

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Кемеровский технологический институт
пищевой промышленности (университет)

Факультет заочный
Кафедра Теплохладотехника

Направление (специальность) 14050465 «Холодильная, криогенная техника
и кондиционирование»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на соискание квалификаций инженера

Обозначение документа АК300.00.000 ПЗ

Тема Исследование процесса очистки воды в промышленном кристаллизаторе

Студент Викулов Евгений Сергеевич
Фамилия, имя, отчество, подпись,

Руководитель квалификационной работы И.А. Короткий

Подпись, дата, инициалы, фамилия

Консультанты по разделам:

Литературный обзор И.А. Короткий
краткое наименование раздела Подпись, дата, инициалы, фамилия

Расчет промышленного кристаллизатора для разделительного вымораживания
воды И.А.Короткий
краткое наименование раздела Подпись, дата, инициалы, фамилия

Исследование процессов кристаллизации воды в емкостной установке
разделительного вымораживания И.А.Короткий
краткое наименование раздела Подпись, дата, инициалы, фамилия

Нормоконтролер О.В.Иваненко
Подпись, дата, инициалы, фамилия

Допустить к защите
Заведующий кафедрой А.В. Усов
Подпись, дата, инициалы, фамилия

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Кемеровский технологический институт
пищевой промышленности (университет)

Кафедра "Теплохладотехника"

Утверждаю:
Зав. кафедрой
_____ А.В. Усов

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной
работы

Студенту группы ХМз-01 Викулову Евгению Сергеевичу

номер группы, фамилия, имя, отчество

1. Тема Исследование процесса очистки воды в промышленном кристаллизаторе

утверждена приказом по институту № _____ от _____

дата

2. Срок представления работы к защите _____

дата

3. Исходные данные к выполнению работы: лабораторное оборудование, сырье для выполнения исследований

4. Содержание текстового документа:

Введение (обоснование актуальности исследования, цели и задачи исследования)

наименование раздела

краткое содержание

4.1. Литературный обзор (анализ литературы в области применения вымораживания в различных отраслях промышленности)

наименование раздела

краткое содержание

4.2. Расчет промышленного кристаллизатора для разделительного вымораживания воды (расчет кристаллизатора, подбор оборудования, описание работы)

наименование раздела

краткое содержание

4.3. Исследование процессов кристаллизации воды в ёмкостной установке разделительного вымораживания (исследование процессов кристаллизации воды и характеристик выморозенной воды)

наименование раздела

краткое содержание

4.5. Заключение

наименование раздела

краткое содержание

5. Консультанты по разделам:

Литературный обзор

краткое наименование раздела

подпись, дата, инициалы, фамилия

Исследование процессов кристаллизации воды в ёмкостной установке разделительного вымораживания

краткое наименование раздела

подпись, дата, инициалы, фамилия

Расчет промышленного кристаллизатора для разделительного
вымораживания
воды

краткое наименование раздела

подпись, дата, инициалы, фамилия

6.Руководитель выпускной квалификационной работы _____

подпись, дата, инициалы, фамилия

7.Дата выдачи задания _____

Задание принял к исполнению: _____

подпись, дата, инициалы, фамилия

Выпускная квалификационная работа посвящена исследованию процесса очистки воды в промышленном кристаллизаторе. Проведено обоснование эффективности разделительного вымораживания в промышленных масштабах.

Произведен расчет промышленного кристаллизатора разделительного вымораживания, подобранно основное и вспомогательное оборудование холодильной установки.

Выполнены исследования процессов кристаллизации воды в ёмкостной установке разделительного вымораживания. Определены характеристики процесса разделительного вымораживания и характеристики вымороженной воды.

На основании полученных результатов сделаны выводы по эффективности использования разделительного вымораживания в пищевой промышленности.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	5
1.1 Физико-химические, теплофизические свойства воды и льда	5
1.2 Методы и технологии очистки воды и водоподготовки	8
1.3 Теплофизические основы и технологические принципы очистки воды вымораживанием и техническая реализация	20
2 РАСЧЕТ ПРОМЫШЛЕННОГО КРИСТАЛИЗАТОРА ДЛЯ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО ВЫМОРАЖИВАНИЯ ВОДЫ.....	30
2.1 Расчет кристаллизатора.....	30
2.2 Расчет теплоизоляции.....	34
2.3 Расчет теплопритоков.....	35
2.4 Расчет нагрузки на компрессоры.....	37
2.5 Расчет и подбор оборудования холодильной установки	37
2.6 Расчет и подбор компрессора	38
2.7 Расчет и подбор конденсатора.....	41
2.8 Расчет и подбор испарителя.....	42
2.9 Описание рабочей емкости	42
2.10 Описание холодильной установки	44
2.11 Подготовка установки для очистки воды при помощи вымораживания к запуску и переключение режимов.....	45
2.12 Описание работы гидравлической системы реверсивной установки для очистки воды при помощи вымораживания.....	46
3 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ВОДЫ В ЁМКОСТНОЙ УСТАНОВКЕ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО ВЫМОРАЖИВАНИЯ	49
3.1 Определение характеристик процесса разделительного вымораживания	49
3.2 Определение характеристик вымороженной воды.....	54
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	65
ЛИТЕРАТУРА.....	68
Приложения.....	68

					АКЗ 00.00.000 ПЗ			
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разработ.</i>	<i>Викулов Е.С</i>				Пояснительная записка	<i>Литер.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Проверил</i>	<i>Короткий И.А.</i>					У	3	75
<i>Т.контр.</i>	<i>Короткий И.А</i>					<i>ар. ХМз-01</i>		
<i>Н. контр.</i>	<i>Иваненко О.В</i>							
<i>Утвердил</i>	<i>Усов А.В.</i>							

ВВЕДЕНИЕ

Основным видом сырья в пищевом производстве несомненно является вода. Ее состава имеет огромное влияние на качественные характеристики и технологические свойства выпускаемой продукции: прозрачность, вкус, стойкость, безопасность, биологическая ценность и др. В производстве алкогольной и безалкогольной в основном используется вода из системы хозяйственно-питьевого водоснабжения либо артезианская вода из подземных источников.

Нашему времени характерно высокая степень загрязнения окружающей среды, в том числе и источников природной воды, которая используется в производстве. В природной воде можно обнаружить огромный спектр загрязнений как естественного, так и антропогенного характера. Очистные сооружения и станции водоподготовки в отношении органических ингредиентов выполняют лишь функции барьера, но этот условный барьер не приносит стопроцентного результата. Стоит отметить, что в процессе водоочистки возможно образование еще и дополнительных токсикантов которые также несут негативное влияние на показатели используемой воды. Природные воды как поверхностные, так и подземные содержат в разной степени фенол и гумусовые вещества. Применение хлора в процессе водоочистки приводит к образованию хлорфенола и хлороформа. Использование озона в системах водоподготовки ведет к образованию формальдегида и ацетальдегида. В случае если содержание побочных примесей в воде будет превышать ПДК, то возможны негативные последствия для организма человека, которые могут выражаться в токсичном, аллергенном и мутагенном воздействии. Стоит отметить, что даже не превышая ПДК, но близкая к нему концентрация различных органических примесей может привести к процессам взаимодействия с другими компонентами при использовании в пищевом производстве. Это в свою очередь может сказаться и на организме человека употребляющего данную продукцию. В связи с этим возникает внедрение в технологический процесс дополнительных стадий доочистки воды, как от органических примесей, так и неорганических составляющих. Существующие методы очистки при современном развитии техники позволяют добиваться практически любых показателей по степени очищенной воды, но главные из критериев это экономическая составляющая, энергоёмкость и время процесса очистки. Эти показатели, как правило, заставляют производителя пренебрегать качеством используемой воды. Также производителю довольно часто приходится использовать не один способ очистки, а разбивать на несколько этапов, что приводит к значительному удорожанию первоначальных затрат.

										Лист
										4
	Лист	№ докум	Подпись	Дата						

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

В аналитическом обзоре рассмотрены физические химические и теплофизические свойства воды. Изложена краткая информация, позволяющая иметь представление о строении молекулы воды в отдельности и взаимодействии между собой. Выделены основные примеси, содержащиеся в природных водах, которые необходимо удалять в процессе водоподготовки. Приведены основные методы по очистке воды: классические, современные и нестандартные. Рассмотрены принципы реализации основных методов и их принципы действия. Описаны теплофизические основы и техническая реализация очистки воды вымораживанием.

Обзор литературных источников показал новизну, актуальность, теоретическую и практическую значимость рассматриваемой темы, позволил определить основные направления, сформулировать цель и задачи исследований.

1.1 Физико-химические, теплофизические свойства воды и льда

Молекулы воды имеют тетраэдрическую форму с отрицательно заряженной вершиной с одной стороны и двумя положительными вершинами с другой стороны (Рисунок 1.1). Данное размещение протонов и электронов придает молекуле воды дипольный характер. Действующие силы притяжения на другие молекулы, направлены относительно кислородного ядра в четырех направлениях. Вся система ведет себя таким образом, как будто бы ее положительный и отрицательный заряды были сосредоточены в двух разных точках. То есть каждая молекула воды имеет тетраэдрическую форму с двумя положительными вершинами, которые притягивают две отрицательно заряженные вершины другой тетраэдрической молекулы [19].

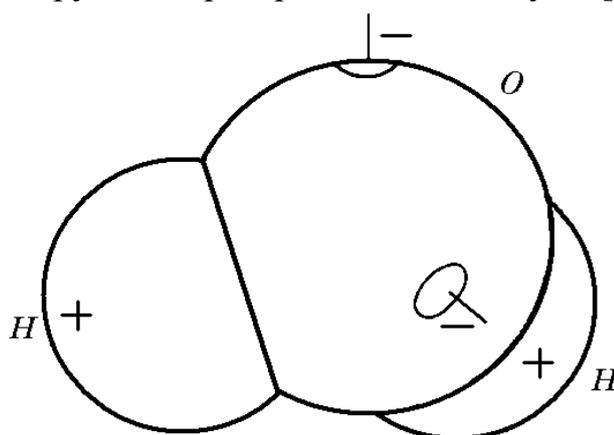


Рисунок 1.1-Молекула воды

Для понимания процессов связанных с водой необходимо знать её свойства. Разберем физико-химические и теплофизические свойства воды. Воду без преувеличения можно назвать самым универсальным и удивительным веществом. Вода встречается в природе во всех трех агрегатных состояниях:

					Лист
					4
Лист	№ докум	Подпись	Дата		

- газообразное (водяной пар)
- жидкое (вода)
- твердое (лёд)

Для понимания фазовых переходов необходимо рассмотреть фазовую диаграмму (Рисунок 1.2), на которой изображена кривая $p=f(t)$, где p – парциальное давление пара над поверхностью воды или льда; t – температура, °С.

Равновесное давление пара над переохлажденной водой выше, чем над льдом (при той же температуре), поэтому переохлажденная вода термодинамически неустойчива и может перейти в твердое состояние, если в нее поместить кристалл [29].

При атмосферном давлении и соответствующих температурах возможно существование трех фаз воды: газообразная, жидкая и твердая. Из этих агрегатных состояний наиболее интересен фазового перехода из жидкости в твердое вещество [6].

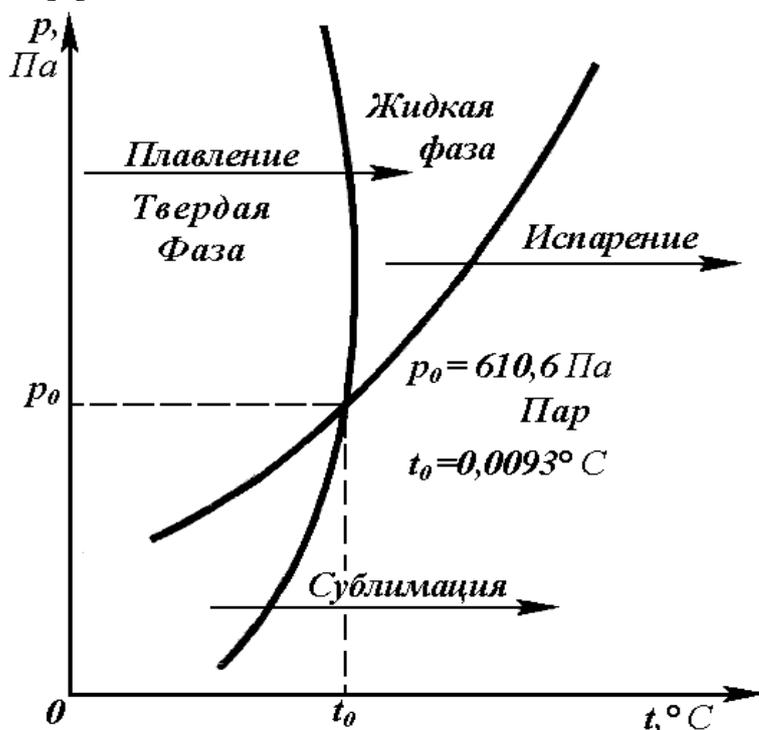


Рисунок 1.2 - Фазовая диаграмма воды

Вода меняет свои свойства в зависимости от давления, температуры и примесей находящихся в ней. Если рассматривать чистую воду, то можно воспользоваться фазовой диаграммой воды. При атмосферном давлении вода кипит при температуре 100°С и замерзает при температуре 0°С. Анализируя фазовую диаграмму воды можно отметить так называемую тройную точку и критическую точку. В тройной точке при давлении 610,6 Па температура плавления и кипения совпадает и соответствует 0,0093 °С. В критической точке при температуре 647 °К и давлении 22,1 МПа плотность и другие свойства жидкой и газообразной воды совпадают. Если рассматривать при более

высоком давлении то не будет разницы между жидкой водой и водяным паром, не будет и испарения и кипения.

Дистиллированная вода очень плохо проводит электрический ток, но даже весьма малые добавки солей превращают ее в очень хороший проводник [29].

При фазовом переходе из твердого в жидкое состояние плотность возрастает, а не уменьшается, также плотность продолжает возрастать при нагреве воды от 0 до +4°C, при +4°C вода имеет максимальную плотность. Если продолжать нагревать воду, то с повышением температуры плотность будет уменьшаться [30].

Еще одним свойством воды является то, что она обладает высокой теплоемкостью (4,1868 кДж/кг), это объясняет, почему в ночное время и при переходе от лета к зиме вода остывает медленно, а днем или во время перехода от зимы к лету также медленно нагревается. Благодаря этому свойству вода является регулятором температуры на Земле [20].

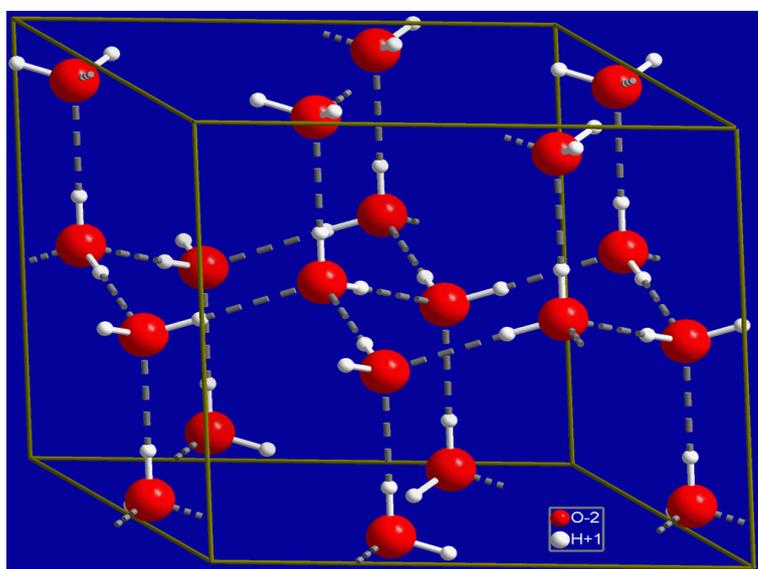


Рисунок 1.3 - Кристаллическая структура льда. Серыми пунктирными линиями показаны водородные связи.

Лёд является твердой фазой воды и обладает специфическими свойствами. Кристаллическая структура изображена на рис.1.3. Лед с незапамятных времен использовали древние люди в хозяйственных целях. С точки зрения ледоварения лед представляет собой низкотемпературную монокристаллическую породу. Отличительной особенностью льда является размер кристаллов. Так размер кристаллов металла составляет доли миллиметра, а размер кристаллов льда составляет от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. К теплофизическим свойствам льда относятся температура T , теплоёмкость C , теплота фазовых превращений L , теплопроводность λ , термическое расширение [8].

