребляют большое количество материалов и энергии.

Второе направление предусматривает создание технологий и разработку новых технологических установок, обеспечивающих полную переработку сырья в продукт с использованием вторичных энергоресурсов на базе принципов рециркуляции и цикличности. При рециркуляции предусматривается создание замкнутых технологических комплексов с возвратом на вход непрореагировавшего сырья, комплексного использования энергии за счет теплообмена между прямыми и обратными потоками. Второе направление пока еще не нашло широкого распространения: реконструировать существующие производства до такой степени практически невозможно, так как в них заложена технология, по которой предусматривается вывод из химико-технологических систем разных потоков. Однако при создании новых химических производств должен соблюдаться принцип комплексного использования сырья: материальный субстрат, введенный в технологический процесс, полностью перерабатывается, а полученная

при переработке продукция используется в полном объеме и ассортименте.

Обобщающим принципом при создании безотходных производств является системный подход, который следует использовать при проектировании, создании и эксплуатации производства. Более конкретные принципы, направленные на полное использование сырья и энергетических ресурсов, а также на охрану окружающей среды могут быть подразделены на три группы, представленные на рис. 4.



*Рис. 4. Принципы энергосберегающих технологии предприятия*

## 2.4 Выбор района размещения предприятия и площадки строительства

В основу выбора района строительства должна быть положена *схема районной планировки* экономических районов. При решении вопроса о выборе района строительства необходимо учитывать следующие условия:

- наличие удобного места для строительства зданий и сооружений;
- природные, топографические, гидрогеологические, метеорологические условия;
- наличие сырья;
- наличие железных и автомобильных дорог, а также водных путей сообщения;
- наличие в районе строительства рабочей силы и жилого фонда;
- энергетические ресурсы завода;
- возможность снабжения предприятий водой;
- возможность кооперирования с другими предприятиями города.

После выбора района строительства выбирают *площадку для строительства*, при этом предусматривают следующие факторы:

- достаточные размеры площадки и возможность расширения;
- удобства конфигурации участка;
- топографические условия участка и прилегающей местности, обеспечивающие минимальные затраты на земляные работы по планировке площадки под здание и транспортные пути;
- удобное примыкание к магистральным путям сообщения (железнодорожным, автомобильным, водным);
- наивыгоднейшее расположение площадки к источникам воды и месту сброса сточных вод, к источникам энергии и населенным пунктам.

Территориальное размещение производства является важным фактором, определяющим его экономические и социальные показатели, например, расходы на перевозку сырья и готовой продукции. Так, производство удобрений стараются разместить ближе к заводам, выпускающим минеральные кислоты.

Однако следует учитывать, что затраты на перевозку готовой продукции относительно малотоннажных производств, таких как производства тонкого органического синтеза, не являются

определяющим фактором, влияющим на экономические показатели и себестоимость готового продукта. При различных вариантах расположения подобных производств транспортные расходы отличаются лишь в долях процента, поэтому большое значение для таких производств имеют условия удаления отходов, особенно, сброса очищенных сточных вод.

Важное значение при выборе площадки строительства имеет кадровый вопрос. Предприятие должно быть обеспечено высококвалифицированными кадрами химиков, технологов, механиков, так как производство продуктов в данной отрасли связано с эксплуатацией сложных процессов и оборудования, токсичными и взрывоопасными материалами.

Немаловажным фактором при выборе района расположения химического предприятия является наличие источников воды. В химическом производстве потребляют большое количество воды как для технических нужд, так и для организации технологических процессов (в частности, процессов охлаждения). С этой точки зрения районы, находящиеся вблизи больших рек, предпочтительнее для размещения химических предприятий, хотя при организации процессов охлаждения можно применять обессоленную морскую воду, а также при сбросе сточных вод и отработанных газов, которые могут иметь вредные вещества, окружающая среда загрязняется. Это последнее обстоятельство может оказаться решающим при выборе площадки строительства.

Как правило, химические производства связаны с энергоемкими процессами. Подсчитано, что на две такие стадии как выпарка и сушка расходуется до 20 % затрат топлива и электроэнергии. Поэтому важным условием при выборе площадки строительства является вопрос теплоснабжения, газоснабжения и электроснабжения. Если вопрос электроснабжения решается порой просто – подключением к электросетям, то для теплоснабжения необходимо иметь пар соответствующих параметров и в необходимом количестве, что зачастую приводит к строительству новой ТЭЦ. Для предприятия с небольшим потреблением тепла при выборе площадки можно предусмотреть строительство собственной котельной, которая будет снабжать завод паром для технологических нужд и горячей водой для отопления.

Проектировщик по поручению заказчика осуществляет предварительный выбор нескольких альтернативных вариантов

размещения предприятия. В комплекс работ по выбору оптимального варианта входят:

- 1) инженерные обследования и изыскания в объеме, требуемом для выбора площадки;
- 2) получение у заинтересованных организаций технических условий на подключение объекта к инженерным и транспортным коммуникациям;
- 3) разработка проектных предложений по технологической схеме, составу завода, схеме генерального плана, энерго- и водоснабжению, транспорту сырья и готовой продукции, защите окружающей среды, жилищно-гражданскому строительству;
- 4) технико-экономическое сравнение альтернативных вариантов и выбор оптимального.

Для правильного выбора заводской площадки необходимо учитывать целый комплекс технико-экономических требований к размещению и планировке ее территории, а также требования строительной климатологии.

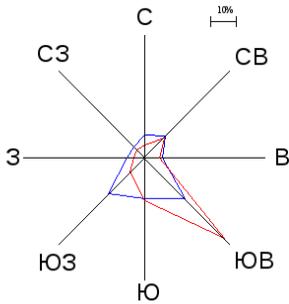
Строительная климатология определяет прикладных характеристики климата, необходимые для проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений.

Температура воздуха. При проектировании принимают расчетные температуры наружного воздуха по строительным нормам и правилам – СНиП 23-01-99 (СП 131.13330.2012 Строительная климатология).

Ветер - движение воздуха, вызванное перепадом атмосферного давления, характеризуется скоростью и направлением, является одним из определяющих параметров климата территорий застройки и учитывается при проектировании генеральных планов, районной планировки и производственных объектов. В процессе проектирования удобно пользоваться «розой ветров» - графическим изображением характеристик ветра, на котором приводятся данные о повторяемости и скорости ветра за тот или иной период на данной местности (рис. 5).

Для уменьшения загазованности жилого массива выбросами промышленных предприятий их располагают с учетом преобладающего направления ветров, которое определяют по средней розе ветров летнего периода на основе многолетних наблюдений (50-100 лет) метеорологических станций [6].

Роза ветров по повторяемости



Роза ветров по скорости

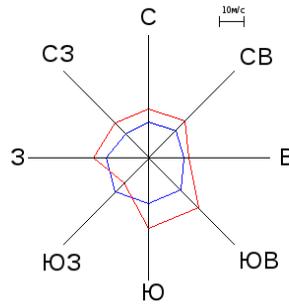


Рис. 5. Роза ветров

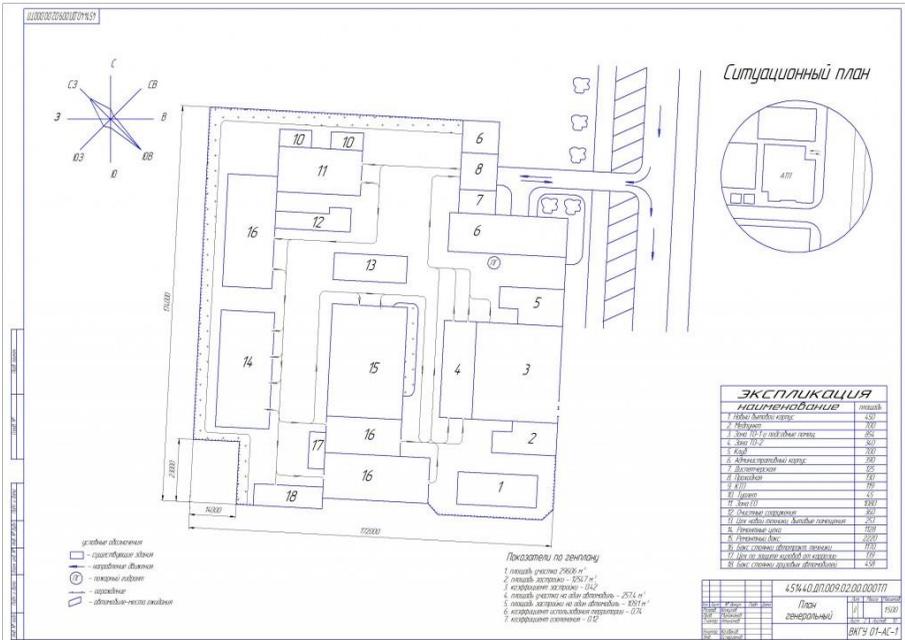


Рис. 6. Схема генерального плана предприятия

Розу ветров располагают на ситуационных и генеральных планах в верхнем левом углу чертежа и строят в соответствующем масштабе следующим образом (рис. 6); окружность делят на 8 или 16 равных частей и в результате получают 8 или 16 румбов: С, СВ, В, ЮВ, Ю, ЮЗ, З, СЗ. От центра окружности(начало координат)

откладывают в выбранном масштабе процентную повторяемость ветров в течении года (результат многолетних наблюдений) по соответствующим румбам. Полученные точки соединяют. Наиболее вытянутая сторона полученной фигуры показывает направление господствующих ветров. Промышленные здания рекомендуется располагать продольной осью по направлению господствующего ветра или под углом  $45^\circ$  к нему.

**Влажность воздуха.** Воздух практически всегда содержит некоторое количество водяных паров. Для проектирования зданий, ограждающих конструкций и систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха разработаны СНиПы «Строительная климатология и геофизика», в которых приведены упругость водяного пара и наружного воздуха по месяцам и среднемесячная относительная влажность воздуха для наиболее холодного и наиболее теплого месяцев.

**Осадки.** Важная характеристика климата - количество осадков в твердой и жидкой фазах (в виде снега и дождя), выпадающих на землю. Данные о количестве осадков используются при проектировании автомобильных дорог, генеральных планов и микрорайонов застройки, ливневой канализации с территории застройки, водостоков и т.д.

**Солнечная радиация.** Солнечная радиация, поступающая на землю, является одним из основных климатообразующих факторов местности. При размещении предприятий учитывается топография и форма площадки, которая создает определенное ограничение при компоновке планировочных решений, удовлетворяющих требованиям технологического процесса и обеспечивающих минимальный объем земляных работ. Топографические данные складываются из горизонтальной и вертикальной съемки.

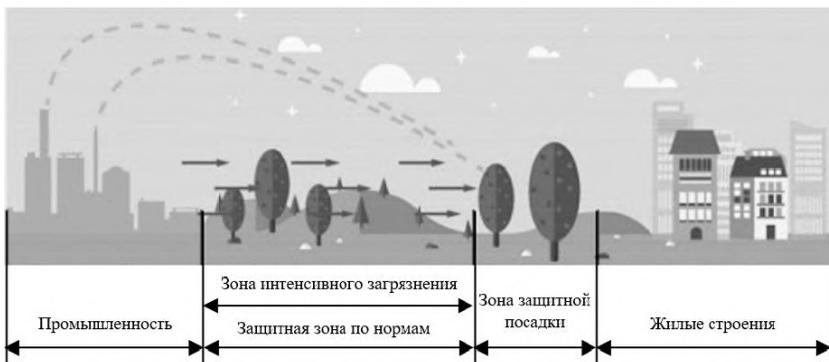
При проектировании имеют значения и **геологические данные**, которые состоят из продольных и поперечных геологических разрезов. Для промышленных предприятий непригодны площадки со слабыми грунтами в виде пльвунов и фильтрующих грунтов в сочетании с высокими уровнями стояния грунтовых вод. Нежелательны и твердые скалистые породы, доходящие до самой поверхности строительной площадки, т. к. это затрудняет проходку тоннелей и каналов. Наилучшими грунтами для оснований промышленных сооружений являются плотные гравелистые и сухие смеси, а также сухие супеси и суглинки.

Санитарные требования к выбору площадки заключаются в размещении предприятий с учетом организации санитарно-защитных зон, создании наилучших условий проветривания территории предприятий, обеспечении благоприятных условий дневного освещения производственных цехов, проведении противошумовых мероприятий. При организации территории санитарно-защитной зоны необходимо учитывать степень загрязнения и характер распределения концентраций вредных веществ на различных расстояниях от источников выброса. Выбросы через высокие трубы повышают общий фон загрязнений на больших расстояниях: так, зона максимального загрязнения при высоких и горячих выбросах находится в пределах расстояния, равного 10-40-кратной высоте трубы. При холодных низких выбросах, а также при неорганизованных выбросах, которые можно отнести к низким, зона максимального загрязнения находится в пределах расстояния равного 5-20-кратной высоте трубы (рис. 7 и 8).

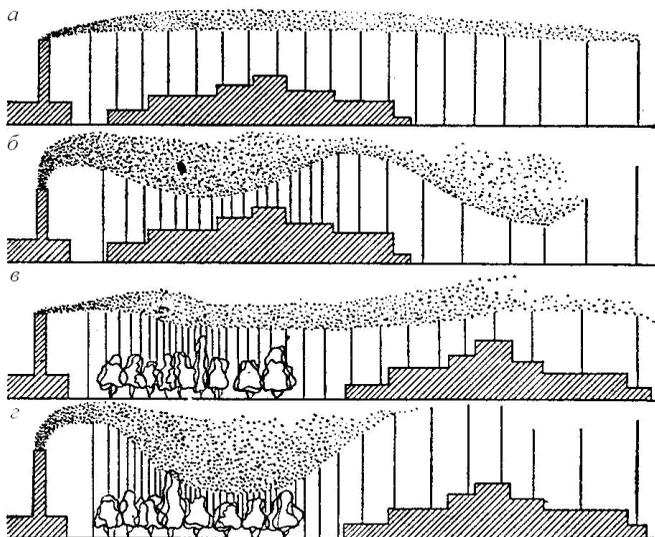
Как правило, **генеральный план предприятия** разрабатывают на основе ситуационного в масштабе 1:500, 1:1000, 1:200 или 1:5000.

На генеральном плане промышленного предприятия изображают:

- размещение всех зданий и сооружений;
- расположение цехов по группам;
- ширину противопожарных и санитарных разрывов между зданиями;
- проезды и въезды в цехи, автодороги и железнодорожные пути;
- инженерные сети;
- ограждение территории с указанием въезда и проходных на территорию завода;
- размещение пожарных гидрантов, зоны озеленения, розу ветров.



*Рис. 7. Совмещенная схема движения интенсивных загрязненных нижнего и верхнего потоков*



*Рис. 8. Схема выпадения дымовых частиц при наличии зеленых защитных насаждений между застройкой и источником задымления и при отсутствии их: а, в - в условиях ветра; б, г - в условиях безветрия*

При разработке генерального плана, прежде всего, проводят зонирование территории проектируемого предприятия:

- 1) предзаводская, где располагаются вспомогательные здания (административные корпуса, стоянки пассажирского транспорта);
- 2) производственная, где находятся основные и вспомогательные цеха;
- 3) подсобная, предназначенная для энергетических объектов и для прокладки инженерных коммуникаций;
- 4) складская с сортировочными станциями и депо.

Промышленную зону с производствами повышенной пожаро- и взрывоопасности необходимо располагать с подветренной стороны по отношению к другим зданиям и сооружениям.

Энергетические объекты размещают ближе к основным потребителям. Они должны иметь по возможности наименьшую протяженность тепло-, газо-, паропроводов и линий электропередач.

Склады располагают около внешних границ территории предприятия с целью эффективного использования подъездных путей и железнодорожного транспорта. Расстояние от путей до зданий определяют по нормативным документам.

При разработке генерального плана следует учитывать перспективу расширения предприятия и резервировать участки, прилагая необходимые технико-экономические обоснования. Между местами вредных газовых выбросов в атмосферу и жилыми или общественными зданиями необходимо предусматривать санитарно-защитную зону. Ширина зоны принимается по нормативным документам в зависимости от класса вредности газовых выбросов.

Предприятия, выделяющие производственные вредности (газ, дым, копоть, пыль, неприятные запахи и др.), запрещается располагать по отношению к жилому району с наветренной стороны. Не разрешается размещать в плохо проветриваемых долинах или котловинах предприятия, которые выделяют в атмосферу вредные вещества ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$  и др.), а также ТЭЦ. Все места для сбора и хранения отходов производства, (содержащие возбудители заболеваний, сильно действующие химические или радиоактивные вещества, которые не были подвергнуты предварительной нейтрализации, обезвреживанию и дезактивации), должны иметь специальные устройства, исключающие загрязнения почвы, подземных вод, атмосферного воздуха и быть строго изолированы от доступа людей.

## **2.5 Разработка проектной документации по охране окружающей среды**

### **2.5.1. Экологическое прогнозирование.**

*Экологическое прогнозирование* выполняется с целью предвидения результатов (последствий) взаимодействия намечаемой хозяйственной деятельности, в данном случае строительстве и эксплуатации проектируемого объекта, с компонентами окружающей среды. Процесс экологического прогнозирования выполняется в следующей последовательности.

1. Проведение анализов параметров окружающей среды, которое включает оценку природных условий, рабочее расположение проектируемого объекта и существующие технологические нагрузки от других видов хозяйственной деятельности.

2. Определение характера воздействия проектируемого объекта на окружающую среду с учетом данных об его назначении и специфике эксплуатации, вида и интенсивности сброса загрязняющих веществ, параметров предполагаемого нарушения природных условий района строительства и т. п.

3. Установление параметров и границ экологической системы и ее компонентов, попадающих под воздействие объекта (выполняется при оценке воздействия на каждый компонент среды).

4. Определение значимости отдельных природных компонентов, взаимодействующих с проектируемым объектом (зависит от влияния среды на объект, формирующий внешние воздействия).

5. Разработка прогноза взаимодействия проектируемого объекта с окружающей средой.

6. Верификация, т. е. проверка достоверности, разработанного прогноза.

В процессе строительства и эксплуатации промышленные объекты воздействуют на различные компоненты среды. К их числу относят:

а) нарушение территории и почвенного слоя на участке, отведенном для строительства, вырубка леса и кустарников;

б) нарушение водного режима территории при рытье котлованов и водоотлива, изменение условий поверхностного стока, а также обезвоживание территории за счет утечек из водонесущих коммуникаций;

в) использование поверхностных и подземных вод для водоснабжения объекта;

г) загрязнение воздушного бассейна, территории, водной среды атмосферными выбросами предприятия, а также взвешенными веществами (пылью), поднимаемыми ветром с поверхности нарушенных земель, карьеров, золоотвалов, хвостохранилищ;

д) загрязнение водных объектов сбросом сточных вода;

е) радиационное загрязнение окружающей среды;

ж) выбросы тепла, приводящие к повышению температуры воздуха, вод, изменению сроков ледостава, режима паводков, образование туманов и т. п.;

з) воздействие шума, вибрации, света, электромагнитных и других видов физического воздействия на прилегающую территорию;

и) активизация опасных геологических процессов под воздействием нагрузок от сооружений, изменений гидрогеологического режима и условий поверхностного стока территории;

- нарушение растительности и условий обитания животного мира.

Основными факторами, снижающими достоверность экологических прогнозов, являются:

- отсутствие точных данных о воздействии проектируемого объекта на среду и ее ответная реакция;

- несоответствие объемов приводимых инженерно-экологических изысканий видам воздействия и параметрам затрагиваемой среды;

- кратковременность экологических наблюдений прогнозных оценок последствий намечаемой деятельности.

### **2.5.2 Разработка прогноза загрязнения воздуха**

Загрязнение воздушного бассейна при строительстве и эксплуатации промышленного объекта является одним из основных факторов воздействия на окружающую среду. Загрязнение воздушного бассейна определяется по концентрации загрязняющих веществ в приземном слое воздуха мощностью 50-100 м.

Разработка *прогноза загрязнения воздуха* основывается на результатах расчетов загрязняющих веществ (пыли и газов) от источника выброса объекта с учетом перспектив изменения шифра

структуры района и условий выброса загрязняющих веществ другими промышленными и жилищно-гражданскими объектами. Для подготовки прогноза загрязнения воздушного бассейна района строительства должны быть определены:

1. Характеристики физико-географических, природно-климатических условий района строительства (местоположения, климатические и иные параметры).

2. Данные о проектируемом объекте (мощность предприятия, перечень основных производств, технологические параметры и характеристики), себестоимость основных видов продукции, численность работающих. Наименование выпускаемой продукции, виды энергоносителей.

3. Величина фонового загрязнения воздушного бассейна (перечень контролируемых веществ, их концентрация, данные о существующих источниках загрязнения воздушного бассейна и т. п.). Составляются по данным местных органов Росгидромета.

4. Характеристики источников выброса загрязняющих веществ проектируемого объекта. Составляются в форме таблицы.

5. Данные о составе и количестве выбросов загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу после газоочистного оборудования и от неорганизованных источников объекта.

6. Данные о составе и количестве выбросов загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу от других объектов инфраструктуры района в перспективе. Составляются по данным местных органов Росгидромета.

Расчеты выполняются в соответствии с Приказом № 273 от 06.06.2017 Методы расчётов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе

### **2.5.3 Прогнозирование состояния поверхностных и подземных вод**

Для разработки *прогноза воздействия объекта на состояние поверхностных и подземных вод* района должны быть определены:

-гидрологические, гидрогеологические и гидравлические характеристики водных объектов, используемых для водоснабжения или водоотведения проектируемого объекта;

-существующий уровень загрязнения поверхностных и подземных вод;

- объем водопотребления и водоотведения проектируемого объекта;

- расположение водозаборов и выпуска сточных вод объекта;
- объем водопотребления других водопользователей района в заданном интервале времени;
- количество, состав и характеристики сбрасываемых сточных вод с указанием основных загрязняющих веществ, их концентрации и класса опасности;
- расположение и технические характеристики показателей сточных вод других сооружений объекта, воздействующих на состояние водной среды;
- изменение параметров поверхностного стока территории, находящейся под воздействием проектируемого объекта;
- данные о количестве и составе сточных вод, сбрасываемых в реки и водоемы другими объектами района в заданном интервале времени или перспективный уровень фонового загрязнения водных объектов;
- требования органов водного надзора к режиму водопользования в рассматриваемом регионе;
- требования органов рыбоохраны к водопользователям водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение.

Для разработки прогноза составляют водохозяйственный баланс, перспективные потребности в воде в заданном интервале времени при изменении режима водопользования, связанное с эксплуатацией объекта и изменением инфраструктуры района.

#### **2.5.4. Прогноз воздействия объекта при возможных авариях**

Основными *причинами возникновения аварийных ситуаций* на объектах различного назначения являются нарушения технологических процессов на промышленных предприятиях, технические ошибки обслуживающего персонала, нарушения противопожарных правил и условий техники безопасности, отключение систем энергоснабжения, водоснабжения и водоотведения, стихийные бедствия, террористические акты и т. п. Различают проектные и запроектные аварии.

Проектные аварии подразделяются на три класса:

- максимальная экологическая авария – авария с катастрофическими, необратимыми последствиями значительного масштаба, наносящими большой ущерб населенным пунктам и природной среде (например, разрушение плотин

гидроэнергетического узла, авария реактора на АЭС с выбросом радиоактивных веществ и т. п.);

- крупная экологическая авария – авария с серьезными последствиями для природной среды и населения, причиной которой, как правило, является разрушение элементов производства (оборудования), неправильные действия обслуживающего персонала (например, авария систем очистки сточных вод промышленного объекта с большой утечкой стоков);

- технологическая экологическая авария – авария элементов технологической схемы, характеризующаяся кратковременностью воздействия и отсутствием необратимых последствий для среды (например, авария электрофильтра на ТЭС, приводящая к выбросу загрязняющих веществ в атмосферу).

Запроектные аварии отличаются от проектных только исходным событием, как правило, исключительным, которое не может быть учтено без специально поставленных в техническом задании на проектирование условий. Запроектные аварии характеризуются разрушением тех же объектов и теми же экологическими последствиями, что и проектные аварии. Вероятность возникновения запроектных аварий определяется величинами, связанными с воздействием внешних сил и событий (землетрясения, смерчи, ураганы, террористические акты бомбардировка объектов в результате военных действий и т. п.).

Определение класса аварий следует выполнять по результатам анализа причин аварийности на конкретных объектах – аналогах примерно равной мощности с близкими характеристиками технологических процессов на основных производствах. Для этого на объекте-аналоге проводят:

- отбор наблюдавшихся аварийных ситуаций, имеющих экологические последствия;

- классификацию аварийных ситуаций в соответствии с вышеприведенными признаками;

- описание сценариев выбранных аварийных ситуаций, а также наблюдаемых негативных последствий от них для окружающей среды;

- определение размеров зон аварийных ситуаций и интенсивность их воздействия на окружающую среду;

- оценку вероятности возникновения каждой аварийной ситуации.

Аварийность на объектах-аналогах следует оценивать по показателям риска их неблагоприятного воздействия на окружающую среду или инфраструктуру – население. Снижение аварийности и повышение уровня надежности предприятий и производств повышенной опасности должны обеспечиваться сейсмостойкостью, взрыво- и пожаробезопасностью проектируемых установок, агрегатов и сооружений. Системы регулирования опасных технологических процессов на таких предприятиях должны отличаться постоянством параметров работы технологических установок – оборудования (температура, давление, скорость процесса и т. д.) – более жесткими требованиями к качеству и составу исходного сырья. Принципиальные технологические схемы опасных производств должны обеспечивать плавное регулирование технологических режимов, автоматическое отключение оборудования при авариях и пожарах.

### **Вопросы и задания к разделу 2**

1. Как происходит выбор технологии производства?
2. Изобразите розу ветров для юго-восточного направления.
3. Изобразите розу ветров для северо-восточного направления.
4. Что такое предпроектирование?
5. Проектная документация.
6. Изобразите розу ветров для северо-западного направления.
7. Выбор метода (технологии) производства.
8. Изобразите розу ветров для южного направления.

## 3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРОИЗВОДСТВА

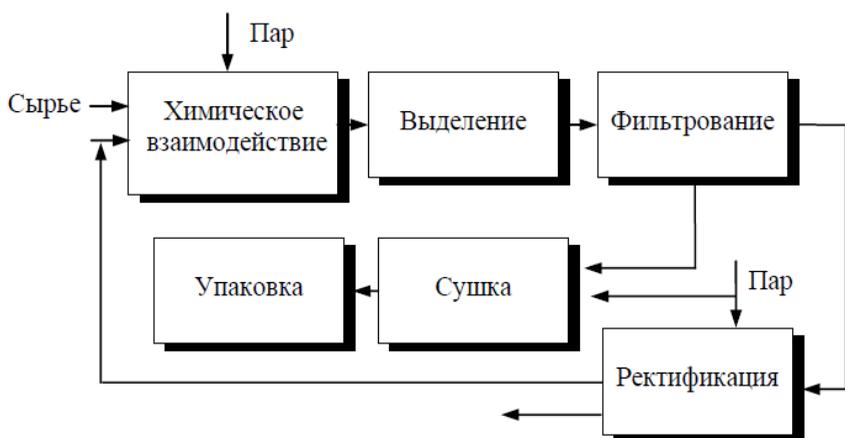
### 3.1 Основные аспекты и составляющие технологической схемы производства

Задача создания *технологической схемы* нового производства состоит в разработке комплекса взаимосвязанных процессов, обеспечивающих получение требуемых продуктов нужного качества при минимальной себестоимости. Взаимосвязь отдельных процессов, возможность решения проблемы различными путями, необходимость экономического решения обуславливают участие в разработке технологической схемы специалистов разного профиля (химиков-технологов, механиков, специалистов по монтажу оборудования и автоматизации).

*Исходными данными* для разработки технологической схемы являются:

- задание на проектирование;
- материал предпроектной проработки (предполагаемый район строительства, мощность производства, сведения по технологии действующих производств или их аналогов и т. д.);
- общие данные по заводу (температура воздуха, воды, условия выброса сточных вод в общезаводскую канализацию, сброса отходящих газов в атмосферу, вывозка шлаков и отходов, особые условия и т. д.);
- рецептурные материалы к проектированию (регламент и все изменения и дополнения к нему, отчеты о научно-исследовательских разработках, материалы из учебников, монографий, справочников, периодических изданий, авторских свидетельств и патентов, материалы по обследованию родственных производств; систематизируется литература по методам расчета основных технологических процессов и аппаратов, которые будут использоваться при проектировании);
- уточненные ограничивающие параметры (запрещение использовать в виде промежуточных продуктов в технологической схеме канцерогенных или мутагенных веществ), выбор мероприятий, позволяющих исключить использование сильнодействующих ядовитых веществ, технико-экономические ограничения и т. д.

Для новых сложных производств на основе выбранного метода часто составляют предварительную *эскизную технологическую схему*, на которой показывают основные технологические стадии и материальные потоки между ними, выявляют стадии, подлежащие усовершенствованию. Разработка этой схемы заключается в создании совокупности процессов, направленных на выпуск продукта заданного количества и качества при минимальной себестоимости. Их можно разделить на основные (химические, физико-химические, механические) и вспомогательные (транспортировка, упаковка, складирование, удаление отходов). Данные процессы (стадии) изображаются прямоугольниками и структурная (эскизная) схема имеет вид, представленный на рис. 9.



*Рис.9. Эскизная технологическая схема*

Руководствуясь предварительным (эскизным) вариантом такой технологической схемы, проектировщик приступает к составлению и расчету уравнений материального баланса для каждой стадии процесса. Назначение расчета – определение затрат сырья для получения заданного количества конечного продукта; объемов и составов реакционных масс на каждой стадии процесса, количеств и составов отходов сточных вод и газовыделений; определение расходных норм по сырью; объема реакционной массы на данной стадии, необходимого для получения одной тонны готового продукта. Расчет материальных балансов стадий, связанных с химическими превращениями, проводят на основании стехиометрических уравнений реакции.

Исходными данными для проведения расчета являются: эскизная технологическая схема производства с указанием основных и побочных реакций; степень превращения и выход; состав исходных веществ и состав реакционной массы, поступающей с предыдущей стадии; данные регламента о соотношении реагирующих веществ для стадий, связанных с химическими превращениями и состав получаемых потоков для стадий фильтрации, сушки, ректификации и т.п.

При составлении уравнения материального баланса периодического производства учитывают допустимые потери сырья, которые составляют: при фильтровании – 1–2 %; при сушке – 1–10 %; при размоле, дроблении, смешении – 0,5 %; при выпаривании, дистилляции, ректификации – 5–15 %; при фасовке и упаковке – 0,5 %.

Составление и расчет уравнений материального баланса можно проводить двумя способами:

1. Расчет на одну тонну готового продукта. При этом рассчитывают расходные коэффициенты по сырью, объемы реакционных масс, приходящиеся на одну тонну готовой продукции. Данные по реальным загрузкам в аппараты, объемам реакционных масс, расходам на каждой стадии получают после пересчета.

2. Расчет на одну операцию для периодического процесса и часовую производительность – для непрерывного. В этом случае получают реальные загрузки в аппараты и объемы реакционных масс.

Одновременно составляют и рассчитывают уравнения теплового баланса по стадиям производства. В результате расчетов уравнений материального и теплового балансов определяются связи проектируемого производства с общезаводским хозяйством. Следует отметить, что материальные и тепловые балансы уточняются в процессе разработки проекта.

**Принципиальную технологическую схему** разрабатывают на основе эскизной технологической схемы и выбранного оборудования. При этом разрабатываются способы доставки сырья в цех и отгрузки готовой продукции, обезвреживания и удаления отходов производства, вопросы обеспечения экологической безопасности и охраны труда, автоматизации производства [7].

Предварительный вариант технологической схемы вычерчивают с соблюдением определенных правил. Аппараты можно изображать без соблюдения масштаба, но с учетом соотношения размеров. Обязательным является распределение их по высотным отметкам. По горизонтали аппаратуру располагают последовательно в соответствии

с технологическими стадиями процесса. Расстояние между аппаратами на схеме должно быть таким, чтобы она удобно читалась. Каждый аппарат изображается упрощенно в виде эскиза, отражающего его принципиальное устройство. Можно также пользоваться условными обозначениями аппаратов. При установке на технологической стадии нескольких однотипных аппаратов, работающих параллельно, изображают один, а число их указывают в экспликации схемы. Для непрерывных процессов при использовании каскада изображают все аппараты.

Основные материальные потоки наносят четкими сплошными линиями с указанием их направления и соответствующей нумерацией, расшифровка которой приводится в правом верхнем углу схемы. Каждый аппарат на технологической схеме должен иметь номер, который сохраняется во всех частях проекта (технологической, строительной, электротехнической и т.д.). Аппарат на схеме нумеруется слева направо с учетом технологической последовательности. На технологической схеме обязательно отмечают, откуда и как поступает в цех сырье и вспомогательные материалы, куда и каким способом удаляется готовая продукция, отходы, сточные воды. На принципиальной технологической схеме изображают оборудование не только основных, но и вспомогательных технологических стадий (операций) – таких, как подготовка (измельчение, растворение и т.д.) и дозирование сырья, промежуточное хранение продуктов и т.п.

Разработка принципиальной технологической схемы тесно связана с выбором методов автоматического контроля и регулирования технологического процесса. Автоматизация технологической схемы должна обеспечить контроль, регулирование и сигнализацию предельных значений параметров процесса и состояния технологического оборудования, блокировку и установку технологических машин и аппаратов в аварийных ситуациях. Приборы и средства автоматизации при выполнении принципиальной технологической схемы могут изображаться развернуто или упрощенно. При развернутом изображении на схеме показывают: отборные устройства, датчики, преобразователи вторичные приборы, исполнительные механизмы, регулирующие и запорные органы, аппаратуру управления и сигнализации, комплектные устройства (управляющие вычислительные машины, телемеханические устройства) и т.д.

Приборы, средства автоматизации, электрические, вычислительные и микропроцессорные устройства на принципиальной технологической схеме показываются в соответствии с ГОСТ 21.208-2013. Всем приборам и средствам автоматизации, изображенным на принципиальной технологической схеме, присваиваются позиционные обозначения, сохраняющиеся во всех чертежах и материалах проекта.

Все оборудование (аппараты, насосы, вентиляторы и др.) на схеме необходимо изображать сплошными тонкими линиями толщиной 0,6-0,8 мм, а трубопроводы и арматуру – сплошными основными линиями в два раза толще, чем оборудование. Условные графические обозначения приборов и средств автоматизации на схемах выполняются линиями толщиной 0,5-0,6 мм, а линии связи – 0,2-0,3 мм.

После изображения на технологической схеме всех приборов и средств автоматизации составляется спецификация по форме ГОСТ Р 21.1101-2013.

После разработки принципиальной технологической схемы составляют полное описание ее. При описании каждой технологической стадии кратко сообщается о конструкции аппарата, способе загрузки сырья и выгрузке продуктов переработки, дается характеристика протекающего процесса (периодический, непрерывный, циклический), перечисляются основные параметры его (давление, температура и др.), методы контроля и регулирования, а также все отходы и побочные продукты. Кроме того, описываются также принятые в проекте способы внутрицеховой транспортировки сырья, вспомогательных материалов, реакционных масс, отходов и готовых продуктов. Примеры принципиальных технологических схем очистки сточных вод представлены в приложениях А, Б.