1.2 Методы и технологии очистки воды и водоподготовки

Природная вода - сложная, непрерывно изменяющаяся система. В состав воды входят: соли, органические вещества, газы, диспергированные примеси; гидробионты, бактерии и вирусы. Во взвешенном состоянии в природных водах содержатся глинистые, песчаные, гипсовые и известковые частицы. В коллоидном состоянии в воде содержатся различные вещества органического происхождения, кремнекислота, гидроксид железа (III), фульвокислоты, гуматы. В истинно растворенном состоянии находятся в основном минеральные соли, обогащающие воду ионами. Качество природных вод весьма разнообразно [29].

Перед тем как выбрать систему водоподготовки необходимо провести анализ исходной воды. При анализе необходимо выявить, какие примеси необходимо удалять в процессе очистки воды. На фоне многочисленных систем классификации природных вод важно выделить основные примеси, содержащиеся в воде. С.Е. Беликов в своем справочнике выделяет системы классификации С.А. Щукарева, О.А. Алекина, и Л.А. Кульского как наиболее часто употребляемые классификационные системы [3].

Л.А. Кульский предложил свою классификацию, основанную на фазовом состоянии и дисперсности. В своей классификации он выделил 4 группы, после А. Ашировым было внесено еще 2 группы. К первой группе относятся взвеси и суспензии. К второй коллоидные примеси. К третьей растворенные органические вещества и газы. К четвертой ионогенные неорганические вещества. К пятой относится воздействие на воду. К шестой воздействию на водную систему в целом [3,21,22].

В настоящий момент существует следующие методы очистки природных вод. Такие как: методы осаждения, осветление воды, мембранные методы, химические реагенты для окисления, адсорбция, обезжелезивание воды, умягчение воды, обессоливание воды, кондиционирование воды, обеззараживание воды, удаление органических загрязнений, дехлорирование воды и удаление нитратов. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки. В промышленных фильтрах применяется ступенчатая очистка. То есть используется несколько методов разделенных на ступени. Отдельные ступени, как правило, предназначены для удаления из воды определенных примесей или соединений. Существующие методы очистки воды классифицируют следующим образом:

Механические методы очистки воды являются наиболее дешевыми и применяются для выделения взвесей. Применяемые методы являются предварительными этапами очистки воды такими как: процеживание, фильтрование, отстаивание [21,22,24].

Химические методы очистки воды используются для нейтрализации в сточных водах неорганических примесей. Сточные воды при обработке реагентами проходят нейтрализацию растворенных соединений, обесцвечивание и обеззараживание [4,21,22].

					Лист
					4
Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Физико-химические методы очистки воды используются для фильтрации грубо - и мелко- дисперсионных частиц и для нейтрализации коллоидных примесей и растворенных соединений. Является высокопроизводительным методом очистки воды [3,21,22].

Биологические методы очистки воды используются для нейтрализации растворенных органических соединений. Метод использует способности микроорганизмов разлагать растворенные органические соединения [15,21,22].

В промышленности широкое применение получили механические очистители, ионообменные и мембранные фильтры тонкой очистки. Итак, начнем с самого простого:

Методы механической очистки воды, которую берут либо из сточных вод, либо из крупных рек являются предварительным этапом, который обязательно предшествует более тонкой очистке стоков. Цели и задачи механической очистки - извлечь из воды крупные взвешенные нерастворимые твердые частицы, объекты волокон и грубодисперсные примеси. Перечисленные выше могут: повредить фильтры, не рассчитанные на такой тип загрязнения, негативно повлиять на другое бытовое оборудование. Следовательно, основной задачей фильтров механической очистки воды является не только фильтрация, но и защита очистного оборудования устанавливаемого после механических фильтров [29].

Стадия механической очистки воды является важным этапом при повторном использовании технической воды на практически любом производстве. Механические фильтры позволяют обеспечить защиту оборудования от попадания твердых частиц при использовании оборотной воды, а так же механические фильтры позволяют извлечь из промышленных стоков ценные химические соединения для повторного использования в производственном цикле [4].

Частицы загрязнения могут иметь разные размеры, плотность и массу. Соответственно, для повышения эффективности при различных видах загрязнения механические методы очистки сточных вод используют различные физические принципы и инженерные решения. От того, насколько эффективной будет схема механической очистки сточных вод, часто зависит общее техническое решение по очистке стоков [16].

Вода, которой мы пользуемся, зачастую содержит много солей кальция и магния. Из за этого вода делается особенно жесткой. Употребление такой воды плохо сказывается как на бытовой технике, так и на организме человека. К сожалению, санитарные нормы требуют от станций водоподготовки обязательного добавления хлора для обеззараживания воды, что тоже негативно сказывается на здоровье. Одним только кипячением проблему очистки воды не решить – далеко не все содержащиеся в ней «добавки» оседают в виде известкового налета на стенках чайника. Стоит представить себе, что нечто подобное накапливается в нашем организме, чтобы раз и навсегда отказаться от потребления не дочищенной воды [29].

Основными методами механической очистки воды считается: отстаивание и фильтрование.

Отстаивание используют для удаления из воды хлора и оседания крупных частиц. Как правило, для этого водопроводную воду наливают в большое ведро и оставляют в нем на несколько часов. Без перемешивания воды в ведре, удаление газообразного хлора происходит примерно с одной трети глубины от поверхности воды. Именно этот слой потом и используется для употребления. Вывод. Эффективность данного способа очистки воды оставляет желать лучшего [1]. Классические промышленные отстойники, как правило бывают вертикальные и горизонтальные (рисунок 1.4).

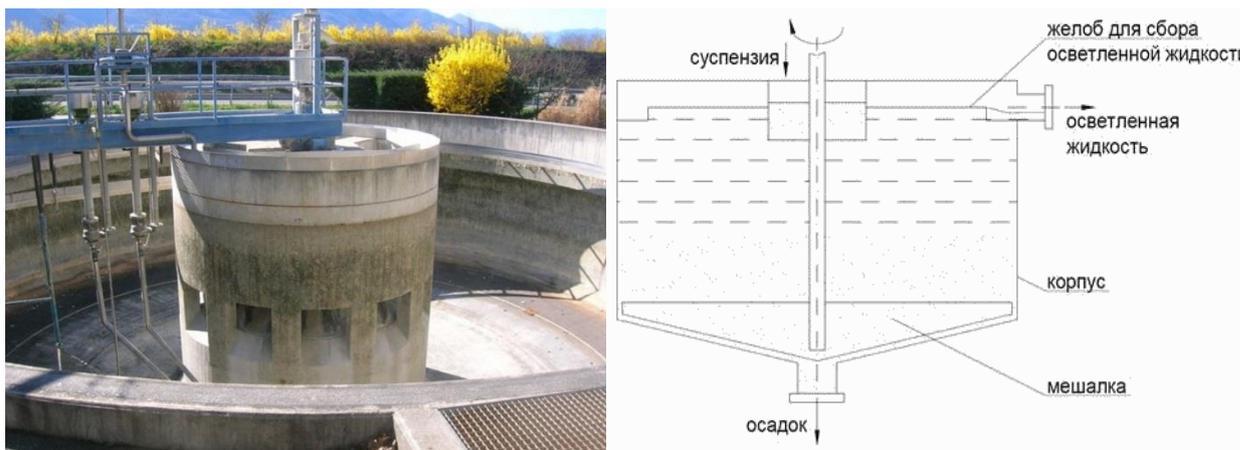


Рисунок 1.4 – Отстаивание в емкости

Фильтрование называется процесс прохождения воды через определенный слой фильтрующего материала. Фильтрование используется для удаления из воды песка глиняных и иловых взвесей, гидроокиси тяжелых металлов, окалин, различных механических примесей и т.п. фильтрование как и отстаивание является стадией очистки, обеспечивающей удаление крупных соединений. В качестве фильтрующего элемента могут использоваться: насыпные фильтры (рисунок 1.5), сетки, крупнопористые мембраны, картриджные фильтры. Перечисленные фильтрующие элементы требуют периодической промывки. Частота промывки зависит от скорости насыщения фильтрующего элемента примесями, содержащимися в воде. В отдельных случаях прибегают к смене фильтрующего элемента и установки нового. В этом случае промывка фильтрующего элемента осуществляется практически без простоя оборудования и обеспечивает непрерывную работу системы водоподготовки или водоочистки. Фильтр представляет собой либо бассейн либо емкость с расположенной в нижней части дренажного устройства, через которое осуществляется отвод профильтрованной воды. В центральной части, как правило, размещается сам фильтрующий материал, который задерживает примеси [18].

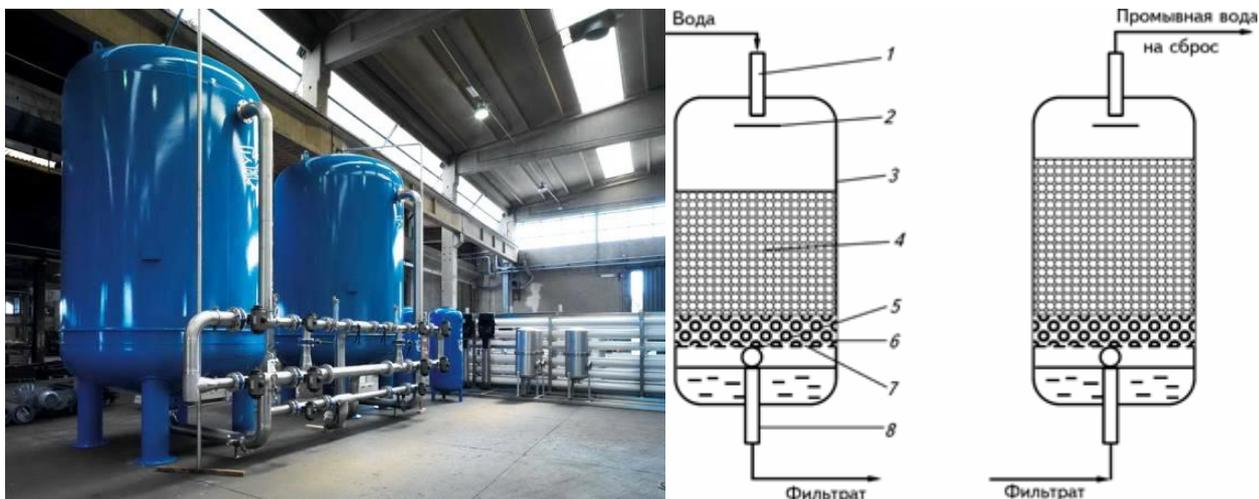


Рисунок 1.5 - Насыпной фильтр грубой очистки.

Коагуляция применяется путем введения в очищаемую воду специальных реагентов (соли железа и алюминия), которые связывают с гидроксильными ионами содержащимися в воде. В процессе коагуляции образуются хлопья размером 0,5-3,0 мм. Существует масса различных установок для коагуляции (рисунок 1.6). Этот метод дает хорошие результаты по выведению коллоидных и взвешенных частиц [5,18].

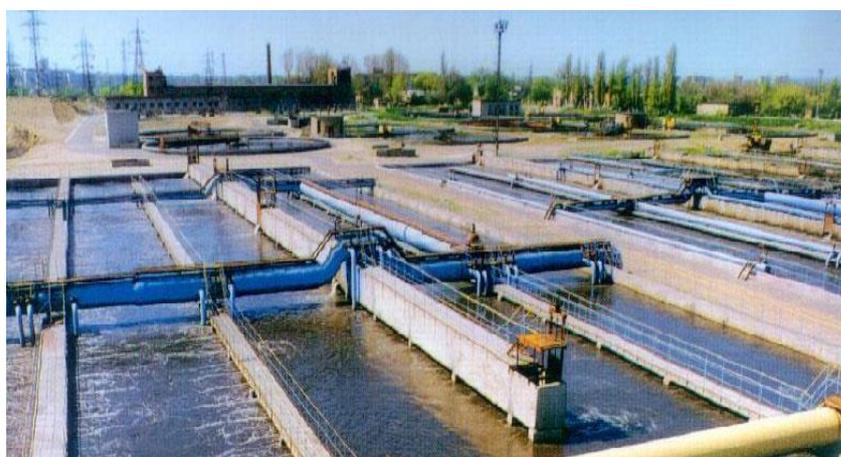


Рисунок 1.6 - Очистные сооружения, основанные на коагуляции

Окисление один из самых распространенных способов очистки природных вод. В качестве основных окислителей используют хлор- Cl_2 , диоксид хлора ClO_2 , озон O_3 и др. Озон в настоящее время является наиболее сильным окислителем. Главное достоинство озона, его неспособность к реакциям замещения. В процессе озонирования происходит его быстрое разложение в воде с образованием кислорода. Озонирование воды в качестве технологии водоподготовки пользуется популярностью в западных странах. Принцип действия озона при очистке таков: молекулы этой химически активной формы кислорода проникают через клеточные мембраны

органических веществ и быстро их окисляют. Это становится причиной гибели клетки микроорганизма. Водоподготовка с помощью озона (рисунок 1.7) способствует улучшению вкусовых качеств воды и уничтожению неприятных запахов [13].

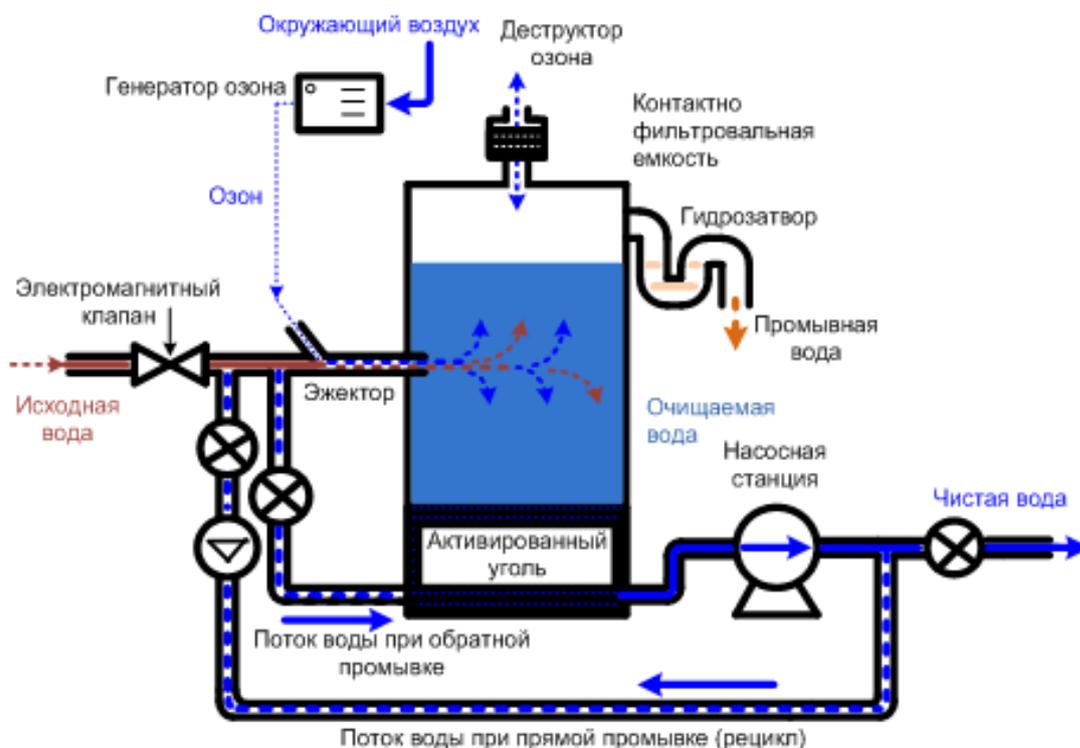


Рисунок 1.7 - Установка очистки воды при помощи озона.

Физико-химические методы очистки воды особенно часто используют адсорбцию для удаления органических веществ, ионообменные процессы и обратный осмос для удаления минеральных примесей и флотацию для удаления тонкодисперсных и коллоидных примесей.

Адсорбция – поглощение молекул растворенных веществ твердым нерастворимым телом (адсорбером). Одними из самых распространенных адсорбентов, которые зарекомендовали себя – активированные угли различных марок. Адсорбционные свойства определяются развитой системой пор, которые классифицируют их (пор) размером. Свойства активированных углей определяется количеством вещества поглощенного единицей массы адсорбента. Важное значение предается физико- механические характеристики: механическая прочность, фракционный состав и плотность засыпки. Классические адсорберы (рисунок 1.8) используются в различных отраслях промышленности, в том числе и пищевой.

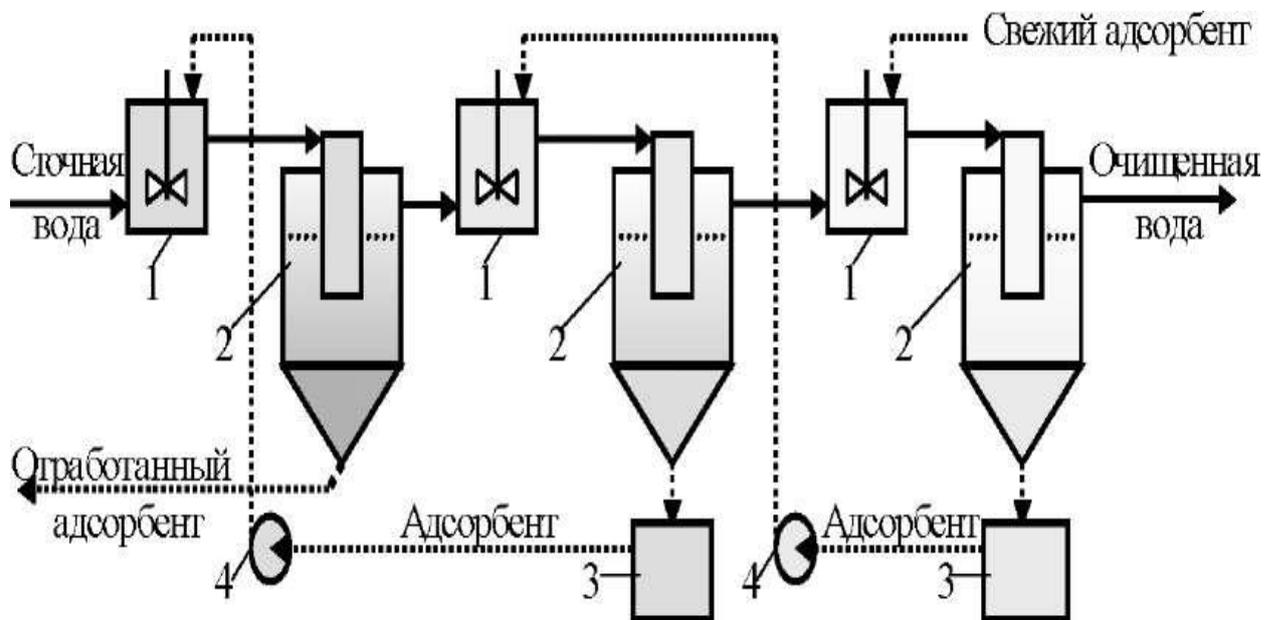


Рисунок 1.8 - Схема противоточной адсорбционной установки: 1-смесители, 2-отстойники, 3-приемники адсорбента, 4-насосы.

Ионообменный способ позволяет обеспечить потребности в мягкой воде практически для всех пищевых производств. Согласно требованиям для водочного производства установлена предельная жесткость 0,2 мг-экв/л, а для производства соков – 0,05 мг-экв/л. Большинство производителей стараются использовать воду еще более высокого качества. Ионным обменом, можно добиться практически любых значений жесткости, а производительность практически не ограничена. Умягчение воды осуществляется за счет ее контактирования с сильнокислотным катионитом в Na-форме, в результате чего из воды выводятся катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} и замещаются ионом Na^+ . Солесодержание при этом практически не изменяется, поскольку катионы Ca^{2+} , имеющие вес 1 мг-экв равный 20, замещаются катионом Na^+ с весом 1 мг-экв, равным 23. Анионный состав в процессе обмена не изменяется, а раствор остается нейтральным [6].

Схема классической установки ионного обмена (рисунок 1.9) обычно состоит из резервуара, заполненного ионообменной смолой и емкости для хранения регенерирующего солевого раствора.

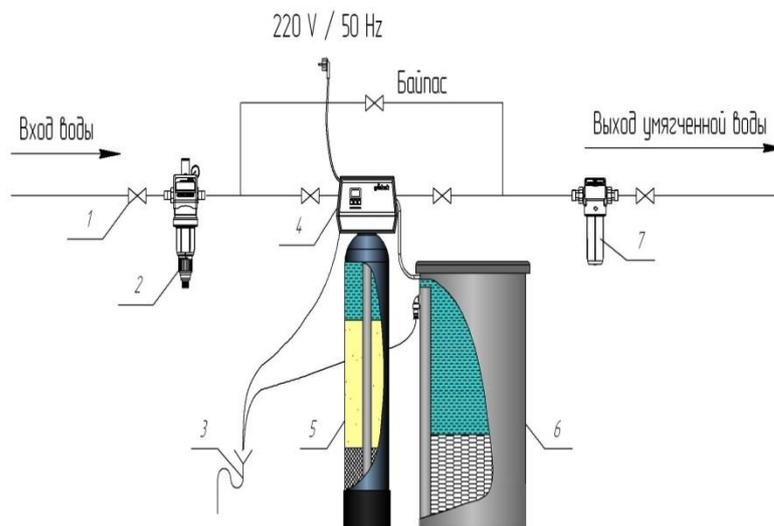


Рисунок 1.9 - Принципиальная схема и вид ионообменной колонны:
 1 - запорная арматура; 2 - сетчатый фильтр; 3 - канализация; 4 - блок управления умягчением и регенерацией; 5 - бак с ионообменной смолой; 6 - бак с регенерирующим солевым раствором; 7 - угольный фильтр.

Обратный осмос - принцип действия довольно прост и в то же время очень эффективен. Процесс обратного осмоса заключается в продавливании исходной воды через тончайшую полупроницаемую мембрану, которая отторгает даже мельчайшие низкомолекулярные примеси размером менее 0,001 микрона. Через мембрану не в состоянии проникнуть ни одно из вредных веществ и микроорганизмов, которые могут содержаться в водопроводной или артезианской воде и требуют для своего перечисления две машинописные страницы. Фильтрующая способность системы обратного осмоса является поистине уникальной. Ни один из фильтров, работающих по другому принципу (механической очистки, адсорбции или ионного обмена) не может обеспечить подобной степени очищения. Важно понимать, что даже лучшие из “простых” бытовых фильтров не удаляют или далеко не полностью удаляют из воды пестициды, бактерии, тригалометаны и другие канцерогенные хлорорганические соединения, а также тяжелые металлы и радионуклиды.

Обратный осмос является частью мембранных технологий очистки, которые делятся на:

- Микрофльтрация задерживает частицы размером 0,1-1мкм. К ним можно отнести крупные коллоиды, взвеси и бактерии.
- Ультрафльтрация задерживает частицы размером 0,01-0,1мкм. К ним можно отнести крупные органические молекулы и протеины.
- Нанофльтрация задерживает частицы размером 0,001-0,01мкм.
- Обратный осмос применяется для удаления солей и органики с молекулярным весом менее 500 Да (рейтинг фильтрации 0,0001-0,001мкм).

Не смотря на то что установки, основанные на принципе обратного осмоса зарекомендовали себя как одни из самых эффективных, в настоящее время идут постоянные споры в научных кругах. Одна группа ученых утверждает, что это самый лучший метод на сегодняшний день, вторая группа утверждает, что при обработке данным фильтром вода теряет не только вредные примеси но и полезные для организма питательные вещества. Кроме того есть мнение, что такая вода не только не является полезной а еще и наносит вред организму, так как вымывает из него при употреблении те минеральные вещества которые содержатся в организме человека. Из всего выше сказанного можно сделать вывод, что данный способ очистки не является универсальным. Если рассматривать установки обратного осмоса для промышленности, то этот способ действительно является самым перспективным на сегодняшний день. Причем, невзирая на то, что после обработки данной установкой лишь около 15 % получается на выходе. Остальная вода сливается в канализацию. Не смотря на низкий КПД качество очистки, превосходит практически любой из ныне существующих способов [3,18].

Флотация – один из видов адсорбционно-пузырькового разделения, основанный на формировании всплывающих агломератов загрязнений с диспергированной газовой фазой и последующим их отделением в виде концентрированного пенного продукта. Традиционным признаком классификации флотационных сооружений принят способ получения диспергированной газовой фазы (ДГФ). Все способы делятся на следующие группы: дробление газовой фазы в толще жидкости; непосредственное выделение из обрабатываемой воды [5].

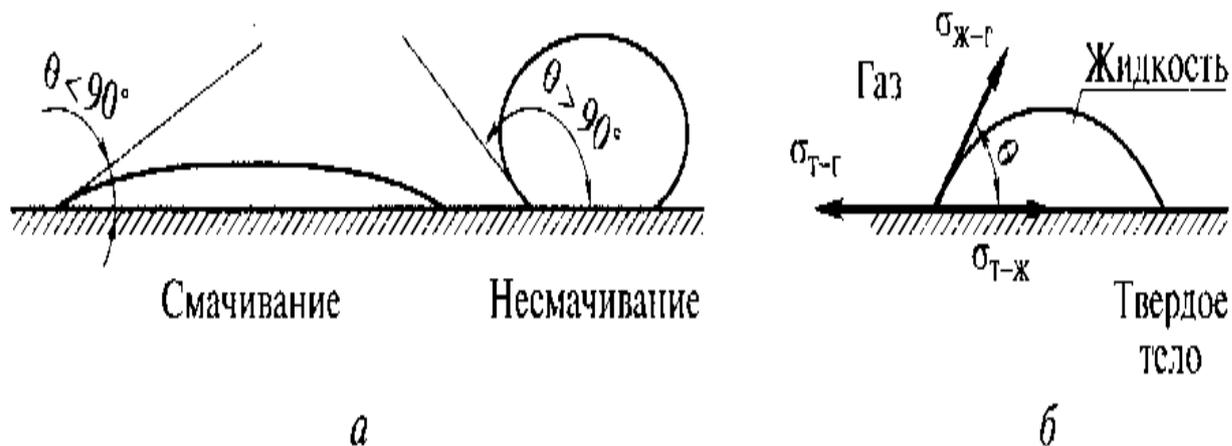


Рисунок 1.10 - Краевой угол смачивания (а), связь угла с поверхностным натяжением на границах раздела фаз (б).

Численное значение краевого угла θ , отсчитываемого в сторону жидкой фазы, определяют по формуле [4]:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{ТГ} - \sigma_{ТЖ}}{\sigma_{ЖГ}},$$

где: $\sigma_{ТГ}$, $\sigma_{ТЖ}$, $\sigma_{ЖГ}$ – поверхности натяжения на границах раздела фаз: твердое тело-газ, твердое тело-жидкость, жидкость-газ, соответственно.

Наиболее распространенный способ получения ДГФ в очистных сооружениях является барботаж. Способ реализуется прохождением пузырьков газа через толщу жидкости. Суть метода основана на том, что частицы примесей слипаются с пузырьками тонкодиспергированного в воде воздуха и выносятся на пузырьках к поверхности раствора, где концентрируются и собираются различными способами. При прилипании твердой частицы к пузырьку воздуха образуется трехфазный периметр, характеризуемый краевым углом смачивания θ (рисунок 1.10).

Биологические методы очистки воды позволяют очищать воды от растворенных органических и неорганических веществ. Метод основан на способности микроорганизмов поглощать различные органические соединения. При помощи микроорганизмов происходит биохимическое окисление, вследствие чего органические соединения разрушаются. Различные органические соединения разрушаются по разному: одни легко, другие медленно, есть и те которые не подвержены окислению вовсе. Биологический метод реализуется анаэробными и аэробными процессами. Аэробный метод основан на применении аэробных групп микроорганизмов, жизнедеятельность которых требует постоянной температуры 20-40°C и снабжения кислородом. Температура и количество кислорода влияет на численность микроорганизмов, следовательно и на эффективность очистки. Анаэробные группы микроорганизмов культивируются в активном иле и биопленке, а процессы протекают без доступа кислорода. Этим методом прежде всего обезвреживают осадок [4,5].

Основными сооружениями для биологической очистки воды являются аэротенки (рисунок 1.11). Аэротенки представляют собой бассейны глубиной от 2 до 5 метров и оборудуются устройствами для аэрации.

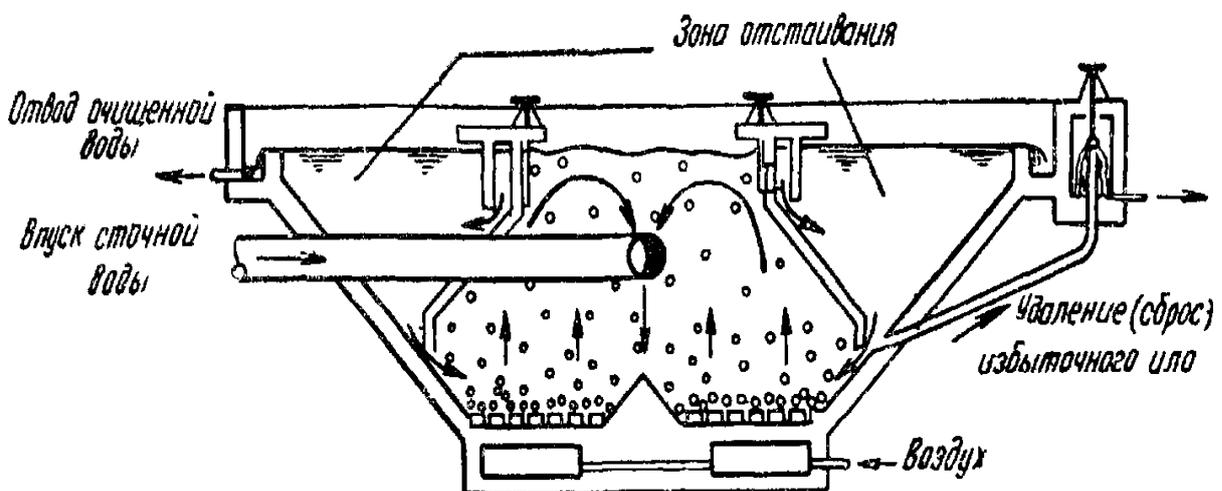


Рисунок 1.11 - Аэротенк.

Пищевая промышленность в настоящее время использует широкий спектр систем очистки в зависимости от качества исходной воды и требуемого качества для производства. Современные фильтры для очистки воды используют в основном методы озонирования, ультрафиолет и обратный осмос.

Вода на пищевых предприятиях используется для приготовления рецептур, технологических и хозяйственно бытовых нужд. Основным стандартом качества воды для технологии является СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». При выборе системы очистки руководствуются требованиями, как основных производственных процессов, так и вспомогательного оборудования. При использовании воды из скважины можно столкнуться с повышенным содержанием железа, марганца, высокой жесткостью, щелочностью, минерализацией, встречаются сероводород, аммиак, нитраты и бор. При использовании водопроводной воды можно рассчитывать, что качество соответствует СанПиН после городских систем водоочистки, но в связи с износом сетей возможно повышенное содержание механических примесей, частиц самой системы, железа, взвешенного хлора и неприятного запаха [36].

Большинство предприятий пищевой промышленности используют установки водоподготовки, основанные на устаревших фильтрах отечественного производства с ручным управлением. Механическая фильтрация и частичное обезжелезивание воды осуществляют на песке, а для умягчения воды часто применяют сульфуголь. Иногда, при работе на водопроводной воде для упрощения и понижения стоимости конструкций эти операции совмещают. Такие аппараты с трудом обеспечивают необходимое качество воды, потребляют большое количество соли на регенерацию, требуют больших затрат ручного труда. На рисунке 1.12 показана схема современной системы водоподготовки, которая прекрасно подходит для работы с водопроводной водой. Предложенная схема реализована на ликёро-водочном заводе «Кузбасс» в городе Новокузнецке [29].