Прежде чем составить технологическую схему, необходимо уточнить ряд задач, которые решаются на данном этапе работы. Это, прежде всего, обеспечение охраны труда и техники безопасности. Поэтому в технологической схеме должны предусматриваться средства предотвращения превышения давления (предохранительные клапаны, взрывные мембраны, гидрозатворы, аварийные емкости), системы создания защитной атмосферы, системы аварийного охлаждения и т. д.

Окончательная технологическая схема составляется после разработки всех разделов проекта и вычерчивается на стандартных листах бумаги в соответствии с требованием ЕСКД.

После этого составляется описание технологической схемы, которая снабжается спецификацией. В спецификации указывается количество всех аппаратов и машин. Резерв оборудования выбирается с учетом графика проведения планово-предупредительного ремонта и свойств технологического процесса. Описание технологической схемы является частью расчетно-пояснительной записки. Целесообразно описывать схему по отдельным стадиям технологического процесса. Вначале следует указать, какое сырье подается в цех, как оно поступает, где и как хранится в цехе, какой первичной обработке подвергается, как дозируется и загружается в аппараты.

При описании собственно технологических операций кратко сообщается о конструкции аппарата, способе его загрузки и выгрузки, указываются характеристики протекающего процесса и способ проведения (периодический, непрерывный), перечисляются основные параметры процесса (температура, давление и др.), методы его контроля и регулирования, отходы и побочные продукты. Описываются принятые способы внутрицеховой и межцеховой транспортировки продуктов. В описании должны быть перечислены все изображенные на чертеже схемы, аппараты и машины с указанием присвоенных им по схеме номеров.

Образующиеся в технологическом производстве нецелевые продукты, которые не могут быть использованы на данном предприятии и продукты, которые после соответствующей обработки можно использовать повторно называют термином «отходы»

Условно отходы технологических производств можно классифицировать следующим образом.

1. По агрегатному состоянию:

- твердые;
- пастообразные;
- жидкие;
- газообразные.

2. По коррозионной активности:

- нейтральные;
- слабоагрессивные;
- агрессивные;
- сильноагрессивные.

3. По воздействию на живые организмы:

- токсичные;

- нетоксичные.

#### 4. По характеру выделения:

- случайные;
- периодические.

Как правило, отходами производства являются: отработанная охлаждающая вода, газообразные отходы, жидкие органические соединения, кислотные или щелочные стоки, условно чистые стоки, хозяйственно-фекальные стоки, пастообразные и твердые отходы.

Для удаления отходов из аппаратов и их обезвреживания необходимо учитывать следующие. Во-первых, условия выгрузки необходимо предусматривать при конструировании аппаратов, а на основе агрегатного состояния отходов, подбирать способ удаления.

Для выгрузки порошкообразных и гранулированных материалов следует применять пневмотранспорт. Для паст и шламов используется метод разбавления водой или дешевым растворителем. Затем полученную суспензию перекачивают на станцию очистки.

Газообразные отходы удаляются и транспортируются за счет избыточного давления, под которым они, как правило, находятся в аппаратах. Эти отходы направляются на сжигание в печи или на так называемый «факел». Если эти газы безвредны, то они выбрасываются в атмосферу.

Жидкие производственные отходы, в зависимости от их свойств, удаляются по одной из следующих линий безнапорной канализации.

Канализация условно чистых производственных стоков. В нее направляют отработанную воду из оросительных холодильников, охлаждающих рубашек, конденсаторов и т.п. Эти стоки часто подвергаются отстаиванию, фильтрации и поступают на охлаждение в градирни оборотного водоснабжения, либо эти стоки сбрасываются в водоемы.

Канализация ливневых стоков. В эту канализацию кроме атмосферных стоков сбрасывают воду из холодильников при опорожнении их перед ремонтом. Ливневая канализация в цехе состоит из системы лотков, которые имеют уклоны. Чтобы газы из заводской системы ливневой канализации не попадали в цех, имеются гидрозатворы.

Канализации химически загрязненных стоков. Эта канализация предназначена для стоков, значительно загрязненных органическими и неорганическими веществами, которые требуют сложных методов очистки (механических, физико-химических, биохимических) на

специальных очистных сооружениях. В эту канализацию направляют стоки и смывные воды с установок, перерабатывающих токсичные вещества. Иногда такие стоки приходится собирать в специальные сборники, затем подвергать их дегазации, и лишь потом направлять на очистные установки.

Канализация кислотно-щелочных стоков. Кислотные и щелочные стоки разрушительно действует на металлические и железобетонные конструкции. Поэтому аппаратуру, из которой выводят такие стоки, группируют в одном месте, окруженном кислотоупорным барьером. Внутри этой территории имеется трап, соединенный с заводской системой кислотно-щелочных стоков. Часто кислотно-щелочные стоки нейтрализуются в цехе, а затем направляют в канализацию химически загрязненных стоков.

### 3.1.1 Составление принципиальной технологической схемы

Состав и типы очистных сооружений выбираются в зависимости от:

- требуемой степени очистки сточных вод, производительности станции;

- особенностей состава сточных вод, метода использования осадка, возможности применения оборотной системы водоснабжения;

- от местных условий – наличия земельных участков, климата, вида грунтов, наличия и уровня грунтовых вод, рельефа местности и т.д. (табл. 1). Кроме того, должна быть обеспечена простота эксплуатации сооружений очистной станции. При выборе основных сооружений очистной станции следует руководствоваться рекомендациями, приведенными в [8–10].

Принципиальная схема очистной станции составляется в соответствии с необходимой **степенью и выбранным методом очистки** сточных вод. Схема должна включать в себя основные узлы очистной станции без детальной обвязки сооружений коммуникациями.

Таблица 1 - Рекомендации по выбору первичных отстойников и сооружений биохимической очистки

Показатель	Вертикаль- ные	Горизон- тальные	Радиа- льные	Горизон- тальные с преаэра-	Биокоагу- ляторы

1	2	3	4	5	6
Производительность очистных станций, на которых рекомендуется применять сооружения, м <sup>3</sup> /сут	До 50000	Более 15000	Более 20000	Более 15000	До 50000
Максимально достигаемый эффект осветления, %	До 50	До 60	До 70	До 70	До 70
Максимально допустимая концентрация взвесей на входе в отстойник, при которой обеспечивается вынос не более 150 мг/л взвесей, мг/л	300	375	375	500	500
Снижение БПК в отстойных сооружениях, %				10-15	30
Сооружения биохимической очистки, с которыми предпочтительно применять отстойники	биофильтры высоконагружаемые	аэротенки и биофильтры высоконагружаемые	аэротенки	только аэротенки	аэротенки и биофильтры высоконагружаемые

Принципиальная схема очистной станции составляется в соответствии с необходимой **степенью и выбранным методом очистки** сточных вод. Схема должна включать в себя основные узлы очистной станции без детальной обвязки сооружений коммуникациями. В схеме указывается направление движения сточных вод, осадков, активного ила. Движение сточных вод на схеме

изображается слева направо или сверху вниз; основной поток сточных вод наносится жирной линией. Сооружения показываются без масштаба в виде квадратов, прямоугольников, кругов. Наиболее часто применяемые схемы очистки сточных вод представлены в [11]. Схема очистной станции с аэротенками представлена на рис. 10.

На рис. 10 приведена схема очистных сооружений в соответствии с современными нормативными требованиями [12].

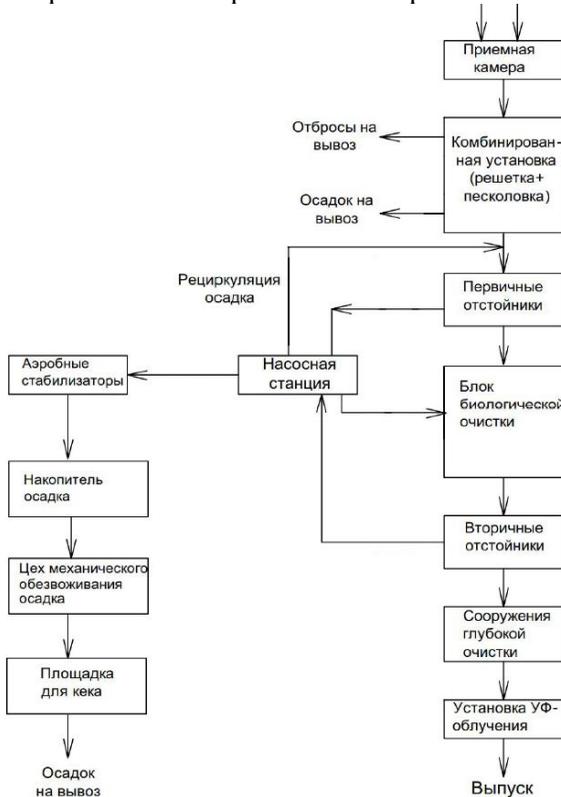


Рис. 10. Схема очистной станции с аэротенками

Согласно [13] рекомендуется использовать решетки с прозорами не более 10 мм. В зависимости от принимаемой технологической схемы очистных сооружений допускается применение решеток (сит) с меньшим прозорами, процеживателей, измельчителей, двухступенчатых схем процеживания (грубые и тонкие решетки). Если принято решение об использовании барабанных решеток при

реконструкции очистных сооружений, то целесообразно механическую очистку сточных вод производить на комбинированных установках (решетки и аэрируемая пескожировка), совмещающих в себе операции извлечения из сточных вод твердых включений, песка и всплывающих веществ. Песколовки рекомендуются аэрируемые; обезвоживание осадка из песколовок предпочтительнее производить в песковых бункерах как более компактных и экологичных по сравнению с песковыми площадками. Сооружения осветления сточных вод рекомендуется применять на очистных сооружениях производительностью свыше 1000 м<sup>3</sup>/сут. При обосновании допускается отказ от стадии осветления сточных вод. В этом случае прозоры процеживающих решеток должны быть не более 6 мм, а время пребывания в песколовках – не менее 10 мин. При реконструкции очистных сооружений с переходом на современные технологии с удалением азота или азота и фосфора изменяется функция первичных отстойников. Технология удаления азота денитрификацией и фосфора в составе избыточного активного ила требует повышенного содержания в сточной воде легкоокисляемых органических веществ (субстрата). Использование этанола или метанола связано с большими экономическими затратами. В тоже время осадок первичных отстойников содержит легкодоступные органические вещества, извлекаемые из них в ходе кислого брожения. Сооружения для кислого брожения загрязнений, называемые ацидофикаторами, могут быть самостоятельными (в виде емкостей с перемешиванием), либо включенными в объем первичных отстойников. В последнем случае организуется постоянная циркуляция осадка, а часть объема отстойника выделяется под сбрасыватель (ацидофикатор). При использовании осветления осветленная вода приобретает темноватый оттенок, вследствие образования сульфидов железа. Но высокий эффект осветления в данном случае не требуется. На первый план выходит насыщение субстратом подаваемой на биологическую очистку сточной воды.

При разработке схемы очистной станции следует учитывать, что, должна осуществляться биологическая очистка от соединений азота. При этом должны применяться специальные методы удаления фосфора. Биологический метод очистки сточных вод от соединений азота основан на процессах нитрификации и денитрификации. Процесс нитрификации представляет собой совокупность реакций биологического окисления аммонийного азота до нитритов и далее до

нитратов. В ходе денитрификации происходит окисление органических веществ при восстановлении азота нитратов до свободного азота. В отличие от азота, который может выводиться из системы в газообразном состоянии при денитрификации, фосфор распределяется между илом и очищенной водой. Биологическое удаление фосфора заключается только в выводе его в составе избыточного активного ила. Пребывание в анаэробных, а затем в аэробных условиях, приводит к повышению содержания фосфора в активном иле. При удалении избыточного ила происходит выведение фосфора из системы. Биологическая очистка сточных вод осуществляется в блоках биологической очистки (биоблоках). Технология удаления азота и фосфора включает три основных элемента в биоблоке: зону анаэробной обработки смеси ила и сточной воды; аноксидную зону для денитрификации и оксидную (аэробную) зону для проведения нитрификации. Каждая зона биоблока может состоять из нескольких отсеков с различным перемешивающим и аэрационным оборудованием. Обеззараживание сточных вод, сбрасываемых в водные объекты, рекомендуется производить ультрафиолетовым излучением. В реконструкции сооружений обработки осадка ведущей тенденцией является переход от естественных методов сушки и уплотнения (иловые карты и гравитационные уплотнители) к механическому сгущению и обезвоживанию. Здесь используется весь имеющийся набор современного оборудования, такого как ленточные и барабанные сгустители, шнековые сгустители, уплотняющие и обезвоживающие центрифуги, ленточные и камерные фильтр-прессы и др. Осадки очистных должны подвергаться стабилизации. Анаэробное (метановое) сбраживание рекомендуется для стабилизации осадков на очистных сооружениях. Учитывая, что иловая вода из метантенков содержит 300–500 мг/л аммонийных соединений и 50–60 мг/л фосфатов, а сливная вода из аэробных стабилизаторов – 100–120 мг/л нитратов и 40–50 мг/л фосфатов, целесообразно применять метод аэробной стабилизации. При отсутствии резервных иловых площадок осадок необходимо направлять в накопители с временем пребывания не менее двух суток и предусматривать дополнительную единицу резервного оборудования для механического обезвоживания осадка [12].

### 3.2 Размещение технологического оборудования

Прежде всего, на технологической схеме определяются типы и количество агрегатов, направление потоков и их взаимное высотное расположение. Группируется оборудование для процессов с аналогичными вредными выделениями; затем технологическое оборудование размещается на чертежах компоновки цеха.

При размещении технологического оборудования следует руководствоваться *принципами группировки*.

Прежде всего, необходимо выделить оборудование, которое может быть полностью размещено на открытых площадках и то, для которого достаточно соорудить укрытия (например, кубовая часть колонны). Затем следует сгруппировать аппараты и машины, в процессе эксплуатации которых наблюдается значительное выделение пыли, сильная вибрация и выделение агрессивных веществ; объединить в группы аппараты, размещаемые на наружных установках, снабжаемых водой. Все крупногабаритное, тяжелое оборудование должно быть установлено как можно ниже.

Аппараты с высоко расположенными люками, штуцерами, перемешивающими устройствами, обслуживание которых ведется со специальных площадок, должно размещаться так, чтобы их можно было использовать в качестве опор для этих площадок. В одном помещении не следует объединять оборудование с различными по категории выделениями. При несоблюдении этого принципа приходится, например насос, перекачивающий воду, но расположенный рядом с углеводородным насосом снабжать электродвигателем во взрывобезопасном исполнении.

Вибрирующее оборудование (поршневые компрессоры, насосы, дробилки и т. п.) объединяют и размещают на массивных фундаментах, тщательно изолированных от соседних строительных конструкций.

Основным критерием оценки расположения оборудования является стройность, симметричность, максимальная упорядоченность размещения всех аппаратов и машин. В каждом технологическом помещении они должны образовывать вертикальные и горизонтальные ряды с одним или несколькими основными проходами шириной 1,2 м и удобными подходами к каждому агрегату, ширина которых в свету не менее 0,8 м.

Расстановка аппаратов на нулевой и других отметках должна производиться так, чтобы обеспечит возможность прохождения пучков

трубопроводов, подвешиваемых к перекрытиям. Этому могут помешать аппараты, по какой-либо причине выдвинутые из общего ряда.

Для проведения чисток, устранения неплотностей, смены изнашивающихся деталей должны быть предусмотрены рабочие площадки и подъемно-транспортное оборудование. При установке оборудования в цехе необходимо соблюдать следующие правила:

- основные проходы по фронту обслуживания щитов управления должны быть шириной не менее 2 м;

- основные проходы по фронту обслуживания и между рядом машин (компрессоров, насосов, местные контрольно-измерительные приборы ит. д.) при наличии постоянных рабочих мест должны быть не менее 1,5 м;

- проходы между компрессорами должны быть не менее 1,5 м, а между насосами – не менее 1 м;

- расположение оборудования на открытом воздухе и внутри здания, должно обеспечивать свободный проход к аппаратам, шириной не менее 1 м со всех сторон;

- свободный доступ к отдельным узлам управления аппаратами;

- наличие ремонтных площадок с размерами, достаточными для разборки и чистки аппаратов и их частей (без загромождения рабочих проходов, основных и запасных выходов и площадок лестниц).

Размещение технологического оборудования над вспомогательными и бытовыми зданиями и помещениями и под ними не допускается. Для предотвращения влияния вибрации, вызываемой работой ряда машин, необходимо соблюдать следующие условия:

- фундаменты под компрессоры должны быть отделены от конструкции здания (фундаментов, стен, перекрытий и т. д.);

- при необходимости должна применяться изоляция фундаментов, предохраняющая их от вибрации и т. п.

### **3.3 Компоновка производства**

Под *компоновкой производства* понимают размещение технологического оборудования и сооружений, обеспечивающее нормальное течение технологического процесса, безопасность эксплуатации оборудования, нормальные условия для монтажа и ремонта аппаратуры при оптимальном объеме строительства. В целях индустриализации и кратчайшего срока строительства объекта, компоновку самого промышленного здания необходимо выполнять с

учетом максимальной унификации строительных элементов, применяя современные типовые детали и конструкции.

Рассмотрим эти основные детали.

**Фундаменты** – это подземная часть здания, которая распределяет и передает нагрузку на грунт.

Они подразделяются по конструкции в зависимости от характера действующих усилий, глубины промерзания грунта, наличия грунтовых вод, типа здания на: ленточные, столбчатые, свайные, сплошные.

**Ленточные фундаменты** (рис. 11) применяются для слабых грунтов. Они выполняются из сборного или монолитного железобетона. Ленточный монолитный фундамент служит для установки колонн стоек здания. Ширина основания фундамента обычно 1,2 м. Под несущие стены здания используют ленточный фундамент из прямоугольных блоков.

**Столбчатый фундамент** (рис. 12) применяют для каждой колонны здания, а стены возводят с опорой на фундаментные балки.

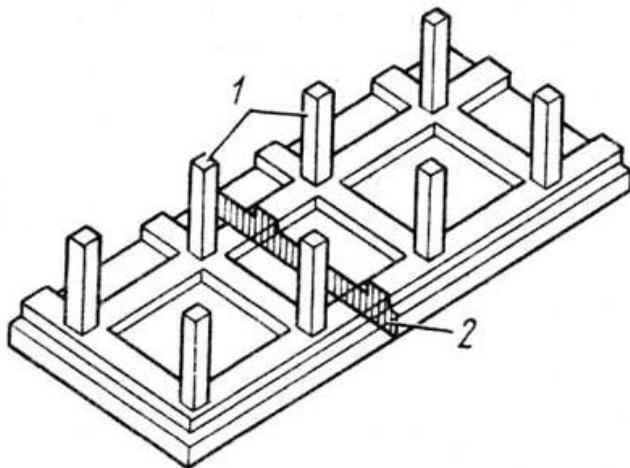


Рис. 11. Ленточный фундамент: 1 – колонна; 2 – фундамент

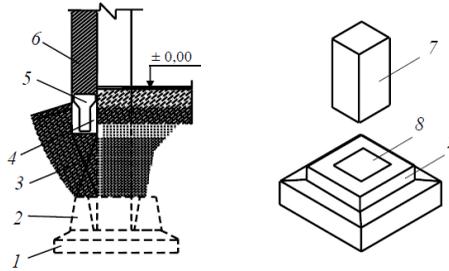


Рис. 12. Столбчатый фундамент: 1 – основание; 2 – башмак; 3 – бетонный столбик под балку; 4 – балка; 5 – гидроизоляция; 6 – стена; 7 – колонна; 8 – стакан для колонны

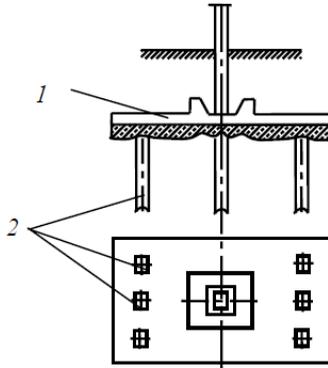


Рис. 13. Свайный фундамент: 1 – железобетонный башмак; 2 – сваи

Свайные фундаменты (рис. 13) используются в случае слабого грунта или высокого расположения уровня грунтовых вод. Железобетонные сваи обычно выпускают квадратного или круглого сечения. При небольшом давлении на свайные фундаменты применяют сваи длиной 4-7 м с сечением 200×250 мм, а при длине 6-10 м – 300×350 мм.

Сплошные фундаменты (рис. 14) применяются при неблагоприятных геологических и гидрологических условиях строительной площадки. Фундаменты образуют сплошную железобетонную плиту под всем зданием толщиной от 500 до 1500 мм.

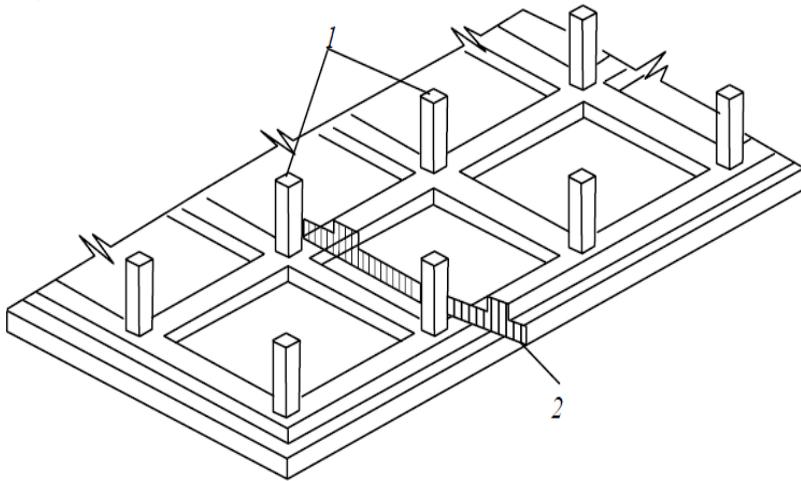


Рис. 14. Сплошной фундамент: 1 – колонна; 2 – монолитная плита

Ригели (рис. 15) предназначены для размещения плит перекрытия и имеют высоту 800 мм.



Рис. 15. Ригель

**Балки и фермы** (рис. 16, 17) применяются для покрытий промышленных зданий. Железобетонные балки применяются для пролетов от 6 до 18 м с односкатным, двухскатным и плоским профилем кровли.

В верхнем поясе балок имеются закладные стальные пластины, к которым сваркой крепят плиты покрытий. Для пролетов 18, 24, 30 м в промышленных зданиях применяют железобетонные фермы (рис.17).

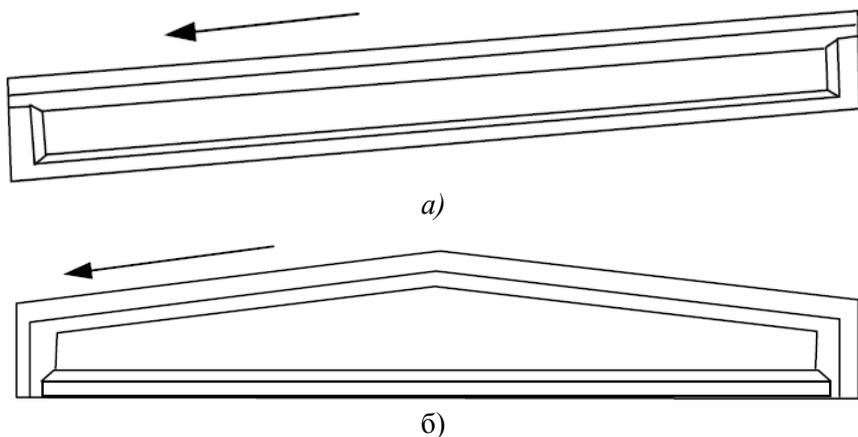


Рис. 16. Железобетонные балки: а – железобетонная балка для односкатных покрытий; б – железобетонная балка для двускатных покрытий

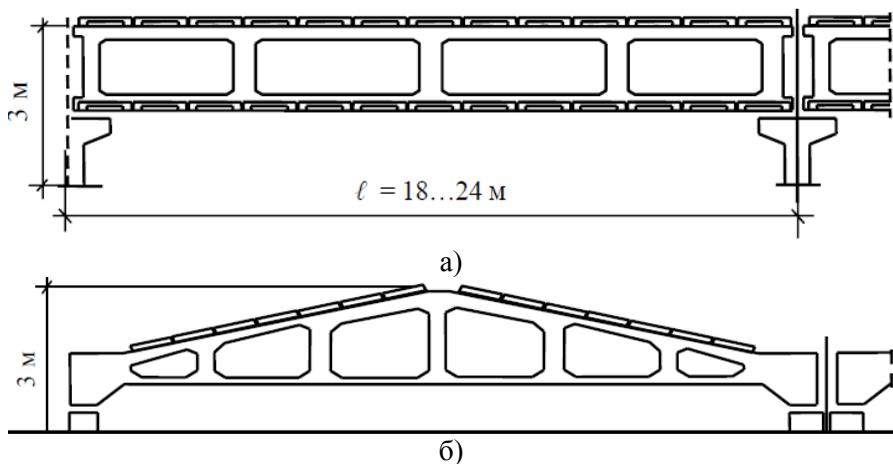


Рис. 17. Железобетонные фермы: а – с параллельными поясами; б – арочная

Балки и фермы крепятся к колоннам с помощью анкерных болтов и закладных пластин.

**Полы.** На первом этаже основанием для них служит уплотненный верхний слой грунта, а на этажах железобетонные плиты

междуэтажных перекрытий. На основании при необходимости наносят гидроизоляцию (если пол подвергается воздействию грунтовых вод или агрессивных жидкостей). Далее располагается стяжка – выравнивающий слой с ровной поверхностью (бетон, строительный раствор). Затем на стяжку наносится прослойка из соединительного (клеевого материала). На клеевой материал стелют покрытие. Это верхний слой пола, как называемая одежда (линолеум, паркет и т.п.).

**Лестницы** по назначению (рис. 18) подразделяются на основные (входные) и второстепенные (между этажами); служебные – для обслуживания оборудования; пожарные и аварийные.

Основные и второстепенные лестницы располагаются в отдельных помещениях (шахтах), огражденных стенами. По конструкции различают следующие типы лестниц: сборные железобетонные с отдельными маршами и площадками; сборные из ступенчатых ступеней; металлические.

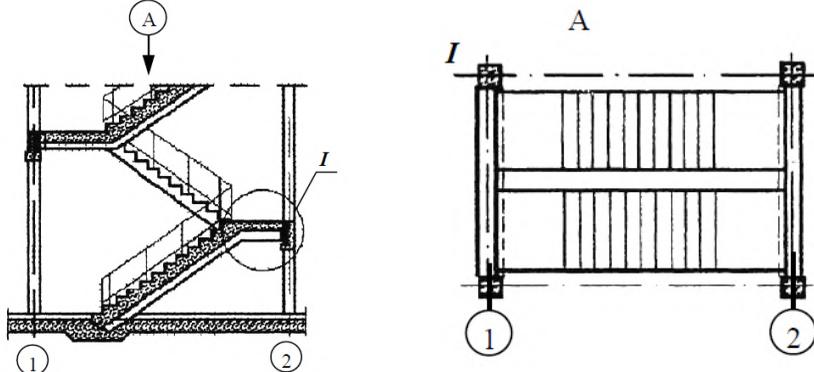


Рис. 18. Сборные железобетонные лестницы

**Колонна** является одним из основных строительных элементов, с помощью которого нагрузка передается на фундамент и служит соединительным узлом для других элементов здания. Колонны могут иметь квадратное, прямоугольное или двухветвевое сечение (рис. 19).

В железобетонных колоннах предусмотрены стальные закладные элементы (рис. 20).

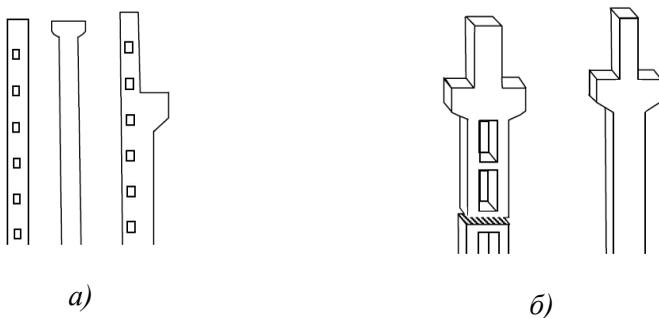


Рис. 19. Колонны: а – колонны квадратного сечения; б – двухветвевые колонны прямоугольного сечения

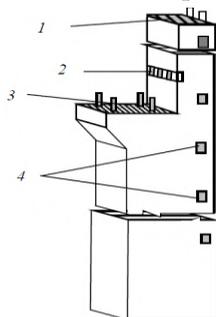
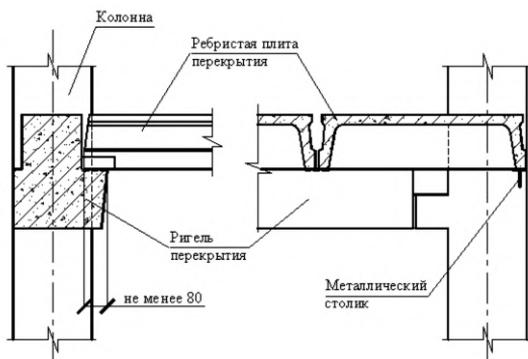


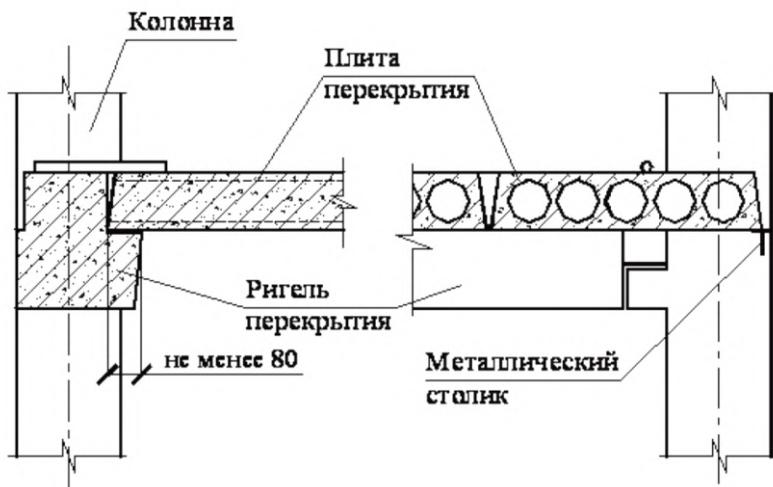
Рис. 20. Закладные элементы колонны: 1 – оголовок; 2 – упор подкрановой балки; 3 – опора подкрановой балки; 4 – элемент крепления стеновых панелей

**Плиты перекрытий** бывают основными и доборными. Железобетонная плита перекрытий чаще всего имеет номинальную длину 6 м и ширину 1,5 м. Ширина доборных плит 0,75 м.

Для перекрытия здания в качестве несущего настила часто применяют плиты длиной 6 и 12 м при ширине 1,5 и 3 м соответственно (рис. 21 и 22). Промышленные здания классифицируют: по функциональному назначению, отношению к пожарной безопасности, этажности, методу застройки, количеству пролетов, способу освещенности естественным светом, соответствию климатическим условиям, по форме здания в плане и наличию внутрицехового подъемно-транспортного оборудования.



*Рис. 21. Схема опирания ребристых плит на ригель по крайней оси*



*Рис. 22. Схема опирания многопустотных плит на ригель по крайней оси*

По функциональному назначению промышленные здания подразделяют на производственные (цехи, выпускающие готовую продукцию или полуфабрикаты); подсобно-производственные (экспериментальные, инструментальные, ремонтные); энергетические (котельные, ТЭЦ, компрессорные и другие станции); складские; транспортные; санитарно-технические (насосные станции, очистные сооружения и др.); вспомогательные (завоуправления, КБ, медпункт, помещения для учебных занятий).

Все здания и сооружения по огнестойкости подразделяют **на пять степеней**. Каждая степень огнестойкости здания или сооружения определяется двумя показателями:

1) группой возгораемости применяемых строительных материалов конструкций (все строительные материалы и конструкции по степени возгораемости делятся на негоряемые, трудно сгораемые и сгораемые);

2) пределом огнестойкости отдельных конструктивных элементов зданий или сооружений. Предел огнестойкости – это время в часах, в течение которого конструкция способна сопротивляться действию огня до потери устойчивости и несущих возможностей.

Промышленные здания и сооружения химических предприятий проектируют обычно II класса и не ниже третьей степени огнестойкости.

По взрывной, взрывопожарной и пожарной опасности все производства в соответствии со СНиП подразделяют на шесть категорий: А, Б, В, Г, Д, Е.

К категории А относят производства, в которых технологический процесс наиболее пожаро- и взрывоопасен (т.е. возможно образование воздушных взрывоопасных смесей). Взрыв таких смесей может последовать от возникшей искры, резкого удара, детонации и может привести к частичному или полному разрушению конструкций здания (в производстве взрывчатых веществ, цехах многих химических и нефтехимических отраслей и др.)

К категории Б относят такие производства, где в воздухе возможно накопление горючей или взрывоопасной пыли, горючих жидкостей с температурой вспышки паров до 120 °С, взрыв которых не разрушает конструкции зданий (производства пылеугольного топлива, муки, сахарной пудры и др.)

К категории В относят производства, в которых применяют твердые сгораемые материалы и вещества, жидкости с температурой вспышки паров более 61 °С; вещества, способные гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом (деревобделочные, столярные, мебельные, хлопкообрабатывающие, трикотажные и текстильные фабрики и др.).

К категориям Г, Д и Е относят производства, связанные с обработкой негоряемых материалов (литейные, плавильные и кузнечные цехи, тепловые электростанции, механические, инструментальные цехи).

По этажности промышленные здания и сооружения подразделяют на одноэтажные, многоэтажные и комбинированные. На практике значительное распространение получили одноэтажные промышленные здания, как более экономичные, ввиду того, что горизонтальное перемещение сырья и полуфабрикатов значительно дешевле и проще многоэтажного вертикального. Кроме того, отпадает необходимость в проектировании дорогостоящих лестниц и подъемников, стоимость стен и фундаментов ниже чем в многоэтажных зданиях, облегчается оздоровление воздушной среды посредством максимального использования естественной вентиляции. Однако при одноэтажной застройке дороже стоимость отопления за счет увеличения площади теплопотерь и занимаемой территории.

Многоэтажные здания (до шести, семи этажей) проектируют с вертикальной схемой технологического процесса. В этом случае средства затрачиваются только на поднятие сырья или материалов наверх, так как вниз они опускаются самотеком. Многоэтажная застройка может быть вызвана размещением предприятий на стесненных земельных участках, в районах сложившихся населенных мест или реконструкцией действующих производств без перспективы на их расширение. Следовательно, этажность промышленного предприятия выбирают в зависимости от конкретных условий, характера производства и технико-экономических данных.

По способу освещенности естественным светом промышленные здания проектируют с боковым светом, проникающим через окна, и с комбинированным. По температурному режиму промышленные здания делят на теплые и холодные. В отапливаемых зданиях стены и покрытия подлежат теплотехническому расчету в соответствии с климатическим районом и должны обеспечивать возможность поддержания необходимой температуры внутри цеха в холодный период года.

Промышленные здания могут быть любой формы. Наиболее распространены здания, имеющие прямоугольное очертание или в виде сочетания нескольких прямоугольников.

По наличию внутрицехового кранового оборудования различают промышленные здания, оборудованные кранами, и бескрановые. К внутрицеховому подъемно-транспортному оборудованию относят: мостовые краны, кран-балки, консольные краны, монорельсы, тельферы, конвейеры, подвесные транспортеры.