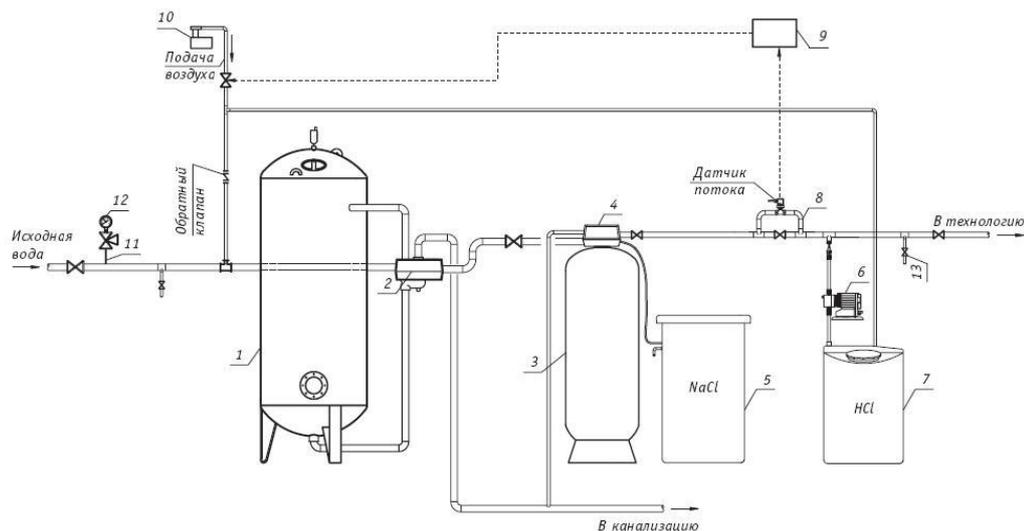


Рисунок 1.12 - Схема установки водоподготовки: 1 — установка обезжелезивания; 2 — блок управления фильтром обезжелезивания с выводом на регенерацию в заданное время; 3,4,5 — установка умягчения воды; 4 — блок управления процессом регенерации фильтра умягчения со счетчиком воды, включающим фильтр на регенерацию; 6 — насос - дозатор соляной кислоты; 7 — расходная емкость с кислотой; 8 — реле протока; 9 — блок управления насосом, компрессором и подачей воздуха в трубопровод исходной воды; 10 — компрессор с ресивером и с системой автоматики; 11 — стабилизатор давления воды в водопроводе; 12 — контрольные манометры; шаровые краны для отключения отдельных аппаратов; 13 — пробоотборники.

Основным компонентом любого напитка является вода, в связи с этим качеству воды на предприятии по производству напитков должно уделяться должное внимание. В зависимости от источника водоснабжения предприятия прилагают большие или меньшие усилия для доведения качества воды до установленных норм. Иногда достаточно принять профилактические меры, по обеззараживанию воды, однако такие случаи должны рассматриваться скорее как исключение, нежели правило. Обычно для очистки воды приходится возводить целые цеха. Обычно методы очистки подбирают таким образом, чтобы за один прием привести воду к нормативным показателям. Одним из методов позволяющих привести показатели качества воды к нормативам, без изменения минерального состава воды, является насыщение воды озонно - воздушной (кислородной) смесью. По месту применения озона в большинстве применяемых технологических схем (рисунок 1.13) очистки воды озонирование делят на два типа. Первый, преозонирование осуществляемое на начальном этапе подготовки воды, с целью окисления примесей, и как следствие образованию нерастворимых и биодоступных соединений. Второй, постозонирование осуществляемое исключительно с целью финишной дезинфекции, что сопряжено с процессами доокисления остаточных органических соединений (в виде микроорганизмов), улучшения органолептических свойств воды и насыщения ее кислородом [3,5].



Рисунок 1.13 - Система водоподготовки по принципу озонирования.

Обработка воды ультрафиолетовыми лучами или посредством ультрафиолетовой мембраны признана одним из наиболее эффективных способов водоочистки. Технология обеззараживания воды с помощью ультрафиолета заключается в прохождении особых фотохимических реакций, в результате которых клетки микроорганизмов, находящихся в воде, серьезно повреждаются, и бактерии погибают [5].

Установки с использованием ультрафиолетовых ламп широко используются в молочной промышленности. АО «Кемеровский молочный комбинат» для обеспечения своих потребностей использует установку ультрафиолетового обеззараживания воды УДВ-50/7-А1 (рисунок 1.14), производительностью 50 м³/ч.

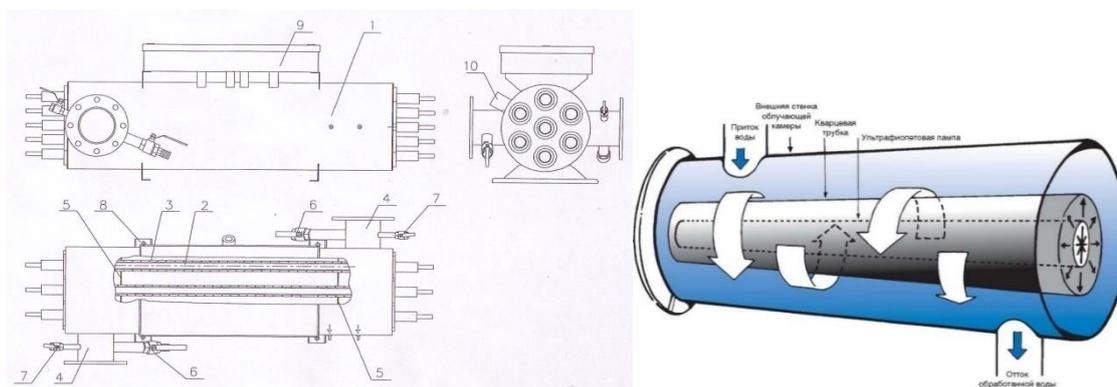


Рисунок 1.14 - Установка ультрафиолетового обеззараживания воды: 1- корпус; 2-лампа; 3-чехол кварцевый; 4-входной и выходной патрубки; 5- диск выравнивающий; 6-кран промывочный; 7-кран пробоотборника и выпуска воздуха; 8-кронштейн крепления; 9-блок ПРА; 10-патрубок для УФ датчика.

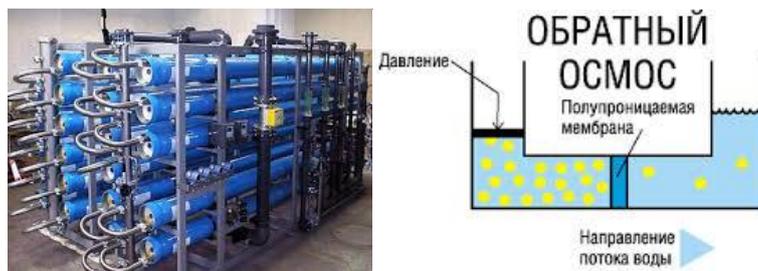


Рисунок 1.15 - Система водоподготовки на принципе обратного осмоса.

а затем проводится коррекция состава опресненной воды путем добавки солевых композиций. Реализуемое во втором случае водоподготовительное решение экономично, но сопровождается серьезным риском поступления к потребителю нежелательных компонентов с исходной водой, подмешиваемой в пермеат. Кроме того, ввиду абсолютной проницаемости обратноосмотических мембран для растворенных в водной среде газов, рН пермеата практически всегда смещен в кислую область (из-за присутствия CO_2). и его корректировка сопряжена с дополнительными затратами. В настоящее время уделяется большое внимание возможностям мембранной технологии нанофильтрации воды в такой традиционной области применения мембранных методов очистки, как водоподготовка в пищевой отрасли и водоснабжении [9].

1.3 Теплофизические основы и технологические принципы очистки воды вымораживанием и техническая реализация

Вымораживание применяется для более эффективной очистки природной воды за счет разделения ее кристаллизацией. Вымораживание намного эффективнее кипячения и отстаивания, но чтобы получить в результате этого способа действительно чистую воду, придется следовать разработанным методикам. Это не простое, как многие полагают, замораживание и размораживание воды. Способ вымораживания заключается в следующем: во время замерзания жидкости в самом начале кристаллизуется основное вещество (вода), а во второй части процесса кристаллизации происходит затвердевание основного растворителя и содержащихся в нем примесей. Это явление легко можно увидеть на примере горения восковой свечи – когда она потухает, то место подальше от фитиля практически прозрачное, а место около фитиля (в середине) загрязнено сажей. Именно, исходя из этого, реализуется процесс отделения основного вещества от примесей в нем содержащихся [2,12,14,26,27].

В процессе кристаллизации молекулы воды движутся в направлении границы раздела двух твердой фазы и жидкости (рисунок 1.16), а молекулы примесей содержащихся в воде от границы в направлении жидкой фазы. При достижении границы поверхности молекулы воды образуют молекулярный

слой, в котором происходит непрерывный процесс переноса тепла одновременно с переносом массы [2,7,14,23,26,28].

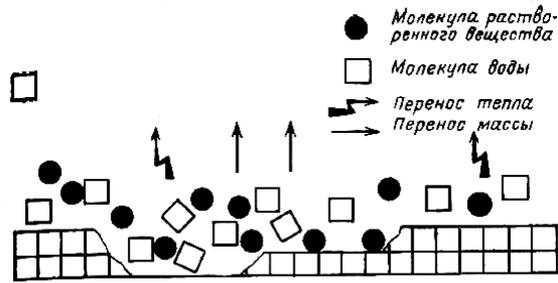


Рисунок 3.16 - Механизм процесса роста кристаллов льда на границе раздела двух сред

Для кристаллизации используют кристаллизаторы различных типов (рисунок 1.17). Для осуществления процессов разделения используют

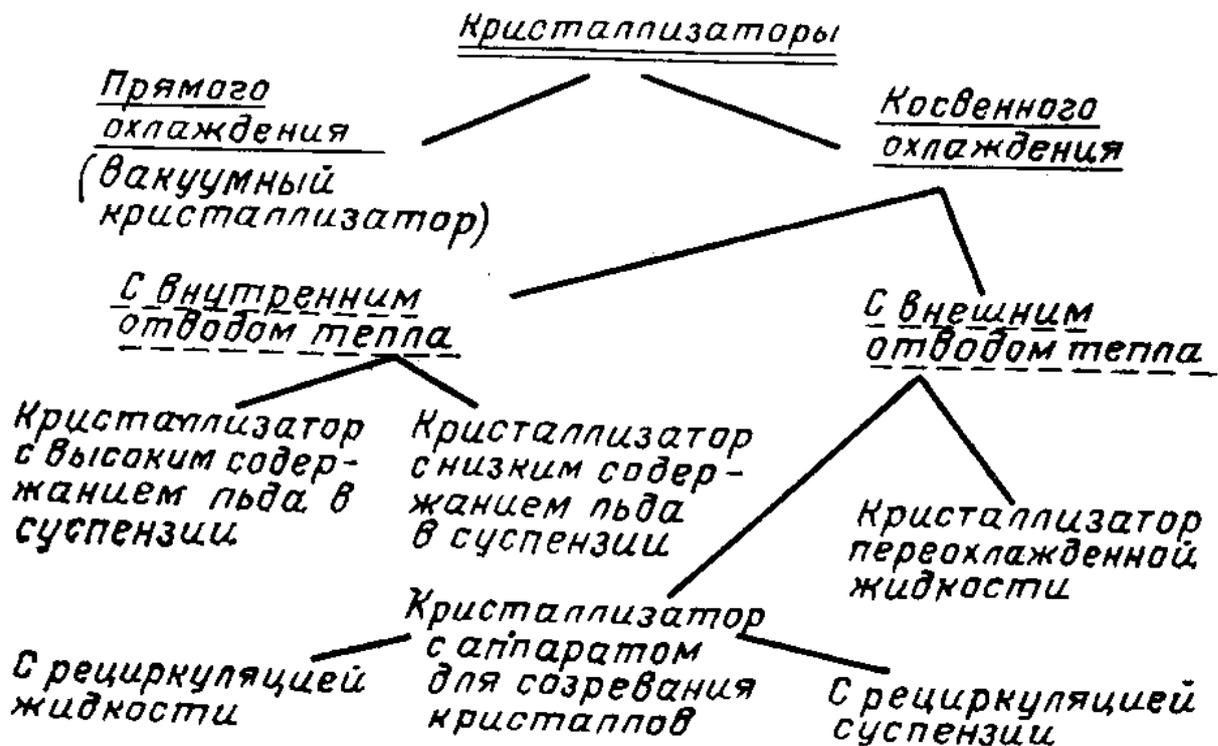


Рисунок 1.17 - Классификация кристаллизаторов.

естественное или искусственное охлаждение. В условиях непрерывного производства при современном уровне развития холодильной техники искусственное охлаждение является основным, а естественное либо комбинированное охлаждение применяют в основном в северных районах либо в целях снижения энергопотребления холодильных машин — в зимний период [2,14].

В процессе проведения технико-экономических исследований установлено, что разделительные вымораживающие установки (рисунок 1.16), работающие по принципу, кристаллизации из растворов одного вещества - льда,

в результате последующей очистки от раствора и плавления которого получают чистую воду и раствор примесей содержащихся в исходной воде, перспективны. Перспективными направлениями для данных установок являются: при опреснении воды, засоленных природных источников для целей водоснабжения, концентрировании жидких продуктов пищевых и других производств, выделении из различных растворов продуктов и препаратов высокого качества, обессоливании стоков промышленных предприятий.

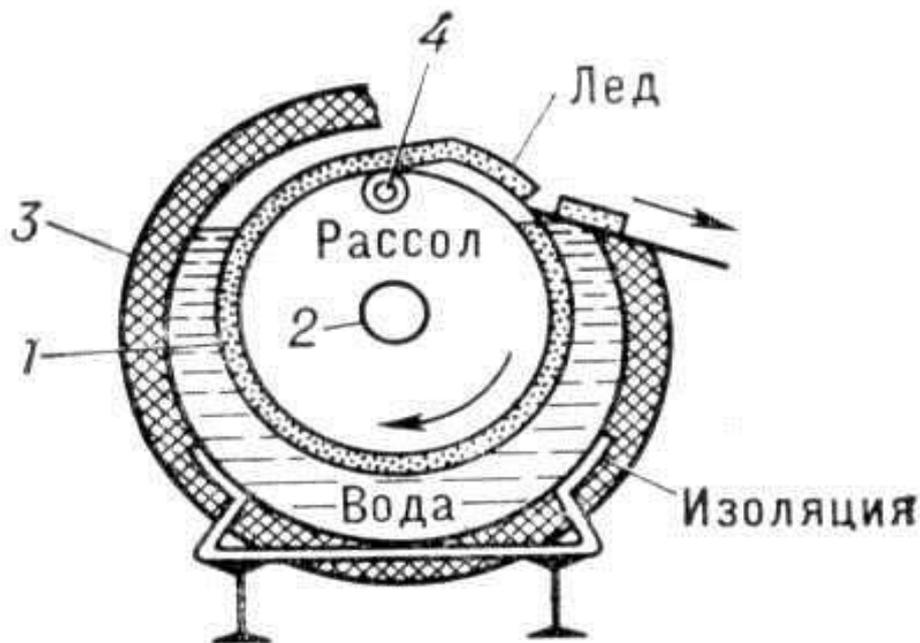


Рисунок 1.16 - Льдогенератор: 1-вращающийся цилиндр; 2-полый вал; 3-деформирующий ролик; 4-ледоскат.

Разделительные вымораживающие установки, которые используют для опреснения воды из природных источников, имеющие солесодержание более 8÷10%, по своим экономическим показателям вполне конкурентоспособны с опреснительными установками, основанными на методах дистилляции, электродиализа и обратного осмоса. При условии, что допустимое солесодержание получаемой пресной воды более 0,3%, а производительность установок составляет 0,1—40 тыс. м³ в сутки. Получаемое солесодержание позволяет использовать воду в промышленном, сельскохозяйственном и хозяйственно бытовом водоснабжении [14,26].

Разделительные вымораживающие установки использующие холодильные машины, имеют свою специфику, так как необходимы лишь для организации процессов разделения, а не получения холода. Главное их отличие от общепринятого предназначения обусловлено внутренней рекуперацией теплоты льдообразования и значительным влиянием на энергетические показатели разностей температур в процессах льдообразования и плавления. В данных холодильных машинах используют контактный теплообмен раствора и



Рисунок 1.17 - Вымораживание.

позволяет значительно снизить разность температур и сократить энергетические затраты на разделение. Проведенными испытаниями были подтверждены высокие показатели разделительных вымораживающих установок, используемых для опреснения воды [26,29].

Значительное внимание уделяется очистке сточных вод и созданию бессточных систем, безотходных производств и технологий. Одной из частей этого направления деятельности является обессоливание стоков различных предприятий. Эти процессы позволяют получать на выходе не только пресную воду, но и содержащиеся в них компоненты, которые можно использовать в собственных нуждах повторно.