**Объемно-планировочное решение** промышленного здания – это целесообразные по функционально-техническим, технологическим, архитектурно-художественным и экономическим требованиям расположения отдельных помещений в общем строительном комплексе.

Одноэтажные здания проектируют с фонарями или окнами. Многоэтажные промышленные здания проектируют по требованиям технологического процесса, при наличии вертикальных технологических потоков, в случае строительства на территории действующих заводов. Если эти здания сооружают на одной площадке, то, как правило, они имеют единую сетку колонн. В зависимости от полезных нагрузок (массы оборудования и людей) на междуэтажные перекрытия рекомендуется применять сетки колонн  $12 \times 6$  м при нагрузке до 100 МПа,  $9 \times 6$  м – до 150 МПа и  $6 \times 6$  м – при 200–250 МПа.

Многоэтажные производственные здания проектируют шириной 18 м и более, но при необходимости допускается ширина менее 18 м. Количество этажей обычно принимают от 2 до 6 с высотой, кратной 0,6 м и равной 3,6; 4,8 и 6 м. Для первого этажа предусмотрена дополнительная высота 7,2 м.

В случае применения обычного или провисающего оборудования верхних этажей допускается применять кран-балки, электротали, монорельсы грузоподъемностью 5 т. Для зданий с провисающим оборудованием имеется также схема с укрупненной сеткой колонн  $18 \times 6$  м, с мостовым краном грузоподъемностью 10 т и высотой этого этажа 8,4 или 10,8 м.

При проектировании внутрицехового транспорта следует ограничивать применение мостовых кранов, используя напольный (автокраны, автопогрузчики, электрокары, транспортеры и др.) и подвесной транспорт. Монтаж и демонтаж оборудования необходимо выполнять самоходными безрельсовыми кранами и такелажными приспособлениями. Транспортировать и укладывать грузы (материалы и полуфабрикаты) в складских зданиях следует с применением экипажного оборудования в виде авто- и электрокар, вильчатых погрузчиков, штабелеекладчиков и т.п. Сыпучие материалы транспортируют пневмотранспортерами, шнеками, элеваторами и другими закрытыми устройствами.

Внутреннее пространство здания на предприятиях складывается из строительных конструкций, технологического оборудования,

подъемно-транспортных устройств, коммуникаций. Строительные конструкции создают объемно-планировочное решение здания, а остальные элементы составляют его эксплуатируемый объем.

Типизация и унификация объемно-планировочных решений промышленных зданий снижает стоимость промышленного строительства, способствует индустриализации, ускоряет ввод промышленных комплексов в эксплуатацию, повышает темпы строительного производства и экономическую эффективность, сокращает сроки проектирования и т.д.

Для предприятий химической промышленности разработаны и утверждены габаритные схемы и унифицированные типовые секции и типовые пролеты промышленных зданий. На основе габаритных схем разработаны следующие конструкции заводского исполнения: железобетонные фундаментные блоки, колонны, балки, фермы, плиты перекрытий и покрытий, стеновые панели и другие элементы.

Основным материалом для несущих конструкций одно- и многоэтажных промышленных зданий является сборный железобетон. Стальные конструкции могут быть запроектированы лишь для высоких многоярусных зданий, в которых необходимо смонтировать тяжеловесное технологическое оборудование, а также для разборных этажерок в зданиях павильонного типа. Для химических предприятий сочень агрессивной средой (заводы серной и соляной кислоты, производства по переработке калийных солей, минеральных удобрений и др.) целесообразно применять в качестве несущих элементов зданий деревянные клееные конструкции. Их масса в пять раз меньше железобетонных, а приведенные затраты на изготовление на 30–40 % сокращаются по сравнению с железобетонными и стальными конструкциями. При этом срок службы клееных конструкций в четыре-пять раз больше чем у сборного железобетона.

При размещении самого химического оборудования различают **три варианта компоновки**: закрытый (в промышленных зданиях), открытый (на открытых железобетонных постаменты) и смешанный.

В закрытом варианте большое значение имеют правильно запроектированные объемно-планировочные и конструктивные решения промышленных зданий, так как от них в значительной степени зависят возможности расположения технологического оборудования, уровень организации технологических процессов, комплексной механизации и автоматизации производства. При проектировании необходимо предвидеть развитие предприятия

(совершенствование технологических процессов и оборудования) на достаточно длительную перспективу.

Для гибких химических производств рекомендуются для строительства высокие одноэтажные корпуса павильонного типа. В таком цехе технологическое оборудование располагают на сборно-разборных этажерках, не связанных с несущим каркасом здания, а в случае производственной необходимости аппараты легко переместить или заменить.

В зависимости от характера оборудования и климатических условий технологическое, энергетическое и санитарно-техническое оборудование рекомендуется размещать на открытых площадках, применяя при необходимости местные укрытия.

В закрытом варианте компоновки производства важной задачей является обеспечение в промышленных зданиях необходимых климатических, светотехнических и акустических условий, которые отвечали бы характеру производства. На предприятиях таких отраслей промышленности как производство сверхчистых веществ, искусственного волокна, пленок, оргстекла и других технология производства требует постоянно поддерживать на заданном уровне температуру, влажность, чистоту воздуха внутри помещений и достаточную освещенность. Промышленные здания таких производств проектируют бесфонарными (в отдельных случаях без окон), с герметизацией и искусственным освещением. Поддержание требуемых параметров (температуры, влажности, давления, чистоты воздуха) обеспечивается вентиляцией и кондиционированием воздуха, созданием искусственного климата. Производственные помещения (с постоянным пребыванием работающих) без естественного освещения должны быть оборудованы установками ультрафиолетового излучения и фотариями.

Большое влияние на компоновку оказывают требования ремонта:

- чистка реакторов, колонн, сборников шлама и смол, а также теплопередающих поверхностей от накипи связано со снятием крышек, открытием люков, что требует дополнительной рабочей площади вокруг этих аппаратов и установки кран-балок, монорельсов с таями;

- устранение неплотностей фланцевых соединений, подтяжка сальников и замена их набивки и т.п. требует соответствующие площадки для выполнения данных работ;

- замена изношенных деталей компрессоров, дробилок, мельниц, транспортеров требует также дополнительной площади и установки упомянутых выше подъемно-транспортных механизмов;
- восстановление футеровки, изоляции, покраски связано с устройством приспособлений для подъема изоляции, плитки, а также со строительством лесов, что требует дополнительных производственных объемов.

Размещая технологическое оборудование, стремятся снизить капитальные вложения за счет уменьшения объема строительных сооружений, сокращения трубопроводных коммуникаций. Это можно достичь располагая оборудование на минимальном расстоянии друг от друга. Минимальное расстояние между аппаратами, а также между аппаратами и строительными элементами – 0,8 м. При этом основные проходы по фронту обслуживания и между рядами машин (компрессоры, насосы и аппараты с местным контрольно-измерительными приборами) должны быть шириной 2 м.

Однако минимизация трубопроводных коммуникаций вступает в противоречие с другими требованиями компоновки оборудования. Например, со стремлением сгруппировать аппараты по определенным признакам, допустим, выполняющим сходные операции: выпарные установки, сульфаторы и т.п., могут реализоваться и другие принципы группировки: оборудование с большим выделением пыли, вибрирующие агрегаты. Объединение подобных аппаратов в отдельном помещении дает определенные выгоды. Например, сгруппированное пылящее оборудование позволяет свести к минимуму количество вентиляционных камер.

Большое внимание уделяется вибрирующему оборудованию: компрессоры, дробилки, вентиляторы, насосы и другие машины. Это оборудование размещают на массивных фундаментах, изолированных от основной конструкции здания.

Прицеховые емкости сырья, тяжелое и крупногабаритное оборудование – размещают на первом этаже, поскольку расположение его на верхних этажах вызовет необходимость усложнения строительных конструкций. Следует также помнить, что тяжелое оборудование, обслуживаемое подъемными кранами, необходимо размещать в зоне приближения крюка крана.

Итак, суть вышеизложенных положений сводится к следующему: исходной базой для компоновки служат общие виды оборудования; принципиальная технологическая схема, которая

указывает на размещение оборудования по различным высотным отметкам.

Выбрав вариант компоновки (открытый, закрытый или смешанный) и учитывая изложенные рекомендации, приступают непосредственно к проектному размещению основного и вспомогательного оборудования.

Для поиска оптимального варианта компоновки привлекаются специалисты различных отделов проектной организации: технологи, монтажники, электрики и т.д. Целесообразно к этой работе привлекать и специалистов заказчика.

Вначале определяют с учетом технологии производства и условий застройки этажность здания или железобетонного постаменты. После этого группируют аппараты по сходным признакам. Затем на чертежах в масштабе 1:100 изображают планы каждого этажа с нанесением сетки колонн и наружных контуров аппаратов.

На строительных планах колонны обозначают пересечением двух взаимно перпендикулярных продольных и поперечных разбивочных осевых линий. Систему продольных и поперечных осей по рядам колонн называют сеткой колонн. Расстояние между опорами (по продольным осям), перекрываемое балками или фермами называется пролетом.

Аппараты ориентируют и привязывают по двум взаимно перпендикулярным направлениям к осям колонн и к уже нанесенным на план аппаратам.

Кроме изображения оборудования в плане по этажам делают поперечные и продольные разрезы цеха, на которых стараются показать все аппараты. Как и на планах в разрезах оборудование изображается контурно, и показывают способ его установки: на фундаменте, на консолях и т.д. К планам и разрезам цеха дается экспликация, номера аппаратов в которой обязательно должны совпадать с номерами на технологической схеме. В экспликации указывается наименование аппарата, его конструкционный материал, характеристика, количество таких аппаратов и масса аппарата. Цеховой напольный транспорт не изображается на планах при компоновке.

При определении общей производственной площади следует учитывать, что 40–50 % ее занимает трубопроводная обвязка. Различные варианты компоновки оборудования отличаются друг от

друга длиной трубопроводов, транспортеров, линий пневмотранспорта, количеством и типом газодувок, насосов, промежуточных емкостей, этажностью строительных сооружений и т.д.

В состав рабочих чертежей входят строительно-монтажные чертежи планы и разрезы размещения оборудования и трубопроводов, также чертежи элементов нетиповых строительных конструкций, общие виды нетипового технологического оборудования в объеме, необходимом для выполнения конструкторской документации.

В процессе подготовки рабочей документации проектная организация дорабатывает и конкретизирует принципиальные решения, принятые при разработке проекта и его утверждении. При необходимости технологический отдел проектной организации вносит изменения в технологическую схему производства, а затем выполняет все недостающие расчеты, производит доработку компоновки оборудования, корректирует и выдает задания проектировщикам других отделов.

Одним из важных этапов подготовки рабочей документации объекта является монтажная проработка. Монтажная проработка – это процесс, конечным результатом которого будут чертежи трубопроводной обвязки технологического оборудования проектируемого производства и объекта в целом.

Основой для проведения монтажной проработки служат:

- принципиальная технологическая схема производства;
- компоновочные чертежи;
- чертежи общих видов оборудования;
- фрагмент генерального плана предприятия с указанием места расположения проектируемого объекта и направлением эстакад этого предприятия и подземных сетей;
- сортаменты труб и их деталей.

Монтажная проработка заключается в трассировке основных технологических магистралей и трубопроводной обвязке каждого узла схемы.

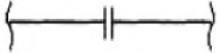
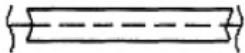
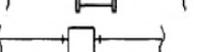
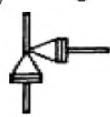
Вначале производят трассировку межцеховых магистралей и внутрицеховых, а затем делают обвязку каждого узла технологической схемы.

В отличие от машиностроительных чертежей здесь допускается некоторая условность изображения отдельных элементов.

В таблице 2 представлены условные обозначения, применяемые при вычерчивании трубопроводных коммуникаций и арматуры.

При выполнении монтажных чертежей наиболее употребителен масштаб 1:50. Чертежи трассировки магистральных трубопроводов можно выполнять в масштабе 1:100. Сложные узлы с большим количеством мелких деталей следует вычерчивать в масштабах 1:20 и 1:10.

Таблица 2 - Условные обозначения трубопроводной арматуры

Условное обозначение	Название трубопроводной арматуры
	Труба диаметром до 100 мм с фланцевым соединением участков
	Труба диаметром более 100 мм со сварным соединением
	Трубопровод с теплоизоляцией
	Трубопровод с тепловым спутником и теплоизоляцией
	Вентиль с фланцевым соединением
	Кран
	Обратный клапан
	Задвижка
	Клапан регулирующий
	Диафрагма расходомера
	Конденсатоотводчики
	Клапан предохранительный
	Клапан предохранительный

В зависимости от свойств транспортируемых веществ, а также требований, предъявляемых к качеству материала труб, и методов сварки, технологические трубопроводы делятся на три категории:

I категория – трубопроводы для огне- и взрывоопасных, агрессивных и токсичных продуктов вне зависимости от величины давления в них и температуры;

II категория – трубопроводы для продуктов, обладающих слабовыраженными коррозионными, огнеопасными и токсичными свойствами, а также трубопроводы для щелочей;

III категория – все остальные трубопроводы.

Кроме того, по типу материала, из которого они изготавливаются, **трубопроводы** делятся на металлические, металлические защищенные изнутри неметаллическими материалами и неметаллические.

Составными частями отдельного трубопровода являются цилиндрические трубы, детали для соединения труб между собой (фланцы, муфты), фасонные части для изменения направления и сечения (отводы, колена, переходные патрубки, тройники), трубопроводная арматура.

Трубопроводные детали рассчитывают на определенное «условное» давление, т.е. наибольшее рабочее давление, допускаемое в трубопроводе. Расчетное давление трубопроводов для агрессивных жидкостей принимают выше максимально возможного в трубопроводе по условиям технологического процесса.

Выбор труб и определение их диаметра проводится в такой последовательности.

Вначале анализируются исходные данные: температура и давление транспортируемой среды, расход, вязкость, сведения о коррозионных, токсических и пожароопасных свойствах, удельный вес, а также назначение рассчитываемого участка трубопровода и технологические требования, предъявляемые к материалу труб.

Затем выбирают материал труб. Выбор зависит от условного давления, химической агрессивности транспортируемой среды, требования к надежности и долговечности рассматриваемого участка трубопровода. Для защиты стальных труб от коррозии, а также для изготовления неметаллических труб применяют: винипласт, бутилкаучук, полиэтилен, полиизобутилен, резину, бутадиен-стирольный каучук, стекло, текстолит, фаолит, фарфор, хлоропреновый каучук.

После выбора материала труб переходят к гидравлическому расчету. Основной целью такого расчета является определение

диаметра трубопровода. Одновременно определяют потери напора на отдельных участках.

Чем выше выбранная скорость, тем меньше диаметр трубопровода, тем меньше затраты материала на его изготовление, а значит, его стоимость, а также стоимость монтажа и ремонта трубопровода.

Вместе с тем, при увеличении скорости растут потери напора в трубопроводе, т.е. увеличивается перепад давлений, требуемый для перемещения жидкости, и, следовательно, затраты энергии на ее перемещение возрастают. Оптимальное значение диаметра трубопровода выбирают из условия минимума суммарных годовых расходов на эксплуатацию трубопровода.

Тщательно следует подбирать и трубопроводную арматуру. Под этим понятием объединены все механизмы и устройства, предназначенные для полного или частичного отключения отдельных участков трубопровода, предотвращения обратного тока жидкости или газа, а также опасного повышения давления.

По конструкции корпуса, и особенно запорного органа, а также по назначению арматура делится на несколько групп.

**Вентили** являются основными запорными устройствами трубопроводов для жидкостей и газов при любых давлениях и весьма высоких температурах. Они изготавливаются из чугуна, стали, пластмасс, цветных металлов. Вентили отличаются надежностью в работе, герметичностью, а также плавной регулировкой величины прохода, но имеют относительно высокое сопротивление (коэффициент сопротивления достигает семи) и большие габариты. Они непригодны для загрязненных и легко кристаллизующихся растворов. Следует помнить, что максимальный условный проход вентиля – 250 мм.

**Задвижки** служат запорными устройствами на трубопроводах среднего и большого диаметра (от 50 мм и выше). Основными преимуществами задвижек по сравнению с вентилями является малое сопротивление (коэффициент сопротивления не более двух) и небольшие габариты. Они могут применяться для загрязненных потоков. Однако герметичность задвижек ниже герметичности вентиляей соответственного диаметра.

**Краны** применяют в качестве запорной арматуры на трубопроводах диаметром до 200 мм, предназначенных для

транспортирования жидкостей, легко застывающих продуктов и взвесей при температуре до 100 °С и давлении до 10 кгс/см<sup>2</sup>.

Работа кранов в качестве запорной аппаратуры имеет некоторые особенности. Быстрое открывание проходного отверстия может привести к гидравлическому удару в трубопроводах, где протекают жидкости под давлением. В то же время, краны обладают определенными преимуществами: они дают возможность пропускать жидкости, содержащие взвеси и кристаллы, создают небольшое гидравлическое сопротивление.

Корпус и пробка крана могут быть выполнены из чугуна, стали бронзы, латуни, а также из фарфора, стекла, фаолита.

**Предохранительные клапаны** предназначены для защиты трубопроводной системы от повышения давления выше предельно допустимого. Максимальный условный проход предохранительных клапанов 150 мм. Конструктивно предохранительные устройства делятся на пружинные, рычажные и на предохранительные пластины (мембраны).

**Обратные клапаны** устанавливаются на трубопроводах с целью предотвращения обратного хода жидкости или газа (например, при внезапной остановке насоса или компрессора). По конструкции запорного органа различают клапаны подъемные и поворотные.

К обратным клапанам можно также отнести и приемные клапаны, устанавливаемые на всасывающих трубах насосов для предотвращения опорожнения при кратковременной остановке. Приемные клапаны снабжаются фильтрами.

**Редукционные клапаны** применяются для понижения давления газа в трубопроводах, когда применение более точных и дорогих автоматических устройств нецелесообразно.

**Конденсатоотводчики** – это устройства, предупреждающие прорыв водяного пара в линию сбора конденсата.

Трубопроводная арматура (вентили, задвижки, краны) может иметь различные приводы.

**Пневмопривод** обеспечивает надежность, плавную работу и полную взрывобезопасность, благодаря чему он широко распространен на химических предприятиях. Пневмоприводом в виде гибкой мембраны, прогибающейся под действием сжатого воздуха, оснащены регулирующие клапаны.

**Электрoprивод** состоит из асинхронного электродвигателя и редуктора. Устанавливается на задвижках, управление которыми

требует больших усилий. Электродвигатели выпускаются как в нормальном, так и во взрывобезопасном исполнении.

Другим видом электропривода является электромагнит, сердечник которого связан со шпинделем вентиля (соленоидный вентиль). Усилие, развиваемое такими электроприводами, относительно невелико, поэтому они устанавливаются на арматуре небольших размеров ( $D_y = 80\text{--}100$  мм).

Преимуществом соленоидного электропривода является быстроедействие, благодаря которому такую арматуру можно применять в качестве отсекающего устройства, сблотив ее электропитание с соответствующим датчиком.

Как отмечалось выше, монтажная проработка заключается в трассировке магистралей и обвязке каждого узла схемы. Магистральные трубопроводы условно можно разделить на межцеховые и внутрицеховые. Межцеховые трубопроводы, относящиеся к магистральным коммуникациям, проектируются в виде прямолинейных участков вдоль магистральных проездов, параллельно линиям застройки цехов.

Запрещается прокладывать магистральные трубопроводы для газов, легковоспламеняющихся и горючих веществ под зданиями, автомобильными и железными дорогами

Для прокладки магистральных межцеховых трубопроводов используются эстакады (рис. 23), основными элементами которых являются железобетонные или металлические стойки с настилом и ограждениями для безопасного обслуживания и ремонта трубопроводных схем.

Места вводов в цех межцеховых трубопроводов намечаются в процессе компоновки технологического оборудования. Но при большой протяженности цеха иногда приходится предусматривать два ввода и более.

Для прокладки внутрицеховых трубопроводов можно использовать междуэтажные перекрытия, металлические этажерки и стены производственных помещений. Если количество магистральных трубопроводов велико, строят внутрицеховые эстакады (рис. 24).

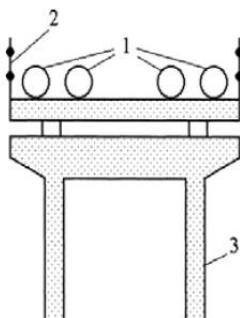


Рис. 23. Межцеховая эстакада:  
1 – трубопровод; 2 – ограждение;  
3 – железобетонная стойка

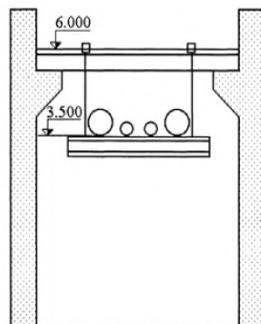


Рис. 24. Внутрицеховая  
подвесная эстакада

Одновременно с уточнением мест ввода определяется характер прокладки магистральных трубопроводов. Трубопроводы большого диаметра (от 200 мм и выше) размещают как можно ближе к железобетонным колоннам с целью передачи нагрузки. Трубопроводы диаметром 150 мм и менее лучше располагать под перекрытиями.

На вводах и выводах трубопроводов с горючими газами устанавливается отключающая запорная арматура с дистанционным управлением на расстоянии от 3 до 50 м от стены здания или аппарата, расположенного на открытой площадке. На вводах пара, инертного газа, сжатого воздуха должны быть предусмотрены предохранительные клапаны и редукторы.

**Внутрицеховые трубопроводы** прокладывают параллельно строительным осям, что облегчает в дальнейшем крепление трубопроводов и придает производству организованный и стройный вид.

Прокладку труб прямыми участками между аппаратами от штуцера к штуцера следует допускать только в исключительных случаях, когда появление поворотов вызывает вибрацию, выпадение твердой фазы из суспензий и т.п.

При трассировке магистральных трубопроводов как внутрицеховых, так и межцеховых, придерживаются следующих правил.

Трубопроводы располагают одним пучком, сечение которого должно иметь простую форму (обычно это горизонтальные или вертикальные ряды), на таком расстоянии друг от друга и

строительных конструкций, а также аппаратов, чтобы имелась возможность обслуживания фланцевых соединений, устройства опор, нанесения изоляции и краски.

При использовании неметаллических трубопроводов необходимо учитывать их невысокую механическую прочность. Поэтому при совместной прокладке металлических и неметаллических труб последние необходимо располагать так, чтобы исключить повреждения их при эксплуатации и монтаже.

Горячие трубопроводы размещают на расстоянии трех-пяти собственных диаметров от других труб.

Если трубопровод работает при температуре выше 20 °С и имеет большую длину, то необходимо предусматривать на нем П-образные участки для компенсации температурных удлинений.

Трубопроводы должны обязательно иметь уклон в сторону аппаратов, служащих сборником жидкости, сливаемой при остановке технологического процесса. Уклон для безнапорных трубопроводов должен быть больше, чем для напорных. Безнапорные трубопроводы должны иметь на поворотах люки для чистки.

Источниками вибраций трубопроводов являются:

- 1) неравномерная подача газа или жидкости с помощью поршневых компрессоров и насосов;
- 2) жидкостные и газовые пробки, возникающие из-за гидравлических мешков, заниженных диаметров трубопроводов;
- 3) неравномерная работа плохо смонтированной мешалки и барботера;
- 4) свободное истечение струи газа из «воздушки» от предохранительного клапана;
- 5) неуравновешенность масс движущихся частей машин (дробилок, грохотов и т.п.).

Перечисленные источники вибрации необходимо исключать на стадии разработки технологической схемы. Поэтому вместо поршневых компрессоров и насосов закладывают в схему центробежные. Гидравлический расчет трубопроводов делают тщательно с учетом возможного падения давления, которое может привести к вскипанию жидкости и образованию газовых пробок, а гидравлические «мешки», которые не удастся избежать, снабжают дренажными патрубками. Выхлопная труба от предохранительного клапана должна иметь наконечник (отрезок трубы, расположенный перпендикулярно к основной).

Для исключения влияния неуравновешенных масс движущихся частей дробилок, грохотов их располагают на нулевой отметке и на автономных фундаментах. При необходимости такое оборудование, как насосы и вентиляторы, может устанавливаться на железобетонных перекрытиях, но под таким оборудованием должны быть вибропоглощающие подкладки из толстой резины. Кроме того, патрубки вентиляторов и воздухопроводы соединяются рукавами из мягкого материала, например, бельтинга.

Источниками температурных деформаций труб являются их температурные расширения или сжатия. Возникающие при этом напряжения могут превысить прочность труб и опор под них. При большой длине трубопровода, и когда разность между рабочей температурой трубы и температурой при монтаже ее превышает 30–40°C, в конструкции трубопровода необходимо предусмотреть компенсаторы температурных удлинений.

Если давление в трубопроводе до 6 атм. и температурные удлинения его небольшие, то применяют линзовые и волнообразные компенсаторы. Следует отметить, что их применение ограничено существенными недостатками: невысокая прочность и большие осевые усилия, передаваемые на неподвижные опоры труб. Чаще всего для компенсации температурных удлинений используют включение в трубопровод изогнутых участков П-, Г- и Z-образной формы. При температурных удлинениях конфигурация такого изогнутого участка изменяется. Этот процесс называется самокомпенсацией.

Источниками гидравлических ударов являются:

- 1) гидравлические "мешки" без дренажных устройств;
- 2) разрывы потока жидкости в трубопроводах с заниженным диаметром при неправильном расчете его;
- 3) скопление инертных газов в тупиковых участках и вскипание жидкости в трубопроводе;
- 4) конденсация паров в трубопроводе;
- 5) отсутствие влагоотделителей на всасывающих линиях компрессоров;
- 6) неправильный выбор запорной арматуры для трубопровода (вместо вентиля – кран).

Для предотвращения гидравлических ударов рекомендуются следующие мероприятия. Поскольку длинные трубопроводы трудно проложить без гидравлических «мешков», то необходимо обеспечить

непрерывный отвод жидкости из этих «мешков». На газопроводах предусматривают дренажные трубки диаметром 20–40 мм для отвода скопившегося конденсата.

Трубопроводы при необходимости теплоизолируются и снабжаются тепловыми спутниками для предотвращения изменения агрегатного состояния транспортируемого вещества, так как это изменение может привести к скоплению газа или образованию жидкостной пробки. Для обеспечения нормальной работы компрессора следует устанавливать эффективные сепараторы, а цилиндры компрессора должны располагаться выше обвязывающих его трубопроводов.

Сами опоры для трубопроводов бывают подвижными и неподвижными. К подвижным относят скользящие и катковые, а к неподвижным – хомутовые и приварные. Подвижные опоры применяют для трубопроводов с большими температурными удлинениями.

Следует отметить, что для исключения рутинной работы при подготовке этой документации, как и в течении всего процесса проектирования, следует использовать современные программные комплексы.

Одним из таких комплексов является AutoPlant, предназначенный для автоматизированного выполнения проектных работ. Он учитывает стиль проектирования традиционно принятый в России.

Следующим этапом подготовки рабочей документации является разработка *монтажно-технологической схемы*. Основой для разработки этой схемы служит принципиальная технологическая схема, документы монтажной проработки и чертежи технологического оборудования. Монтажно-технологическая схема показывает через трубопроводную обвязку особенности проектируемого процесса и двухстороннюю связь всех технологических узлов со схемой контроля и автоматики. Кроме того, она указывает на возможности применения индивидуальных приемов монтажа оборудования и облегчает чтение монтажных чертежей.

При разработке монтажно-технологической схемы аппараты изображаются по высотным отметкам в масштабе и в строгом соответствии с их чертежами. На схеме показываются все штуцеры, люки и пунктиром внутренние устройства. Трубопроводы маркируют

в соответствии с принятыми обозначениями и указывают их характеристики (диаметр, толщину стенки, материал).

В нижней части чертежа вычерчивают условно приборы контроля и автоматики, которые связывают тонкими линиями с аппаратами, отображая таким способом весь комплекс взаимосвязанных процессов проектируемого производства.

Необходимо помнить, что на монтажных чертежах в начале должны изображаться все строительные конструкции (колонны, ригели, балки, фундаменты, плиты) и все другие конструкции, которые будут определять места прокладки трубопроводов.

### **Вопросы и задания к разделу 3**

1. Изобразить эскизную схему производства пирита.
2. Изобразить эскизную схему производства азотной кислоты.
3. Изобразить эскизную схему производства кумола.
4. Изобразить эскизную схему производства серной кислоты.
5. Разработать принципиальную технологическую схему получения пирита с учетом: химизма процесса по стадиям, материальных потоков сырья, продукции и отходов, а также вспомогательных. Обосновать выбор предложенной технологии.
6. Разработать принципиальную технологическую схему получения азотной кислоты с учетом: химизма процесса по стадиям, материальных потоков сырья, продукции и отходов, а также вспомогательных. Обосновать выбор предложенной технологии.
7. Разработать принципиальную технологическую схему получения кумола с учетом: химизма процесса по стадиям, материальных потоков сырья, продукции и отходов, а также вспомогательных. Обосновать выбор предложенной технологии.
8. Разработать принципиальную технологическую схему окиси этилена с учетом: химизма процесса по стадиям, материальных потоков сырья, продукции и отходов, а также вспомогательных. Обосновать выбор предложенной технологии.

## 4 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО И ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТОВ

*Учебное проектирование* – самостоятельная работа студента, основной целью которой является развитие и закрепление теоретических знаний и расчетно-графических навыков при решении практических инженерных проблем с использованием последних достижений науки и техники, а также новых информационных технологий.

Тематика проектов направлена на решение следующих задач:

- создание новых энергосберегающих и безотходных технологических процессов;
- модернизация технологического оборудования, основанная на использовании современных достижений науки и техники;
- автоматизация трудоемких ручных операций технологических производств;
- разработка мероприятий и оборудования по охране окружающей среды.

При проектировании на первый план выдвигаются вопросы повышения технического уровня производства, качества производимой продукции, эффективности использования оборудования и экологичности технологии.

В зависимости от рейтинга студенту выдается задание на выполнение типового проекта, проекта с исследовательской частью или исследовательской работы.

Проект (работа) состоит из расчетно-пояснительной записки (РПЗ) и графической части (чертежей, графиков), содержание и объем которых определяется видом проекта (работы).

Студент работает над проектом под руководством преподавателя, который консультирует его и контролирует график выполнения проекта.

Следует особо подчеркнуть, что руководитель проекта, консультанты и нормоконтролер помогают студенту в достижении требуемого уровня проекта, не давая при этом готовых решений. Они не несут ответственности за график выполнения и качество проекта. Студент является единоличным автором проекта и несет всю ответственность за технический уровень и качество проекта.

Защита проекта – ответственный акт подведения итогов обучения студента в вузе. Существенную роль при этом играет доклад, в котором студент должен лаконично и понятно изложить суть разработанных в проекте технических решений. Продолжительность доклада должна быть не более 10 минут. Рекомендуются следующая структура доклада:

- раскрытие актуальности и целесообразности темы проектирования, постановка задач, решаемых в ходе проектирования (1 мин);
- краткое изложение технологии производства (2 мин);
- изложение решений принятых при компоновке оборудования (1 мин);
- изложение конструкции и принципа действия технологического объекта (машины, аппарата, установки и т.д.), освещение конкретных технических решений по модернизации оборудования (5 мин);
- оценка эффективности проекта (0,5 мин);
- выводы по результатам проектирования (0,5 мин).

Доклад должен быть неразрывно связан с графической частью проекта, несущей наглядную информацию о технических разработках и сопровождаться ссылками на соответствующие чертежи. Вся графическая документация должна быть расположена в порядке изложения материала в докладе.

Объединенная расчетно-пояснительная записка должна иметь объем около 60 страниц, причем объем расчетной части должен быть не менее 50 % от общего. Расчетно-пояснительная записка оформляется в соответствии с требованиями, изложенными в [14].

Объем графической части: схема технологическая – 1 лист; компоновочный чертеж – 1 лист (эти чертежи выполняются на формате А1 или на формате А2); чертеж основного аппарата и его узлов – 3 листа формата А1.

#### **4.1 Пример разработки технологической схемы очистки сточных вод нефтехимического предприятия**

Приведенный пример разработки технологической схемы очистных сооружений и расчета основного и вспомогательного оборудования нефтехимического предприятия выполняется на основе задания с заданными начальными параметрами.

Пример включает все основные стадии проектирования: характеристика исходных материалов, требования к качеству сбрасываемых вод, характеристики исходных и промежуточных продуктов, описание выбранного метода, составление технологической схемы, составление материального баланса по стадиям производства и расчет выбранного оборудования.

**Задание:** Разработать технологическую схему очистки промышленных, бытовых и ливневых сточных нефтехимического предприятия. Исходные данные:

суточный расход 40600 м<sup>3</sup>:

-производственные сточные воды – 21000 м<sup>3</sup>/сут;

ВВ – 250 мг/л;

- промышленно-ливневый сток – 8400 м<sup>3</sup>/сут:

ВВ – 190 мг/л;

- бытовые сточные воды – 5600 м<sup>3</sup>/сут:

ВВ – 150 мг/л;

ХПК – 1500 мгО /л;

БПК<sub>п</sub> – 810 мгО / л.

На первом этапе выполняется литературно-патентный обзор на базе общих сведений о проектируемом объекте. При этом студент анализирует собранные во время конструкторско-технологической и преддипломной практик материалы, изучает специализированную научно-техническую литературу (реферативные и научно-технические журналы, патенты, научно-технические отчеты НИИ, монографии и др.), при необходимости пользуется архивными документами кафедры.

На основании обследования производств-аналогов и литературно-патентного обзора составляются и анализируются исходные данные для проектирования (реконструкции) производства.

При составлении структурной схемы процессы (стадии) изображаются прямоугольниками с номерами стадий и их наименованиями, а также с указанием выходов по ним.

На эскизной схеме обязательно изображают материальные потоки и степень превращения сырья по стадиям производства.

Руководствуясь эскизным вариантом технологической схемы, студент приступает к технологическому, энергетическому и механическому расчету оборудования.

#### **4.2 Физико-химические параметры, свойства и технические характеристики исходных, промежуточных и конечных продуктов**

При проектировании очистных сооружений и выборе метода очистки в первую очередь, необходимо определить до каких нормативов необходимо производить очистку сточных вод (по каким загрязняющим веществам и до какой концентрации). Общие условия выпуска сточных вод в поверхностные водоемы определяются народнохозяйственной значимостью этих водоемов, характером водопользования и их самоочищающей способностью и регулируются «Санитарными правилами и нормами охраны поверхностных вод от загрязнения» [16]. В таблице 3 приведены требования к очищенной СВ после сброса с нефтехимического предприятия в акваторию реки Волга.