Процессы вымораживания для разделения жидкой фазы основаны на термодинамической закономерности — фазовом равновесии многокомпонентных гетерогенных систем и изменении его условий при охлаждении или нагреве природных вод. Воду в случае отсутствия потоков энергии и внешних воздействий можно рассматривать как систему, находящуюся в термодинамическом равновесии [29].

Принципы разделения вымораживанием, рассмотренные выше, основаны на изменении условий фазового равновесия при охлаждении. Поэтому характеристики обрабатываемой воды должны отражать особенности её как термодинамической системы: её фазовый состав; качественный и количественный составы компонентов в пределах рассматриваемой фазы и системы в целом; показатели термодинамического равновесия системы [11,17,26,29].

По фазовому составу природную воду можно разделить на классы гомогенных и гетерогенных систем [2,11,14].

Гомогенной, или однородной, называют систему с одинаковыми в условиях термодинамического равновесия химическим составом и физическими свойствами в любой макроточке объема. Самой простой

гомогенной системой является чистое вещество в газообразном, жидком или твердом состоянии. Из рассматриваемых продуктов сложного состава гомогенной системой являются водные растворы различных солей [11,17,26,29].

Гетерогенной, или неоднородной, считают систему, состоящую из нескольких различных гомогенных частей. Гомогенные области в гетерогенной системе называют фазами. Гетерогенные системы имеют поверхности раздела между фазами, при переходе через которые изменяются хотя бы некоторые свойства вещества. При этом возможна неодинаковость состава и свойств каждой из фаз и их объеме и у поверхностей раздела. Простейшими гетерогенными системами являются смеси — парожидкостная, льда и воды [7,11,17,26,29].

Для задачи разделения, когда принципиальна структурная связь сред, будем относить коллоидные растворы и студнеобразные вещества к гомогенным средам с определенной внутренней структурой. В пределах одной фазы вещества подразделяются по составу компонентов на однокомпонентные (чистые) и многокомпонентные (растворы). Количественной мерой состава является концентрация компонента в растворе, которую выражают массовыми, мольными долями и моляльностями [11,17,26,29]. Их определяют по уравнениям:

$$\xi_i = M_i \sum_{i=1}^k M_i; \quad x_i = N_i \sum_{i=1}^k N_i; \quad m_i = N_i^* / 1 \text{ кг } H_2O; \quad (1.1)$$

где: ξ_i , x_i , m_i — массовая, мольная и моляльная концентрации i -го компонента в растворе; M_i , N_i — масса и число молей i -го компонента в растворе; N_i^* — число молей i -го компонента, приходящегося на 1 кг растворителя; k — число компонентов.

При этом, если $\sum_{i=1}^k \xi_i = 1$, $\sum_{i=1}^k x_i = 1$, то $\sum_{i=1}^k m_i \neq 1$.

В природной и технической воде может содержаться множество органических и неорганических веществ. При частичном замерзании воды замерзает лишь некоторая часть, в которой не содержится примесей в результате этого образуется вода с более высоким содержанием упомянутых веществ. Эти органические и неорганические соединения влияют на температуру замерзания воды, которую можно выразить следующим соотношением

$$\Delta T = \frac{RT_{\omega}^0(T_{\omega}^0 - T)}{\Delta H_{\omega}} \ln a, \quad (1.2)$$

где T -понижение температуры замерзания, °C; R -универсальная газовая постоянная, ккал/(моль*°C); T_{ω}^0 -температура замерзания чистой воды, °C; ΔH_{ω} -удельная теплота кристаллизации, ккал/кг; a -термодинамическая активность воды, моль/кг.

Если известен средний молекулярный вес растворенных в воде веществ, то можно определить величину их влияния на температуру замерзания, так вода с примесями в количестве l в процессе замораживания (рисунок 1.18) распадается на лед (m) и новую воду с примесями ($l-m$).

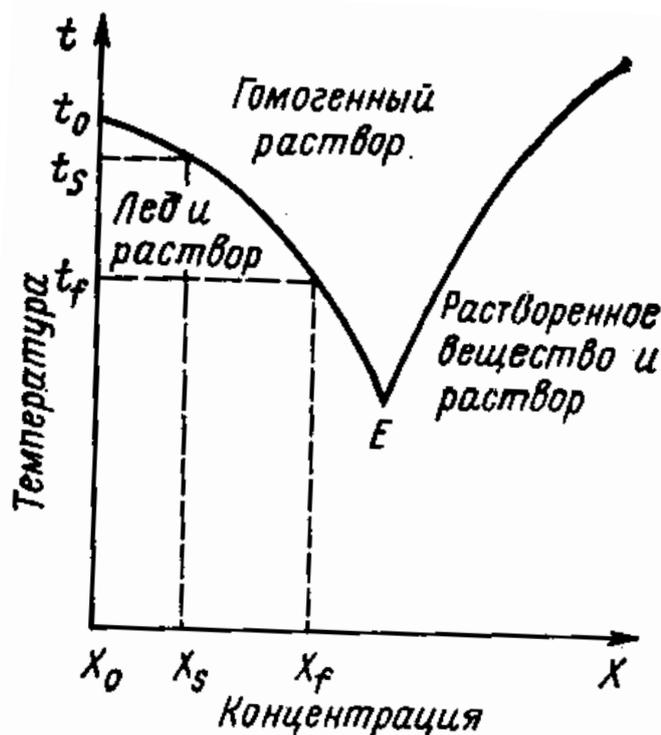


Рисунок 1.18 - Фазовая диаграмма замерзания и плавления раствора: X_s, X_f — концентрации водного раствора; X_0 — концентрация льда; t_f, t_s — температуры раствора с концентрациями X_f, X_s ; E — точка эвтектики. Для такой системы можно написать соотношение:

$$X_s l = X_0 m + X_f (l - m), \quad (1.3)$$

где X —концентрация, %; $s, 0, f$ —индексы соответственно исходного раствора, льда и концентрата.

Количество концентрата образовавшегося из данного раствора,

$$l - m = \frac{X_s}{X_f}. \quad (1.4)$$

Отношение концентраций

$$K = \frac{X_f}{X_s}. \quad (1.5)$$

Относительное изменение концентрации

$$N = \frac{X_s}{X_f}. \quad (1.6)$$

Теоретическое значение величины N водных растворов зависит при данной температуре исключительно от начальной концентрации X_s [26].

Водная среда, как система весьма сложна по составу. При этом в системе возможны обменные реакции. Поэтому необходимо определение понятия независимых компонентов. Независимыми компонентами называют вещества, наименьшее число которых необходимо и достаточно для образования всех возможных фаз данной системы, находящейся в термодинамическом равновесии. Из определения следует:

1. Понятие вещества предполагает возможность существования компонента вне раствора (поэтому, например, отдельные ионы в растворе не являются компонентами).

2. При обменных реакциях в растворах число компонентов меньше количества веществ в системе на число уравнений, связывающих концентрации этих веществ.

3. В системах с числом веществ, большим числа компонентов, безразлично, какие из них будут выбраны в качестве компонентов. Необходимое и достаточное требование: состав каждой фазы должен выражаться через концентрацию компонентов [2,11,29].

При создании и эксплуатации разделительных вымораживающих установок важно учитывать количественные зависимости перечисленных свойств от параметров, их определяющих. По своей природе большинство указанных свойств являются термодинамическими, которые определяются параметрами состояния (состав, температура и давление). Составы вымораживаемых природных вод, природных засоленных источников, используемых для получения пресной воды, и сточных вод существенно различаются как качественно, так и количественно. Теоретически в воде и водных растворах могут быть найдены почти все существующие в природе вещества. Однако для задачи вымораживания воды с целью очистки, опреснения воды и очистки стоков в ее энергетическом аспекте наиболее интересны только те растворенные вещества, которые существенно влияют на термодинамические и теплофизические свойства [29]. Возвращаясь к главной теме очистки воды вымораживанием необходимо отметить, что данный способ является перспективным для бытового применения, так как после процесса

									Лист
									4
	Лист	№ докум	Подпись	Дата					

оттайки вода структурируется. Этот фактор является одним из главных достоинств данного способа. Не стоит забывать, что структурированная вода сохраняет свои свойства в течении суток. Лучшие показатели сохраняются в течении 12 часов. Следовательно, данный способ актуален при условии производства непосредственно в домашних условиях. В настоящее время в аптеках можно найти воду полученную вымораживанием, но факт сохранения свойств воды довольно короткое время, как правило, замалчивается и не известен обычному потребителю. **Самое главное обеспечить медленное замораживание воды.** Когда вода замерзнет, то на первый взгляд кажется, что по структуре она вся одинаковая, но на самом деле вода в центральной части сосуда (посередине) не пригодна для дальнейшего употребления – ее необходимо аккуратно удалить. Для этого следует замерзшую воду вынуть аккуратно из сосуда и центральную часть подставить под струю теплой воды и дождаться образования в центре замерзшей воды отверстия. По внешнему виду это напоминает «пончик». Как только сердцевина растает можно смело положить оставшийся лед в емкость и дождаться полной его разморозки – вода готова к употреблению. Структура такой воды будет намного лучше водопроводной, но не настолько идеальной, как этого хотелось бы.

										Лист
										4
	Лист	№ докум	Подпись	Дата						

2 РАСЧЕТ ПРОМЫШЛЕННОГО КРИСТАЛИЗАТОРА ДЛЯ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО ВЫМОРАЖИВАНИЯ ВОДЫ

Произведем расчет установки очистки воды разделительным вымораживанием производительностью 0,5 т/час.

2.1 Расчет кристаллизатора

Вымораживание воды будет производиться в специальных емкостях – кристаллизаторах. Конструкция кристаллизатора схематично показана на рисунке 4.1.

Объем цилиндра, $V_{\text{общ}}$ (м^3) определим по формуле:

$$V_{\text{общ}} = V_{\text{к}} + V_{\text{к}}', \quad (2.1)$$

где $V_{\text{к}}$ – объем конусной части цилиндра;

$V_{\text{к}}'$ – объем цилиндрической части цилиндра;

Объем конусной части, м^3 определяем по формуле:

$$V_{\text{к}} = \frac{1}{3} \frac{\pi \cdot H_x}{(R - r)} (R^3 - r^3), \quad (2.2)$$

где H_x – высота конуса, равная 0,2 м;

R – больший радиус конуса, равный 0,1 м;

r – меньший радиус конуса, равный 0,012 м.

Таким образом, объем конусной части кристаллизатора составит величину:

$$V_{\text{к}} = \frac{1}{3} \frac{\pi \cdot 0,2}{(0,1 - 0,012)} (0,1^3 - 0,012^3) = 0,002376.$$

						Лист
						4
Лист	№ докум	Подпись	Дата			

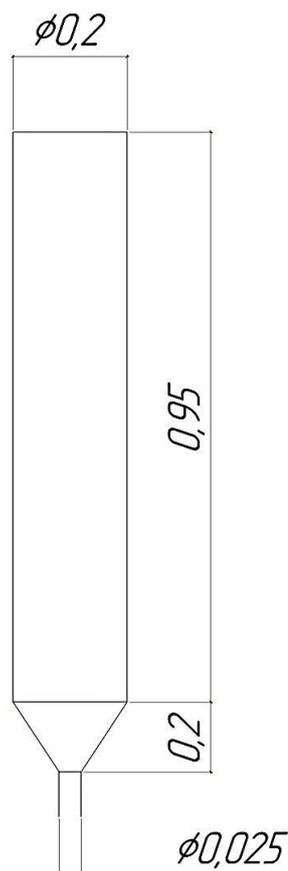


Рисунок 2.1 Конструктивная
схема цилиндра

Объем цилиндрической
части кристаллизатора, м³
определим по формуле:

$$V_{\text{ц}} = \frac{\pi D^2}{4} h_{\text{ц}}, \quad (2.3)$$

где $D=0,2$ м – диаметр цилиндра;
 $h_{\text{ц}}=0,95$ м – высота цилиндрической
части;

$$V_{\text{ц}} = \frac{\pi}{4} \cdot 0,2^2 \cdot 0,95 = 0,029845 ;$$

Таким образом, общий
объем кристаллизатора составит
(м³):

$$V_{\text{общ}} = 0,002376 + 0,029845 = 0,0322212 .$$

Рассчитаем требуемое
количество кристаллизаторов (шт):

$$N = \frac{G}{V_{\text{общ}}}, \quad (2.4)$$

$$N = \frac{0,5}{0,0322212} = 15,5$$

Примем необходимое количество кристаллизаторов $N=16$.

Для этого количества кристаллизаторов определим уровень воды в них.

Определяем высоту налива воды, м, для того, чтобы $N=16$

Объем воды, приходящейся на один кристаллизатор, исходя из
производительности установки $G_{\text{у}}=0,5$ т/час, соответственно $V_{\text{у}}=0,5$ м³/час.

$$V_{\text{общ}}^{\text{тр}} = \frac{0,5}{16} = 0,03125$$

$$V_{\text{общ}}^{\text{тр}} = V_{\text{ц}} + V_{\text{к}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h_{\text{ц}} + V_{\text{к}} = 0,03125$$

Выразим отсюда $h_{\text{ц}}$:

$$h_{\text{ц}} = \frac{0,03125 - V_{\text{к}}}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}} = \frac{0,03125 - 0,002376}{\frac{\pi \cdot 0,2^2}{4}} = 0,920$$

Тогда высоту цилиндров принимаем $h_{\text{ц}}=1,00\text{м}$.

Определяем уровень воды после намораживания 13мм льда по формуле

$$m_{\text{в}} = m_{\text{л}} + m_{\text{ц}} + m_{\text{к}},$$

где $m_{\text{л}}$ – масса льда на поверхности цилиндра, кг

$m_{\text{ц}}$ – масса воды в незамерзающей части цилиндра, кг

$m_{\text{к}}$ – масса воды в конической части цилиндра, кг

$$m_{\text{л}} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \cdot h \cdot \rho_{\text{л}}$$

$$m_{\text{ц}} = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot h \cdot \rho_{\text{в}}$$

$$m_{\text{к}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi \cdot H_{\text{х}}}{R - r} (R^3 - r^3) \cdot \rho_{\text{в}}$$

$$m_{\text{к}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{3,1416 \cdot 0,2}{0,1 - 0,012} (0,1^3 - 0,012^3) \cdot 1000 = 2,376$$

$$m_{\text{в}} = V_{\text{общ}}^{\text{тр}} \cdot \rho_{\text{в}} = 0,03125 \cdot 1000 = 31,25$$

						Лист
						4
	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

$$m_B = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot h \cdot \rho_{\text{л}} + \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot h \cdot \rho_B + \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi \cdot H_x}{R - r} (R^3 - r^3) \cdot \rho_B$$

$$m_B = \frac{\pi}{4} \cdot \left((D^2 - d^2) \cdot \rho_{\text{л}} + d^2 \cdot \rho_B \right) \cdot h + m_K$$

Выразим отсюда высоту воды при намораживании льда 13мм, м

$$h = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{m_B - m_K}{(D^2 - d^2) \cdot \rho_{\text{л}} + d^2 \cdot \rho_B}$$

$$h = \frac{4}{3,1416} \cdot \frac{31,25 - 2,376}{(0,2^2 - 0,174^2) \cdot 917 + 0,174^2 \cdot 1000} = 0,94$$

Если толщина слоя льда будет 5 см, то высота поверхности будет:

$$h = \frac{4}{3,1416} \cdot \frac{31,25 - 2,376}{(0,2^2 - 0,1^2) \cdot 917 + 0,1^2 \cdot 1000} = 0,98$$

Тогда высоту цилиндрической части цилиндра принимаем $h=1,03\text{м}$.

Определяем массу льда намороженного в одной емкости (кг), при условии намерзания льда толщиной равной 13 мм по формуле:

$$m_{\text{л}} = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot h_{\text{л}} \cdot \rho_{\text{л}}, \quad (2.5)$$

$$m_{\text{л}} = \frac{3,1416}{4} \cdot (0,2^2 - 0,174^2) \cdot 0,98 \cdot 917 = 6,86$$

Определяем общую массу льда (кг), намороженного в емкостях за один час по формуле:

$$m_{\text{л.общ}} = m_{\text{л}} \cdot n, \quad (2.6)$$

где n – количество цилиндров в рабочей емкости

$$m_{\text{л.общ}} = 6,86 \cdot 16 = 109,76 .$$

Таким образом, количество льда, намораживаемого в 16 кристаллизаторах за 1 час, при условии образования средней толщины льда на теплообменной поверхности в 13 мм, составит 109,76 кг.

2.2 Расчет теплоизоляции

Примем для теплоизоляции кристаллизаторов теплоизоляционный материал пеноплекс 45. В качестве дополнительной теплоизоляции, а также для придания эстетического вида будем использовать пенофол фольгированный, самоклеющийся.

Толщина теплоизоляционного слоя стенок емкости рассчитываем по формуле:

$$\delta_{\text{из.тр}} = \lambda_{\text{из}} \left[\frac{1}{k_{\text{тр}}} - \left(\frac{1}{\alpha_{\text{н}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} \right) \right], \quad (2.7)$$

где $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи с наружной стороны ограждения, Вт/(м²·К);

$\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи с внутренней стороны ограждения, Вт/(м²·К);

$\lambda_{\text{из}}$ – коэффициент теплопроводности изоляционного слоя, Вт/(м²·К);

$k_{\text{тр}}$ – коэффициент теплопередачи наружной стены, Вт/(м²·К).

$$\delta_{\text{из.тр}} = 0,03 \cdot \left[\frac{1}{0,28} - \left(\frac{1}{23} + \frac{1}{350} \right) \right] = 0,0996$$

					Лист
					4
Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Принимаем толщину теплоизоляционного слоя 100 мм.
 Действительный коэффициент теплопередачи k_d , Вт/(м²·К), рассчитывается по формуле:

$$k_d = \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{\alpha_n} + \frac{1}{\alpha_6} \right) + \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}} \right]}, \quad (2.8)$$

$$k_d = \frac{1}{\left(\frac{1}{23} + \frac{1}{350} \right) + \frac{0,100}{0,03}} = 0,29$$

Таким образом при толщине теплоизоляционного слоя в 100 мм действительный коэффициент теплопередачи составит 0,29 Вт/(м²·К).

2.3 Расчет теплопритоков

Теплоприток через стенки рабочей емкости $Q_{1т}$, кВт, рассчитывается по формуле:

$$Q_{1т} = k_d \cdot F \cdot (t_n - t_b) \cdot 10^{-3}, \quad (4.9)$$

где k_d – действительный коэффициент теплопередачи ограждения, Вт/(м²·К);

F – расчетная площадь поверхности ограждения, м²;

t_n – расчетная температура воздуха с наружной стороны ограждения, °С;

t_b – расчетная температура воздуха с внутренней стороны ограждения, °С.

$$Q_{1т} = 0,29 \cdot 4,655 \cdot (25 + 5) \cdot 10^{-3} = 0,04$$

Определяем теплоприток через стенки бака для слива хладоносителя

$$Q_{1тб} = 0,29 \cdot 4 \cdot (25 + 3) \cdot 10^{-3} = 0,032$$

Определяем суммарный теплоприток через стенки

$$\sum Q_{1\tau} = Q_{1\tau} + Q_{1\tau\delta} = 0,04 + 0,032 = 0,072$$

Определяем теплоприток от замораживания воды, кДж, по формуле:

$$Q_{л} = m_{л.общ} \cdot r, \quad (2.10)$$

где r – удельная теплота льдообразования равная:

$$Q_{л} = 109,76 \cdot 334 = 36659,8$$

Теплоприток от намораживания льда (кВт) составит:

$$Q_{л} = \frac{36659,8}{3600} = 10,18.$$

Теплоприток от работающих электродвигателей q_3 , кВт, определяем по формуле:

$$q_3 = \eta_{одн} \cdot N_э, \quad (2.11)$$

где $\eta_{одн}$ - коэффициент одновременности работы оборудования (в зависимости от числа имеющихся двигателей и особенностей технологического процесса $\eta_{одн} = 0,4-1,0$);

$N_э$ - мощность электродвигателя насоса, кВт.

Принимаем по диаметру трубы и необходимого напора 2 циркуляционных насоса марки Grundfos UPS 50-180/220/, $N=1$ кВт, $t_{исп} = -20$ до $+120$ °С, $Q_{max} = 33$ м³/ч

$$q_3 = 1 \cdot 1 = 1$$

Эксплуатационный теплоприток, кВт, по формуле:

$$Q_4 = q_3 = 1 \quad (2.12)$$

						Лист
						4
	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

2.4 Расчет нагрузки на компрессоры

Суммарная нагрузка на компрессоры, работающие при температуре кипения $t_0 = -10^\circ\text{C}$, $\sum Q_{-10}$, кВт, рассчитывается по формуле:

$$\sum Q_{-10} = 0,6\sum Q_1 + \sum Q_2 + 0,5\sum Q_4, \quad (2.13)$$

$$\sum Q_{-10} = 0,6 \cdot 0,072 + 10,18 + 0,5 \cdot 1 = 10,7$$

Требуемая холодопроизводительность компрессора, работающего при температуре кипения $t_0 = -10^\circ\text{C}$, $Q_{от(-10)}$, кВт, рассчитывается по формуле:

$$Q_{от(-10)} = k \cdot \sum Q_{км}, \quad (2.14)$$

где k – коэффициент, учитывающий потери в трубопроводах и аппаратах холодильной установки.

$$Q_{от(-10)} = 1,12 \cdot 10,7 = 12$$

2.5 Расчет и подбор оборудования холодильной установки

Температура кипения в установках с косвенным охлаждением принимается на $4 \div 6^\circ\text{C}$ ниже средней температуры хладоносителя $t'_s, ^\circ\text{C}$, в приборах охлаждения:

$$t_0 = t'_s - (4 \div 6) \quad (2.15)$$

Средняя температура хладоносителя, $^\circ\text{C}$, в приборах охлаждения определяется по формуле:

$$t'_s = \frac{t_{s1} + t_{s2}}{2}, \quad (2.16)$$

$$t'_s = \frac{-5 - 3}{2} = -4,$$

					Лист
					4
Лист	№ докум	Подпись	Дата		

$$t_0 = -4 - 6 = -10$$

В установках с воздушным конденсатором температура конденсации t_k , °С, определяется по формуле:

$$t_k = t_{в1} + (10 \div 15) \quad (2.17)$$

где $t_{в1}$ – температура воздуха на входе в конденсатор, °С

$$t_k = 25 + 15 = 40$$

2.6 Расчет и подбор компрессора

Расчет цикла на температуру кипения $t_0 = -10^\circ\text{C}$

Цикл холодильной установки представлен на рисунке 2.2.

Значения параметров в узловых точках цикла сведены в таблицу 2.1.

Массовый расход циркулирующего хладагента $M_{(-10)}$, кг/с, определяем по формуле (2.18)

$$M_{(-10)} = Q_{0(-10)} / q_{0(-10)}, \quad (2.18)$$

где $q_{0(-10)}$ – удельная холодопроизводительность кДж/кг,

$$q_{0(-10)} = (h_{1''} - h_4);$$

$$q_{0(-10)} = 361 - 262 = 99;$$

$$M_{(-10)} = 12/99 = 0,12$$

						Лист
						4
	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

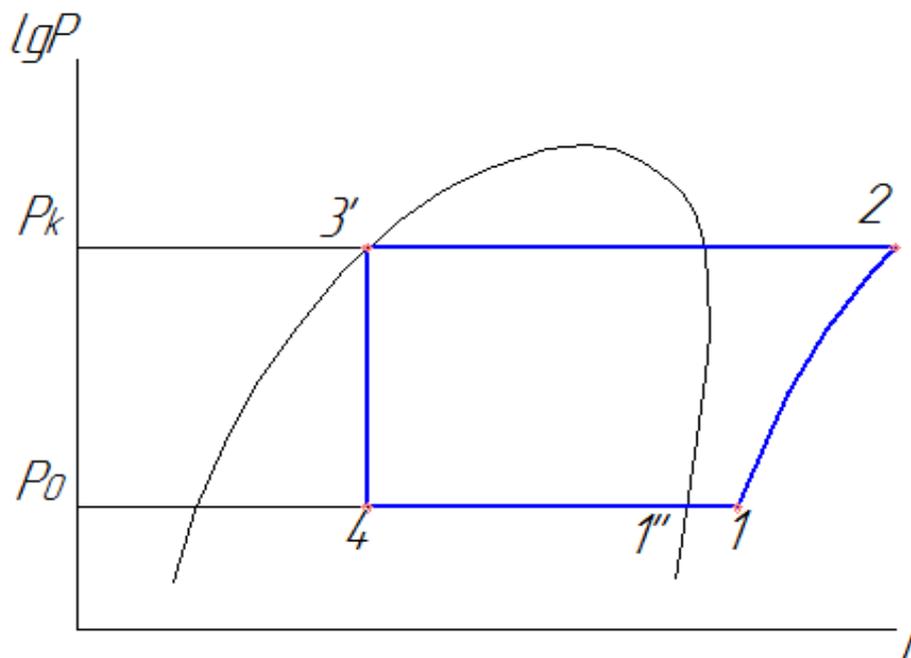


Рисунок 2.2 - Цикл одноступенчатой холодильной машины

Таблица 2.1. Параметры узловых точек цикла

№ точки	1''	1	2	3'	4
t, °C	-10	-3	51	40	-10
P, МПа	0,44	0,44	1,8	1,8	0,44
h, кДж/кг	361	365	398	262	262
v, м ³ /кг	-	0,049	0,012	-	-

Коэффициент подачи $\lambda_{(-10)}$ при $P_k / P_0 = 1,8/0,44=4,09$ $\lambda_{(-10)} = 0,72$

Требуемая производительность компрессора $V_{(-10)}$, м³/с, определяется по формуле:

$$V_{(-10)} = (M_{(-10)} \cdot v_1) / \lambda_{(-10)} \quad (2.19)$$

$$V_{(-10)} = (0,12 \cdot 0,049) / 0,72 = 0,0086$$

Для работы на температуру кипения $t_0 = -10^\circ\text{C}$ принимаем поршневой компрессор фирмы Danfoss марки MTZ 100 с объемной действительной производительностью $V_{(-10)\text{д.}} = 0,009 \text{ м}^3/\text{с}$, $N=6,55 \text{ кВт}$, $Q_0=13,620 \text{ кВт}$

Действительный массовый расход хладагента $M_{\text{действ.}(-10)}$, кг/с, определяется по формуле:

$$M_{\text{действ.}(-10)} = (V_{(-10)\text{д.}} \cdot \lambda_{(-10)}) / v_1, \quad (2.20)$$

$$M_{\text{действ.}(-10)} = (0,009 \cdot 0,72) / 0,049 = 0,132$$

Теоретическая мощность компрессора $N_{\text{T}(-10)}$, кВт, определяется по формуле:

$$N_{\text{T}(-10)} = M_{\text{действ.}(-10)} \cdot (h_2 - h_1), \quad (2.21)$$

$$N_{\text{T}(-10)} = 0,132 \cdot (398 - 365) = 4,356$$

Индикаторная мощность компрессора $N_{\text{i}(-10)}$, кВт, определяется по формуле:

$$N_{\text{i}(-10)} = N_{\text{T}(-10)} / \eta_i, \quad (2.22)$$

где $\eta_i = 0,75$ – индикаторный КПД,

$$N_{\text{i}(-10)} = 4,356 / 0,75 = 5,8$$

Электрическая мощность, потребляемая из сети $N_{\text{Э}(-10)}$, кВт, определяется по формуле:

$$N_{\text{Э}(-10)\text{км1}} = N_{\text{i}(-10)\text{км1}} / \eta_{\text{мех}}, \quad (2.23)$$

					Лист
					4
Лист	№ докум	Подпись	Дата		

где $\eta_{\text{мех.}} = 0,9$ – механический КПД,

$$N_{\text{Э}(-10)} = 5,8/0,9 = 6,45$$

Тепловая нагрузка на конденсатор в теоретическом цикле $Q_{\text{к. теор.}(-10)}$, кВт, определяется по формуле:

$$Q_{\text{к. теор.}(-10)} = M_{\text{I}(-10)} \cdot (h_2 - h_{3'}), \quad (2.24)$$

$$Q_{\text{к. теор.}(-10)} = 0,132 \cdot (398 - 262) = 17,95$$

Действительная холодопроизводительность $Q_{\text{од.}(-10)}$, кВт, определяется по формуле:

$$Q_{\text{од.}(-10)} = M_{\text{действ.}(-10)} q_{0(-10)}, \quad (2.25)$$

$$Q_{\text{од.}(-10)} = 0,132 \cdot 99 = 13,1$$

Средний коэффициент рабочего времени компрессоров определяется по формуле:

$$B = \sum V_{(-10)\text{г.}} / \sum V_{(-10)\text{д.}}, \quad (2.26)$$

$$B = 0,0086 / 0,009 = 0,95$$

2.7 Расчет и подбор конденсатора

Требуемая площадь теплопередающей поверхности $F_{\text{к}}, \text{м}^2$, определяется по формуле:

$$F_{\text{к}} = \frac{Q_{\text{кд.}}}{q_f}, \quad (2.27)$$

						Лист
						4
	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

где $q_f = 0,3, \text{кВт}/\text{м}^2$ - плотность теплового потока в конденсаторе

$$F_B = \frac{17,95}{0,3} = 59,8$$

Принимаем один конденсатор фирмы AlfaLaval серии AlfaBlueJunior марки AGL 403 В, мощностью $N=22,5$ кВт, площадь теплопередающей поверхности $F=60,2 \text{ м}^2$

Дополнительно принимаем пластинчатый конденсатор такой же производительности, для оттайки замороженного льда, фирмы AlfaLaval марки СВ14-10Н.

2.8 Расчет и подбор испарителя

Для испарителя номинальную холодопроизводительность, кВт, определяем по формуле (4.28):

$$Q_{0н} = \frac{Q_{од}}{f}, \quad (2.28)$$

где $Q_{од}$ – действительная холодопроизводительность, кВт;

f - поправочный коэффициент, учитывающий режим работы, определяется по графику в каталогах воздухоохладителей в зависимости от Δt_1 и t_0

$$Q_{0н} = \frac{13,1}{1,25} = 10,48$$

Принимаем пластинчатый испаритель фирмы AlfaLaval марки АС30EQ, производительностью $Q=3-30$ кВт

2.9 Описание рабочей емкости

Согласно расчетам принимаем конструкцию рабочей емкости как показано на рисунке 2.3.

						Лист
						4
	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

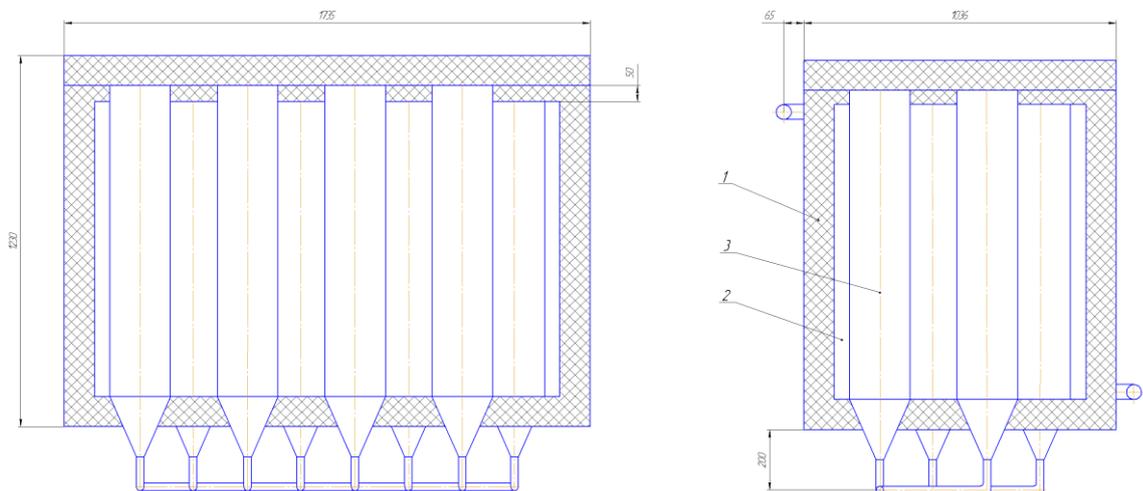


Рисунок 2.3. Конструкция рабочей емкости кристаллизатора
1-изоляция, 2-межтрубное пространство, 3-рабочий цилиндр.