Таблица 3 – Требование к очищенной сточной воды

№ п/п	Показатели состава СВ	Допустимая концентрация до разбавления на выходе с БОС, мг/л	Утвержденный ПДС, г/час
1	2	3	4
1	Взвешенные вещества	<12,1	17968,5
2	Количество растворенного кислорода	>2	-
3	БПК <sub>п</sub>	<13,2	19602,2
4	Содержание фенола	<0,009	13,4
5	рН	6,5-8,5	-
6	Плавающая пленка органики	отсутствие	-
7	Остаточных хлор	0,2-0,5	-
8	Этиленгликоль	<0,57	846,4

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4
9	СПАВ	<0,6	905,8
10	Токсичность очищенных СВ	отсутствие (до хлорирования)	-
11	Азот нитратов	<0,64	905,8
12	Азот нитритов	<0,02	29,7
13	Фосфор фосфатов	<0,44	653,4
14	Нефтепродукты	<0,16	237,6

#### 4.2.1 Характеристика исходного сырья, материалов и полупродуктов

Количество загрязняющих веществ, поступающих на очистку, анализируется в зависимости от источника их образования и концентрации в СВ. Концентрацию загрязнений определяют химическим анализом и по технологическим данным. Основными критериями и определяющими загрязнения являются концентрация взвешенных веществ, БПК, фосфатов, хлоридов и т.д. К СВ, поступившим на очистку предъявляются следующие требования:

- 1) ХПК < 1500 мг/л;
- 2) БПК<sub>п</sub> < 810 мг/л;
- 3) температура СВ в зимний период – < 45 °С;  
летний период – < 35 °С;
- 4) содержание взвешенного Al(OH)<sub>3</sub> – < 3 % об (при pH нейтральной);
- 5) Содержание фенола – < 15 мг/л;
- 6) pH – щелочная (щелочность – < 20 мг-экв/л);
- 7) плавающие нерастворимые углеводороды – отсутствие;
- 8) содержание моноэтиленгликоля – < 250 мг/л;
- 9) содержание СПАВ – < 20 мг/л;  
токсичность стока – < 45 %.

В соответствии с проектируемой технологической схемой при очистке СВ используются дополнительные материалы на определенных стадиях (таблица 4).

Таблица 4 – Техническая характеристика вспомогательных материалов

Наименование	Государственный или отраслевой стандарт, технические условия, регламент или методика на подготовку сырья	Показатели, обязательные для проверки	Регламентируемые показатели с допустимыми отклонениями
1	2	3	4
Серная кислота (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	ГОСТ 2184-2013 контактная или башенная	Массовая доля гидрата (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	75-94 %
Суперфосфат (Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O)	ГОСТ 5956-78	Массовая доля усвояемых фосфатов в пересчете на P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	> 19 %
Сульфат аммония ((NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	ТУ 113-38-94-89	Массовая доля сульфата аммония в пересчете на азот	> 21 %
Хлор (жидкий)	ГОСТ 6718-93	Объемная доля хлора	> 99,6 %

### 4.3 Характеристика сточных вод, газовых выбросов и жидких отходов

Линия по очистке СВ является составной частью любого химического предприятия, как и другие цеха производства, поэтому необходимо учитывать образующиеся на данной стадии: выбросы в атмосферу, твердые и жидкие отходы и количество очищенной воды, сбрасываемой в природные объекты. Характеристики сточных вод, газовых выбросов и жидких отходов представлены в таблицах 5-7.

Таблица 5 – Выбросы в атмосферу.

Наименование выброса, отделение, диаметр (D) и высота выброса (H)	Количество источников выброса	Суммарный объем отходящих газов	Периодичность	Характеристика выброса		
				Температура	Состав выброса, мг/м <sup>3</sup>	Допустимое количество нормируемых компонентов, сбрасываемых в атмосферу, кг/час
1	2	3	4	5	6	7
Газ, выделяющийся при мезофильном сбраживании в метантенках D=10 м H=12 м	2	100,9 кг/ч	постоянно	30-33 °С	Метан	259,7
Выбросы в атмосферу с зеркала усреднителей № 3 <sub>1,2</sub> и N4 <sub>1,2</sub> . Площадь выброса 864 м <sup>2</sup> ; 1008 м <sup>2</sup> H=3 м	4		постоянно	Летом – 34 °С Зимой –29 °С	Фенол Этиленгликоль Бензол Изопропилбензол Ацетон	0,18 0,227 3,924 0,36 1,944

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7
Выбросы в атмосферу с зеркала аэротенков №11, №12 Площадь 9000 м <sup>2</sup> H=5 м	8		постоянно	Летом – 26 °С Зимой –18 °С	Фенол Ацетон Бензол Изопропилбензол Этиленгликоль	0,009 0,097 0,198 0,018 0,012
Выбросы с вентиляционных установок насосных промстоков D=0,4 м H=5 м	2	9300 м <sup>3</sup> /ч	постоянно	Летом – 18 °С Зимой –10 °С	Фенол – 0,3 Бензол – 14	2,772 129,3
Выбросы с вентиляционных установок шламовой насосной D=0,3 м H=2 м	1	2600 м <sup>3</sup> /ч	постоянно	Летом – 18 °С Зимой –10 °С	Бензол – 5	12,5
Выбросы с вентиляционных установок станции сбрасывания ила D=0,4 м H=3 м	2	2100 м <sup>3</sup> /час	постоянно	Летом – 18 °С Зимой –10 °С	Метан – 97 мг/м <sup>3</sup>	194

Таблица 6 – Твердые и жидкие отходы

Наименование отхода, отделения, аппарат	Куда складывается, транспортируется	Количество отходов, кг/сут	Периодичность образования	Характеристика отходов		Примечание
				Химический состав, влажность, %	Физические показатели	
1	2	3	4	5	6	7
Шлам из первичных отстойников	Транспортируется насосами по трубопроводу на песковые площадки № 33	35	ОПНВОЛЗОП	Сухой остаток – 47,5: Окись кремния – 13,1 Кальций – 5,7 Окись железа – 0,37 Натрий – 0,05 Нерастворенные углеводороды – 1,2 Влага – 52,5	Осадок серого цвета со специфическим запахом	Данные приведены в соответствии с достигнутым уровнем производства

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7
Сброженный осадок из метантенков	Транспортируется насосом по трубопроводу на шламовые площадки № 34	100,4 м <sup>3</sup> /сут	ОННКОЛОСОП	Влага – 53% Сухой остаток – 47%: P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 5,23 SiO <sub>2</sub> – 17,1 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 1,37 Азот – 15,46 CaO – 0,008 Mg – 1,7 MnO – 0,074 Na – 0,011 K – 0,013 SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> – 1,89	Осадок темно-коричневого цвета	Состав приведен в соответствии с анализом осадков иловых и песковых площадок
Пески из песколовков № 1 №2	Транспортируется гидроэлеваторами на песковые площадки № 33	9	ОННКОЛОСОП	Влага – 84,99 Минеральные примеси – 15,01	Осадок светло-желтого цвета	

Таблица 7 – Очищенные сточные воды

Наименование стока, отделение, аппарат	Куда сбрасывается	Количество стоков, м <sup>3</sup> /сут	Периодичность сброса	Характеристика сброса		Примечание
				Состав сброса, мг/л (по компонентам)	Допустимое количество сбрасываемых вредных	
Очищенная СВ после вторичных отстойников	Через рассеивающий выпуск в реку Волгу	40600	оннволозоп	Взвешенные вещества <12,1	17968,5	Состав сброса приводится по достигнутому уровню производства
				Кислород растворенный < 2	-	
				БПК <sub>п</sub> < 13,2	19602,2	
				Фенол < 0,009	13,4	
				рН	6,5-8,5	
				Плавающая пленка органики	-	
				Остаточный хлор 0,2 – 0,5	-	

Продолжение таблицы 7

16

				Этиленгликоль < 0,57	846,4	
				СПАВ < 0,6	-	
				Токсичность (до хлорирования)	-	
				Азот нитратов < 0,64	950,4	
				Азот нитритов < 0,02	29,7	
				Фосфор фосфатов < 0,44	653,4	
				Нефтепродукты < 0,16	237,6	

Для расчета большинства сооружений очистки необходимо знать максимальный секундный расход. Наиболее точное его определение возможно по суммарному почасовому графику притока бытовых и производственных сточных вод как при подаче насосами, так и при самотечном поступлении. При отсутствии таких данных допускается вычислять максимальный секундный расход как произведение средне секундного на общий коэффициент неравномерности.

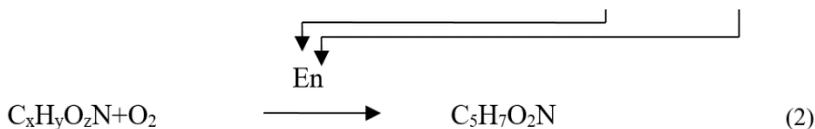
#### 4.4 Основные стадии процесса очистки сточных вод. Химизм, физико-химические основы.

Биологическая очистка является основным этапом очистки СВ и предполагает очистку растворённой части загрязнений как аэробными, так и анаэробными бактериями. Любая сточная вода представляет собой раствор органических веществ, набор которых и их концентрации обусловлены происхождением воды.

##### 4.4.1 Аэробный процесс

Если сумму органических загрязнений сточных вод обозначить через  $C_xH_yO_zN$ , то процесс очистки воды от этих загрязнений можно выразить следующими условными реакциями:

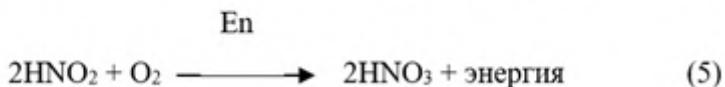
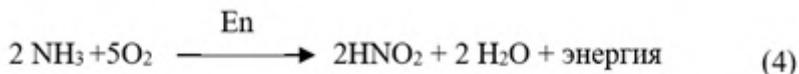
реакция (1) символизирует окисление загрязнений для получения энергии, которая потребляется для синтеза клеточного вещества в реакции (2) [17].



Когда экзогенный субстрат исчерпан, начинается самоокисление клеточного вещества активного ила:



К этому моменту создаются благоприятные условия для развития автотрофных нитрифицирующих бактерий, окисляющих аммонийный азот:



Вновь синтезированное клеточное вещество (реакция 2), или прирост активного ила, должно удаляться из системы на сооружения по обработке осадков.

Затраты кислорода на реакцию (1) составляют БПК<sub>п</sub> сточной воды, а затраты на все пять реакций – ХПК сточной воды

Как видно из реакций, химические превращения являются источником необходимой энергии для микроорганизмов. Живые организмы способны использовать только связанную химическую энергию.

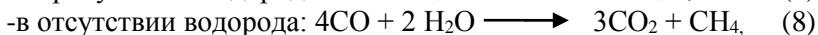
Для того, чтобы происходил процесс биохимического окисления органических веществ, находящихся в сточных водах, они должны попасть внутрь клеток микроорганизмов. К поверхности клеток вещества поступают за счет конвективной и молекулярной диффузии, а внутрь клеток – диффузией через полупроницаемые цитоплазматические мембраны, возникающей вследствие разности концентраций веществ в клетке и вне ее. Однако большая часть вещества попадает внутрь клеток при помощи специфического белка – переносчика. Образующийся растворимый комплекс вещество – переносчик диффундирует через мембрану в клетку. Где он распадается и белок-переносчик включается в новый цикл переноса [18].

#### 4.4.2 Анаэробный процесс

Основная реакция метанообразования может быть записана уравнением:  $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{A} \longrightarrow \text{CH}_4 + 4\text{A} + 2\text{H}_2\text{O}$ , (6)

где  $\text{H}_2\text{A}$  – органическое вещество. Содержащее водород.

Возможны и другие реакции:



Биологическая роль образования метана состоит в получении клеткой необходимой энергии.

Считается, что процесс метанового брожения состоит из двух фаз: кислой и щелочной (метановой). В кислой фазе из сложных органических веществ образуются низшие жирные кислоты, спирты, аммиак, водород и сероводород. Из этих промежуточных продуктов в щелочной фазе образуется метан и углекислота. Предполагается, что скорости превращений веществ в кислой и щелочной фазах одинаковы [19].

В аэробные процессы и анаэробные процессы протекают в присутствии ферментов, которые вырабатываются самими микроорганизмами.

В данном примере для биохимического окисления сточных вод использован аэробный метод, а для сбраживания осадка – анаэробный метод.

#### **4.5 Описание технологической схемы очистных сооружений нефтехимического предприятия**

Принципиальную технологическую схему разрабатывают на основе эскизной технологической схемы и чертежей общего вида выбранного оборудования. При этом выбираются способы доставки сырья в цех и отгрузки готовой продукции, обезвреживания и удаления отходов производства, вопросы обеспечения экологической безопасности и охраны труда, автоматизации и механизации производства.

Аппараты можно изображать без соблюдения масштаба, но с учетом соотношения размеров. Обязательным является распределение их по высотным отметкам. По горизонтали аппаратуру располагают последовательно в соответствии с технологическими стадиями процесса. Расстояние между аппаратами на схеме должно быть таким, чтобы она удобно читалась.

Каждый аппарат изображается по контурам или в разрезе, отражающим его принципиальное устройство. При установке на технологической стадии нескольких однотипных аппаратов работающих параллельно, изображают один, а число их указывают в экспликации на оборудование. Для непрерывных процессов при использовании каскада изображают все аппараты.

Основные материальные потоки наносят четкими сплошными линиями с указанием их направления и нумерацией потоков, расшифровка которой приводится в правом верхнем углу схемы.

Исходя из задания технологической схемой очистных сооружений нефтехимического предприятия предусматривается механическая и биологическая очистка сточных вод.

Сточные воды поступают на очистные сооружения цеха по отдельным коллекторам: производственным, бытовым и промышленно-ливневому.

Производственные сточные воды (ПСВ) подводятся в цех с двумя самотечными коллекторами диаметром 500 мм и 600 мм. Бытовые сточные воды подводятся к цеху коллекторами диаметром 300 мм.

Промышленно-ливневый сток (ПЛС) подводится самотечным коллектором с диаметром 900 мм.

С целью оптимизации технологии производства проектируем технологическую схему следующим образом:

- механическую очистку БСВ, ПЛС, ПСВ проводим отдельно на сооружениях механической очистки;
- биологическую очистку всех стоков проводим совместно на сооружениях биологической очистки.

#### **4.5.1 Механическая очистка производственных сточных вод**

Принципиальная технологическая схема очистки сточных вод нефтехимического предприятия представлена на рисунке 25. ПСВ технологических цехов поступают самотеком в распределительные лотки перед горизонтальными песколовками с круговым движением воды № 1 № 2.

В песколовках происходит осаждение минеральных примесей, содержащихся в ПСВ. Скорость движения жидкости в песколовках 0,3-0,5 м/с. Песок из песколовок удаляется гидроэлеваторами на песковую площадку №23. Из песколовок №1 и № 2 СВ поступают по лотку соответственно в усреднители №3 и № 4 назначение которых, задержание легких плавающих веществ и усреднение стоков по концентрации, среде, температуре. В секции усреднителей постоянно попадает воздух по трубам для лучшего перемешивания и отдувки легких фракций, а так же для предотвращения выпадения осадка.



Усредненные СВ по отводящему лотку каждого усреднителя поступают в соответствующие смесители № 5 и № 6, куда для нейтрализации щелочных стоков подается 93 % раствор серной кислотой. Перемешивание СВ с серной кислотой осуществляется в смесителе воздухом, который подается по перфорированной трубе. Подача раствора серной кислоты на нейтрализацию производится самотеком из расходных резервуаров сернокислотной установки №7 и регулируется в зависимости от рН поступающих СВ. Раствор серной кислоты подается насосами в эти резервуары из сернокислотной насосной.

Усредненные, нейтрализованные с обоих коллекторов ПСВ насосами подаются в горизонтальные первичные отстойники № 8 и № 9.

СВ протекают по первичному отстойнику со скоростью 5мм/с, время отстаивания 2 часа. За это время происходит осаждение шлама – различных нерастворенных солей, образующихся в технологических цехах и результате нейтрализации СВ серной кислотой.

Осевший шлам в горизонтальных отстойниках № 8 и № 9 подгоняется скребковым механизмом отстойника перед насосами. Под гидростатическим давлением столба жидкости в первичных отстойниках силами передавливается или откачивается насосами насосной станции на песковые площадки № 23.

Осветленные СВ из отстойников № 8 и № 9 отбираются по лотку из верхней части отстойника, в отводящем лотке смешиваются с БСВ из двухъярусных отстойников № 17, а затем поступают в аэротенки № 10 и 11.

Биогенный раствор подается из узла реагентного хозяйства биогенной установки № 19.

Поступающие аномальные ПСВ направляются полностью или частично, в зависимости от концентрации, в аварийный резервуар. После нормализации обстановки они постепенно срабатываются в систему очистки.

Для снижения и регулирования гидравлической нагрузки на отдельные усреднители, а также при проведении капитальных ремонтов предусмотрена возможность перевода ПСВ с первого на второй коллектор, и наоборот, по полиэтиленовому трубопроводу диаметром 630 мм.

#### **4.5.2 Механическая очистка промышленно-ливневых стоков**

ПЛС по коллектору диаметром 900 мм самотеком поступают в регулирующий резервуар № 18, в котором за счет снижения скорости движения СВ под тяжестью собственного веса происходит осаждение песка и других крупных нерастворенных примесей.

Поступающие со СВ плавающие вещества задерживаются на вертикальной решетке марки РММВ-1000 с камерой, имеющей размеры В×Н=1000×1000 мм.

Очищенные от взвешенных и плавающих веществ СВ после решеток насосами откачиваются на первичные отстойники № 8 и № 9 и далее на биологическую очистку.

Осадок и задержанные плавающие вещества по мере накопления откачиваются на площадки.

#### **4.5.3 Механическая очистка бытовых сточных вод**

БСВ самотечного коллектора поступают в приемную камеру насосной станции БСВ. Насосами СВ перекачиваются в приемную чашу песколовок № 16, куда поступают также дренажные СВ с иловых и песковых площадок. В песколовках происходит выделение песка и других крупных нерастворимых примесей.

Под силой тяжести осадок выпадает на дно. Периодически осадок из песколовок гидроэлеватором транспортируется на песковые площадки № 23.

Вода на гидроэлеваторы подается насосами насосной из верхней части первичного отстойника № 8.

После песколовок СВ направляются в двухъярусные отстойники № 17, состоящие из 2х частей: верхней и нижней. В верхней части расположены 2 горизонтальных железобетонных желоба, выполняющих роль отстойников, с щелями для пропуска осадка в гнилостную часть двухъярусного отстойника.

В нижней части отстойника осадок подвергается сбраживанию, протекающему в анаэробных условиях в 2 фазы без искусственного подогрева. Первая фаза характеризуется образованием большого количества жирных кислот (муравьиной, уксусной, масляной). Кроме того в этой фазе образуется углекислота, спирты, аминокислоты, аммиак, сероводород и т.д. Так как  $pH < 7$ , поэтому первая фаза называется «кислым брожением».

Вторая фаза характеризуется разрушением образовавшихся в первой фазе кислот с выделением углекислоты, метана, в небольших

количествах водорода и окиси углерода.  $pH=7-8$ . Эта фаза «щелочным» или «метановым брожением», так как осуществляется метановыми бактериями.

Выделившийся при распаде белков сероводород в присутствии аммиака легко связывается с имеющимися ионами железа в сернокислое железо, которое наряду с гуминовой кислотой придает осадку черный цвет.

Сброженный осадок из двухъярусных отстойников сбрасывается периодически по мере накопления на иловые площадки.

Из двухъярусных отстойников №19 осветленная БСВ идет в железобетонный лоток первичных отстойников №8 и №9, где смешивается с ПСВ, ПЛСВ и биогенными элементами.

#### **4.5.4 Биологическая очистка**

Из первичных горизонтальных отстойников № 8 и № 9 общий поток распределяется на аэротенки соответственно № 10 и № 11, в первые регенерационные секции которых непрерывно подается активный ил.

Окисление в аэротенках происходит в 2 фазы. В первой окисляются углеродсодержащие вещества, дающие в результате углекислоту и воду. Во второй фазе окисляются азотсодержащие вещества, сначала до солей азотистой кислоты (нитритов), а затем до солей азотной кислоты (нитратов). Процесс окисления азота аммонийных солей в нитриты носит название нитрификации.

Азотно-кислые соли являются конечными продуктом минерализации и по их накоплению в значительной степени можно судить об успешности и полноте очистки СВ.

Очищенные СВ вместе с активным илом из аэротенков № 10 и № 11 перетекают соответственно на вторичные радиальные отстойники №12 и № 13. Во вторичных отстойниках происходит разделение смеси. Активный ил оседает на дно отстойника, и отводится в приемные резервуары иловых насосных станций.

Из резервуаров активный ил перекачивается соответственно насосами в первые секции аэротенков №10 и № 11, которые служат зоной регенерации. В них происходит доокисление медленно окисляющихся органических веществ и восстановление сорбирующей способности активного ила. Из регенераторов ил вновь поступает в аэротенки.

В регенераторах и аэротенках активный ил находится во взвешенном состоянии благодаря постоянной аэрации жидкости воздухом. Воздух на взмучивание перемешивание и процессы биохимического окисления подаётся трубовоздуховками воздуховодных станций.

При установившемся режиме длительной работы биологической очистки накапливается избыточный ил, который периодически выводится иловыми насосами насосных на аэробную переработку в метантенки № 22, предварительно подвергаясь уплотнению во илоуплотнителях № 21.

При не интенсивном приросте ил на сбраживание подается непосредственно из вторичных отстойников, без дополнительного илоуплотнения.

Смесь сырого осадка и избыточного активного ила сбраживается в метантенках при мезофильном процессе. Мезофильное сбраживание происходит при температуре 30-33 °С в анаэробных условиях.

Процессы распада органических веществ, осадков в метантенках происходят значительно быстрее, чем в двухъярусных отстойниках. В метантенках можно регулировать и контролировать ход сбраживания. Температура в аппаратах, необходимая для сбраживания поддерживается подачей острого пара. Ил в метантенках периодически перемешивается через гидроэлеватор насосами станции сбраживания ила.

Выделившийся при брожении газ состоит в основном из метана и диоксида углерода. Газ из метантенков идёт на сжигание для получения тепла, используемого в самом цехе и идущего к потребителю.

Ил, сброженный в метантенках, периодически выпускается на иловые площадки № 24.

Подсушенный осадок периодически вывозится с территории цеха и может использоваться как органическое удобрение.

Осветленная сточная вода после вторичных отстойников поступает для дезинфекции в лотки смешения контактных резервуаров, куда подается хлорная вода от хлораторной установки № 20. Обеззараживание осуществляется хлорированием очищенной СВ раствором газообразного хлора, который подается в концентрациях, обеспечивающих наличие свободного хлора. Если в хлорированной воде содержатся азотосодержащие соединения, то свободный

активный хлор вступает с ними же во взаимодействие и образует хлорамины и другие хлорпроизводные. Бактерицидные реакции хлора и его соединений носят физический характер. Хлор вступает во взаимодействие с протеинами и аминокосоединениями, которые содержатся в оболочке бактерий и в ее внутриклеточном веществе. Результатом таких взаимодействий являются клинические изменения внутриклеточного вещества, распад структуры клетки и прекращения жизнедеятельности бактерий. В очищенной воде остаточный хлор должен составлять 0,2-0,5 мг/л.

Очищенные и продезинфицированные СВ самотеком соответственно через контактные резервуары № 14 и № 15 и колодез 5/015 по коллектору диаметром 900 мм сбрасываются в реку Волга.

Каждый аппарат на технологической схеме должен иметь номер, который сохраняется во всех частях проекта (технологической, строительной, электротехнической и т.д.). Аппараты на схеме нумеруют слева направо с учетом технологической последовательности.

На технологической схеме обязательно отмечают, откуда и как поступает в цех сырье, куда и каким способом удаляется готовая продукция, отходы, сточные воды. При большом расходе сырья целесообразно организовать его прием на цеховой склад. В этом случае изображают схему приема сырья в цех (исходная тара – способ разгрузки – приемная емкость). Если для транспортировки сырья и готовой продукции предусмотрен напольный транспорт, это указывают на технологической схеме.

На принципиальной технологической схеме изображают оборудование не только основных, но и вспомогательных технологических стадий (операций), таких, как подготовка (измельчение, растворение, суспензирование и т.д.) и дозирование сырья, промежуточное хранение продуктов, поглощение отходящих газов и т.п.

На линиях основных и вспомогательных потоков показывают условными обозначениями арматуру.

После изображения всего оборудования и материальных потоков составляется экспликация оборудования. Экспликация содержит номер, обозначение чертежа аппарата, наименование оборудования, основную характеристику, количество аппаратов и конструкционный материал.

Принципиальная технологическая схема включает функциональную схему автоматизации. Автоматизация технологической схемы должна обеспечить контроль, регулирование и сигнализацию предельных значений параметров процесса и состояния технологического оборудования, блокировку и остановку технологических машин и аппаратов в аварийных ситуациях.

Приборы и средства автоматизации при выполнении принципиальной технологической схемы могут изображаться развернуто или упрощенно. При развернутом изображении на схеме показывают: отборные устройства, датчики, преобразователи, вторичные приборы, исполнительные механизмы, регулирующие и запорные механизмы, аппаратуру управления и сигнализации, комплектные устройства (управляющие вычислительные машины, телемеханические устройства) и т.д.

При упрощенном изображении на схеме показывают: отборные устройства, измерительные и регулирующие приборы, исполнительные механизмы и регулирующие органы.

Приборы, средства автоматизации, электрические, вычислительные и микропроцессорные устройства на принципиальной технологической схеме показываются в соответствии с ГОСТ 21.404–85.

После разработки принципиальной технологической схемы составляют полное описание. При описании собственно технологической стадии кратко сообщается о конструкции аппарата, способе загрузки сырья и выгрузки продуктов переработки, дается характеристика протекающего процесса и способов его проведения (периодический, непрерывный, циклический), перечисляются основные параметры процесса (давление, температура и др.), методы их контроля и регулирования, а также все отходы и побочные продукты технологической стадии.

## 4.6 Материальный баланс производства

На первом этапе расчета студент составляет материальный баланс каждой стадии технологического процесса с использованием уравнений материального баланса. Целью материального расчета является определение расходных коэффициентов по сырью, объемно-реакционной массы, количества отходов, сточных вод и газовыделений на каждой стадии технологического процесса

Материальный баланс является базой для составления теплового баланса, который выполняется на основании закона сохранения энергии.

Далее студент приступает к составлению и решению уравнений материального баланса по стадиям производства. Это позволяет ему выяснить избытки тех или иных химических компонентов, которые, в конечном счете, либо будут присутствовать в качестве примесей в целевых продуктах, либо после их отделения образуют отходы производства или продукты для переработки в других производствах.

Материальный баланс очистных сооружений рассчитывается исходя из технологической схемы.

Материальный баланс любого технологического процесса или части его составляется на основе закона сохранения массы вещества:

$$\sum m_{\text{исх}} = \sum m_{\text{кон}}, \quad (9)$$

где  $\sum m_{\text{исх}}$  – суммарная масса исходных веществ процесса

$\sum m_{\text{кон}}$  – суммарная масса конечных продуктов процесса, суть которого состоит в следующем: если в какой-либо аппарат поступает  $m_A$  кг вещества А,  $m_B$  кг вещества В и в результате получается  $m_C$  кг продукта С,  $m_D$  кг продукта D, то должно сохраняться равенство

$$m_A + m_B + \dots = m_C + m_D \dots$$

Уравнение (9) называется уравнением материального баланса, результаты расчетов сводят в таблице материального баланса по массе или концентрации исходных веществ и продуктов реакции.

Количество взвешенных веществ на входе в песколовку:

$$W_{\text{В.В.}} = \frac{C_{\text{В.В.}} \cdot 10^{-6}}{\rho_{\text{В.В.}}} \cdot Q, \quad (10)$$

где  $C_{\text{В.В.}}$  – концентрация взвешенных веществ, мг/л;  $\rho_{\text{В.В.}}$  – плотность взвешенных веществ кг/м<sup>3</sup>; Q – расход сточных вод м<sup>3</sup>/сут.

$$W_{\text{В.В.}} = \frac{150 \cdot 10^{-6}}{1,5} \cdot 5600 = 0,56 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Концентрация взвешенных веществ на выходе из песколовки (таблица 8):

$$C_{В.В.} = \frac{W_{В.В.} \cdot \rho_{В.В.}}{10^{-6} \cdot Q} \quad (11)$$
$$C_{В.В.} = \frac{0,28 \cdot 1,5}{10^{-6} \cdot 5694,637} = 73,754 \text{ мг/л.}$$

$$C_{В.В.} = \frac{0,112 \cdot 1,0}{10^{-6} \cdot 5942,325} = 18,849 \text{ мг/л.}$$

Количество взвешенных веществ в БСВ на выходе из двухъярусных отстойников (таблица 9):

$$0,28 - 0,168 = 0,112 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Количество взвешенных веществ в ПЛС на выходе после решеток (таблица 10):

$$1,596 - 0,921 = 0,675 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$C_{В.В.} = \frac{0,675 \cdot 1,0}{10^{-6} \cdot 8397,699} = 80,379 \text{ мг/л.}$$

$$W_{В.В.} = \frac{190 \cdot 10^{-6}}{1,0} \cdot 8400 = 1,596 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$W_{В.В.} = \frac{250 \cdot 10^{-6}}{1,5} \cdot 8800 = 1,467 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Количество неуловленных взвешенных веществ (таблица 11):

$$1,467 - 0,88 = 0,587 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$C_{В.В.} = \frac{0,587 \cdot 1,5}{10^{-6} \cdot 8798,137} = 100,078 \text{ мг/л.}$$

Таблица 8- Материальный баланс песколовок с круговым движением воды бытовых сточных вод

Приход				Расход					
Потоки	м³/сут	мг/л	% об	Потоки	м³/сут	мг/л	% об		
БСВ: из них:	5600,00	150		БСВ: из песколовок из них:	5694,637	73,754			
-вода	5999,440			98,316	-вода			5694,357	99,983
-взвешенные вещества	0,560			0,01	-взвешенные вещества			0,280	0,005
Вода на гидроэлеватор	0,337			0,006	Влажный осадок: из них:			0,700	
Дренаж воды из них:	95,000				-вода			0,420	0,007
-вода с шламовых площадок	80,000			1,405	-осадок			0,280	0,005
-вода с дисковых площадок	15,000			0,263					
Итого	5695,337				100			Итого	5695,337

Таблица 9 – Материальный баланс двухъярусных отстойников

Приход				Расход						
Потоки	м³/сут	мг/л	% об	Потоки	м³/сут	мг/л	% об			
БСВ из песколовок: из них:	5694,637	73,754		БСВ: Двухъярусных отстойников, из них:	5942,437	18,849				
-вода	5694,357			95,758	-вода			5942,325	99,927	
-взвешенные вещества	0,28			0,005	-взвешенные вещества			0,112	0,002	
Осветленная вода из гидроуплотнителей	252			4,237	Влажный осадок:			4,200		
					-из осадочной камеры, из них			3,360		
					-вода			3,192		0,057
					-осадок			0,168		0,003
					Из септической камеры, из них			0,840		
					-вода			0,798		0,010
				-осадок	0,042			0,001		
Итого	5695,637		100	Итого	5946,637		100			

Таблица 10 – Материальный баланс регулирующего резервуара

Приход				Расход					
Потоки	м³/сут	мг/л	% об	Потоки	м³/сут	мг/л	% об		
ПЛС, из них:	8400	190		ПЛС из регулирующего резервуара, из них:	8397,699	80,379			
-вода	8398,404			99,981	-вода			8397,024	99,965
-взвешенные вещества	1,596			0,019	-взвешенные вещества			0,675	0,008
					Влажные загрязнения, из них:			2,301	
					-вода:			1,38	0,016
					-загрязнения			0,921	0,011
Итого	8400				100			Итого	8400

Первый поток ПСВ

Таблица 11 – Материальный баланс песколовок с круговым движением воды.

101

Приход				Расход					
Потоки	м³/сут	мг/л	% об	Потоки	м³/сут	мг/л	% об		
ПСВ, из них:	8800	250		ПСВ после песколовок, из них:	8798,137	100,078			
-вода	8798,533			99,980	-вода			8797,550	99,968
-взвешенные вещества	1,467			0,017	-взвешенные вещества			0,0875	0,007
-вода на гидроэлеватор	0,337			0,003	Влажный осадок, из них:			2,200	
					-вода:			1,320	0,015
					-осадок			0,880	0,010
Итого	8400		100	Итого	8800,337		100		

Таблица 12 – Материальный баланс усреднителей

Приход				Расход					
Потоки	м³/сут	мг/л	% об	Потоки	м³/сут	мг/л	% об		
ПСВ после песколовок, из них:	8798,137	100,078		ПСВ после усреднителей, из них:	8798,137	100,078			
-вода	8797,550			38,889	-вода			8797,550	38,899
-взвешенные вещества	0,587			0,003	-взвешенные вещества			0,587	0,003
-воздух	13824,0			61,108	-воздух			13824,00	61,108
Итого	22622,137			100	Итого			22622,137	100

Таблица 13 – Материальный баланс смесителя

Приход				Расход			
Потоки	м³/сут	мг/л	% об	Потоки	м³/сут	мг/л	% об
ПСВ после усреднителей, из них:	8798,137	100,078		Нейтрализованная сточная вода, из них:	10988,873	80,127	
-вода	8797,550		72,462	-вода	10988,286		90,506
-взвешенные вещества	0,587		0,005	-взвешенные вещества	0,587		0,005
-93% раствор серной кислоты, из них:	2190,736			Воздух	1152		9,489
-вода	153,351		1,263				
-серная кислота	2037,385		16,781				
Воздух	1152		9,489				
Итого	12140,873			100	Итого		12140,873

Таблица 14 – Материальный баланс первичных горизонтальных отстойников.

Приход				Расход			
Потоки	м³/сут	мг/л	% об	Потоки	м³/сут	мг/л	% об
Нейтрализованная сточная вода, из них:	10988,873	80,127	72,350	Сточная вода после первичных отстойников, из них:	15179,054	32,413	99,940
-вода	10988,286			-вода	15178,562		
-взвешенные вещества	0,587			-взвешенные вещества	0,492		
-ПЛС из регулирующего резервуара, из них:	4198,850			Влажный осадок, из них:	8,669		
-вода	4198,512			-вода	8,236		
-взвешенные вещества	0,338			-осадок	0,433		
Итого	15187,723		100	Итого	15187,723		100

$$C_{В.В.} = \frac{0,587 \cdot 1,5}{10^{-6} \cdot 10988,873} = 80,127 \text{ мг/л.}$$

Количество взвешенных веществ в смешанном потоке при поступлении:

$$C_{В.В.} = \frac{(0,587+0,338) \cdot 1,0}{10^{-6} \cdot 15187,723} = 60,904 \text{ мг/л.}$$

Количество неуловленных взвешенных веществ (таблица 14):

$$W_{В.В.} = (0,587+0,338) - 0,433 = 0,492 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Концентрация взвешенных веществ в потоке на выходе из отстойника (таблица 15):

$$C_{В.В.} = \frac{0,492 \cdot 1,0}{10^{-6} \cdot 15179,054} = 32,413 \text{ мг/л.}$$

$$Pr = 208 \frac{\text{мг}}{\text{л}} = \frac{208 \cdot 10^{-6}}{1,0} \cdot 18150,214 = 3,775 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Расхождения в статьях прихода и расхода возникают из-за прироста активного ила. Потому что наличие биогенных элементов и органических веществ, а так же постоянные процессы окисления, протекающие в аэротенках, все это способствует росту биомассы микроорганизмов.