Конструкция рабочей емкости состоит из шестнадцати цилиндров 3 в одной рабочей емкости, расположенных в шахматном порядке, так как при этом расположении цилиндров в межцилиндровом пространстве не будет образовываться застойных зон. Отсутствие застойных зон позволит максимально эффективно обеспечить равномерность охлаждения цилиндров по всему объему. Корпус рабочей емкости, как и рабочих цилиндров, выполнен из нержавеющей стали. Это позволит избежать попадания коррозионных отложений как в воду, так и в контуры хладоносителя и теплоносителя.

По всему периметру рабочей емкости для снижения теплопритоков из окружающей среды предусмотрена теплоизоляция, выполненная из пеноплекса 1, толщиной 100мм. Для максимального заполнения межцилиндрового пространства при пуске и после переключения режимов используется нижняя подача как теплоносителя, так и хладоносителя. Это позволяет избежать срыва потока и полностью заполнить рабочую емкость в самом начале подачи теплоносителя и хладоносителя, это достигается установкой обратного трубопровода в самой верхней точке рабочей емкости реверсивной установки для очистки воды при помощи вымораживания. Заполнение рабочих цилиндров водопроводной водой и слив как не замёрзшей воды, так и очищенной происходит через нижнюю коническую часть рабочих цилиндров объединенных одним общим коллектором. Верхняя часть рабочих цилиндров не герметична, а закрывается теплоизоляционным листом толщиной 100мм, который не закреплен.

2.10 Описание холодильной установки

В результате расчета и подбора оборудования разработана принципиальная схема холодильной установки и гидравлическая схема обвязки реверсивной установки для очистки воды при помощи вымораживания.

Схема холодильной установки, изображенная на рисунке 2.4 работает следующим образом.

Компрессор 1 холодильной установки фирмы Danfoss марки MTZ 100 отсасывает пары холодильного агента из пластинчатого испарителя 2 фирмы AlfaLaval марки AC30EQ, сжимает их и нагнетает в пластинчатый конденсатор 3 фирмы AlfaLaval марки CB14-10H, в конденсаторе холодильный агент конденсируется отдавая тепло теплоносителю, температура конденсации равна 40°C . Далее холодильный агент поступает в воздушный конденсатор 4 фирмы AlfaLaval серии AlfaBlueJunior марки AGL 403 В для конденсации не сконденсировавшегося холодильного агента. После воздушного конденсатора холодильный агент проходит через фильтр-осушитель 5, потом через индикатор влажности 6, который позволяет отслеживать наличие влаги в системе и, косвенным путем, степень заправки хладагента в системе. Далее жидкий хладагент поступает в ТРВ (терморегулирующий вентиль) 7, в котором он дросселируется, и поступает в пластинчатый испаритель 2. В пластинчатом испарителе кипящий хладагент R404A при температуре кипения -10°C забирает тепло от хладоносителя и далее пары холодильного агента отсасываются компрессором, затем цикл повторяется.

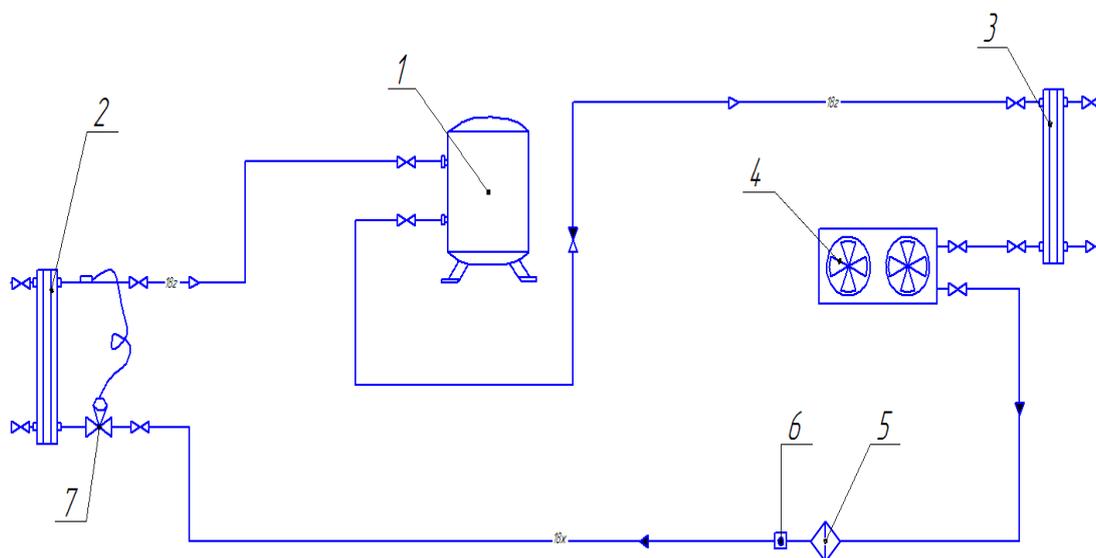


Рисунок 2.4. Схема холодильной установки для очистки воды вымораживанием

2.11 Подготовка установки для очистки воды при помощи вымораживания к запуску и переключение режимов.

Перед запуском реверсивной установки для очистки воды при помощи вымораживания необходимо выполнить ряд операций:

Выставить четырехходовые вентили в положение 1.

1. Перекрыть вентили, предназначенные для слива теплоносителя и хладоносителя с рабочих емкостей.

2. Трехходовой вентиль 3 выставляется в положение, обеспечивающее циркуляцию хладоносителя между пластинчатым испарителем и накопительным баком.

3. Запускается циркуляционный насос 1.

4. Запускается холодильная установка.

5. Заполняются рабочие емкости водой.

6. Трехходовой вентиль 3 переводится в положение, обеспечивающее циркуляцию хладоносителя между пластинчатым испарителем и рабочей емкостью 5.

Важный момент, который стоит отметить. При первоначальном запуске, это охлаждение одной из рабочих емкостей без нагрева второй. Так как при первоначальном запуске нагревать воду во второй емкости не целесообразно в связи с тем, что нагрев воды во второй емкости приведет к необходимости её охлаждения. Это в свою очередь приведет как к увеличению времени работы установки во втором режиме и как следствие увеличению энергетических затрат. При первоначальном запуске, теплота конденсации полностью отводится воздушным конденсатором 4.

После охлаждения рабочей емкости 5 необходимо выполнить следующие операции:

1. Трехходовой вентиль 3 переключается в положение, обеспечивающее циркуляцию хладоносителя между пластинчатым испарителем и накопительным баком 7.

2. Открываются вентили для слива хладоносителя из рабочей емкости 5 через четырехходовой вентиль 12 в накопительный бак 7.

3. Сливаются незамёрзшая вода из рабочей емкости 5.

4. По завершению слива хладоносителя сливные вентили перекрываются.

5. Четырехходовые вентили 4, 6, 12 переводятся в положение второго режима.

6. Трехходовой вентиль 3 переключается в положение, обеспечивающее циркуляцию хладоносителя между пластинчатым испарителем и рабочей емкостью.

7. Запускается циркуляционный насос 8.

После завершения цикла замораживания воды в рабочей емкости 10, необходимо выполнить следующие операции:

1. Насос 8 выключается (как правило, насос выключается сразу после фазового перехода ледового массива в жидкое состояние).

										Лист
										4
	Лист	№ докум	Подпись	Дата						

2. Трехходовой вентиль 3 переключается в положение, обеспечивающее циркуляцию хладоносителя между пластинчатым испарителем и накопительным баком.

3. Открываются вентили для слива хладоносителя из рабочей емкости 10 через четырехходовой вентиль 12 в накопительный бак 7 и теплоносителя из рабочей емкости 5 через четырехходовой вентиль 12 в накопительный бак 11.

4. Сливаются очищенная вода из рабочей емкости 5 и незамерзшая вода из рабочей емкости 10.

5. После завершения слива очищенной воды заполняется рабочая емкость 5 водой из водопроводной системы.

6. При завершении слива хладоносителя перекрываются сливные вентили.

7. Четырехходовые вентили 4, 6, 12 переводятся в положение первого режима.

8. Трехходовой вентиль 3 переключается в положение, обеспечивающее циркуляцию хладоносителя между пластинчатым испарителем и рабочей емкостью.

9. Запускается циркуляционный насос 8.

Далее для переключения режимов работы реверсивной установки для очистки воды при помощи вымораживания, необходимо выполнить описанные операции после завершения цикла замораживания воды в рабочей емкости 10. С учетом того, что будут изменяться рабочие емкости, где происходят процессы замораживания и оттайки.

2.12 Описание работы гидравлической системы реверсивной установки для очистки воды при помощи вымораживания.

На рисунке 2.5 и 2.6 изображена схема циркуляции хладоносителя и теплоносителя в установке в двух режимах работы.

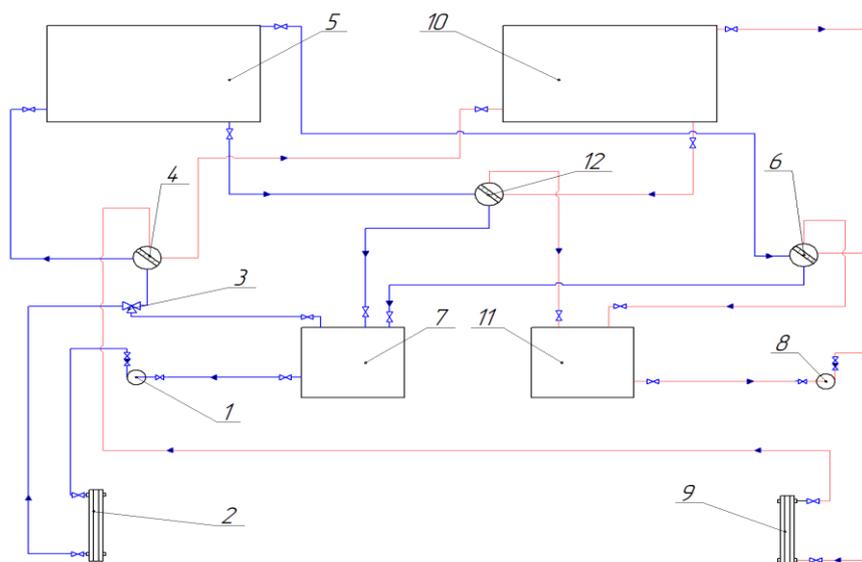


Рисунок 2.5 - Схема циркуляции хладоносителя и теплоносителя

1. Первый режим работы реверсивной установки для очистки воды при помощи вымораживания.

Хладоноситель циркуляционным насосом 1 из накопительного бака 7, который предназначен для непрерывной подачи хладоносителя в систему и для сбора хладоносителя из системы при переходе во второй режим и в случае ремонта, подается в пластинчатый испаритель 2. В котором он охлаждается от температуры -3°C до температуры -5°C за счет кипения холодильного агента при -10°C . После пластинчатого испарителя хладоноситель поступает в трехходовой вентиль. Трехходовой вентиль позволяет направлять поток либо в рабочие емкости либо возвращать хладоноситель в накопительный бак 7. Это позволяет в период переключения установки между режимами не останавливать работу холодильной установки, так как остановка и пуск оборудования снижают срок эксплуатации. В случае подачи хладоносителя в четырехходовой мы имеем возможность направить поток в одну из двух рабочих емкостей. Стоит отметить, что данный четырехходовой вентиль направляя хладоноситель в одну из рабочих емкостей, автоматически направляет теплоноситель в вторую емкость, тем самым исключает возможность ошибки одновременного охлаждения или нагревания обеих рабочих емкостей. В первом режиме хладоноситель направляется в рабочую емкость 5. В рабочей емкости 5 происходит охлаждение воды и частичная кристаллизация молекул воды в рабочих цилиндрах. Хладоноситель в свою очередь забирая тепло нагревается на 2°C . Соответственно на выходе температура хладоносителя становится -3°C . После рабочей емкости 5 хладоноситель поступает в четырехходовой вентиль 6. Вентиль 6 предназначен для направления потока в накопительный бак 7. Кроме этой функции, четырехходовой вентиль 6 направляет поток теплоносителя с рабочей емкости 10 в накопительный бак 11. Это также позволяет не допустить смешение потоков хладоносителя и теплоносителя. Кроме этого при монтаже и эксплуатации для избежания смешения потоков нужно чтобы ручки четырехходовых клапанов в первом режиме находились в первом положении, а во втором режиме находились во втором положении. Это позволит избежать смешения потоков хладоносителя и теплоносителя, так как если четырехходовой вентиль 4 направит поток хладоносителя в рабочую емкость 5, а четырехходовой вентиль 6 направит поток из рабочей емкости 5 в накопительный бак 11, то произойдет смешение теплоносителя и хладоносителя. В этом случае установка работать не будет, так как не хватит мощности холодильного оборудования. Поступая в накопительный бак 7, цикл движения хладоносителя при первом режиме работы реверсивной установки для очистки воды при помощи вымораживания повторяется.

									Лист
									4
	Лист	№ докум	Подпись	Дата					

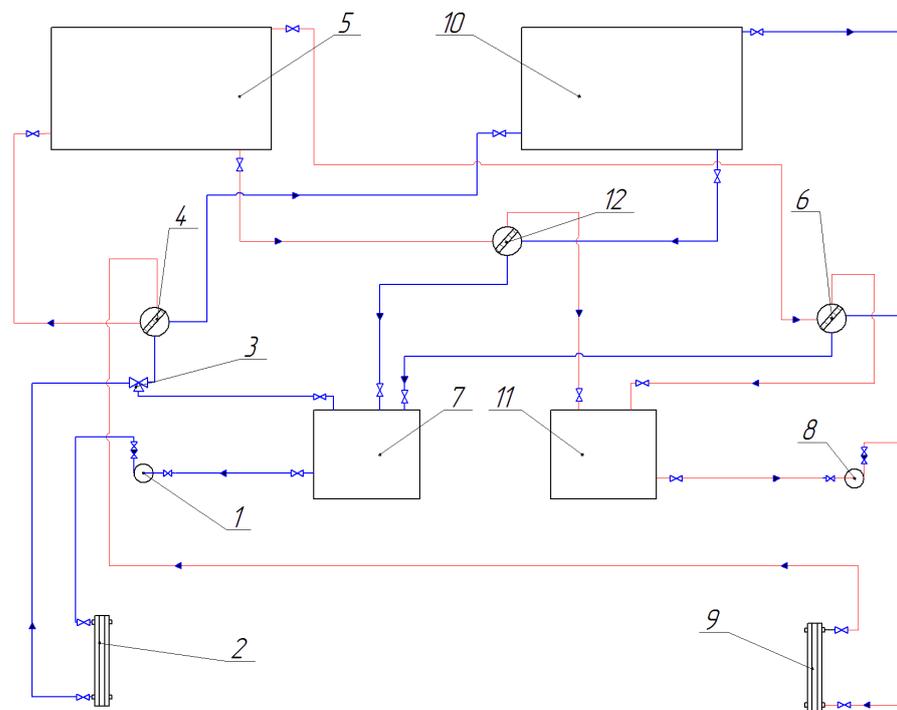


Рисунок 2.6. Схема циркуляции хладоносителя и теплоносителя

Теплоноситель циркуляционным насосом 8 из накопительного бака 11, который предназначен для непрерывной подачи теплоносителя в систему и для сбора теплоносителя из системы при переходе во второй режим и в случае ремонта, подается в пластинчатый конденсатор 9. В котором он нагревается от температуры 31°C до температуры 35°C, за счет теплообмена с горячим хладагентом. После пластинчатого конденсатора теплоноситель поступает в четырехходовой вентиль 4. После подачи теплоносителя в четырехходовой мы имеем возможность направить поток в одну из двух рабочих емкостей. В первом режиме теплоноситель направляется в рабочую емкость 10. Не забываем о том, что данный четырехходовой вентиль, направляя теплоноситель в одну из рабочих емкостей, автоматически направляет хладоноситель в первую рабочую емкость 5, тем самым исключает возможность ошибки одновременного охлаждения или нагрева обоих рабочих емкостей. Эта немаловажная тонкость, описанная выше, результат технического решения при проектировании реверсивной установки для очистки воды при помощи вымораживания. В рабочей емкости 10 происходит оттайка ледового массива, образовавшегося в результате работы установки в предыдущем режиме. Оттайка происходит за счет теплоносителя поступающего при температуре 35°C, соответственно тепло, отданное теплоносителем для обеспечения фазового перехода льда в жидкость, снижает температуру теплоносителя до 31°C. После рабочей емкости 10 теплоноситель поступает в четырехходовой вентиль 6. Вентиль 6 предназначен для направления потока в накопительный бак 11. Кроме этой функции, четырехходовой вентиль 6 направляет поток хладоносителя с рабочей емкости 5 в накопительный бак 7. Это также позволяет

					Лист
					4
Лист	№ докум	Подпись	Дата		

не допустить смешение потоков хладоносителя и теплоносителя, как описано выше. Поступая в накопительный бак 11 цикл движения теплоносителя при первом режиме работы реверсивной установки для очистки воды при помощи вымораживания повторяется.