Примем эффективность отстаивания 60%, влажность  $\varphi = 95 \%$

Объем осадка:  $V_{ос} = 0,548 \cdot 0,6 = 0,329 \text{ м}^3/\text{сут.}$

Объем влажного осадка, удаляемого из потока

$$V_{вл ос} = 0,329 \cdot \frac{100}{100-95} = 6,576 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Объем влаги в это осадке:  $V_{вл} = V_{вл ос} - V_{ос}$ .

$$V_{вл} = 6,576 - 0,329 = 6,247 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Количество неуловленных взвешенных веществ (таблица 16):

$$W_{В.В.} = 0,548 - 0,329 = 0,219 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Концентрация взвешенных веществ на выходе из вторичных отстойников:

$$C_{В.В.} = \frac{0,219 \cdot 1,0}{10^{-6} \cdot 18171,141} = 12,052 \text{ мг/л.}$$

Таблица 15 – Материальный баланс аэротенков-смесителей

Приход				Расход			
1	2	3	4	5	6	7	8
Потоки	м <sup>3</sup> /сут	мг/л	% об	Потоки	м <sup>3</sup> /сут	мг/л	% об
Сточная вода из первичных отстойников, из них:	15179,054	32,413	2,784	Поток из аэротенков, из них:	26202,880	30,243	3,334
-вода	151798,562			-вода	18177,169		
-взвешенные вещества	0,492			-взвешенные вещества	0,548		
БСВ из двухъярусных отстойников, из них:	2971,216		0,545	Циркулирующий активный ил:	8025,163		1,472
-вода	2971,160	18,849		-воздух	519113,780		95,194
-взвешенные вещества	0,056			прирост активного ила	3,775		0,001

Продолжение таблицы 15

1	2	3	4	5	6	7	8
биогенные добавки, -из них	27,447						
-50% раствор $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , из них:	6,154		0,001				
-вода	2,555						
- $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	3,599						
-10% раствор $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , из них:	21,293		0,004				
-вода	19,379						
- $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1,914						
Воздух	519113,78		95,194				
Циркулирующий активный ил	8025,163		1,472				
Итого	545316,66		100	Итого	545320,435		100,001

Таблица 16 – Материальный баланс вторичных радиальных отстойников

Приход				Расход					
Потоки	м³/сут	мг/л	% об	Потоки	м³/сут	мг/л	% об		
Поток из аэротенков, из них:	26202,880	30,243		Сточная вода из вторичных отстойников, из них:	18171,141	12,052			
-вода	118177,169			69,340	-вода			18170,922	69,316
-взвешенные вещества	0,548			0,002	-взвешенные вещества			0,219	0,001
циркулирующий активный ил	8025,163			30,614	-циркулирующий активный ил			8025,163	30,614
Прирост активного ила	3,775			0,044	Избыточный активный ил, из них			10,351	
					-прирост активного ила			3,775	
		-взвешенные вещества	0,329		0,001				
		-вода	6,247		0,024				
Итого	26206,655		100	Итого	26206,655		100		

Таблица 17 – Материальный баланс стадии хлорирования

Приход				Расход			
Потоки	м³/сут	мг/л	% об	Потоки	м³/сут	мг/л	% об
Поток из вторичных отстойников, из них:	18171,141	12,052		Очищенная сточная, из них	18248,084	12,001	
-вода	18170,992		99,577	-вода	18247,865		99,999
-взвешенные вещества	0,219		0,001	-взвешенные вещества	0,219		0,0001
Хлорная вода, из них:	76,943						
50,702	3,775		0,278				
-хлор (ж)	26,241		0,144				
Итого	18248,084			100	Итого		18248,084

## Второй поток ПСВ

Таблица 18 – Материальный баланс с песколовок с круговым движением воды

117

Приход				Расход			
Потоки	м <sup>3</sup> /сут	мг/л	% об	Потоки	м <sup>3</sup> /сут	мг/л	% об
ПСВ, из них:	12200,000	250		ПСВ после песколовок, из них:	12197,456	100,021	
-вода	12197,967			-вода	12196,643		
-взвешенные вещества	2,033			-взвешенные вещества	0,813		
Вода на гидроэлеватор	0,506			Влажный осадок, из них:	3,050		
				-вода	1,830		
				-осадок	1,220		
Итого	12200,506				100		

Таблица 19 – Материальный баланс усреднителей

Приход				Расход					
Потоки	м <sup>3</sup> /сут	мг/л	% об	Потоки	м <sup>3</sup> /сут	мг/л	% об		
ПСВ после песколовок, из них:	12197,456	100,021		ПСВ усреднителей, из них:	12197,456	100,021			
-вода	12196,643			43,059	-вода			12196,643	43,059
-взвешенные вещества	0,813			0,003	-взвешенные вещества			0,813	0,003
Воздух	16128,000			59,936	Воздух			16128,000	56,936
Итого	28325,456			100	Итого			28325,456	100

Таблица 20 – Материальный баланс смесителя

Приход				Расход						
Потоки	м³/сут	мг/л	% об	Потоки	м³/сут	мг/л	% об			
ПСВ из усреднителей, из них:	12197,456	100,021		ПСВ нейтрализованная, из них:	15234,623	80,048				
-вода	12196,643			74,431	-вода			15233,810	92,965	
-взвешенные вещества	0,813			0,005	-взвешенные вещества			0,813	0,005	
93% раствор серной кислоты, из них:	3037,167			1,297	Воздух			1132,0	7,030	
-вода	212,602									
-серная кислота	2824,565									17,237
Воздух	1152,000									7,030
Итого	16386,623				100			Итого	16386,623	

$$W_{B.B.} = \frac{250 \cdot 10^{-6}}{1,5} \cdot 12200 = 2,033 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Количество неуплывших взвешенных веществ (таблица 18):

$$2,033 - 1,22 = 0,813 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$C_{B.B.} = \frac{0,813 \cdot 1,5}{10^{-6} \cdot 12197,456} = 100,021 \text{ мг/л.}$$

$$C_{B.B.} = \frac{0,813 \cdot 1,5}{10^{-6} \cdot 15234,23} = 80,048 \text{ мг/л.}$$

Количество неуплывших взвешенных веществ:

$$W_{B.B.} = (0,813 + 0,338) - 0,721 = 0,43 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Концентрация взвешенных веществ в потоке на выходе из отстойника (таблица 21):

$$C_{B.B.} = \frac{0,43 \cdot 1,0}{10^{-6} \cdot 19419,043} = 22,143 \text{ мг/л.}$$

$$Pr = 182,3 \text{ мг/л или } 4,082 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Расхождения в статьях прихода и расхода возникают из-за прироста активного ила.

Примем эффективность отстаивания 60%, влажность осадка 95%. Объем осевшего осадка:  $V_{oc} = 0,486 \cdot 0,6 = 0,292 \text{ м}^3/\text{сут.}$

Объем влажного осевшего осадка:

$$V_{вл.ос.} = 0,292 \cdot \frac{100}{100 - 95} = 5,832 \frac{\text{м}^3}{\text{сут.}}$$

Объем влаги в этом осадке:  $V_{oc} = 5,832 - 0,292 = 5,54 \text{ м}^3/\text{сут.}$

Количество неуплывших взвешенных веществ:

$$W_{B.B.} = 0,486 - 0,292 = 0,194 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Концентрация взвешенных веществ на выходе из вторичных отстойников (таблица 23):

$$C_{B.B.} = \frac{0,194 \cdot 1,0}{10^{-6} \cdot 22419,133} = 8,653 \text{ мг/л.}$$

$$C_{B.B.} = \frac{0,194 \cdot 1,0}{10^{-6} \cdot 22512,639} = 8,617 \text{ мг/л.}$$

Таблица 21 – Материальный баланс первичных горизонтальных отстойников

Приход				Расход							
Потоки	м³/сут	мг/л	% об	Потоки	м³/сут	мг/л	% об				
Нейтрализованные ПСВ, из них:	15234,623	80,048		Сточная вода после первичных отстойников, из них:	19419,043	22,143					
-вода	15233,810			78,390	-вода			19418,613	99,923		
-взвешенные вещества	0,813			0,004	-взвешенные вещества			0,430	0,002		
ПЛС из регулирующего резервуара, из них:	4198,85			21,604				Влажный осадок, из них:	14,430		
-вода	4198,512							-вода	13,709		0,071
-взвешенные вещества	0,338							80,379	0,002		-осадок
Итого	19433,473		100	Итого	19433,473		100				

Таблица 22 – Материальный баланс аэротенков смесителей

Приход				Расход			
1	2	3	4	5	6	7	8
Потоки	м <sup>3</sup> /сут	мг/л	% об	Потоки	м <sup>3</sup> /сут	мг/л	% об
Сточная вода из первичных отстойников, из них:	19419,043	22,143	3,222	Поток из аэротенков, из них:	32527,898	21,616	3,721
-вода	19418,613			-вода	22424,479		
-взвешенные вещества	0,430			-взвешенные вещества	0,486		
БСВ из двухъярусных отстойников, из них:	2971,216		0,493	Циркулирующий активный ил, из них:	10102,933		1,676
-вода	2971,160		21,604	-воздух	570246,759		94,603
-взвешенные вещества	0,056		18,849	0,002	Прирост ила		4,082

Продолжение таблицы 22

1	2	3	4	5	6	7	8
Биогенные добавки, из них:	34,706		0,006				
50% раствор $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$ , из них:	7,591						
-вода	3,152						
$-(\text{NH}_4)\text{SO}_4$	4,440						
10 % раствор $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , из них:	27,115						
-вода	24,678						
- $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2,437						
-воздух	570246,759		94,603				
Циркулирующий активный ил	10102,933		1,676				
Итого	602774,657		100	Итого	602778,739		100,001

Таблица 23 – Материальный баланс вторичных радиальных отстойников

Приход				Расход					
Потоки	м³/сут	мг/л	% об	Потоки	м³/сут	мг/л	% об		
Поток из аэротенков, из них:	32527,898	21,616		Сточная вода из вторичных отстойников, из них:	22419,133	8,653			
-вода	22424,479			68,922	-вода			22418,939	68,904
-взвешенные вещества	0,486			0,001	-взвешенные вещества			0,194	0,001
Циркулирующий активный ил	10102,933			31,064	Циркулирующий активный ил:			10102,933	31,064
Прирост активного ила -	4,082			0,013	Избыточный активный ил, из них:				
					-прирост активного ила			4,082	0,013
					-взвешенные вещества			0,292	0,001
					-вода			5,540	0,017
Итого	32531,980		100	Итого	32531,980		100		

Таблица 24 – Материальный баланс стадии хлорирования

Приход				Расход					
Потоки	м <sup>3</sup> /сут	мг/л	% об	Потоки	м <sup>3</sup> /сут	мг/л	% об		
Сточная вода из вторичных отстойников, из них:	22419,133	8,653		Очищенная сточная вода, из них:	22512,833	8,617			
-вода	22418,939		99,583	-вода	22512,639		99,999		
-взвешенные вещества	0,194		0,001	-взвешенные вещества	0,194		0,001		
Хлорная вода, из них	93,700								
-вода	61,742		0,274						
-хлор (ж)	31,958		0,142						
Итого	22512,833			100	Итого		22512,833		100

Таблица 25 – Материальный баланс илоуплотнителей

Приход			Расход		
Потоки	м <sup>3</sup>	% об	Потоки	м <sup>3</sup>	% об
Избыточный активный ил (I поток), из них:	183,502		Отделяемая жидкость	252,000	71,583
-вода	110,862	31,491	Уплотненный активный ил, из них	100,040	
-взвешенные вещества	5,823	1,654	-вода	91,579	26,014
-прирост активного ила	66,817	18,980	-взвешенные вещества	2,310	0,656
Избыточный активный ил (II поток), из них:	168,538		-ил	6,151	1,747
-вода	94,180	26,753			
-взвешенные вещества	4,964	1,410			
-прирост активного ила	69,394	19,712			
Итого	352,040	100	Итого	352,040	100

Материальный баланс илоуплотнителей составлен на 17 суток

Таблица 26 – Материальный баланс метантенков.

Приход			Расход		
Потоки	кг/сут	% масс	Потоки	кг/сут	% масс
Уплотненный активный ил, из них:	100040,000		Биогаз	2422,700	2,356
-вода	91579,000	89,070	Сброженный осадок, из них:	100392,800	
-взвешенные вещества	2310,000	2,247	-вода	95316,200	92,704
-ил	6151,000	5,982	-осадок	5076,600	4,940
Острый пар	2775,500	2,701			
Итого	102815,500	100	Итого	102815,500	100

Осадок и ил сбрасываются на 40 %, поэтому получаем содержание осадке в сброженном:  $(2310+6151) \cdot 0,4 = 5076,6$  кг/сут.

Таблица 27 – Материальный баланс иловых площадок

Приход			Расход		
Потоки	м <sup>3</sup> /сут	% об	Потоки	м <sup>3</sup> /сут	% об
Влажный осадок из септической камеры двухъярусных отстойников, их них:	0,840		Осадок	5,119	5,057
-вода	0,798	0,788	Вода, из них:	96,114	
-осадок	0,042	0,041	-дренажная	80,000	79,026
Сброженный осадок из метантенка, из них:	100,393		-связанная	16,144	15,917
-вода	95,316	94,155			
-осадок	5,077	5,016			
Итого	101,233	100	Итого	101,233	100

Таблица 28 – Материальный баланс песковых площадок

Приход			Расход		
1	2	3	4	5	6
Потоки	м³/сут	% об	Потоки	м³/сут	% об
Влажный осадок из песколовок БСВ, из них:	0,700		Осадок	3,534	12,166
-вода	0,420	1,446	Вода, из них:	25,515	
-осадок	0,280	0,964	-дренажная	15,000	51,164
Влажный осадок из песколовок I потока ПСВ, из них:	2,200		-связанная	10,515	36,670
-вода	1,320	4,544			
-осадок	0,880	3,029			
Влажный осадок из первичных отстойников I потока, из них:	8,669				

Продолжение таблицы 28

1	2	3	4	5	6
-вода	8,236	28,352			
-осадок	0,433	1,491			
Влажный осадок из песколовок II потока, из них:	3,050				
-вода	1,830	6,300			
-осадок	1,220	4,200			
Влажный осадок из первичных отстойников II потока ПСВ, из них:	14,430				
-вода	13,709	47,193			
-осадок	0,721	2,481			
Итого	29,049	100	Итого	29,049	100

## 4.7 Техничко-технологические расчеты

Вначале студентом осуществляется попытка поиска стандартного оборудования, в достаточной степени удовлетворяющего совокупности требований, по каталогам стандартного оборудования. Если стандартное оборудование, не удовлетворяет разработанным требованиям, то принимается решение о целесообразности разработки нестандартного оборудования.

Подобранное технологическое оборудование должно обеспечить заданную мощность производства при условии его нормальной эксплуатации. С учетом затрат времени на капитальный ремонт продолжительность работы технологического оборудования принимают равной 330 суток в течение года. С учетом остановок на планово-предупредительные ремонты для непрерывных процессов продолжительность уменьшается до 300 сут.; для периодических вводят запас производительности оборудования, компенсирующий простои во время ремонтов.

На очистные сооружения поступают:

-производственные сточные воды по двум коллекторам с диаметром  $D_1=500$  мм и  $D_2=600$  мм, общей производительностью  $21000$  м<sup>3</sup>/сут;

-промышленно-ливневый сток подводится самотечным коллектором с  $D_3=900$  мм, производительностью  $8400$  м<sup>3</sup>/сут;

-бытовые сточные воды поступают в цех по коллектору  $D_4=300$ мм, производительностью  $5600$  м<sup>3</sup>/сут.

В цехе сточные воды проходят две стадии очистки:

- 1) раздельная механическая очистка;
- 2) совместная биологическая очистка.

Рассчитываем расход ПСВ в каждом из коллекторов по формуле:

$$Q = \frac{3,14 \cdot D^2}{4} \cdot v, \quad (12)$$

где,  $Q$  – расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с;  $D$  – диаметр коллектора (трубопровода), м;  $v$ - скорость потока сточных вод в трубопроводе, м/с.

Примем скорость ПСВ 1-м коллекторе  $v_1 = 0,52$  м/с [19], а во 2-м –  $v_2 = 0,5$  м/с.

Тогда расход ПСВ: в первом коллекторе равен:

$$Q_1 = \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} \cdot 0,52 = 0,102 \text{ м}^3/\text{с}, = 367,566 \text{ м}^3/\text{г} = 8800 \text{ м}^3/\text{сут};$$

а во втором:

$$Q_2 = \frac{3,14 \cdot 0,6^2}{4} \cdot 0,5 = 0,141 \text{ м}^3/\text{с}, = 508,9 \text{ м}^3/\text{г} = 12200 \text{ м}^3/\text{сут};$$

Далее проводился расчет для двух потоков ПСВ. Механическая очистка БСВ и ПЛС проводится отдельно, поэтому расчет производим сначала для оборудования, предназначенного для механической очистки.

Технологический расчет далее сделан по [20].

#### 4.7.1 Механическая очистка бытовых сточных вод

##### Расчет песколовок с круговым движением воды

При очистке сточных вод примем расчетную скорость потоков в песколовках 0,3 м/с. Продолжительность потока 30 секунд.

Средний секундный расход вычислим по формуле:

$$q_{\text{ср.с}} = \frac{Q}{24 \cdot 3600}, \quad (13)$$

где Q- расход сточных вод, м<sup>3</sup>/сут.

$$q_{\text{ср.с}} = \frac{5600}{24 \cdot 3600} = 0,065 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Общий коэффициент K=1,75 [21].

Рассчитываем максимальный секундный расход по формуле:

$$q_{\text{max}} = q_{\text{ср.с}} \cdot K \quad (14)$$

$$q_{\text{max}} = 0,065 \cdot 1,75 = 0,113 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Вычислим площадь живого сечения по формуле:

$$\omega = \frac{q_{\text{max}}}{v \cdot n}, \quad (15)$$

где v - рассчитанная скорость потока в песколовке, 0,3 м/с, n=1 – число отделений в песколовке:

$$\omega = \frac{0,113}{0,03 \cdot 1} = 0,378 \text{ м}^2.$$

Примем глубину проточной части h<sub>1</sub>=0,6 м. Ширина отделения будет равна:

$$B = \frac{\omega}{h_1}, \quad (16)$$

$$B = \frac{0,378}{0,6} = 0,63 \text{ м}.$$

При этом наполнении в песколовке будет равно:

$$h_1 = \frac{\omega}{B}. \quad (17)$$

$$h_1 = \frac{0,378}{0,63} = 0,6 \text{ м.}$$

Длина песколовки:

$$L = \vartheta \cdot t \quad (18)$$

где  $t=30$  секунд – продолжительность потока

$$L = 0,3 \cdot 30 = 9,0 \text{ м.}$$

Диаметр (проточной части по оси):

$$D = \frac{L}{\pi}. \quad (19)$$

$$D = \frac{9}{3,14} = 2,866 \text{ м.}$$

Для удаление осадка из песколовки используем гидроэлеваторы.

В этом случае размеры песколовки увеличатся. Примем основные размеры горизонтальных песколовки с круговым движением воды в зависимости от расхода сточных вод. Тогда диаметр песколовки будет равен 4 м принимаем две песколовки из которых 1 рабочая.

Расход воды на гидроэлеватор:

$$q_{г.э.} = \vartheta \cdot l \cdot b, \quad (20)$$

где  $\vartheta = 0,0065$  м/с – скорость потока сточной жидкости в песковом лотке;  $l$  – длина пескового лотка, м;  $b=0,6$  м – ширина пескового лотка.

Длина пескового лотка равна разности длины песколовки и длины пескового приемка:

$$l = 9 \cdot 8 = 1 \text{ м}$$

$$q_{г.э.} = 0,0065 \cdot 1 \cdot 0,6 = 0,004 \text{ л/с} = 0,337 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Рассчитаем количество образуемого осадка.

Принимаем эффективность очистки песколовки 50 %, при этом влажность удаляемого осадка 60 %.

Количество образующегося осадка:

$$W_{вл.ос.} = W_{в.в.} \cdot \Theta, \quad (21)$$

где  $W_{в.в.}$  – количество взвешенных веществ на входе в песколовку, м<sup>3</sup>/сут;  $\Theta$  – эффективность процесса очистки.

$$W_{ос} = 0,56 \cdot 0,5 = 0,28 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Количество влажного осадка:

$$W_{вл.ос.} = W_{ос} \cdot \frac{100}{100-\varphi}, \quad (22)$$

где  $\varphi=60\%$  - влажность осадка.

$$W_{вл.ос.} = 0,28 \cdot \frac{100}{100-60} = 0,7 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Количество влаги в осадке:

$$W_{\text{ВЛ.}} = W_{\text{ВЛ.ОС.}} - W_{\text{ОС.}} \quad (23)$$

$$W_{\text{ВЛ.}} = 0,7 \cdot 0,28 = 0,42 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

### Расчет двухъярусных отстойников

Примем продолжительность пребывания воды в желобе  $t=1,5$  ч и высотой желоба  $H=2$  м. Определим скорость выпадения тех взвешенных веществ, которые могут быть задержаны:

$$U = \frac{H}{3,6 \cdot t} \quad (24)$$

$$U = \frac{2}{3,6 \cdot 1,5} = 0,37 \text{ мм/с.}$$

Объем всех желобов:  $W_{\text{ж}} = q_{\text{ср.с.}} \cdot t$ .

$$q_{\text{ср.с.}} = \frac{5946,637}{24 \cdot 3600} = 0,069 \text{ м}^3/\text{с.}$$

$$t=1,5 \text{ ч}=1,5.$$

$$t = 1,5 \text{ ч} = 1,5 \cdot 3600 = 5400 \text{ с.}$$

$$W_{\text{ж}} = 0,069 \cdot 5400 = 372,6 \text{ м}^3$$

Площадь живого сечения одного желоба:

$$\omega = b \cdot h_1 + \frac{b \cdot h_2}{2} \text{ или } \omega = \frac{W_{\text{ж}}}{L \cdot n \cdot n_{\text{ж}}} \quad (25)$$

где  $L=8,5$  м – длина желоба;  $n=4$  – число двухъярусных отстойников;  $n_{\text{ж}}=2$  – число желобов в отстойнике.

$$\omega = \frac{372,6}{8,5 \cdot 4 \cdot 2} = 5,479 \text{ м}^2.$$

Определим  $h_1$  и  $h_2$  – высоту соответственно прямоугольной и треугольной части желоба. Примем ширину желоба  $b=0,15$  м, тогда:

$$h_2 = \frac{1,2 \cdot b}{2} \quad (26)$$

$$h_2 = \frac{1,2 \cdot 0,15}{2} = 0,09 \text{ м.}$$

$$h_1 = \left( \omega - \frac{b \cdot h_2}{2} \right) \cdot b = \left( 5,479 - \frac{0,15 \cdot 0,09}{2} \right) \cdot 0,15 = 0,962 \text{ м.}$$

При средней температуре в зимний период равной  $20$  °С объем септической камеры двухъярусного отстойника равен  $15$  л/чел.

Общий объем иловой камеры:

$$W_{\text{общ}} = W_{\text{ил}} \cdot N_{\text{пр}}, \quad (27)$$

где  $N_{\text{пр}} = \frac{Q \cdot 1000}{n}$  – приведенное число людей, чел; где  $n$  – норма отведения сточной жидкости, л/(сут.чел).

$$N_{\text{пр}} = \frac{5600 \cdot 1000}{250} = 22400 \text{ чел.}$$

$$W_{\text{общ}} = 22400 \cdot 15 = 336000 \text{ л} = 360 \text{ м}^3.$$

Высота конической части при уклоне днища 30 °С и диаметре отстойника  $D=9$  м:

$$h_{\text{КОН}}=0,29D-0,2\text{tg}30^\circ.$$

$$h_{\text{КОН}}=0,29D \cdot 9-0,2\text{tg}30^\circ=2,495 \text{ м.}$$

Определим объем конической части:

$$W_{\text{общ}} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot h_{\text{КОН}}. \quad (28)$$

$$W_{\text{общ}} = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 4,5^2 \cdot 2,495 = 52,882 \text{ м}^3.$$

Найдем высоту иловой камеры в цилиндрической части отстойника:

$$h_{\text{цил}} = \frac{W_{\text{общ}}-W_{\text{КОН}}}{\pi \cdot D^2/4}. \quad (29)$$

$$h_{\text{цил}} = \frac{336-52,882}{3,14 \cdot 9^2/4} = 4,453 \text{ м.}$$

Общая строительная высота двухъярусного отстойника:

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_{\text{КОН}} + h_{\text{цил}} + h_4, \quad (30)$$

где  $h_3=0,5$  м – нейтральный слой между гнилостной камерой щелью желоба;  $h_4=0,5$  м – возвышение борта отстойника над поверхностью воды.

$$H = 0,962 + 0,09 + 0,5 + 2,495 + 4,453 + 0,5 = 9 \text{ м.}$$

Объем удаляемого осадка из осадочной камеры:

$$W_{\text{ОС}} = 0,6 \cdot 0,28 = 0,168 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$W_{\text{ВЛ.ОС.}} = 0,168 \cdot \frac{100}{100-95} = 3,36 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$W_{\text{ВЛ.}} = 3,36 - 0,168 = 3,192 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Объем осадка, удаляемого из септической камеры отстойника, рассчитаем по формуле:

$$W_y = \frac{W_{\text{общ}} \cdot (100 - \varphi_{\text{п}})}{100 - \varphi_y} \cdot 0,5, \quad (31)$$

где  $\varphi_{\text{п}}$  – влажность осадка, поступающего в септическую камеру;  $\varphi_y$  – влажность осадка, удаляемого из септической камеры; 0,5 – коэффициент распада органических веществ в септической части отстойника.

$$W_y = \frac{3,36 \cdot (100 - 95)}{100 - 90} \cdot 0,5 = 0,84 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$W_{\text{ВЛ}} = 0,84 \cdot 0,05 = 0,042 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$W_{\text{ОС}} = 0,84 - 0,042 = 0,798 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

#### 4.7.2 Механическая очистка промышленно-ливневого стока

##### Расчет регулирующего резервуара

ПЛС накапливается в регулирующем резервуаре в течении 3х суток. Таким образом, объем его рассчитывается по формуле:

$$W_{pp} = Q_{max} \cdot T, \quad (32)$$

где  $Q_{max} = 8400 \cdot 1,6 = 13440 \text{ м}^3/\text{сут}$ ,

$$W_{pp} = 13440 \cdot 3 = 40320 \text{ м}^3.$$

Длина регулирующего резервуара по формуле равна:

$$L = 0,3 \cdot 3 \cdot 24 \cdot 3600 = 80,352 \text{ м}.$$

Примем  $L = 80,0 \text{ м}$ .

Площадь поперечного сечения:

$$\omega = \frac{W_{pp}}{L}. \quad (33)$$

$$\omega = \frac{40320}{80} = 504 \text{ м}^2.$$

Принимаем глубину резервуара  $H=4,5 \text{ м}$  и ширину  $B=100 \text{ м}$ . Тогда рабочий объем резервуара:

$$W_{раб} = H \cdot B \cdot L. \quad (34)$$

$$W_{раб} = 4,5 \cdot 100 \cdot 80 = 36000 \text{ м}^3.$$

Полный объем его составит:

$$W_{п} = 1,4 \cdot 36000 = 50000 \text{ м}^3.$$

##### Расчет решеток

Для очистки от плавающих и взвешенных веществ в регулирующем резервуаре поставлены решетки.

По формуле рассчитываем средний секундный расход:

$$q_{ср.с} = \frac{8400}{24 \cdot 3600} = 0,097 \text{ м}^3.$$

Определим максимальный средний секундный расход по формуле:

$$q_{max} = 0,097 \cdot 1,6 = 0,156 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Принимаем одну рабочую решетку и одну резервную. Принимая глубину воды в камере решетка  $h_1=0,5 \text{ м}$ , среднюю скорость воды в прозорах между стержнями  $v_p = 1 \text{ м/с}$ , ширину прозоров  $b=0,016 \text{ м}$ .

Определим количество прозоров решетки:

$$n = \frac{q_{max}}{b \cdot h_1 \cdot v_p} \cdot k_3, \quad (35)$$

где  $k_3$  – коэффициент, учитывающий стеснение прозоров граблями и задержанными загрязнителями.

$$n = \frac{0,156}{0,016 \cdot 0,5 \cdot 1} \cdot 1,05 = 20 \text{ прозоров.}$$

Принимая толщину стержней решетки  $S=0,008$  м.

Определим толщину решеток:

$$B_p = S(n - 1) + B \cdot n. \quad (36)$$

$$B_p = 0,008(20 - 1) + 0,016 \cdot 20 = 0,472 \text{ м.}$$

В соответствии с выполненными расчетами принимаем вертикальную решетку марки HVVD-1000 с камерой, имеющей размеры  $B \times H=1000 \times 1000$  мм.

Определим полное число прозоров:

$$l=0,008(n-1)+0,016 \cdot n.$$

$$l,008=0,024n.$$

$$n=42 \text{ прозора.}$$

Проверим скорость воды в прозорах решетки. При принятых размерах она будет равна:

$$v_p = \frac{q_{max}}{b \cdot h_1 \cdot n} \cdot k_3. \quad (37)$$

$$v_p = \frac{0,156}{0,016 \cdot 0,5 \cdot 42} \cdot 1,05 = 0,488 \text{ м/с.}$$

Определим количество загрязнений, улавливаемых решетками. Количество отбросов, снимаемых с решеток, имеющих ширину прозоров  $b=16$ мм, равно 8л/год на 1 человека.

Принимаем норму водоотведения  $n=200$  л/чел-сут определим по формуле:

$$N_{пр} = \frac{8400}{200} \cdot 1000 = 42000 \text{ человек.}$$

Количество улавливаемых загрязнений:

$$W_{сут} = \frac{N_{пр} \cdot 8}{1000 \cdot 365}. \quad (38)$$

$$W_{сут} = \frac{42000 \cdot 8}{1000 \cdot 365} = 0,921 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Примем влажность улавливаемых загрязнений 60%, тогда количество влажных загрязнений, улавливаемых решетками равно:

$$W_{Вл.з.} = \frac{0,921 \cdot 100}{100 - 60} = 2,301 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Количество влаги в улавливаемых загрязнениях:

$$W_{Вл.з.} = 2,301 \cdot 0,921 = 1,38 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

### 4.7.3 Расчет оборудования для первого потока промышленных сточных вод

#### Расчет песколовков с круговым движением воды

Расчет ведем аналогично пункту 4.7.1

$$\begin{aligned}
 q_{\text{ср.с}} &= \frac{8200}{24 \cdot 3600} = 0,102 \text{ м}^3/\text{с}. \\
 q_{\text{max}} &= 0,102 \cdot 1,6 = 0,163 \text{ м}^3/\text{с}. \\
 \omega &= \frac{0,163}{0,3 \cdot 1} = 0,543 \text{ м}^2. \\
 B &= \frac{0,543}{0,6} = 0,905 \text{ м}. \\
 h_1 &= \frac{0,543}{1,0} = 0,543 \text{ м}. \\
 L &= 0,3 \cdot 30 = 9,0 \text{ м}. \\
 D &= 2,866 \text{ м}.
 \end{aligned}$$

Принимаем из [21] две песколовки с  $D=4,0$  м, одна из них рабочая.

$$q_{\text{г.э.}} = 0,0065 \cdot 1 \cdot 0,6 = 0,004 \frac{\text{л}}{\text{с}} = 0,337 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

$$N_{\text{пр}} = \frac{8400 \cdot 1000}{200} = 44000 \text{ чел.}$$

$$W_{\text{ос}} = \frac{44000 \cdot 0,02}{1000} = 0,88 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

$$W_{\text{вл.ос.}} = \frac{100}{100-60} \cdot 0,88 = 2,2 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

$$W_{\text{вл}} = 2,2 - 0,88 = 1,32 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

### Расчет усреднителей

Примем усреднители с пневматическим перемешиванием ПСВ. Побудительное перемешивание сточных вод предотвращает выпадение осадка и образование корки плавающих веществ. Кроме того, оно способствует удалению из сточной жидкости летучих веществ и частичному или полному окислению легкоокисляемых соединений. В условиях такого перемешивания отпадает необходимость в коридорах и диагональной перегородке, устройство которых увеличивает стоимость усреднителя.

Объем усреднителя для действующих предприятий определяется на основании графиков колебаний приток сточных вод и концентрации содержащихся в них загрязнений. Таким образом продолжительность периода усреднения составляет 6 часов.

Рассчитаем объем усреднителя по формуле:

$$W = \sum_{i=1}^T q_i. \quad (39)$$

$$W = \frac{8798,137}{24} \cdot 6 = 2199,534 \text{ м}^3.$$

Необходимое количество воздуха, подаваемое в усреднитель при пневматическом перемешивании, рассчитываем по формуле:

$$Q_{\text{в}} = n \cdot q_{\text{возд.}} \cdot L. \quad (40)$$

Примем удельную интенсивность барботирования для пристеночных барботёров, создающих один циркуляционный поток:

$$q_{\text{возд.}} = 2 \text{ м}^3/\text{час на 1 пог. м.}$$

Расстояние между барботёром  $b = (2 \div 3)H$ ,

где  $H=1$  м – глубина слоя воды при минимальном наполнении.

$$b = 1 \cdot 3 = 3 \text{ м.}$$

Примем число барботеров  $n=8$ .

Ширина усреднителя рассчитывается по формуле:

$$B = n \cdot b. \quad (41)$$

$$B = 8 \cdot 3 = 24 \text{ м,}$$

его длина:

$$L = \frac{2199,534}{2,5 \cdot 24} = 36,659 \text{ м.}$$

Принимаем  $L=36$  м.

Перфорации в барботере следует располагать в нижней его половине в один ряд. Диаметр перфораций принимаем равным 5 мм, а расстояния между ними 50 мм. Барботеры следует укладывать строго горизонтально на подставках высотой 10 см от дна. В качестве барботеров используем трубы из полиэтилена для повышения надежности работы сооружений и облегчения их эксплуатации.

Проектируем усреднители, состоящие из двух отделений, глубиной  $H=3$  м.

Площадь каждого отделения будет равна:

$$F = \frac{W}{n \cdot H}. \quad (42)$$

$$F = \frac{2199,534}{2 \cdot 3} = 366,589 \text{ м}^2.$$

В плане размеры каждого сооружения: одного отделения  $L \times B \times H = 18 \times 24 \times 3,0 = 1296 \text{ м}^3$ , а двух –  $2592 \text{ м}^3$ .

Суточную норму рекомендуется подавать по лоткам с водосливными окнами. Максимальное расстояние между окнами:

$$l = 2 \cdot N \cdot T_{\text{п}}, \quad (43)$$

где  $N = 5$  мм/с – скорость распространения волны максимальной концентрации вдоль усреднителя;  $T_{\text{п}} = 5$  мин – время, необходимое для полного перемешивания поступившей жидкости с содержанием усреднителя.

$$l = 2 \cdot \frac{5 \cdot 60}{1000} \cdot 5 = 3 \text{ м.}$$

Распределительные лотки размещают над поверхностью жидкости в усреднителе параллельно барботёрам.

Количество воздуха, подаваемого на перемешивание:

$$Q_B = 8 \cdot 2 \cdot 36 = 576 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}} = 13824 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

### Расчет смесителей

Объем резервуаров смесителя

$$W_{\text{р.с}} = \frac{Q_{\text{max}} \cdot T}{60}, \quad (44)$$

где  $T=10$  мин – продолжительность смешения.

Так как с производства поступают щелочные стоки, а на биологическую очистку среда сточных вод должна быть нейтральной, то проводим нейтрализацию ПСВ 93 % раствором серной кислоты.

Расход серной кислоты по заводским данным  $0,455 \text{ кг/м}^3$  или  $0,249 \text{ м}^3/\text{м}^3$ . Таким образом, количество 93 % раствора серной кислоты:

$$0,249 \cdot 8798,137 = 2190,736 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

В 93 % растворе серной кислоты на нее приходится:

$$0,93 \cdot 2190,736 = 2037,385 \text{ м}^3/\text{сут.},$$

а на воду:

$$2190,736 - 2037,385 = 153,351 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Общий поток поступающих в смеситель:

$$8798,137 + 2190,736 = 10988,873 \text{ м}^3/\text{сут} = 457,87 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

$$W_{\text{р.с}} = \frac{457,870 \cdot 1,6 \cdot 10}{60} = 122,099 \text{ м}^3.$$

При скорости движения ПСВ в смесителе  $v = 40 \text{ мм/с}$  длина его составит:

$$L = \frac{40 \cdot 60}{1000} \cdot 10 = 24 \text{ м.}$$

Площадь поперечного сечения:

$$\omega = \frac{122,099}{24} = 5,087 \text{ м}^2.$$

Принимаем глубину резервуара смесителя  $H=3 \text{ м}$  и ширину  $B=2,0 \text{ м}$ .

Рабочий объем смесителя  $W_{\text{раб}} = 24 \cdot 3 \cdot 2,0 = 144 \text{ м}^3$ .

Полный объем смесителя  $W_{\text{п}} = 1,3 \cdot 144 = 187,2 \text{ м}^3$ .

Перемешивание ПСВ с раствором серной кислоты осуществляется в смесителе воздухом, подаваемом по перфорированной трубе. Примем расход воздуха на 1 пог. метр  $2 \text{ м}^3/\text{час}$ , тогда полный расход воздуха на перемешивание в смесителе будет равен

$$Q_{\text{Воз}} = 1 \cdot 2 \cdot 24 = 48 \text{ м}^3/\text{ч} = 1152 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

### Расчет первичных горизонтальных отстойников

На первичные отстойники кроме ПСВ поступают ПЛС. Общий объем ПЛС 8397,7 м<sup>3</sup>/сут. Распределим его равномерно на оба потока 4198,85 м<sup>3</sup>/сут, при этом содержание взвешенных веществ в каждом потоке составит 0,338 м<sup>3</sup>/сут.

Таким образом, общее количество сточной жидкости, поступающей в первичные горизонтальные отстойники, равно:

$$Q = 10988,873 + 4198,85 = 15187,723 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

При этом содержание взвешенных веществ составит:

$$0,587 + 0,338 = 0,925 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Средний секундный расход:

$$q_{\text{ср.с}} = \frac{15187,725}{24 \cdot 3600} = 0,176 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Общий коэффициент неравномерности  $k=1,562$ .

Максимальный секундный расход:

$$q_{\text{max}} = 1,562 \cdot 0,176 = 0,275 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Принимаем среднюю скорость движения воды в отстойниках  $\vartheta = 5 \text{ мм/с}$  и глубину проточной части сооружения  $h_1 = 3 \text{ м}$ . При 4х отделениях отстойника ширина каждого из них будет равна:

$$B = \frac{q_{\text{max}}}{n \cdot h_1 \cdot \vartheta} \quad (45)$$

$$B = \frac{0,275}{4 \cdot 3 \cdot 0,005} = 4,576 \text{ м.}$$

Принимаем ширину отделения 4м. При этом скорость движения воды в отстойнике будет равна:

$$\vartheta = \frac{q_{\text{max}}}{n \cdot h_1 \cdot B} \quad (46)$$

$$\vartheta = \frac{0,275}{4 \cdot 4 \cdot 3} = 0,006 \text{ м/с.}$$

Определим длину отстойника. Вертикальная турбулентная составляющая скорости будет равна  $\omega = 0,007 \text{ мм/с}$ .

При среднемесячной температуре сточных  $10^\circ\alpha = 1,3$ . Для заданных условий  $(k \cdot h_1/h)^n = 1,19$ . Для обеспечения требуемого эффекта осветления воды  $\Xi=30 \%$ ,  $t=900 \text{ с}$ .

С учетом полученных данных гидравлическая крупность составит:

$$U_0 = \frac{1000 \cdot k \cdot h_1}{\alpha \cdot t \cdot 1,19} - 0,007 = 1,07 \text{ мм/с.}$$

Определим длину отстойника по формуле:

$$L = \frac{\vartheta \cdot h_1}{k \cdot u_0} \quad (47)$$

$$L = \frac{0,006 \cdot 3}{0,5 - 0,00107} = 33,645 \text{ м.}$$

Принимаем  $L=34$  м.

Предлагается самотёчное удаление осадка из отстойников. Влажность осадка при этом будет равна  $W_{oc} = 95\%$ . Объем улавливаемого осадка отстойниками при его плотности  $1 \text{ т/м}^3$  будет равен:

$$V_{\text{ВЛ.ОС}} = \frac{100 \cdot Q_{\text{сут}}}{(100 - W_{oc})}. \quad (48)$$

Масса осадка:

$$Q_{\text{сут}} = \frac{C \cdot \Sigma K}{1000 \cdot 1000} \cdot Q. \quad (49)$$

$$Q_{\text{сут}} = \frac{60,904 \cdot 0,3 \cdot 1,562}{1000 \cdot 1000} \cdot 15187,723 = 0,433 \text{ кг/сут.}$$

$$V_{\text{ВЛ.ОС}} = \frac{100 \cdot 0,433}{(100 - 95) \cdot 1} = 8,699 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Количество влаги в осадке:

$$V_{\text{ВЛ}} = 8,669 - 0,433 = 8,236 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

### Расчет аэротенков

Перед поступление сточной воды на аэротенки она смешивается с потоком БСВ из двухъярусных отстойников. При этом количество БСВ, поступающих в каждый поток одинаково,  $2971,219 \text{ м}^3/\text{сут}$  см содержанием взвешенных веществ  $0,056 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

Общее количество сточной жидкости поступающей в аэротенки:

$$Q_{\text{общ}} = 2971,219 + 15179,054 = 18150,273 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Для дальнейшего расчета, исходя из общего расхода сточных вод, поступающих в аэротенк, рассчитывается количество необходимых биодобавок. Данные для расчета аэротенков представлены в таблице 29.

Рассчитаем необходимо количество биодобавок.

В соответствии с требованиями СП 32.13330.2012 содержание биогенных элементов в сточных водах при биологической очистке сточных вод зависит от величины БПК<sub>п</sub> поступающих сточных вод. При этом должны выдерживаться следующие соотношения:

$$C_{\text{Амин}} = 5 \cdot \frac{L_a}{100}. \quad (50)$$

$$C_{\text{Фмин}} = 1 \cdot \frac{L_a}{100}, \quad (51)$$

где  $C_{\text{Амин}}$  и  $C_{\text{Фмин}}$  - минимальная концентрация азота и фосфора в сточной воде, мг/л;  $L_a$  - БПК<sub>п</sub> смеси сточных вод, поступающих в аэротенки.

Таблица 29– Данные для расчёта аэротенков

Потоки	Расход м <sup>3</sup> /сут	% от всего	БПК <sub>п</sub> , мгО <sub>2</sub> /л	Концентрация азота, мг/л	Концентрация фосфора, мг/л	Концентрация взвешенных веществ, мг/л
ПЛС	15179,054	60	810	2,7	0,15	32,413
ПСВ		24	50	1,0	0,54	
БСВ	2971,219	16	300	22,0	4,00	18,849
Всего	18150,273	среднее	550	5,4	0,86	50,243

Проверяем эти соотношения:

$$C_{\text{Амин}} = 5 \cdot \frac{550}{100} = 27,5 \text{ мг/л.}$$

$$C_{\text{Фмин}} = 1 \cdot \frac{550}{100} = 5,5 \frac{\text{мг}}{\text{л}}.$$

Таким образом, в сточных водах имеется недостаток азота и фосфора:

$$C_{\text{Амин}} - C_{\text{А}} = 27,5 - 5,4 = 22,1 \text{ мг/л.}$$

$$C_{\text{Фмин}} - C_{\text{Ф}} = 5,5 - 0,86 = 4,46 \text{ мг/л.}$$

Для обеспечения нормального хода биологических процессов в аэротенках следует добавить необходимое количество биогенных элементов. В качестве добавок используем сульфат аммония и суперфосфат кальция определим необходимое количество добавляемых веществ:

- при введении сульфата аммония:

$$M_{\text{СА}} = \frac{(C_{\text{Амин}} - C_{\text{А}}) \cdot X_1}{1000 \cdot X_{\text{А}} \cdot n_{\text{А}}} \cdot Q. \quad (52)$$

- при введении суперфосфата кальция:

$$M_{\text{СФ}} = \frac{(C_{\text{Фмин}} - C_{\text{Ф}}) \cdot X_2}{1000 \cdot X_{\text{Ф}} \cdot n_{\text{Ф}}} \cdot Q, \quad (53)$$

где  $(C_{\text{Амин}} - C_{\text{А}})$  и  $(C_{\text{Фмин}} - C_{\text{Ф}})$  - недостающее количество азота и фосфора в сточных водах. кг/м<sup>3</sup>;  $X_1$  и  $X_2$  - молекулярные массы соответственно азот- и фосфорсодержащих веществ;  $X_{\text{А}}$  и  $X_{\text{Ф}}$  - атомные массы азота и фосфора (равны 14 и 31);  $n_{\text{А}}$  и  $n_{\text{Ф}}$  - количество атомов азота и фосфора в молекулах применяемых биогенных добавок.

Подсчитаем молекулярные массы биогенных добавок:

$$X_1 = \text{ММ} [(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4] = (14 + 4 \cdot 1) \cdot 2 + 32 + 4 \cdot 16 = 132 \text{ кг/кмоль.}$$

$$X_2 = \text{ММ} [\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}] = \\ = 40 + 2 \cdot (2 \cdot 1 + 31 + 4 \cdot 16) + 2 \cdot 1 + 16 = 252 \text{ кг/моль.}$$

$$n_A = 2; n_{\Phi} = 2.$$

Подсчитаем суточные расходы добавок в расчете на 100 % продукта:

$$M_{(NH_4)_2SO_4} = \frac{22,1 \cdot 132}{1000 \cdot 14 \cdot 2} \cdot 18150,273 = 1891 \text{ кг/сут.}$$

$$M_{Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O} = \frac{4,64 \cdot 252}{1000 \cdot 31 \cdot 2} \cdot 18150,272 = 331,6 \text{ кг/сут.}$$

Учитывая растворимость  $(NH_4)_2SO_4$  74,05 г на 100 г воды [22], а растворимость  $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$  15,4 г на 100 г воды [22], определим количество добавок необходимых для приготовления 50 % раствора  $(NH_4)_2SO_4$  и 10 % раствора  $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$  соответственно.

Общее количество  $(NH_4)_2SO_4$  с учетом растворимости:

$$\frac{1891 \cdot 100}{74} = 2555,405 \text{ кг/сут.}$$

Количество воды, идущее на приготовление 50 % раствора  $(NH_4)_2SO_4$ , примем плотность воды 1 кг/м<sup>3</sup> – 2555,405 кг/сут или 2,555 м<sup>3</sup>/сут.

$$\frac{331,6 \cdot 100}{15,4} = 2153,247 \text{ кг/сут.}$$

Количество воды, необходимое для приготовления 10 % раствора  $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ :

$$2153,247 - 10 \%$$

$$W_B - 90 \%$$

$$W_B = \frac{2153,247 \cdot 90}{10} = 19379,221 \text{ кг/сут или } 19,379 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Посчитаем объемные расходы биодобавок по формуле:

$$V = \frac{M}{\rho}, \quad (54)$$

где  $\rho$  - плотность вещества, кг /м<sup>3</sup>

Согласно [11]  $\rho_{CA} = 710 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_{CF} = 1125 \text{ кг/м}^3$ .

Тогда:

$$V_{CA} = \frac{2555,405}{710} = 3,599 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$V_{CF} = \frac{2153,247}{1125} = 1,914 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Общий объем:

50 % раствора сульфата аммония:

$$V_{p,CA} = 3,599 + 2,555 = 6,154 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$V_{p,CF} = 1,914 + 19,379 = 21,293 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

## Расчет аэротенков

Данные для расчета аэротенков: расход сточных вод  $q_1 = 18150,273 \text{ м}^3/\text{сут}$ , БПК<sub>П</sub> поступающей сточной воды  $L_A = 550 \text{ мг/л}$ ; БПК<sub>П</sub> очищенной сточной воды  $L_t = 20 \text{ мг/л}$ ; среднегодовая температура сточных вод  $T = 13 \text{ }^\circ\text{C}$

Так как величина  $300 < L_A < 1000 \text{ мг/л}$ , то применяем аэротенки смесители. Используем аэротенки с регенерацией, потому что БПК<sub>П</sub>  $> 150 \text{ мг/л}$  или в стоках присутствуют вредные производственные примеси.

Определим продолжительность аэрации смеси сточных вод и циркулирующего ила, приняв величину дозы ила в аэротенках  $A = 1,5 \text{ мг/л}$  [19]:

$$t_a = \frac{2,5}{a^{0,5}} \text{Lg} \frac{L_A}{L_t} \quad (55)$$
$$t_a = \frac{2,5}{1,5^{0,5}} \text{Lg} \frac{550}{20} = 2,938 \text{ ч.}$$

Подсчитаем долю циркулирующего ила от расчетного расхода стоков, доза ила в регенераторе  $a_{\text{пер}} = 6 \text{ г/л}$  [20].

$$\alpha = \frac{a_A - \text{Пр}}{a_{\text{пер}} - a_A} \quad (56)$$

где  $\text{Пр} = 0,8 \cdot B + 0,3 \cdot L_A$  – прирост активного ила,  $B = 30,243 \text{ мг/л}$  – концентрация взвешенных веществ в потоке сточной жидкости.

$$\text{Пр} = 0,8 \cdot 30,243 + 0,3 \cdot 550 = 208,34 \text{ мг/л} = 0,208 \text{ г/л.}$$

$$\alpha = \frac{1,5 - 0,208}{6 - 1,5} = 0,287 \text{ или } 28,7 \text{ \%}$$

Расход циркулирующего активного ила:

$$q_{\text{ц}} = \alpha \cdot q_{\text{расч.}} \cdot K, \quad (57)$$

где  $K = 1,54$  – коэффициент неравномерности потока

$$q_{\text{ц}} = 0,287 \cdot 18150,273 \cdot 1,54 = 8025,163 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Общее время окисления загрязнений:

$$t_0 = \frac{L_A - L_t}{\alpha \cdot a_{\text{пер}} \cdot (1 - S_L) \cdot \rho} \quad (58)$$

где  $S_L = 0,3$  – зольность ила и  $\rho = 29 \text{ мг/г} \cdot \text{ч}$  – средняя скорость окисления, взятых из [21].

$$t_0 = \frac{550 - 20}{0,287 \cdot 6 \cdot (1 - 0,3) \cdot 29} = 15,162 \text{ ч.}$$

Вычислим объем аэротенка и регенератора по формулам:

$$V_A = t_a \cdot (1 + \alpha) \cdot \frac{1}{24} \cdot q. \quad (59)$$

$$V_P = t_{\text{пер.}} \cdot \alpha \cdot \frac{1}{24} \cdot q, \quad (60)$$

где  $q = 1,5 \cdot q_1 + q_{ц} + V_{p.сА} + V_{p.сФ}$ .

$$q = 1,5 \cdot 18150,273 + 8025,163 + 6,154 + 21,293 = 36004,03 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$V_A = 2,938 \cdot (1 + 0,287) \cdot \frac{1}{24} \cdot 36004,03 = 5672,44 \text{ м}^3.$$

$$V_P = 12,224 \cdot 0,287 \cdot \frac{1}{24} \cdot 36004,03 = 5263,021 \text{ м}^3.$$

Определим общий объем сооружений:

$$V_{\text{общ.}} = V_A + V_P, \quad (61)$$

$$V_{\text{общ.}} = 5672,444 + 5263,021 = 10935,465 \text{ м}^3.$$

Найдем расчетную продолжительность обработки сточных вод:

$$t_1 = t_A \cdot (1 + \alpha) + t_{\text{пер}} \cdot \alpha. \quad (62)$$

$$t_1 = 2,938 \cdot (1 + 0,287) + 12,224 \cdot 0,287 = 7,289 \text{ ч.}$$

Полученную расчетную производительность сверим со значением  $t_1$ , при величине  $\phi$ , равной средней концентрации ила  $a_{\text{ср.}}$  в сооружении:

$$a_{\text{ср.}} = \frac{a_A \cdot V_A + a_{\text{пер}} \cdot V_{\text{пер}}}{V_{\text{общ.}}} \quad (63)$$

$$a_{\text{ср.}} = \frac{1,5 \cdot 5672,444 + 6 \cdot 5263,021}{10935,465} = 3,666 \text{ г/л.}$$

$$t_1' = \frac{L_A - L_t}{a_{\text{ср.}} \cdot (1 - S_L) \cdot \rho}. \quad (64)$$

$$t_1' = \frac{550 - 20}{3,666 \cdot (1 - 0,3) \cdot 29} = 7,122 \text{ ч.}$$

Полученные значения расчетной продолжительности обработки сточных вод совпадают.

Относительный объем регенератора:

$$\frac{V_{\text{пер.}}}{V_{\text{общ.}}} = \frac{5263,021}{10935,465} = 0,48 \text{ или } 48 \%.$$

Следовательно, в проекте принимаем трехкоридорные аэротенки-смесители с выделением одного коридора в каждой секции под регенераторы. Параметры одной секции: длина – 42 м, глубина – 4 м, ширина одного коридора – 5 м, общая ширина – 15 м. Объем одной секции  $2520 \text{ м}^3$ . Число секций:

$$10935,465 : 2520 = 4,339 \text{ штук.}$$

Принимаем 5 секций общим объемом  $12600 \text{ м}^3$ .

Определим удельный расход воздуха для аэротенков-смесителей:

$$D = \frac{z \cdot (L_A - L_t)}{k_1 \cdot k_2 \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot (C_p - C)}, \quad (65)$$

где  $z = 1,1 \text{ мг/мг}$  – удельный расход кислорода.

Принимаем мелкопузырчатый аэратор из керамических фильтросных пластин с отношением площади аэрируемой к площади дна  $A/F = 0,25$  при  $k_1 = 1,78, k_2 = 2,52$  при глубине погружении аэратора  $h_a = 4$  м;  $n_1$  – коэффициент, учитывающий температуру сточных вод;  $n_2 = 0,7$  – коэффициент учитывающий отношение скорости переноса кислорода в иловой смеси к скорости переноса его в чистой воде;  $C_p$  – растворимость кислорода воздуха в воде мг/л.

$$n_1 = 1 + 0,02 \cdot (22 - 20) = 1,04.$$

$$C_p = C_T \cdot \frac{10,3 + 0,5 \cdot h_a}{10,3}, \quad (66)$$

где  $C_T$  – растворимость кислорода воздуха в воде в зависимости от температуры и давления; 8,67 мг/л;  $C$  – средняя концентрация кислорода в аэротонке, мг/л; принимается равной 2 мг/л [20].

$$C_p = 8,67 \cdot \frac{10,3 + 0,5 \cdot 4}{10,3} = 10,353 \text{ мг/л.}$$

$$D = \frac{1,1 \cdot (550 - 20)}{1,78 \cdot 2,9 \cdot 1,04 \cdot 0,7 \cdot (10,353 - 2)} = 18,572 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Интенсивность аэрации:

$$I = \frac{D \cdot H}{t_1}. \quad (67)$$

$$I = \frac{18,572 \cdot 4,5}{7,122} = 11,734 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч.}$$

Так как вычисленная интенсивность аэрации меньше максимальной 25  $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$  и более минимальной 3,5  $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ , то все принимаемые значения величин оставим прежними.

Рассчитаем расход воздуха для заданной производительности сточных вод:

$$D_i = D \cdot q_1 \cdot K. \quad (68)$$

$$D_i = 18,572 \cdot 18150,273 \cdot 1,54 = 519113 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

### Расчет вторичных радиальных отстойников

Продолжительность отстаивания иловой жидкости при максимальном притоке  $T=2$ ; максимальная скорость протекания  $N=5$  мм/с. Средний секундный расход:

$$q_{\text{ср.с}} = \frac{26202,88}{24 \cdot 3600} = 0,303 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Общий коэффициент неравномерности потока  $k=1,51$

Максимальный секундный расход:

$$q_{\text{макс}} = 0,303 \cdot 1,51 = 0,458 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Общий объем отстойников должен быть:

$$V_{\text{отст}} = q_{\text{макс}} \cdot T. \quad (69)$$

$$V_{\text{отст}} = 0,458 \cdot 2 \cdot 3600 = 3297,2 \text{ м}^3.$$

Принимаем 4 секции отстойника. Объем каждой секции должен равняться:

$$V'_{\text{отст}} = \frac{V_{\text{отст}}}{n}.$$

$$V'_{\text{отст}} = \frac{3297,2}{4} = 824,3 \text{ м}^3.$$

Принимаем, что диаметр отстойника:

$$D = 10 \cdot h_1.$$

Уравнение для объема отстойника можно записать:

$$V'_{\text{отст}} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot h_1}{4}.$$

С учетом принятого соотношения:

$$V'_{\text{отст}} = \frac{\pi \cdot D^2}{40}.$$

Отсюда:

$$D = \sqrt[3]{\frac{40 \cdot V'_{\text{отст}}}{\pi}}. \quad (70)$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{40 \cdot 824,3}{3,14}} = 21,9 \text{ м}.$$

Глубина проточной части:  $h_1 = D: 10$

$$h_1 = 21,9: 10 = 2,19 \text{ м}.$$

Принимаем следующие размеры секций:  $D=22$  м,  $h_1 = 2,2$  м; Глубина иловой зоны в центре сооружения  $h'_2 = 0,5$  м

Скорость движения воды на половине радиуса при расчетных значениях  $h_1$  и  $D$ :

$$v = \frac{2 \cdot q_{\text{max}}}{n \cdot \pi \cdot D \cdot h_1}, \quad (71)$$

$$v = \frac{2 \cdot 0,458}{4 \cdot 3,14 \cdot 22 \cdot 2,2} = 0,002 \text{ м/с}.$$

При уклоне днища от центра к периферии  $i = 0,005$  глубина иловой зоны на периферии сооружений:

$$h''_2 = h'_2 + i \cdot K. \quad (72)$$

$$h''_2 = 0,5 + 0,005 \cdot 11 = 0,555 \text{ м}.$$

Объем иловой зоны

$$V_{\text{ил.з.}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{h'_2 + h''_2}{2}.$$

$$V_{\text{ил.з.}} = \frac{3,14 \cdot 22^2}{4} \cdot \frac{0,5 + 0,555}{2} = 200,4 \text{ м}^3.$$

## Расчет стадии хлорирования

Средний секундный расход:

$$q_{\text{ср.с}} = \frac{18171,141}{24 \cdot 3600} = 0,21 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Коэффициент неравномерности потока  $k=1,55$

Максимальный часовой расход:

$$Q_{\text{маск.ч.}} = \frac{Q_{\text{ср.сут.}}}{24} \cdot K. \quad (73)$$
$$Q_{\text{маск.ч.}} = \frac{18171,141}{24} \cdot 1,55 = 1173,553 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Принимаем дозу хлора для дезинфекции вод  $D_{\text{хл}} = 3 \text{ г}/\text{м}^3$

Расход хлора за 1 час при максимальном расходе:

$$q_{\text{хл.}} = \frac{D_{\text{хл.}} \cdot Q_{\text{маск.ч.}}}{1000}, \quad (74)$$
$$q_{\text{хл.}} = \frac{3 \cdot 1173,533}{1000} = 3,521 \text{ кг}/\text{ч}.$$

Расход хлора в сутки:

$$q'_{\text{хл}} = 3,521 \cdot 24 = 84,496 \text{ кг}/\text{сут}.$$

Объем хлора:

$$W_{\text{хл}} = \frac{84,496}{3,22} = 26,241 \text{ м}^3/\text{сут},$$

где  $3,22 \text{ кг}/\text{м}^3$  - плотность хлора.

В хлораторной предусматривается установка 2х хлораторов ЛОНИИ-100 с ротаметром типа РС-5. Один хлоратор рабочий, а другой резервный.

Для обеспечения полученной производительности в 1 час необходимо иметь баллонов испарителей:

$$n_{\text{бал}} = \frac{q_{\text{хл.}}}{\rho_{\text{бал}}}. \quad (75)$$
$$n_{\text{бал}} = \frac{3,521}{0,5} = 7 \text{ баллонов},$$

где  $\rho_{\text{бал}} = 0,5 \div 0,7 \text{ кг}/\text{ч}$  - объем хлора с одного баллона.

Принимаем баллон объемом 20 л, содержащими жидкого хлора 25 кг.

Всего за сутки будет расходоваться хлора:

$$84,496 : 25 = 3,38 \approx 3 \text{ баллона}.$$

Хлордозаторная обеспечивается подводом воды питьевого качества с давлением не менее 300 кПа и расходом:

$$Q = g_{\text{хл.}} \cdot q_{\text{хл.}}, \quad (76)$$

где  $g_{\text{хл.}} = 0,06 \text{ м}^3/\text{кг}$  - норма водопотребления в  $\text{м}^3$  на 1 кг хлора.

$$Q = 0,6 \cdot 3,521 = 2,113 \text{ м}^3/\text{ч} = 50,702 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Для обеспечения контакта хлора со сточной водой запроектируем контактный резервуар по типу горизонтальных отстойников. Их объем:

$$W_{\text{хл}} = \frac{1173,533 \cdot 30}{60} = 586,777 \text{ м}^3.$$

где  $T=30$  мин – продолжительность контакта хлора со сточной водой.

При скорости движения сточной воды в контактном резервуаре  $v = 10$  мм/с длина его:

$$L = \frac{10 \cdot 60}{1000} \cdot 30 = 18 \text{ м.}$$

Площадь поперечного сечения:

$$\omega = \frac{586,777}{18} = 32,6 \text{ м}^2.$$

При глубине  $H=2,8$  м и ширине каждой секции  $b = 4$  м количество секций:

$$n = \frac{\omega}{b \cdot H}. \quad (77)$$

$$n = \frac{32,6}{4 \cdot 2,8} = 2,9 \approx 3 \text{ шт.}$$

Фактическая продолжительность контакта воды с хлором в час максимального притока воды:

$$T = \frac{W_{\text{к.р.}}}{Q_{\text{макс.ч}}}. \quad (78)$$

$$T = \frac{n \cdot b \cdot H \cdot L}{Q_{\text{макс.ч}}}. \quad (79)$$

$$T = \frac{3 \cdot 4 \cdot 2,8 \cdot 18}{1173,553} = 0,515 \approx 31 \text{ мин.}$$

#### 4.7.4 Расчет оборудования для второго потока промывных сточных вод

Расчет производится аналогично п. 4.7.3

**Расчет песколовков с круговым движением воды**

$$q_{\text{ср.с}} = \frac{12200}{24 \cdot 3600} = 0,141 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$q_{\text{max}} = 0,141 \cdot 1,55 = 0,219 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$\omega = \frac{0,219}{0,3 \cdot 1} = 0,73 \text{ м}^2.$$

$$B = \frac{0,73}{0,6} = 1,216 \text{ м} \approx 1,3 \text{ м.}$$

$$h_1 = \frac{0,73}{1,3} = 0,56 \text{ м.}$$

$$L = 0,3 \cdot 30 = 9,0 \text{ м.}$$

$$D = \frac{9}{3,14} = 2,866 \text{ м.}$$

Принимаем из две песколовки  $D=6\text{м}$ : одна – рабочая, другая – резервная.

$$q_{г.э.} = 0,0065 \cdot 1,1 \cdot 0,8 = 0,006 \text{ л/с} = 0,506 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$N_{пр} = \frac{12200 \cdot 1000}{200} = 61000 \text{ чел.}$$

$$W_{OC} = \frac{61000 \cdot 0,02}{1000} = 1,22 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$W_{ВЛ.OC.} = \frac{100}{100-60} \cdot 1,22 = 3,05 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$W_{ВЛ} = 3,05 - 1,22 = 1,83 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

### Расчет усреднителей

$$W = \frac{12197,456}{24} \cdot 6 = 3049,36 \text{ м}^3.$$

$$b = 1 \cdot 3 = 3 \text{ м.}$$

$$B = 8 \cdot 3 = 24 \text{ м.}$$

$$L = \frac{3049,36}{3 \cdot 24} = 42,352 \text{ м.}$$

Принимаем  $L=42 \text{ м}$

$$F = \frac{3049,36}{2 \cdot 3,5} = 435,6 \text{ м}^2.$$

В плане размеры каждого сооружения  $b$  одного отделения –  $L \times B \times H = 24 \times 24 \times 3,5 = 1764 \text{ м}^3$ ;  $2x - 3528 \text{ м}^3$ .

$$Q_B = 8 \cdot 2 \cdot 42 = 672 \text{ м}^3/\text{час} = 16128 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

### Расчет смесителя

Расход серной кислоты:  $0,249 \cdot 12197,456 = 3037,167 \text{ м}^3/\text{сут.}$ ,  
где серной кислоты:  $0,93 \cdot 3037,167 = 2824,565 \text{ м}^3/\text{сут.}$ , а воды:  
 $3037,16 - 2824,565 = 212,602 \text{ м}^3/\text{сут.}$

Общий поток, поступающий в смеситель:

$$12197,456 + 3037,167 = 15234,623 \text{ м}^3/\text{сут} = 634,776 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

$$W_{р.с.} = \frac{634,776 \cdot 1,55 \cdot 10}{60} = 163,984 \text{ м}^3.$$

$$L = \frac{40 \cdot 60}{1000} \cdot 10 = 24 \text{ м.}$$

$$\omega = \frac{163,984}{24} = 6,833 \text{ м}^2.$$

Принимаем глубину резервуара-смесителя  $H=3\text{м}$  и ширину  $B=3\text{м}$ .

$$W_{раб} = 24 \cdot 3 \cdot 3 = 216 \text{ м}^3.$$

$$W_{п} = 1,3 \cdot 216 = 280,8 \text{ м}^3.$$

$$Q_{возд.} = 1 \cdot 2 \cdot 24 = 48 \text{ м}^3/\text{ч} = 1152 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

### Расчет первичных горизонтальных отстойников

$$Q = 15234,623 + 4198,8 = 19433,473 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Содержание взвешенных веществ:  $0,813 + 0,338 = 1,151 \text{ м}^3/\text{сут.}$

$$q_{\text{ср.с}} = \frac{19433,473}{24 \cdot 3600} = 0,225 \text{ м}^3/\text{с}.$$
$$q_{\text{max}} = 1,546 \cdot 0,225 = 0,348 \text{ м}^3/\text{с}.$$
$$B = \frac{0,348}{4 \cdot 3 \cdot 0,005} = 5,796 \text{ м}.$$

Принимаем ширину отделения 6м. При этом скорость движения воды в отстойнике будет равна:

$$v = \frac{0,348}{4 \cdot 3 \cdot 6} = 0,005 \text{ м/с}.$$
$$U_0 = \frac{1000 \cdot 0,5 \cdot 3}{1,3 \cdot 900 \cdot 1,19} - 0,004 = 1,073 \text{ мм/с}.$$
$$L = \frac{0,005 \cdot 3}{0,5 \cdot 0,001073} = 27,95 \text{ м}.$$

Принимаем  $L=28 \text{ м}.$

$$Q_{\text{сут}} = \frac{80,048 \cdot 0,3 \cdot 1,546}{1000 \cdot 1000} \cdot 19433,473 = 0,721 \text{ м}^3/\text{сут.}$$
$$V_{\text{ВЛ.ОС}} = \frac{100}{(100-95) \cdot 1} = 14,43 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Количество влаги в осадке:

$$V_{\text{ВЛ}} = 14,43 - 0,721 = 13,709 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

### Расчет аэротенков

$$Q_{\text{общ}} = 2971,216 + 19419,043 = 22390,259 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Исходя из общего расхода сточных вод, поступающих в аэротенк, рассчитывается количество необходимых биодобавок. Данные для расчета аэротенков представлены в таблице 30.

Рассчитаем необходимо количество биодобавок

$$M_{(NH_4)_2SO_4} = \frac{22,1 \cdot 132}{1000 \cdot 14 \cdot 2} \cdot 22390,259 = 2332,745 \text{ кг/сут.}$$

$$M_{Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O} = \frac{4,64 \cdot 252}{1000 \cdot 31 \cdot 2} \cdot 22390,259 = 422,266 \text{ кг/сут.}$$

Общее количество  $(NH_4)_2SO_4$  с учетом растворимости:

$$\frac{2332,745 \cdot 100}{74} = 3152,358 \text{ кг/сут.}$$

Общее количество  $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$  с учетом растворимости:

$$\frac{422,266 \cdot 100}{15,4} = 2741,986 \text{ кг/сут.}$$

Общее количество  $(NH_4)_2SO_4$  с учетом растворимости:

$$\frac{2332,745 \cdot 100}{74} = 3152,358 \text{ кг/сут.}$$

Общее количество  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  с учетом растворимости:

$$\frac{422,266 \cdot 100}{15,4} = 2741,986 \text{ кг/сут.}$$

Таблица 30 – Данные для расчёта аэротенков

Потоки	Расход м <sup>3</sup> /сут	% от всего	БПК <sub>п</sub> , мгО <sub>2</sub> /л	Концентра- ция азота, мг/л	Концентра- ция фосфора, мг/л	Концентра- ция взвешенных веществ, мг/л
ПЛС	19419,04	60	810	2,7	0,15	22,143
ПСВ	3	24	50	1,0	0,54	
БСВ	2971,216	16	300	22,0	4,00	18,849
Всего	22390,25 9	средн ее	550	5,4	0,86	21,616

Количество воды, идущее на приготовление 50 % раствора  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  3152,358 кг/сут или 3,152 м<sup>3</sup>/сут.

Количество воды, необходимое для приготовления 10 % раствора  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ :

$$2741,986 - 10 \%$$

$$W_B - 90 \%$$

$$W_B = \frac{2741,986 \cdot 90}{10} = 24677,874 \text{ кг/сут или } 24,678 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Объемные расходы биодобавок:

$$V_{\text{СА}} = \frac{3152,358}{710} = 4,44 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$V_{\text{СФ}} = \frac{2741,986}{1125} = 2,437 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Общий объем:

50 % раствора сульфата аммония:

$$V_{\text{р.СА}} = 4,44 + 3,152 = 7,591 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

10 % раствора суперфосфата кальция:

$$V_{\text{р.СФ}} = 2,437 + 24,678 = 27,115 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Расчет аэротенков:

$$\text{Pr} = 0,8 \cdot 21,616 + 0,3 \cdot 550 = 182,3 \text{ мг/л} = 0,182 \text{ г/л.}$$

$$\alpha = \frac{1,5 - 0,182}{6 - 1,5} = 0,293 \text{ или } 29,3 \%$$

$$q_{\text{ц}} = 0,293 \cdot 22390,259 \cdot 1,54 = 10102,933 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Общее время окисления загрязнений:

$$t_0 = \frac{550 - 20}{0,293 \cdot 6 \cdot (1 - 0,3) \cdot 29} = 14,851 \text{ ч.}$$

$$t_{\text{рег.}} = 14851 - 2,938 = 11,913 \text{ ч.}$$

$$V_A = 2,938 \cdot (1 + 0,293) \cdot \frac{1}{24} \cdot 44618,638 = 7062,45 \text{ м}^3.$$

$$q = 1,54 \cdot 22390,259 + 10102,933 + 7,591 + 27,115 = 44618,638 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$V_P = 11,913 \cdot 0,293 \cdot \frac{1}{24} \cdot 44618,638 = 6489,24 \text{ м}^3.$$

$$V_{\text{общ.}} = 7062,45 + 6489,24 = 13551,69 \text{ м}^3.$$

$$t_1 = 2,938 \cdot (1 + 0,293) + 11,913 \cdot 0,293 = 7,289 \text{ ч.}$$

$$a_{\text{ср.}} = \frac{1,5 \cdot 7062,45 + 6 \cdot 6489,24}{13551,69} = 3,655 \text{ г/л.}$$

$$t'_1 = \frac{550 - 20}{3,655 \cdot (1 - 0,3) \cdot 29} = 7,144 \text{ ч.}$$

Полученные значения расчетной продолжительности обработки сточных вод совпадают.

Относительный объем регенератора:

$$\frac{V_{\text{рег.}}}{V_{\text{общ}}} = \frac{6489,24}{13551,69} = 0,48 \text{ или } 48 \text{ \%}.$$

Принимаем трехкоридорные аэротенки-смесители с выделением одного коридора в каждой секции под регенераторы. Параметры одной секции: длина – 45 м, глубина – 5 м, ширина одного коридора – 6 м, общая ширина – 15 м. Объем одной секции 4050 м<sup>3</sup>. Число секций:

$$13551,69 : 4050 = 3,346 \text{ штук.}$$

Принимаем 4 секции общим объемом 16200 м<sup>3</sup>.

Определим удельный расход воздуха для аэротенков смесителей:

$$C_p = 8,67 \cdot \frac{10,3 + 0,5 \cdot 5}{10,3} = 10,774 \text{ мг/л.}$$

$$D = \frac{1,1 \cdot (550 - 20)}{1,89 \cdot 2,9 \cdot 1,04 \cdot 0,7 \cdot (10,774 - 2)} = 16,538 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

$$I = \frac{16,538 \cdot 5,5}{7,289} = 12,479 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч.}$$

Так как вычисленная интенсивность аэрации меньше максимальной 30 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> · ч и более минимальной 3 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> · ч, то все принимаемые значения величин оставим прежними.

$$D_i = 16,538 \cdot 22390,259 \cdot 1,54 = 570246,759 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

### Расчет вторичных радиальных отстойников

$$q_{\text{ср.с}} = \frac{232536,04}{24 \cdot 3600} = 0,377 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$q_{\text{макс}} = 0,377 \cdot 1,51 = 0,569 \text{ м}^3/\text{с.}$$

$$V_{\text{отст}} = 0,569 \cdot 2 \cdot 3600 = 4094,12 \text{ м}^3.$$

$$V'_{\text{отст}} = \frac{4094,12}{4} = 1023,53 \text{ м}^3.$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{40 \cdot 1032,53}{3,14}} = 23,53 \text{ м.}$$

$$h_1 = 23,53 : 10 = 2,35 \text{ м.}$$

Принимаем 4 секции со следующими размерами:  $D=24$  м,  $h_1 = 2,4$  м; Глубина иловой зоны в центре сооружения  $h'_2 = 0,5$  м.

$$\vartheta = \frac{2 \cdot 0,569}{4 \cdot 3,14 \cdot 24 \cdot 2,4} = 0,002 \text{ м/с.}$$

$$h'_2 = 0,5 + 0,005 \cdot 12 = 0,56 \text{ м.}$$

$$V_{\text{ил.з.}} = \frac{3,14 \cdot 24^2}{4} \cdot \frac{0,5 + 0,56}{2} = 239,8 \text{ м}^3.$$

### Расчет стадии хлорирования

$$q_{\text{ср.с}} = \frac{22419,133}{24 \cdot 3600} = 0,259 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$Q_{\text{маск.ч.}} = \frac{22419,133}{24} \cdot 1,53 = 1429,22 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

$$q_{\text{хл.}} = \frac{3 \cdot 1429,22}{1000} = 4,288 \text{ кг/ч.}$$

Расход хлора в сутки:

$$q'_{\text{хл.}} = 4,288 \cdot 24 = 102,904 \text{ кг/сут.}$$

Объем хлора:

$$W_{\text{хл.}} = \frac{102,904}{3,22} = 31,958 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

$$n_{\text{бал}} = \frac{4,288}{0,5} = 8 \text{ баллонов.}$$

Всего за сутки будет расходоваться хлора:

$$102,904 : 25 = 4,12 \approx 4 \text{ баллона.}$$

$$Q = 0,6 \cdot 4,288 = 2,573 \text{ м}^3/\text{ч} = 61,742 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$W_{\text{хл.}} = \frac{1429,22 \cdot 30}{60} = 714,61 \text{ м}^3.$$

$$L = 18 \text{ м.}$$

$$\omega = \frac{714,61}{18} = 39,7 \text{ м}^2.$$

При глубине  $H=2,8$  м и ширине каждой секции  $b = 6$  м количество секций:

$$n = \frac{32,6}{6 \cdot 2,8} = 2,4 \approx 3 \text{ шт.}$$

$$T = \frac{3 \cdot 6 \cdot 2,8 \cdot 18}{1429,22} = 0,635 \approx 38 \text{ мин.}$$

#### 4.7.5 Расчет илоуплотнителей

Прирост активного ила для данных условий  $200 \text{ г/м}^3$  [21]

$$p_{max} = k_M \cdot P, \quad (80)$$

где  $P$  - прирост активного ила,  $\text{г/м}^3$ ;  $k_M$  - коэффициент месячной неравномерности прироста ила, равный 1,15-1,2.

$$p_{max} = 1,2 \cdot 200 = 240 \text{ г/м}^3.$$

Максимальный приток избыточного активного ила:

$$q_{max} = \frac{240 \cdot 35000}{24 \cdot C}.$$

где  $Q$  – расчетный расход сточных вод,  $\text{м}^3/\text{сут}$ ;  $C$  – концентрация уплотняемого избыточного активного ила,  $\text{г/м}^3$ .

$$q_{max} = \frac{240 \cdot 35000}{24 \cdot 20000} = 17,5 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Предполагаем, что будут применены два илоуплотнителя вертикального типа. Принимаем продолжительность уплотнения  $t=10$  ч, скорость  $\vartheta = 0,07 \text{ мм/с}$ ; влажность исходного ила  $99,2 \%$  и уплотненного  $P_2 = 98\%$  [21].

Высота проточной части:  $h = 3,6 \cdot \vartheta \cdot t$ .

$$h = 3,6 \cdot 0,07 \cdot 10 = 2,52 \text{ м}.$$

Максимальное количество жидкости, отделяемой из илоуплотнителей:

$$q_{ж} = q_{max} \cdot \frac{P_1 - P_2}{100 - P_2}, \quad (81)$$

$$q_{ж} = 17,5 \cdot \frac{99,2 - 98}{100 - 98} = 10,5 \text{ м}^3/\text{ч} = 252 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Полученная площадь поперечного сечения илоуплотнителя:

$$F_{пол} = \frac{q_{ж}}{3,6 \cdot \vartheta}. \quad (82)$$

$$F_{пол} = \frac{10,5}{3,6 \cdot 0,07} = 41,7 \text{ м}^2.$$

Площадь поперечного сечения центральной трубы

$$f_{тр} = \frac{q_{max}}{3600 \cdot N_{тр}}, \quad (83)$$

где  $N_{тр}$  - скорость движения жидкости в вертикальной трубе;  $0,1 \text{ м/с}$ .

$$f_{тр} = \frac{17,5}{3600 \cdot 0,1} = 0,048 \text{ м}^2 \approx 0,05 \text{ м}^2.$$

Общая площадь илоуплотнителя:  $F_{общ} = F_{пол} + f_{тр}$ .

$$F_{общ} = 41,7 + 0,05 = 41,75 \text{ м}^2.$$

Диаметр одного илоуплотнителя:

$$D = \sqrt{4 \cdot F_{общ} / (\pi \cdot n)}, \quad (84)$$

где  $n$  – число илоуплотнителей  $D = \sqrt{4 \cdot 41,75 / (3,14 \cdot 2)} = 5,11 \text{ м}$ .

Принимаем 2 илоуплотнителя  $D=6$  м, оба рабочие

Объем иловой части илоуплотнителя:

$$V_{ил} = q_{max} \cdot \frac{100-P_1}{100-P_2} \cdot \frac{t_{ил}}{n}, \quad (85)$$

где  $t_{ил}$  – продолжительность пребывания ила в иловой части при выгрузке его 1 раз в смену, принимая равной 8 часов

$$V_{ил} = 17,5 \cdot \frac{100 - 99,2}{100 - 98} \cdot \frac{8}{2} = 28 \text{ м}^3$$

#### 4.7.6 Расчет метантенков

Данные для расчета:  $Q = 35000 \text{ м}^3/\text{сут}$ ;  $C=150 \text{ мг/л}$ ;  $\text{БПК}_п=550 \text{ мг О/л}$ ;  $\Xi=40\%$  - эффект осветления в первичных отстойниках.

Количество сухого вещества остатка  $O_{сух}$  и активного ила  $U_{сух}$ :

$$Q_{сух} = \frac{c \cdot \Xi \cdot K}{1000 \cdot 1000} \cdot Q. \quad (86)$$

$$U_{сух} = \frac{0,8 \cdot C(1-\Xi) + 0,3 \cdot L_A - b}{1000 \cdot 1000} \cdot Q. \quad (87)$$

где  $c$ - концентрация взвешенных веществ, поступающих на аэротентки;  $L_A$ - БПК<sub>п</sub> поступающей в аэротенк сточной воды;  $Q$ -средний расход сточной воды;  $K$  – коэффициент, учитывающий увеличение объема осадка за счет крупных фракций взвешенных веществ, не улавливаемых при отборе проб для анализа (равный 1,1-1,2);  $b$ -вынос активного ила из вторичных отстойников, мг/л

$$Q_{сух} = \frac{150 \cdot 0,4 \cdot 1,1}{1000 \cdot 1000} \cdot 35000 = 2,31 \text{ т/сут.}$$

В процессе осветления воды в отстойнике происходит снижение концентрации загрязнений, фиксируемых величиной БПК<sub>п</sub>, примерно на 15-25 %. Примем значение 25 % и определим величину БПК в воде, поступающей в аэротенки:

$$L_a = 550 \cdot (1 - 0,25) = 412,5 \text{ мгО/л.}$$

$$U_{сух} = \frac{0,8 \cdot 150 \cdot (1-0,4) + 0,3 \cdot 412,5 - 20}{1000 \cdot 1000} \cdot 35000 = 6,151 \text{ т/сут.}$$

Для расчета расхода осадка и ила по беззольному веществу примем зольность осадка  $Z_{ос}=30\%$ , зольность активного ила  $Z_{ил}=25\%$ . Гигроскопическую влажность осадка и ила  $B_r$  и  $B'_r$  можно принять равной 5 %.

Количество беззольного вещества осадка  $O_{без}$  и активного ила  $U_{без}$ :

$$Q_{без} = \frac{O_{сух} \cdot (100 - B_r) \cdot (100 - Z_{ос})}{100 \cdot 100}. \quad (88)$$

$$U_{\text{без}} = \frac{U_{\text{сух}} \cdot (100 - B_r') \cdot (100 - 3_{\text{ил}})}{100 \cdot 100} \quad (89)$$

$$Q_{\text{без}} = \frac{2,31 \cdot (100 - 5) \cdot (100 - 30)}{100 \cdot 100} = 1,536 \text{ т/сут.}$$

$$U_{\text{без}} = \frac{6,151 \cdot (100 - 5) \cdot (100 - 25)}{100 \cdot 100} = 4,383 \text{ т/сут.}$$

Расход сырого осадка и избыточного активного ила:

$$V_{\text{ос}} = \frac{100 \cdot Q_{\text{сух}}}{(100 - W_{\text{ос}}) \cdot \rho_{\text{ос}}} \quad (90)$$

$$V_{\text{ил}} = \frac{100 \cdot U_{\text{сух}}}{(100 - W_{\text{ил}}) \cdot \rho_{\text{ил}}} \quad (91)$$

где  $W_{\text{ос}} = 94\%$  - влажность сырого осадка;  $W_{\text{ил}} = 90\%$  - влажность избыточного активного ила. При такой влажности плотность осадка ( $\rho_{\text{ос}}$ ) и активного ила  $\rho_{\text{ил}}$  можно считать равной 1.

$$V_{\text{ос}} = \frac{100 \cdot 2,31}{(100 - 94) \cdot 1} = 38,5 \text{ т}^3/\text{сут.}$$

$$V_{\text{ил}} = \frac{100 \cdot 6,151}{(100 - 90) \cdot 1} = 61,54 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Общий расход осадков на станции:

- по сухому веществу:

$$M_{\text{сух}} = Q_{\text{сух}} + U_{\text{сух}} \quad (92)$$

$$M_{\text{сух}} = 2,31 + 6,151 = 8,461 \text{ т/сут.}$$

- по беззольному веществу:

$$M_{\text{без}} = Q_{\text{сух}} + U_{\text{сух}} \quad (93)$$

$$M_{\text{без}} = 1,536 + 4,383 = 5,919 \text{ т/сут}$$

- по объему смеси фактической влажности:

$$M_{\text{общ}} = V_{\text{ос}} + V_{\text{ил}} \quad (94)$$

$$M_{\text{общ}} = 38,5 + 61,54 = 100,04 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Средние значения влажности смеси и зольности:

$$B_{\text{см}} = 100 \cdot \left(1 \cdot \frac{M_{\text{сух}}}{M_{\text{общ}}}\right) \quad (95)$$

$$B_{\text{см}} = 100 \cdot \left(1 \cdot \frac{8,461}{100,01}\right) = 92,0\%$$

$$3_{\text{см}} = 100 \left[1 - \frac{M_{\text{без}}}{\frac{Q_{\text{сух}} \cdot (100 - B_r)}{100} + \frac{U_{\text{сух}} \cdot (100 - B_r)}{100}}\right] \quad (96)$$

$$3_{\text{см}} = 100 \left[1 - \frac{5,919}{\frac{2,31 \cdot (100 - 5)}{100} + \frac{6,151 \cdot (100 - 5)}{100}}\right] = 26,0\%$$

При влажности исходной смеси 92,0% доза загрузки для мезофильного режима составить 7% [20], тогда требуемый объем метантенков:

$$V = \frac{M_{\text{общ}} \cdot 100}{D} \quad (97)$$

$$V = \frac{100,04 \cdot 100}{7} = 1430 \text{ м}^3.$$

Принимаем 2 типовых метантенка  $D=10$  м получим объем 800 м<sup>3</sup> (один рабочий, другой резервный).

Объем метантенка при этом окажется несколько больше требуемого, в связи с чем фактическая доза загрузки  $D$  понизится и окажется равной:

$$D = \frac{100,04 \cdot 100}{1600} = 6,3 \text{ \%}.$$

Подсчитаем предел сбраживания смеси по формуле:

$$a_{\text{см}} = \frac{a_0 \cdot O_{\text{без}} + a_n \cdot U_{\text{без}}}{M_{\text{без}}} \quad (98)$$

$$a_{\text{см}} = \frac{53 \cdot 1,536 + 47 \cdot 4,383}{5,919} = 48,6 \text{ \%}.$$

Для подсчета выхода газа с 1 кг ограниченного вещества осадка принимаем коэффициент  $n=1,22$  (при  $B_{\text{см}} = 92\%$  и  $t = 33^\circ\text{C}$ ).

Выход газа  $y'$  в м<sup>3</sup> не 1 кг загруженного беззольного вещества (плотность газа принята равной 1):

$$y' = (a_{\text{см}} - n \cdot D) / 100. \quad (99)$$

$$y' = \frac{48,6 - 1,22 \cdot 6,5}{100} = 0,409 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Суммарный выход газа:

$$\Gamma = y' \cdot M_{\text{без}}. \quad (100)$$

$$\Gamma = 0,409 \cdot 5,919 \cdot 1000 = 2422,7 \text{ м}^3 / \text{сут}.$$

Для выравнивания давления газа в газовой сети предусмотрены мокрые газгольдеры, вместимость которых рассчитывается на 2-4 часовой выход газа:

$$V_r = 2422,7 \cdot 3 / 24 = 320 \text{ м}^3.$$

Принимаем один типовой газгольдер объемом 400 м<sup>3</sup>.

#### 4.7.7 Расчет иловых площадок

Объем осадка, поступающего на иловые площадки, 101, 233 м<sup>3</sup>/сут берем из материального баланса производства.

Площадь, необходимая для сбора сброженного осадка в год:

$$F = \frac{V_{\text{ос}} \cdot 365}{n}, \quad (101)$$

где  $n=5 \text{ м}^3 / \text{м}^3$  – нагрузка на площадки в год.

$$F = \frac{101,233 \cdot 365}{5} = 7390 \text{ м}^2.$$

Принимаем иловые площадки с дренажем, размерами  $70 \times 20$  м, площадью  $1400 \text{ м}^2$ , каждая.

Количество иловых площадок:

$$\frac{7390}{1400} = 5,3 \text{ шт.}$$

Принимаем 7 иловых площадок.

#### 4.7.8 Расчет площади песковых площадок

Расчет площади песковых площадок произведем по формуле 101:

$$F = \frac{29,049 \cdot 365}{3} = 3535 \text{ м}^2.$$

Принимаем 4 площадки размером  $70 \times 20$  м, общей площадью  $5600 \text{ м}^2$ .

#### 4.7.9 Расчет вспомогательного оборудования

##### Расчет фильтросных пластин аэротенка

Расчет выполнен на основании Примеры расчетов канализационных сооружений: [21]

В качестве аэраторов принимаем керамические фильтросные пластины размером  $300 \times 300$  мм с удельным расходом воздуха  $q_{\text{пл}} = 80 - 120$  л/мин на одну платину.

Определим требуемое количество пластин:

$$P_{\text{пл}} = \frac{D_{\text{общ}} \cdot 1000}{q_{\text{пл}} \cdot 24 \cdot 60}, \quad (102)$$

где  $D_{\text{общ}} = 519113,78 : 5 = 103823 \text{ м}^3/\text{сут}$  – суточный расход воздуха подаваемого в одну секцию 3хкоридорного аэротенка-смесителя.

$$P_{\text{пл}} = \frac{103823 \cdot 1000}{100 \cdot 24 \cdot 60} = 721 \text{ шт.}$$

Для обеспечения благоприятных условий процесса биологического окисления загрязнений, содержащихся в сточных водах и имеющих различные скорости окисления, назначают число в 1,2 и 3 коридорах соответственно 3,2 и 2.

Число фильтросных пластин в одном ряду:

$$n'_{\text{пл}} = \frac{P_{\text{пл}}}{p_{\text{р}}}. \quad (103)$$

$$n'_{\text{пл}} = \frac{721}{7} = 103 \text{ шт.},$$

где  $p_{\text{р}} = 3 + 2 + 2 = 7$  шт. – общее количество рядом фильтросных пластин.

Общая площадь, занимаемая фильтросными пластинами:

$$f = (0,3 \cdot 0,3) \cdot P_{\text{пл}}. \quad (104)$$

$$f = (0,3 \cdot 0,3) \cdot 721 = 64,9 \text{ м}^2.$$

Ряды фильтросных пластин располагаются с одной стороны аэротенка на расстоянии 0,6-0,8 м от стены. Такое расположение аэраторов способствует созданию вращательного движения смеси обрабатываемой сточной воды и активного ила.

### Расчет насосов по перекачке ПСВ

Расчет произведем на основании [19]

А) Выбор трубопровода.

Для всасывающего и нагнетательного трубопровода приме одинаковую скорость течения воды, равную 2 м/с. Тогда диаметр вычислим по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \omega}}, \quad (105)$$

где Q- расход перекачиваемой среды, м<sup>3</sup>/сут;  $\omega$  – скорость течения воды в трубопроводе, м/с

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,127}{3,14 \cdot 2}} = 0,285 \text{ м.}$$

Примем, что трубопровод стальной, коррозия незначительна.

Б) Определение потерь на трение и местные сопротивления.

Определим критерий Рейнольдса по формуле:

$$Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho}{\mu}, \quad (106)$$

где  $\rho$  - плотность среды, 1000 кг/м<sup>3</sup>,  $\mu$  – динамическая вязкость воды, 1310 · 10<sup>-6</sup> Па · с [21]

$$Re = \frac{2 \cdot 0,285 \cdot 1000}{1310 \cdot 10^{-6}} = 435115.$$

То есть режим течения турбулентный. Примем абсолютную шероховатость равной  $\Delta = 2 \cdot 10^{-4}$  м. Тогда относительная шероховатость трубопровода равна:

$$e = \frac{\Delta}{d}. \quad (107)$$

$$e = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,285} = 7,02 \cdot 10^{-4}$$

Далее получим  $\frac{1}{e} = 1425; 560 \cdot \frac{1}{e} = 798000; 10 \cdot \frac{1}{e} = 14250$

$$14250 < Re < 798000$$

Таким образом, в трубопроводе имеет место смешанное трение, и расчет коэффициента трения производим по формуле:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left( e + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \quad (108)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot \left( 7,02 \cdot 10^{-4} + \frac{68}{435115} \right)^{0,25} = 0,019.$$

Определим сумму коэффициентов местных сопротивлений.

Для всасывающей линии:

1) Вход в трубу (принимая с острыми краями) :  $\xi_1 = 0,5$

2) Прямоточные вентили:  $\xi_2 = 0,32$

3) Отводы: коэффициент А=1, коэффициент В=0,09;  $\xi_1 = 0,5$

Сумма коэффициентов местных сопротивлений всасывающей линии:

$$\sum \xi_{\text{м.с.}} = \xi_1 + 2 \cdot \xi_2 \cdot 10 \cdot \xi_3 = 0,5 + 2 \cdot 0,32 + 10 \cdot 0,09 = 2,04.$$

Потерянный напор во всасывающей линии находим по формуле

$$h_{\text{п}} = \left( \lambda \cdot \frac{l}{d_3} + \sum \xi_{\text{м.с.}} \right) \cdot \frac{\omega^2}{2 \cdot g}, \quad (109)$$

где  $l$  – длина трубопровода, м

$$h_{\text{п.вс.}} = \left( 0,019 \cdot \frac{100}{0,285} + 2,04 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 1,78 \text{ м.}$$

На нагнетательной линии:

1) Отводы под углом  $90^\circ$ :  $\xi_1 = 0,09$  (см. выше)

2) Нормативные вентили:  $\xi_2 = 5,24$

3) Выход из трубы  $\xi_3 = 0,5$

Сумма коэффициентов местных сопротивлений в нагнетательной линии:

$$\sum \xi_{\text{м.с.}} = 10 \cdot \xi_1 + 3 \cdot \xi_2 + 5 \cdot \xi_3 = 10 \cdot 0,09 + 3 \cdot 5,24 + 5 \cdot 1 = 21,62.$$

Потерянный напор в нагнетательной линии:

$$h_{\text{п.наг.}} = \left( 0,019 \cdot \frac{75}{0,285} + 21,62 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 5,43 \text{ м.}$$

Общие потери напора:  $h_{\text{п}} = h_{\text{п.вс.}} + h_{\text{п.наг.}}$

$$h_{\text{п}} = 1,78 + 5,43 = 7,21 \text{ м.}$$

В) Выбор насоса

Найдем напор насоса по формуле

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g} + H_r + h_{\text{п}}, \quad (110)$$

где  $p_1$  – давление в аппарате, из которого перекачивается жидкость,  $p_2$  – давление в аппарате, в который подается жидкость;  $H_r$  – геометрическая высота подъема жидкости.

$$H = \frac{0,1 \cdot 10^6}{1000 \cdot 9,81} + 20 + 7,21 = 37,4 \text{ м вод. столба.}$$

Полезную мощность насоса определим по формуле:

$$N_{\text{п}} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H. \quad (111)$$

$$N_{\text{п}} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,127 \cdot 37,4 = 46596 \text{ Вт} = 46,6 \text{ кВт}.$$

Принимая  $\eta_{\text{пер}} = 1$  и  $\eta_{\text{н}} = 0,7$  найдем мощность на валу двигателя по формул:

$$N = \frac{N_{\text{п}}}{\eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{н}}}. \quad (112)$$

$$N = \frac{46,6}{1 \cdot 0,7} = 66,6 \text{ кВт}.$$

По [19] устанавливаем, что заданным подаче и напору больше всего соответствует центробежный насос марки X500/25, для которого в оптимальных условиях работы  $Q = 1,5 \cdot 10^{-1} \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $H=25 \text{ м}$ ,  $\eta_{\text{дв}} = 0,92$ . Частота вращения вала  $n=16 \text{ с}^{-1}$ .

### **Расчет насосов для перекачивания циркулирующего активного ила**

Расчет производим аналогично 4.7.9.

А) Выбор трубопровода

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,093}{3,14 \cdot 2}} = 0,245 \text{ м}.$$

Б) Определение потерь на трение и местные сопротивления

Определим критерий Рейнольдса по формуле:

$$Re = \frac{2 \cdot 0,245 \cdot 1000}{1310 \cdot 10^{-6}} = 374046.$$

$$e = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,245} = 8 \cdot 10^{-4}.$$

Далее получим:  $\frac{1}{e} = 1225$ ;  $560 \cdot \frac{1}{e} = 686000$ ;  $10 \cdot \frac{1}{e} = 12250$ .

$$12250 < Re < 686000$$

$$\lambda = 0,11 \cdot \left( 8 \cdot 10^{-4} + \frac{68}{374046} \right)^{0,25} = 0,0195.$$

Определим сумму коэффициентов местных сопротивлений.

Для всасывающей линии:

$$1) \xi_1 = 0,5$$

$$2) \xi_2 = 0,324$$

$$3) \xi_{13} = 0,09$$

Сумма коэффициентов местных сопротивлений всасывающей линии:

$$\sum \xi_{\text{м.с.}} = 0,5 + 2 \cdot 0,324 + 3 \cdot 0,09 = 1,418.$$

$$h_{\text{п.вс.}} = \left(0,0195 \cdot \frac{20}{0,245} + 1,418\right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 0,61 \text{ м.}$$

Для нагнетательной линии:

1)  $\xi_1 = 0,09$  (см. выше)

2)  $\xi_2 = 5,06$

3)  $\xi_3 = 1$

$$\sum \xi_{\text{м.с.}} = 6 \cdot \xi_1 + 4 \cdot \xi_2 + 4 \cdot \xi_3 = 6 \cdot 0,09 + 4 \cdot 5,06 + 4 \cdot 1 = 24,78$$

$$h_{\text{п.наг.}} = \left(0,0195 \cdot \frac{60}{0,245} + 24,78\right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 6,03 \text{ м.}$$

$$h_{\text{п}} = 0,61 + 6,03 = 6,64 \text{ м.}$$

В) Выбор насоса

$$H = \frac{0,1 \cdot 10^6}{1000 \cdot 9,81} + 15 + 6,64 = 31,22 \text{ м.}$$

$$N_{\text{п}} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,093 \cdot 31,22 = 28482 \text{ Вт} = 28,5 \text{ кВт.}$$

$$N = \frac{28,5}{1 \cdot 0,6} = 47,5 \text{ кВт.}$$

Заданным подаче и напору больше всего соответствует центробежный насос марки X500/25, для которого в оптимальных условиях работы  $Q = 1,5 \cdot 10^{-1} \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $\eta_{\text{н}} = 0,8$ . Насос обеспечен электродвигателем А02-91-6 с  $N=55$  кВт,  $\eta_{\text{дв.}} = 0,92$ . Частота вращения вала  $n=16 \text{ с}^{-1}$ .

### Расчет воздуходувок аэротенков

Требуемый общий напор воздуходувок:

$$H_{\text{общ}} = h_{\text{тр}} + h_{\text{м}} + h_{\text{ф}} + H_{\text{а}},$$

где  $h_{\text{тр}}$  – потери напора по длине воздуха от воздуходувки до наиболее удаленного стояка к фильтросным каналам, м;  $h_{\text{м}}$  – потери напора на местные сопротивления в воздуходувах, м;  $h_{\text{ф}}$  – потери напора в фильтросных пластинах равны 0,7 м;  $H_{\text{а}}$  – рабочая глубина аэротенка, м.

Расчет воздуходувов производят, исходя из наиболее экономически выходной скорости движения воздуха; в распределительных и общем воздуходуве  $v = 10 - 15 \text{ м/с}$ ; в воздухопроводящих стояках  $v = 4 - 5 \text{ м/с}$ .

Для расчета воздухопроводов используем таблицы потерь напора в вентиляционных трубопроводах при температуре воздуха 20 °С и давлении 0,1 Мпа

На изменение температуры вводится поправка

$$\alpha_t = \left( \frac{\rho_t}{\rho_{20}} \right)^{0,852}, \quad (113)$$

где  $\rho_t$  – плотность воздуха при расчетной температуре и давлении 0,1 Мпа, кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_{20}$  – плотность воздуха при температуре воздуха 20 °С 0,1 Мпа.

Расчетная температура 30 °С по [20] определим  $\alpha_t = 0,98$ .

На изменение давления воздуха  $P$  в Мпа также вводится поправка  $\alpha_p$ , определяемая по [20].

С учетом поправок потеря напора по длине воздухопроводов:

$$h_{\text{тр}} = i \cdot l_{\text{тр}} \cdot \alpha_t \cdot \alpha_p, \quad (114)$$

где  $i$  – потеря напора на единицу длины воздухопровода при температуре воздуха 20 °С и давлении 0,1 Мпа; 0,001 м;  $l_{\text{тр}}$  – длина воздухопровода, м.

$$h_{\text{тр}} = 1 \cdot 80 \cdot 0,98 \cdot 1,73 = 135,6 \text{ мм.}$$

Потери напора на масляные сопротивления:

$$h_m = \xi \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \rho \cdot \alpha_p \cdot \alpha_t, \quad (115)$$

где  $\xi$  – коэффициент, зависящий от вида сопротивления;  $v$  – скорость движения воздуха, м/с;  $\rho$  – плотность воздуха при расчетной температуре, кг/м<sup>3</sup>.

$$\rho = \frac{1,293 \cdot P \cdot 273}{0,1 \cdot (273 + T)}$$

где  $P$  – давление, Мпа;  $T=30$  °С – температура воздуха.

$$\rho = \frac{1,293 \cdot 0,1 \cdot 273}{0,1 \cdot (273 + 30)} = 1,165 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

$$\xi = 0,5 + 1 \cdot 3 + 0,3 \cdot 5 + 1,5 \cdot 2 + 0,1 \cdot 4 = 8,4.$$

$$h_m = 8,4 \cdot \frac{15^2}{2 \cdot 9,81} \cdot 1,165 \cdot 0,98 \cdot 1,73 = 190,7 \text{ мм.}$$

Требуемый общий напор:

$$H_{\text{общ}} = 0,136 + 0,191 + 0,7 + 4 = 5,027 \text{ м.}$$

Полное давление воздуха:  $P = 0,1 + 0,1 \cdot H_{\text{общ}}$ .

$$P = 0,1 + 0,1 \cdot 5,027 = 0,603 \text{ Мпа.}$$

Принимаем из [20] воздухопроводов давлением 0,163 Мпа типа ТВ-175-1,6 производительностью 10 тыс м<sup>3</sup>/г каждая с движением мощностью 210 кВт.

### Расчет воздухопроводов смесителя

$$h_{\text{тр}} = 0,1 \cdot 120 \cdot 0,98 \cdot 1,73 = 20,3 \text{ мм.}$$

$$h_m = (0,5 + 7 \cdot 0,3 + 1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 2) \cdot \frac{4,5^2}{2 \cdot 9,81} \cdot 1,165 \cdot 0,98 \cdot 1,73 = 9,26 \text{ мм.}$$

$$H_{\text{общ}} = 0,02 + 0,009 + 0,7 + 3 = 3,73 \text{ м.}$$

$$P = 0,1 + 0,1 \cdot 3,73 = 0,473 \text{ Мпа.}$$

Принимаем 3 воздуходувки давление 0,16 Мпа (2 рабочие) типа ТВ-50-1,66 производительностью 3, тыс. м<sup>3</sup>/ч каждая с двигателем мощностью 46 кВт.

### Расчет воздуходувок усреднителей

Расчет производим аналогично 4.7.9.

$$h_{\text{тр}} = 0,17 \cdot 180 \cdot 0,98 \cdot 1,73 = 52 \text{ мм.}$$

$$h_m = (0,5 + 2 \cdot 1 + 10 \cdot 0,3 + 0,1 \cdot 4) \cdot \frac{5^2}{2 \cdot 9,81} \cdot 1,165 \cdot 0,98 \cdot 1,73 = 14,85 \text{ мм.}$$

$$H_{\text{общ}} = 0,05 + 0,015 + 0,7 + 3 = 3,765 \text{ м.}$$

$$P = 0,1 + 0,1 \cdot 3,765 = 0,476 \text{ Мпа.}$$

Принимаем три турбовоздуходувки ТВ-50-1,6 (2 рабочие) производительностью 3600 м<sup>3</sup>/ч, P=0,16 Мпа, N=71 кВт.

### Для второго потока

Расчет производим аналогично пункту 4.7.9.

### Расчет фильтросных пластин

$$D_{\text{общ}} = 570246,759 : 4 = 142562 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$n_{\text{пл}} = \frac{142562 \cdot 1000}{100 \cdot 24 \cdot 60} = 990 \text{ шт.}$$

$$n'_{\text{пл}} = \frac{990}{8} = 124 \text{ шт.}$$

$$f = (0,3 \cdot 0,3) \cdot 990 = 89,1 \text{ м}^2.$$

### Расчет насосов по перекачиванию ПСВ

А) Выбор трубопровода

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,176}{3,14 \cdot 2}} = 0,335 \text{ м.}$$

Б) Определение потерь на трение и местные сопротивления

$$Re = \frac{2 \cdot 0,335 \cdot 1000}{1310 \cdot 10^{-6}} = 511450.$$

$$e = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,335} = 6 \cdot 10^{-4}.$$

Далее получим  $\frac{1}{e} = 1675; 560 \cdot \frac{1}{e} = 938000; 10 \cdot \frac{1}{e} = 16750$   
 $16750 < Re < 938000$

Для всасывающей линии:

- 1)  $\xi_1 = 0,5$ .
- 2)  $\xi_2 = 0,32$ .
- 3)  $\xi_{13} = 0,09$ .

Сумма коэффициентов местных сопротивлений всасывающей линии:

$$\begin{aligned} \sum \xi_{\text{м.с.}} &= 0,5 + 2 \cdot 0,32 + 10 \cdot 0,9 = 2,04. \\ h_{\text{п.вс.}} &= \left(0,0181 \cdot \frac{100}{0,335} + 2,04\right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 1,52 \text{ м.} \\ \lambda &= 0,11 \cdot \left(6 \cdot 10^{-4} + \frac{68}{511450}\right)^{0,25} = 0,0181. \end{aligned}$$

Для нагнетательной линии:

- 1)  $\xi_1 = 0,09$  (см. выше)
- 2)  $\xi_2 = 5,44$ .
- 3)  $\xi_3 = 1$ .

$$\begin{aligned} \sum \xi_{\text{м.с.}} &= 10 \cdot 0,09 + 3 \cdot 5,44 + 4 \cdot 1 = 21,22. \\ h_{\text{п.наг.}} &= \left(0,0181 \cdot \frac{75}{0,335} + 21,22\right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 5,15 \text{ м.} \\ h_{\text{п}} &= 1,52 + 5,15 = 6,67 \text{ м.} \end{aligned}$$

В) Выбор насоса:

$$\begin{aligned} H &= \frac{0,1 \cdot 10^6}{1000 \cdot 9,81} + 20 + 6,67 = 36,86 \text{ м.} \\ N_{\text{п}} &= 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,176 \cdot 36,86 = 63647 \text{ Вт} = 63,6 \text{ кВт.} \\ N &= \frac{63,6}{1,07} = 90,9 \text{ кВт.} \end{aligned}$$

Заданным подаче и напору соответствуют два насоса марки X500/25, с  $Q = 1,5 \cdot 10^{-1} \text{ м}^3/\text{с}$ , Насос обеспечен электродвигателем А02-91-6 с  $N=75 \text{ кВт}$ ,  $\eta_{\text{дв.}} = 0,92$ .

### **Расчет насосов для перекачивания циркулирующего активного ила**

А) Выбор трубопровода:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,117}{3,14 \cdot 2}} = 0,275 \text{ м.}$$

Б) Определение потерь на трение и местные сопротивления  
 Определим критерий Рейнольдса по формуле:

$$Re = \frac{2 \cdot 0,275 \cdot 1000}{1310 \cdot 10^{-6}} = 419837.$$

$$e = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,275} = 7 \cdot 10^{-4}.$$

Далее получим  $\frac{1}{e} = 1375; 560 \cdot \frac{1}{e} = 770000; 10 \cdot \frac{1}{e} = 13750.$

$$13750 < Re < 770\ 000$$

$$\lambda = 0,11 \cdot \left( 7 \cdot 10^{-4} + \frac{68}{419837} \right)^{0,25} = 0,0188.$$

Определим сумму коэффициентов местных сопротивлений.

Для всасывающей линии:

- 1)  $\xi_1 = 0,5.$
- 2)  $\xi_2 = 0,32.$
- 3)  $\xi_{13} = 0,09.$

Сумма коэффициентов местных сопротивлений всасывающей  
 линии:

$$\sum \xi_{м.с.} = 1 \cdot 0,5 + 2 \cdot 0,32 + 3 \cdot 0,09 = 1,41.$$

$$h_{п.вс.} = \left( 0,0188 \cdot \frac{20}{0,275} + 1,41 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 0,57 \text{ м.}$$

Для нагнетательной линии:

- 1)  $\xi_1 = 0,09$  (см. выше).
- 2)  $\xi_2 = 5,2.$
- 3)  $\xi_3 = 1.$

$$\sum \xi_{м.с.} = 6 \cdot 0,09 + 4 \cdot 5,2 + 4 \cdot 1 = 25,34.$$

$$h_{п.наг.} = \left( 0,0188 \cdot \frac{60}{0,275} + 25,34 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 6 \text{ м.}$$

$$h_{п.} = 0,57 + 6 = 6,57 \text{ м.}$$

В) Выбор насоса.

$$H = \frac{0,1 \cdot 10^6}{1000 \cdot 9,81} + 15 + 6,57 = 31,76 \text{ м.}$$

$$N_{п.} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,117 \cdot 31,76 = 36457 \text{ Вт} = 36,4 \text{ кВт.}$$

$$N = \frac{36,4}{1 \cdot 0,6} = 60,8 \text{ кВт.}$$

Заданным подаче и напору соответствует насос марки X500/25, для которого в оптимальных условиях работы  $Q = 1,5 \cdot 10^{-1} \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $\eta_n = 0,8$ . Насос обеспечен электродвигателем А02-91-6 с  $N=75$  кВт,  $\eta_{\text{дв.}} = 0,92$ .

#### **Расчет воздуходувок азротенков**

$$H_{\text{общ}} = 0,136 + 0,191 + 0,7 + 5 = 6,03 \text{ м.}$$

$$P = 0,1 + 0,1 \cdot 6,03 = 0,703 \text{ Мпа.}$$

Принимаем 4 воздуходувки ТВ-175-1,6, производительностью 10000 м<sup>3</sup>/ч,  $P=0,163$  Мпа, каждая с двигателем мощность. 210 кВт.

#### **Расчет воздуходувок смесителя**

Принимаем 3 воздуходувки давление 0,16 Мпа (2 рабочие) типа ТВ-50-1,66 производительностью 3, 6 тыс. м<sup>3</sup>/ч каждая с двигателем мощностью 46 кВт.

#### **Расчет воздуходувок усреднителей**

$$H_{\text{общ}} = 0,05 + 0,015 + 0,7 + 3,5 = 4,265 \text{ м.}$$

$$P = 0,1 + 0,1 \cdot 4,265 = 0,526 \text{ Мпа.}$$

Принимаем три воздуходувки ТВ-50-1,6 (2 рабочие) производительностью 3600 м<sup>3</sup>/ч,  $P=0,16$  Мпа,  $N=71$  кВт.

#### **Расчет насосов для перекачивания ПЛС**

Расчет производим аналогично проводимому ранее.

В результате расчета получим, что заданным подаче и напору больше всего соответствует 2 центробежных насоса марки X500/25, для которого в оптимальных условиях работы  $Q = 1,5 \cdot 10^{-1} \text{ м}^3/\text{с}$ , снабженный каждый электродвигателем А02-92-6 с  $N=55$ кВт.

#### **Расчет насоса для перекачивания БСВ**

Расчет производим аналогично расчету насосов по перекачиванию ПСВ. В результате расчета получим, что заданным расходу и напору соответствует центробежный насос марки X280/29, с  $Q = 0,8 \cdot 10^{-1} \text{ м}^3/\text{с}$ , снабженный электродвигателем А02-81-4 с  $N=40$ кВт.

#### **Расчет насоса для перекачивания биодобавок**

Проводим расчет аналогично п. 4.7.9.

В результате расчета получаем, что заданным расходу и напору больше всего соответствует центробежный насос марки Х90/85, для которого в оптимальных условиях работы  $Q = 0,25 \cdot 10^{-1} \text{ м}^3/\text{с}$ , с электродвигателем А02-91-2 с  $N=75 \text{ кВт}$ .

#### **Расчет насоса для перекачивания раствора серной кислоты**

Расчет аналогичен п. 4.7.9, в результате расчета получаем, что заданным расходу и напору больше всего соответствует насос марки Х280/29, для которого в оптимальных условиях работы  $Q = 0,8 \cdot 10^{-1} \text{ м}^3/\text{с}$ , с электродвигателем А02-81-4 с  $N=40 \text{ кВт}$ .

#### **Расчет насоса для перекачивания уплотненного осадка**

В результате расчета, проводимого аналогично п. 4.7.9 получаем, что заданным расходу и напору больше всего соответствует 2 насоса марки Х45/21, для которого в оптимальных условиях работы  $Q = 0,125 \cdot 10^{-1} \text{ м}^3/\text{с}$ , с электродвигателем А02-51-2 с  $N=10 \text{ кВт}$ .

### **4.8 Тепловой баланс метантенка**

Уравнение теплового баланса:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5. \quad (116)$$

Тепло, получаемое для поддержания мезофильного режима в метантенке:

$$Q_1 = c_1 \cdot m_1 \cdot \Delta t, \quad (117)$$

где  $c_1 = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  теплоемкость сбраживаемого осадка;  $m_1$  – масса сбраживаемого осадка;  $\Delta t$  – разность температур.

$$Q_1 = 4200 \cdot 100040 \cdot (30 - 20) = 5462184000 \text{ Дж}.$$

Расход греющего острого пара:

$$G_{\text{П}} = \frac{Q_1}{r_1}, \quad (118)$$

где  $r_1$  – удельная теплота парообразования ( $P=16 \text{ атм}$ ).

$$G_{\text{П}} = \frac{5462184000}{1968000} = 2775,5 \text{ кг/сут.}$$

Расход тепла через стены аппарата:

$$Q_2 = k_y \cdot F \cdot \Delta t, \quad (119)$$

где  $k_y = 69,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  – коэффициент теплопередачи, зависящий от высоты аппарата;  $F$  – площадь стены аппарата,  $\text{м}^2$

$$F = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot H. \quad (120)$$

$$F = 2 \cdot 3,14 \cdot 5 \cdot 10 = 314 \text{ м}^2.$$

$$Q_2 = (33 - 30) \cdot 69,6 \cdot 314 = 65563,2 \text{ Вт или } 236027 \text{ Дж}$$

Потери тепла с биогазом:

$$Q_3 = c_3 \cdot m_3 \cdot \Delta t. \quad (121)$$

где  $c_3$  – удельная теплоемкость биогаза, Дж/(кг·К);  $m_3$  – масса биогаза, кг.

$$Q_3 = 37 \cdot 2422,7 \cdot (33 - 30) = 268920 \text{ Дж.}$$

Потери тепла с удаляемым осадком:

$$Q_4 = c_4 \cdot m_4 \cdot \Delta t. \quad (118)$$

где  $c_4$  – теплоемкость удаляемого осадка, Дж/(кг·К);  $m_4$  – масса удаляемого осадка, кг.

$$Q_4 = 4200 \cdot 100392,8 \cdot (33 - 35) = 3373204800 \text{ Дж.}$$

Потери в окружающую среду.

$$Q_5 = Q_1 - (Q_2 + Q_3 + Q_4). \quad (119)$$

$$\begin{aligned} Q_5 &= 5462184000 - (236027 + 268920 + 3373204800) = \\ &= 2088474300 \text{ Дж} = 2088474,3 \text{ кДж.} \end{aligned}$$

Так как в биогазе 70% метана, то его можно использовать как топливо.

При снижении 1 мая метана выделяется 890,31 кДж тепла.

Определим количество метана в биогаза:

$$M = 2422,7 \cdot 0,7 = 1695,89 \text{ кг/сут.}$$

Число молей метана в биогазе:

$$\begin{aligned} n &= \frac{M}{MM'} \quad (120) \\ n &= \frac{1695890}{16} = 105993 \text{ моль.} \end{aligned}$$

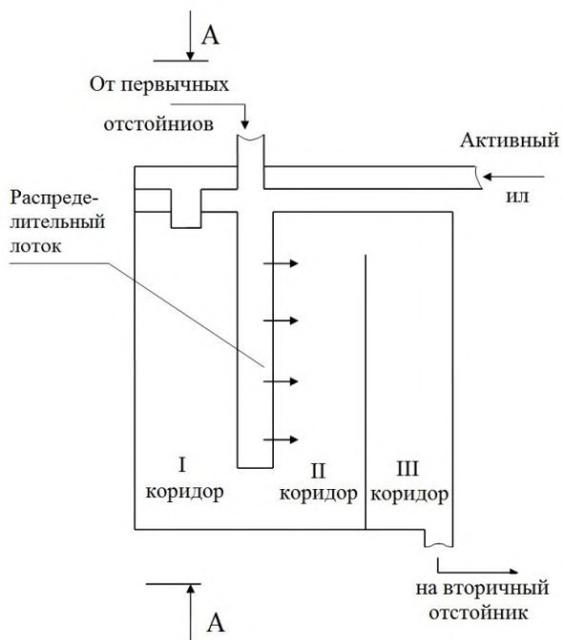
Количество тепла, выделяемое при сжигании метана:

$$105993 \cdot 890,31 = 94366734 \text{ кДж/сут.}$$

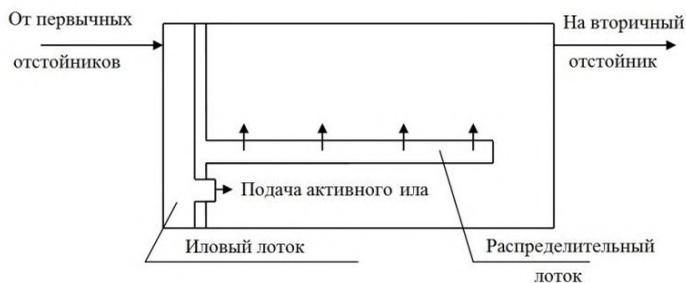
Таким образом, полученное количество тепла достаточно для использования в самом цехе нейтрализации и очистки сточных вод, а так же для продажи потребителю.

#### 4.9. Описание работы основного оборудования

Аэротенк смеситель, представленный на рисунке 26, представляет собой железобетонный резервуар, разделенный перегородками на 3 коридора. В нём происходит последовательное смешение сточной воды и активного ила.



A-A



*Рис. 26 – Аэротенк смеситель*

Сточная вода из первичных отстойников по подводящему трубопроводу направляется в общий верхний канал аэротенка, из которого через отверстия, оборудованные шиберами, поступает в распределительный лоток секций и далее через отверстие с подвижными водосливами сливается в аппарат.

Циркулирующий ил подаётся по напорному трубопроводу в распределительную камеру, расположенную у наружной стенки верхнего канала. Из камеры через водосливы по лоткам активный ил поступает в начало первого коридора каждой секции.

Иловая смесь из аэротенка выпускается через отверстия с водосливами в нижний канал и далее по отводящему лотку направляется во вторичные отстойники для осветления.

Распределительные лотки устанавливаются на стенке между первым и вторым коридорами каждой секции аэротенка.

Выпуск стоков из распределительного лотка в аэротенк проводится одновременно в четырёх точках: в 1-ой - 10 % общего расхода, во 2 и 3 по 35%, в 4 - 20%. Это дает возможность регулировать объем регенератора возвратного активного ила в пределах 23-53% от общего объема аэротенка.

Необходимый для нормальной работы аэротенков, воздух подается компрессорами под соответствующим давлением по металлическим воздухопроводам. Воздух в аппарате распределяется фильтросными пластинами, расположенными в 2 ряда в каждом коридоре. При этом аэраторы выполнены в виде несообщенных между собой отдельных секций, что позволяет получить разнонаправленные течения по ходу потока иловой смеси в коридорах аэротенка и предотвращает появление застойных зон. Тем самым уменьшается вероятность проскока загрязнений, выпадение в осадок активного ила, что в целом повышает эффект очистки сточных вод. Таким образом, для биологической очистки сточных вод используются 3-х коридорные аэротенки смесители с регенерацией активного ила, оборудованные фильтросными пластинами.

#### **4.10 Аналитический контроль производства**

Аналитический контроль производства включает в себя применение теории и методов аналитической химии к определению состава конкретных объектов какого-либо производства (технический анализ). Основные цели аналитического контроля:

1. Изучение и оценка состава - это установление качественного и (или) количественного состава сырья, промежуточных продуктов и готовой продукции. Оценка заключается в установлении соответствия содержания компонента в основной массе вещества определенным

требованиям (критериям).

2. Управление составом, которое составом состоит в использовании полученных данных для целей производства, например введение добавок реагентов или изменение условий проведения процесса в зависимости от состава сырья или полупродуктов или принятие той или иной схемы переработки сырья.

Контроль производства служит для проверки качества продукции и хода технологического процесса, для предотвращения брака и обеспечения установленного нормами и техническими условиями качества выпускаемых изделий. Нормы на различную продукцию устанавливаются государственными стандартами. Стандарты подразделяются на следующие категории: государственные общесоюзные стандарты, отраслевые стандарты, республиканские, стандарты предприятий. Каждый стандарт имеет свой номер и год утверждения и содержит следующие основные разделы: определение и назначение продукта; технические требования (классификация, свойства и т.д.); правила приемки (отбор пробы для анализа); методы испытаний; упаковка и маркировка. В случае отсутствия стандартов качество определяется временными техническими условиями, которые утверждаются министерствами и ведомствами.

В зависимости от объекта аналитического контроля и его цели различают следующие виды анализов, с помощью которых производят оценку химического состава: маркировочные, скоростные, арбитражные. Маркировочные анализы проводят для контроля химического состава и свойств сырья и материалов, поступающих на предприятие. Они предназначены также для объективной оценки работы предприятия. Скоростные (экспрессные) методы применяют при текущем контроле промежуточных и готовых продуктов, с их помощью устанавливают правильность технологического режима.

Арбитражные анализы производят в случае необходимости получения особенно точных сведений о химическом составе, при разногласиях между заводом-поставщиком и предприятием-потребителем, например, по поводу химического состава сырья.

Заключения о качестве вещества основаны на сопоставлении данных анализа, выполненного на предприятии аналитической службой (в лаборатории), с определенными показателями. В таблице 31 представлен постадийный аналитический контроль очистки сточных вод с указанием контролируемых параметров и

периодичности контроля, а в таблице 32 - биологический.

Таблица 31– Аналитический контроль производства

Наименование стадий места отбора пробы или измерения параметров	Контролируемый параметр	Частота и способ контроль	Нормы и технические показатели	Методы испытаний и средства контроля
1	2	3	4	5
Поступающая ПСВ из лотка перед песколовкам и № 1 <sub>1,2</sub> и №2 <sub>1,2</sub>	pH	Разовые, через 2 часа с каждого коллектора	>6,5	pH-метр
	плавающие углеводороды, % об.		Отсутствие	Визуально по отстою
	Взвешенные вещества, % об.		<3	Визуально по отстою
	Гранулы полипропилена, г/л		Отсутствие	Гравиметрический
	Щелочность мг-экв/л		<20	Титрование
	Фенол, мг/л		<15	Калориметрический
	СПАВ, мг/л		<20	Калориметрический
	ХПК, мгО/л		<1500	Бихроматный
	Моноэтиленгликоль, мг/л	Через 4 часа с каждого коллектора	<250	Калориметрический с хромотроповой кислотой
	СПАВ, мг/л	Среднесуточная 1 раз в неделю с каждого коллектора	<20	Калориметрический
	ХПК, мгО/л		<1500	Бихроматный
	БПК, мгО/л		<810	Разведения
	Фенол, мг/л		<15	Калориметрический
ПСВ до первичных отстойников №9, №10	ХПК, мгО/л	Разовые через 4 часа	<1500	Бихроматный
	Фенол, мг/л		<15	Калориметрический
	СПАВ, мг/л		<20	Калориметрический
	pH		7-8,5	pH-метр
	Взвешенные вещества, мг/л	Через день	<100	Гравиметрический

Продолжение таблицы 31

1	2	3	4	5
БСВ из самотечного коллектора перед песколовкам и №18 <sub>1,2</sub>	ХПК, мгО/л	Разовая 1 раз в неделю с коллектора	<600	Бихроматный
	Взвешенные вещества, мг/л		<150	Гравиметрический
Смешанная СВ до аэротенков №11 <sub>а-д</sub> , №12 <sub>а-г</sub>	ХПК, мгО/л	Средне-месячная с 3х проб	<100	Бихроматный
	Фенол, мг/л		<10	Фотометрический
	Азот аммонийный, мг/л	1 раз в смену	5-30	Фотометрический с реактивом Несслера
	Фосфор общий, мг/л	Средне-месячная с 3х проб	3-10	Фотометрический
	БПК, мгО/л	1 раз в смену	<610	Титриметрический
Жидкость в аэротенках №11 <sub>а-д</sub> , №12 <sub>а-г</sub>	Объем ила в аэротенках, % об.	1 раз в смену	>15	Осаждение
	Растворенный кислород, мг/л		>2	Йодометрический
Очищенный сток после контактных резервуаре №15, №16	Фенол, мг/л	1 раз в сутки	<0,009	Фотометрический
	Азот аммонийный, мг/л		<0,68	Фотометрический
	Фосфор общий, мг/л		<0,44	Фотометрический
	Азот нитратов, мг/л		<3,4	Фотометрический
	Азот нитритов, мг/л		<0,02	Фотометрический
	Сульфаты, мг/л		<186	Титриметрический
	Хлориды, мг/л		<33	Аргентометрический
Иловая жидкость в метантенках №23	Щелочность, мг-экв/л	факультативно	>20	Титриметрический
	Жидкие кислоты, мг-экв/л		<10	Титриметрический
Очищенная СВ в колодце №5/015	БПК <sub>5</sub> , мгО/л	Один раз в неделю	<4,4	Титриметрический

Продолжение таблицы 31

1	2	3	4	5
Очищенная СВ в колодце №5/015	Фенол, мг/л	Один раз в неделю	<0,009	Фотометрический
	Азот аммонийный, мг/л		<0,68	Фотометрический
	Фосфор общий, мг/л		<0,44	Фотометрический
	Азот нитратов, мг/л		<3,4	Фотометрический
	Азот нитритов, мг/л		<0,02	Фотометрический
	Растворенный кислород, мг/л	Один раз в смену	>2	Иодометрический
	Этиленгликоль, мг/л	Один раз в неделю	<0,57	Калориметрический
	СПАВ, мг/л		<0,61	Калориметрический
	Остаточный хлор, мг/л		0,2-0,5	Иодометрический
	Взвешенные вещества, мг/л		<12,1	Гравиметрический
	Сульфаты, мг/л		<186	Титриметрический
	Хлориды, мг/л		<33	Аргентометрический
Условно чистые воды, входящие в регулирующий резервуар №17	pH	1 раз в смену	7,0-8,5	Потенциометрический
	Плавающие углеводороды, % об		отсутствует	Визуально по отстою
	Гранулы полиэтилена, г/л		отсутствует	Гравиметрический

Таблица 32– Биологический контроль производства

Наименование стадий места отбора пробы или измерения параметров	Контролируемый параметр	Частота и способ контроль	Нормы и технические показатели	Методы испытаний и средства контроля
1	2	3	4	5
Поступающее ПСВ (коллетор №1 и №2)	Токсичность	1 раз в сутки	<45% с учетом дальнейшего разбавления	На тест объекте <i>Paramecium caudatum</i>

Продолжение таблицы 32

1	2	3	4	5
Смешанные СВ до аэротенков № 11 <sub>а-д</sub> , № 12 <sub>а-г</sub>	Токсичность	1 раз в сутки	<45%	На тест объекте <i>Paramecium caudatum</i>
Иловая суспензия аэротенков № 11 <sub>а-д</sub> , № 12 <sub>а</sub>	Анализ состояния зооглей и доминирующей фауны	1 раз в сутки	Не менее 5 видов	Микротестирование
	Доза ила	Один раз в неделю	2-4 г/л	Гравиметрический
	Зольность ила		<30 %	Гравиметрический
Иловый индекс	<120 мл		Гравиметрический	
Выход регенераторов каждого аэротенка (иловая суспензия)	Дегидрогеназная активность, мкг формазана/мг ила	Один раз в неделю, факультативно	0%	Фотометрический
Начало и конец аэротенка	Дегидрогеназная активность, мкг формазана/мг ила	Один раз в неделю, факультативно	0%	Фотометрический
Очищенная сточная вода после отстойников № 13, № 14	Токсичность	1 раз в сутки	0 %	На тест объекте <i>Paramecium caudatum</i>
Общая очищенная СВ из колодца № 5/015	Коли индекс	Один раз в неделю	<1000	Прямой посев
Выпуск очищенной СВ в р. Волга (колодец 5/015)	Токсичность	1 раз в квартал	С учетом летального исхода 50 %	На тест объекте <i>daphnia magna</i> , <i>Striodaphniaaffinis</i> , <i>Paramecium caudatum</i>

Представленный в 4 разделе пример проектирования технологической схемы производства, расчета материального баланса, основного и вспомогательного оборудования могут быть использованы в качестве примера для разработки систем очистки и водоподготовки на предприятиях различных отраслей промышленности.

### Задания к курсовым проектам

1. Разработать технологическую схему стадии механической очистки сточных вод. Объемный расход сточных вод (СВ) – 60000 м<sup>3</sup>/сут, С<sub>0</sub>=320 мг/л, рН=3.

2. Разработать технологическую схему стадии биологической очистки сточных вод. Объемный расход СВ – 50000 м<sup>3</sup>/сут, С<sub>0</sub>=15 мг/л, БПК=140 мг О/л, Т<sub>лет</sub>=23 °С .

3. Разработать технологическую схему стадии механической очистки сточных вод. Объемный расход СВ – 25000 м<sup>3</sup>/сут, С<sub>0</sub>=220 мг/л, рН=14.

4. Разработать технологическую схему стадии водоподготовки природных вод. Производительность – 150000 м<sup>3</sup>/сут, С<sub>0</sub>=150мг/л .

5. Разработать технологическую схему очистки газовых выбросов, образующихся в результате сжигания полимеризующихся отходов: полигликоли С<sub>18</sub>Н<sub>18</sub>О<sub>5</sub> – 40%, моноэтиленгликоль С<sub>2</sub>Н<sub>6</sub>О<sub>2</sub> – 26%, вода – 37%. Производительность –250 кг/ч. Топливный газ (метан – 56 %, водород – 28,42%).

6. Разработать технологическую схему очистки газовых выбросов, образующихся в результате сжигания нефтяных шламов. Производительность – 14 кг/ч. Топливный газ – природный газ. Температура в печи 1500 °С. Температура окружающей среды 25 °С.

7. Разработать технологическую схему очистки газов от взвешенных веществ. Производительность – 500 м<sup>3</sup>/сут. С<sub>0</sub>=50 г/л. каменный уголь.

8. Разработать технологическую схему стадии химической очистки сточных вод. Объемный расход СВ – 70000 м<sup>3</sup>/сут, С<sub>0</sub>=820 мг/л. Концентрация едкого натра – 40 г/л

9. Разработать технологическую схему стадии химической очистки сточных вод гальванопроизводства (сульфат хрома – 35 г/л). Объемный расход СВ – 12000 м<sup>3</sup>/сут, С<sub>0</sub>=1240 мг/л.

10. Произвести обеззараживание вод, поступающих с узла

биологической очистки. Производительность – 18200 м<sup>3</sup>/сут, число кишечных палочек – 5 ед/л.

11. Разработать технологию по очистке маслосодержащих вод (50 г/л), производительностью 3000 м<sup>3</sup>/сут.

12. Разработать технологическую схему очистки газовых выбросов, содержащих металлическую пыль 50 мг/л производительностью 200 м<sup>3</sup>/сут.

13. Разработать анаэробный метод очистки активного ила. Производительность 26000 м<sup>3</sup>/сут, С<sub>0</sub>= 70 мг/л, БПК<sub>п</sub>=450 мг О/л.

14. Разработать технологию по переработке строительных отходов (бетон). Количество – 5 т/сут, размер частиц – 50-500 мм.

15. Разработать технологическую схему очистки сточных вод. Объемный расход СВ – 5000 м<sup>3</sup>/сут, исходная концентрация сульфата меди 120 мг/л.

16. Разработать технологическую схему очистки сточных вод. Объемный расход СВ – 2000 м<sup>3</sup>/сут, исходная концентрация хлорида железа 115 мг/л.

17. Разработать технологическую схему очистки сточных вод. Объемный расход СВ – 500 м<sup>3</sup>/сут, исходная концентрация хлорида никеля 80 мг/л.

18. Разработать технологическую схему очистки сточных вод. Объемный расход СВ – 1500 м<sup>3</sup>/сут, исходная концентрация нефтепродуктов 120 мг/л.

19. Разработать технологическую схему очистки сточных вод. Объемный расход СВ – 1250 м<sup>3</sup>/сут, исходная концентрация масла 100 мг/л.

20. Разработать технологическую схему очистки сточных вод. Объемный расход СВ – 1130 м<sup>3</sup>/сут, рН=1,5.

## **Заключение**

Предлагаемое пособие включает основные теоретические сведения, которые необходимы при разработке проекта химического производства. В пособии рассмотрены основные задачи, которые стоят перед проектировщиками: от предпроектной подготовки, выбора места расположения, документации, до расчета материального и теплового баланса, основного и вспомогательного оборудования.

Контрольные вопросы содержит формулировки заданий, исходные данные, рекомендации по выполнению курсовых и дипломных работ. Выполнение заданий четвертой главы позволит сформированию у обучающихся знания в области проектирования технологических процессов на химических предприятиях и приобретения теоретических знаний и навыков инженерных расчетов.

Кроме этого, учебное пособие призвано: углублению и закреплению знаний, полученных студентами на лекциях и в ходе самоподготовки; развитию у студентов способности к творческому, самостоятельному анализу учебной и нормативной литературы; выработке умений систематизировать и обобщать усвоенный материал, критически оценивать его; формированию и укреплению навыков практического применения своих знаний, аргументированного, логического и грамотного изложения своих мыслей; привитию студентам навыков комплексного системного подхода к изучению и применению норм права; служить материалом для самопроверки при изучении и закреплении отдельных тем и отраслей права.

Авторы надеются, что предлагаемое пособие будет полезно и для обучающихся по направлениям 18.03.02, 18.04.02 – «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» и 20.03.01, 20.04.01 «Техносферная безопасность», а так же сможет служить дополнительным материалом для специалистов в области очистки сточных вод

## Список литературы

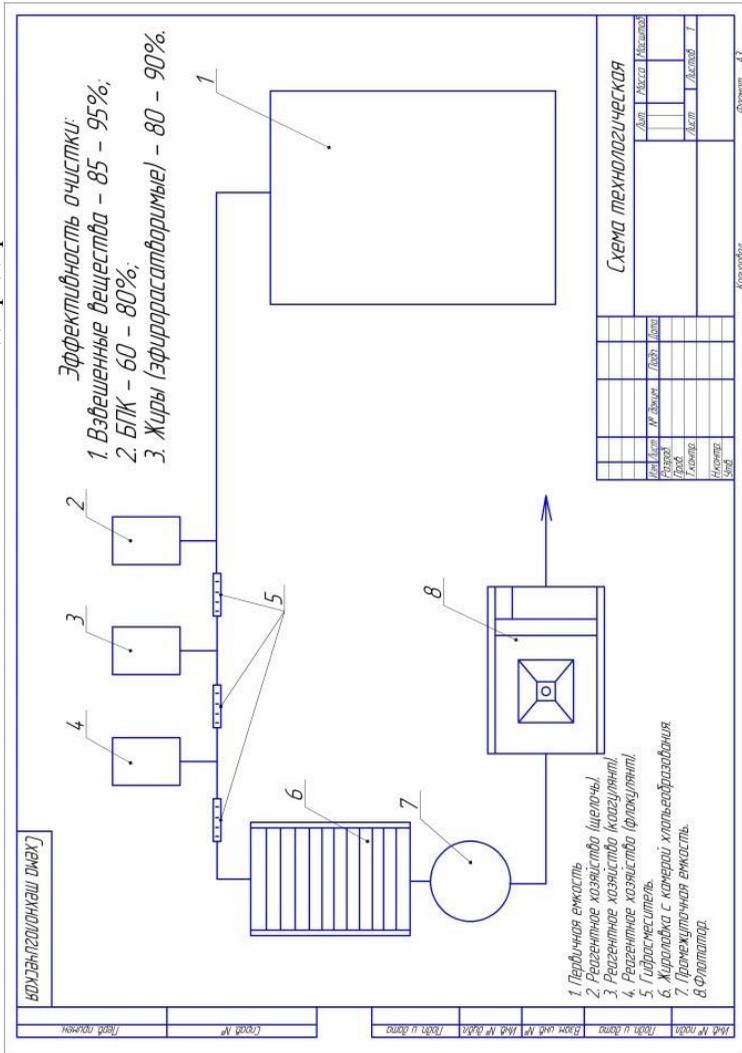
1. Лоцманенко В.В., Кочегаров Б.Е. Проектирование и конструирование (основы): Учеб. пособие. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2004. – 96 с.
2. Дворецкий С.И., Кормильцин Г.С., Калинин В.Ф. Основы проектирования химических производств: Учеб. пособие. – М.: Издательство «Машиностроение-1», 2005. – 280 с.
3. Основы проектирования химических производств: Учебник для вузов /Под ред. А. И. Михайличенко. – М.: ИКЦ «Академкнига» 2010. – 371с.
4. Беркман Б.Е. Основы технологического проектирования производств органического синтеза. – М.: Химия, 1970. – 368 с.
5. Новые технологии комплексной переработки метанола / М.Г. Макоренко, Т.В. Андрушкевич, Б.Г. Гришин и др. // Химическая промышленность. – 1997. – № 12. – С. 789–794.
6. Макаревич В.А. Строительное проектирование химических предприятий. – М.: Высш. школа, 1977. – 208 с.
7. Перевалов В.П., Колдобский Г.И. Основы проектирования и оборудование производств тонкого органического синтеза. – М.: Химия, 1997. – 288 с.
8. Николаенко Е.В. Проектирование очистных сооружений канализации: учебное пособие / Е.В. Николаенко, В.В. Авдин, В.С. Сперанский. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2006. – 41 с.
9. Канализационные очистные сооружения населенного пункта. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию для студентов дневной и заочной форм обучения специальности 270112.65 «Водоснабжение и водоотведение» / Сост.: А.Б. Адельшин, А.С. Селюгин, А.В. Бусарев. – Казань: КГАСУ, 2011. – 29 с.
10. Канализация населенных мест и промышленных предприятий: Справочник проектировщика / под ред. В.Н. Самохина. – М.: Стройиздат, 1981. – 639 с.
11. Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод: учебное издание.– М.: Изд-во АСВ, 2009. – 760 с.
12. Реконструкция систем водоснабжения и водоотведения: Методические указания к практическим занятиям для студентов направления 270800.62 «Строительство», профиль «Водоснабжение и водоотведение» / Сост.: А.В. Бусарев, А.С. Селюгин. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2014. – 42 с.

13. УФ – обеззараживание очищенных сточных вод: Методические указания для курсового и дипломного проектирования / Сост.: А.К. Стрелков, С.Г. Зайцева, М.А. Гріднева, Е.Е. Кондрина. – Самара, 2008. – 41 с.
14. Степанова С.В., Василенко Т.А., Методические указания к выполнению выпускных квалификационных работ для студентов очной и заочной форм обучения направлений подготовки 18.04.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии, 20.04.01 – Техносферная безопасность и 20.04.02 – Природоустройство и водопользование. – Белгород, 2019. – 44 с.
15. Основные требования к оформлению выпускных квалификационных работ: Метод. указания / И.Г. Шайхив, С. В. Степанова, О.А. Сольяшинова. Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань, 2016. – 72 с.
16. СанПиН 2.1.5.980-00 Гигиенические требования к охране поверхностных вод [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200006938> (дата обращения 28.05.2020)
17. Яковлев С. В., Карелин Я. А., Жуков А. И., Колобанов С. К. Канализация. Учебник для вузов. Изд. 5-е, перераб. и доп. – Москва: Стройиздат, 1975. – 632 с.
18. Техника защиты окружающей среды / Н. С. Торочешников, А. И. Родионов, Н. В. Кельцев, В. Н. Клушин. – М.: Химия, 1981. – 368 с.
19. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/ Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский и др. Под ред. Ю. И. Дытнерского, 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Химия, 1991. – 496 с.
20. Примеры расчетов канализационных сооружений: Учеб. пособие для вузов/ Ю. М. Ласков, Ю. В. Воронов, В. И. Калицун. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ИД «Альянс», 2008. – 255 с.
21. СП 32.13330.2012 Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85 (с Изменениями № 1, 2) [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/12000094155> (дата обращения 28.05.2020)
22. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. – М.: Химия, 1989. – 448 с.
23. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – М.: Альянс, 2006. – 575 с.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

## Технологическая схема очистки сточных вод предприятия





УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

С.В. Степанова, А.А. Алексеева

# Основы проектирования химических производств

Учебное пособие

Подписано в печать 17.06.2020.  
Бумага офсетная. Формат 60x84 1/16.  
Гарнитура «TimesNewRoman». П. л. 11,6. Усл. п. л. 10,8.  
Тираж 100 экз. Заказ №17.06/20-1.

Издательство Академии наук  
Республики Татарстан  
420111, г. Казань, ул. Баумана, 20  
e-mail: izdat.anrt@yandex.ru