Второй режим работы реверсивной установки для очистки воды при помощи вымораживания.

Хладоноситель циркуляционным насосом 1 из накопительного бака 7, который предназначен для непрерывной подачи хладоносителя в систему и для сбора хладоносителя из системы при переходе в первый режим и в случае ремонта, подается в пластинчатый испаритель 2. В котором он охлаждается от температуры -3°C до температуры -5°C за счет кипения холодильного агента при -10°C . После пластинчатого испарителя хладоноситель поступает в трехходовой вентиль. Трехходовой вентиль позволяет направлять поток либо в рабочие емкости, либо возвращать хладоноситель в накопительный бак 7. Это позволяет в период переключения установки между режимами не останавливать работу холодильной установки, так как остановка и пуск оборудования снижают срок эксплуатации. В случае подачи хладоносителя в четырехходовой мы имеем возможность направить поток в одну из двух рабочих емкостей. Стоит отметить, что данный четырехходовой вентиль, направляя хладоноситель в одну из рабочих емкостей, автоматически направляет теплоноситель во вторую емкость, тем самым исключает возможность ошибки одновременного охлаждения или нагревания обеих рабочих емкостей. Во втором режиме хладоноситель направляется в рабочую емкость 10. В рабочей емкости 10 происходит охлаждение воды и частичная кристаллизация молекул воды в рабочих цилиндрах. Хладоноситель, в свою очередь, забирая тепло, нагревается на 2°C . Соответственно, на выходе температура хладоносителя становится -3°C . После рабочей емкости 10 хладоноситель поступает в четырехходовой вентиль 6. Вентиль 6 предназначен для направления потока в накопительный бак 7. Кроме этой функции, четырехходовой вентиль 6 направляет поток теплоносителя с рабочей емкости 5 в накопительный бак 11. Это также позволяет не допустить смешение потоков хладоносителя и теплоносителя. Кроме этого при монтаже и эксплуатации во избежание смешения потоков нужно, чтобы ручки четырехходовых клапанов во втором режиме находились во втором положении, а в первом режиме находились в первом положении. Это позволит избежать смешения потоков хладоносителя и теплоносителя, так как если четырехходовой вентиль 4 направит поток хладоносителя в рабочую емкость 10, а четырехходовой вентиль 6 направит поток из рабочей емкости 10 в накопительный бак 11, то произойдет смешение теплоносителя и хладоносителя. В этом случае установка работать не будет, так как не хватит мощности холодильного оборудования. Поступая в накопительный бак 7, цикл движения хладоносителя при втором режиме работы реверсивной установки для очистки воды при помощи вымораживания повторяется. Похожее описание второго режима и повторяющиеся акценты обусловлены важностью недопущения ошибок, которые могут привести к негативным последствиям в процессе эксплуатации реверсивной установки для очистки воды при помощи

						Лист
						4
	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

вымораживания. В связи с этим описание работы контура теплоносителя, приведенного ниже выполнено по тому же принципу.

Теплоноситель циркуляционным насосом 8 из накопительного бака 11, который предназначен для непрерывной подачи теплоносителя в систему и для сбора теплоносителя из системы при переходе во второй режим и в случае ремонта, подается в пластинчатый конденсатор 9, в котором он нагревается от температуры 31°C до температуры 35°C, за счет теплообмена с горячим хладагентом. После пластинчатого конденсатора теплоноситель поступает в четырехходовой вентиль 4. После подачи теплоносителя в четырехходовой мы имеем возможность направить поток в одну из двух рабочих емкостей. Во втором режиме теплоноситель направляется в рабочую емкость 5. Не забываем о том, что данный четырехходовой вентиль, направляя теплоноситель в одну из рабочих емкостей, автоматически направляет хладагент в первую рабочую емкость 10, тем самым исключает возможность ошибки одновременного охлаждения или нагревания обеих рабочих емкостей. Это немаловажная тонкость, описанная выше, результат технического решения при проектировании реверсивной установки для очистки воды при помощи вымораживания. В рабочей емкости 5 происходит оттайка ледового массива, образовавшегося в результате работы установки в предыдущем режиме. Оттайка происходит за счет теплоносителя поступающего при температуре 35°C, соответственно тепло отданное теплоносителем для обеспечения фазового перехода льда в жидкость снижает температуру теплоносителя до 31°C. После рабочей емкости 5 теплоноситель поступает в четырехходовой вентиль 6. Вентиль 6 предназначен для направления потока в накопительный бак 11.

									Лист
									4
	Лист	№ докум	Подпись	Дата					

3 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КРИСТАЛИЗАЦИИ ВОДЫ В ЁМКОСТНОЙ УСТАНОВКЕ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО ВЫМОРАЖИВАНИЯ

3.1 Определение характеристик процесса разделительного вымораживания

Исследовали процесс вымораживания воды в емкостной установке разделительного вымораживания.

Перед началом каждого эксперимента в рабочую емкость вымораживателя заливалось 32 л воды, предварительно охлажденной до температуры 1° С. Измерителем регулятором ОВЕН ТРМ1 задавалась температура хладоносителя минус 2, минус 5, минус 7 и минус 10° С, эксперимент проводился в течении 15, 30, 60, 90, 120 и 180 мин. По истечении заданного времени незамерзшая вода сливалась и с помощью мерного цилиндра определялось количество вымороженной воды.

Результаты определения количества вымороженной воды в процессе кристаллизации в зависимости от времени и температуры хладоносителя представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Количество вымороженной воды в процессе кристаллизации, кг

Время, мин.	Температура хладоносителя, °С			
	-2	-5	-7	-10
15	0,20	0,20	0,20	0,20
30	0,41	0,45	0,45	0,45
60	0,66	0,95	1,00	1,01
90	0,87	1,24	1,43	1,46
120	1,08	1,50	1,70	1,81
180	1,39	1,95	2,25	2,43

Представленные данные свидетельствуют о том, что с понижением температуры хладоносителя масса вымороженной воды увеличивается, причем, чем большее времени длился процесс кристаллизации, тем более явно проявлялась эта зависимость.

Масса льда, образовавшегося в процессе кристаллизации, является относительной величиной, которая зависит не только от продолжительности вымораживания и температуры хладоносителя, но и от геометрии самого кристаллизатора, поэтому для разработки технологического процесса криоконцентрирования более информативной характеристикой является толщина намораживаемого слоя льда.

Для определения толщины слоя льда вначале был произведен расчет ее высоты, м по формуле:

$$h_{\text{л}} = \frac{4 \cdot V_{\text{см}}}{\pi \cdot D^2}, \quad (3.1)$$

где $V_{\text{см}}$ - объем водоледяной смеси (определяется как сумма объема незамороженной воды и намороженного льда), м³; D – диаметр рабочей емкости вымораживателя, равный 0,174 м.

Стоит отметить, что при определении объема водоледяной смеси учитывались значения плотности воды и льда, составляющие соответственно 0,9982 и 0,917 г/см³.

Затем был рассчитан внутренний диаметр замерзшего ледяного массива, м:

$$D_{\text{л.м.}} = \sqrt{\frac{D^2 - 4 \cdot V_{\text{л}}}{\pi \cdot h_{\text{л}}}}, \quad (3.2)$$

где $V_{\text{л}}$ - объем образовавшегося льда, м³.

Толщина намороженного слоя льда, мм определялась по следующей формуле:

$$S = \frac{D - D_{\text{л.м.}}}{2} \cdot 1000. \quad (3.3)$$

По полученным данным был построен график изменения толщины намораживаемого слоя льда в зависимости от времени при различных значениях температуры хладоносителя (рисунок 3.1).

						Лист
						4
Лист	№ докум	Подпись	Дата			

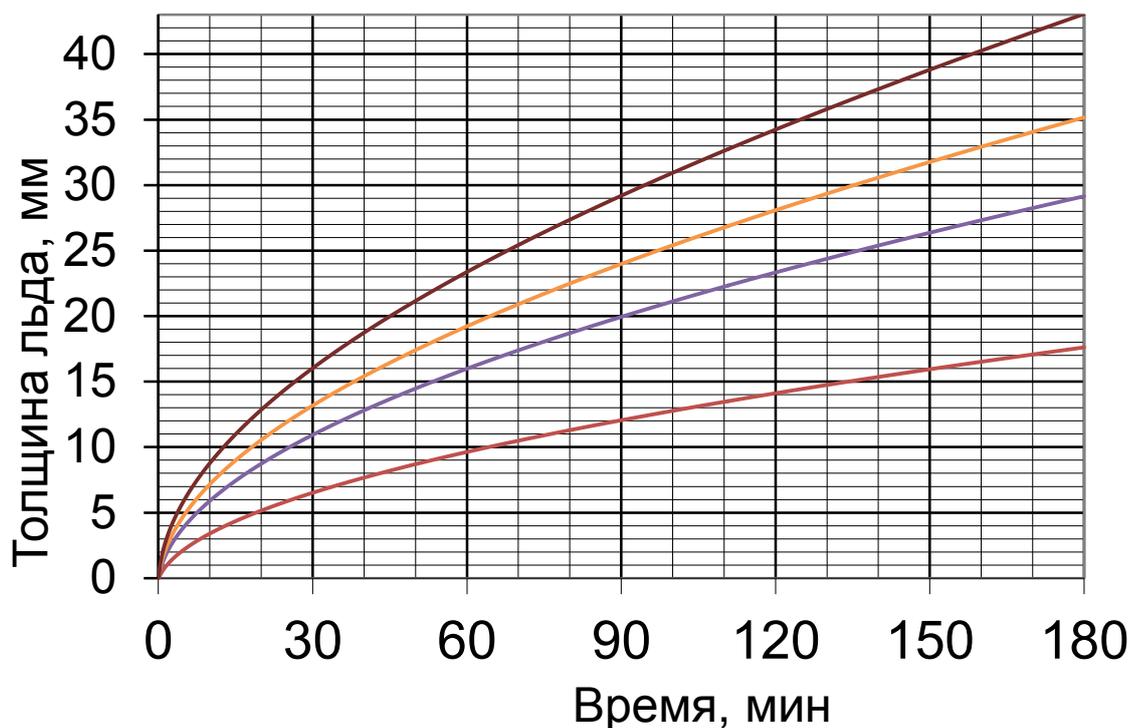


Рисунок 3.1. Зависимость толщины намораживаемого слоя льда от времени кристаллизации при температуре хладоносителя:

1 - минус 10° С; 2 - минус 7° С; 3 - минус 5° С; 4 - минус 2° С

Из графика, представленного на рисунке 3.1, видно, что скорость образования льда имеет нелинейный характер и в процессе кристаллизации снижается. Данный факт обусловлен тем, что по мере роста толщины слоя льда термическое сопротивление между теплообменной поверхностью и водой повышается, что снижает эффективность отвода теплоты. При температурах хладоносителя -10, -7 и -5° С наибольшая скорость образования льда наблюдалась в диапазоне от 30 до 60 мин. В том случае, когда температура хладоносителя составляла минус 2° С, скорость кристаллизации была максимальной в первые 30 мин процесса замораживания. Через 180 мин после начала процесса кристаллизации толщина образовавшегося слоя льда при температурах хладоносителя минус 2, минус 5, минус 7 и минус 10° С составила соответственно 18,6; 27,4; 32,5 и 35,8 мм.

Удельный объем намороженного льда в процессе разделительного вымораживания при различных температурах хладоносителя представлены на рисунке 3.2.

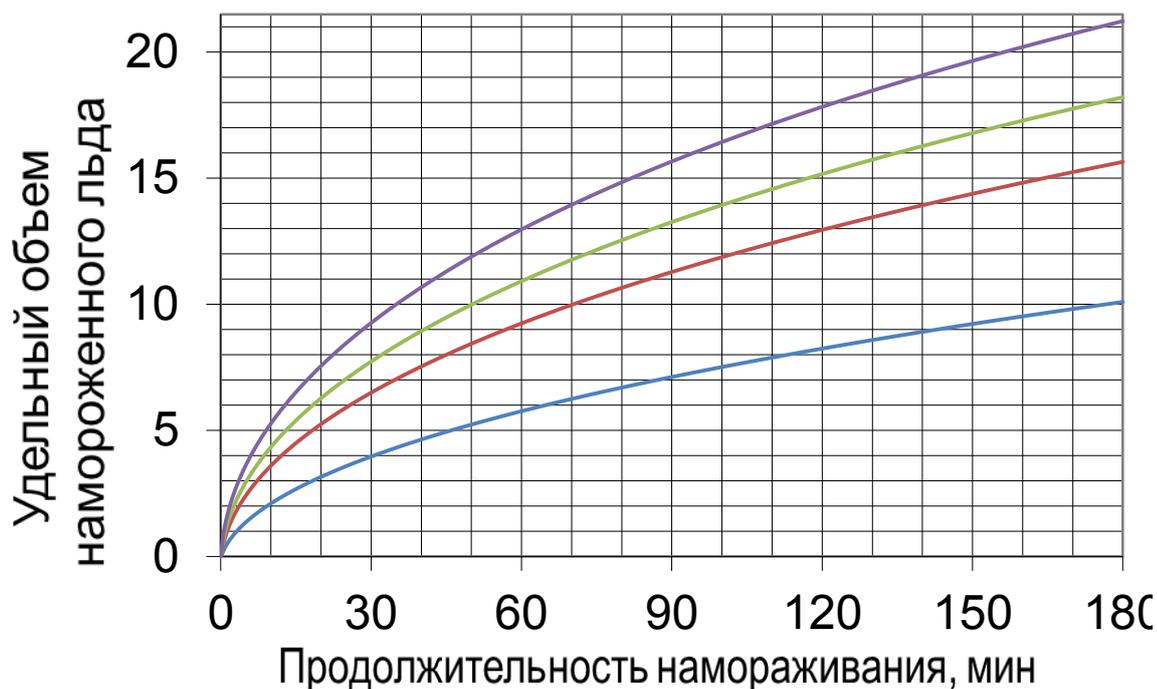


Рисунок 3.2. Величина удельного объема замороженного льда в процессе кристаллизации при температуре хладоносителя:

1 - минус 10° С; 2- минус 7° С; 3- минус 5° С; 4- минус 2° С

Из графика на рисунке 3.2 видно, что удельный объем замороженного льда в значительной степени зависит от температуры хладоносителя. Так при температуре хладоносителя -10°С после 3 часов работы кристаллизатора удельный объем составляет более 20 л/м, а при температуре хладоносителя -2°С лишь 10 л/м. из этого можно сделать вывод, что с точки зрения эффективности замораживание следует производить при температурах хладоносителя ниже -10°С. Однако в дальнейшем получив результаты по качеству отделения примесей и учитывая полученные результаты по удельному объему можно подбирать температуру хладоносителя в зависимости от предъявляемых требований к качеству получаемого продукта.

Для определения наиболее оптимальной толщины льда, замораживаемого на рабочей поверхности, был построен график зависимости скорости замораживания льда от толщины слоя образовавшегося льда (рисунок 3.3).

Из графика, приведенного на рисунке 3.3, следует, что по мере увеличения толщины слоя льда, происходит снижение скорости замораживания льда на протяжении всего технологического процесса. Из графика хорошо видно, что наибольшая скорость наблюдается, в зависимости от температуры

хладоносителя, до толщины льда от 5мм.до 8мм. Из этого следует, что при температуре хладоносителя -2°C наиболее целесообразно вводить процесс кристаллизации до толщины 5мм. При температуре хладоносителя -10°C процесс кристаллизации можно выполнять до толщины намораживаемого слоя 8мм. Снижение скорости намораживания обусловлено уменьшением эффективности отведения тепла от границы вода-лед. Причиной снижения эффективности является увеличение расстояния между рабочей поверхностью цилиндра и незамерзшей воды. Это явление ограничивает время эффективной работы криоконцентратора. При намораживании следует руководствоваться данными представленными в графике на рисунке 3.3 для определения оптимального временного интервала работы криоконцентратора основанного на способе разделительного вымораживания.

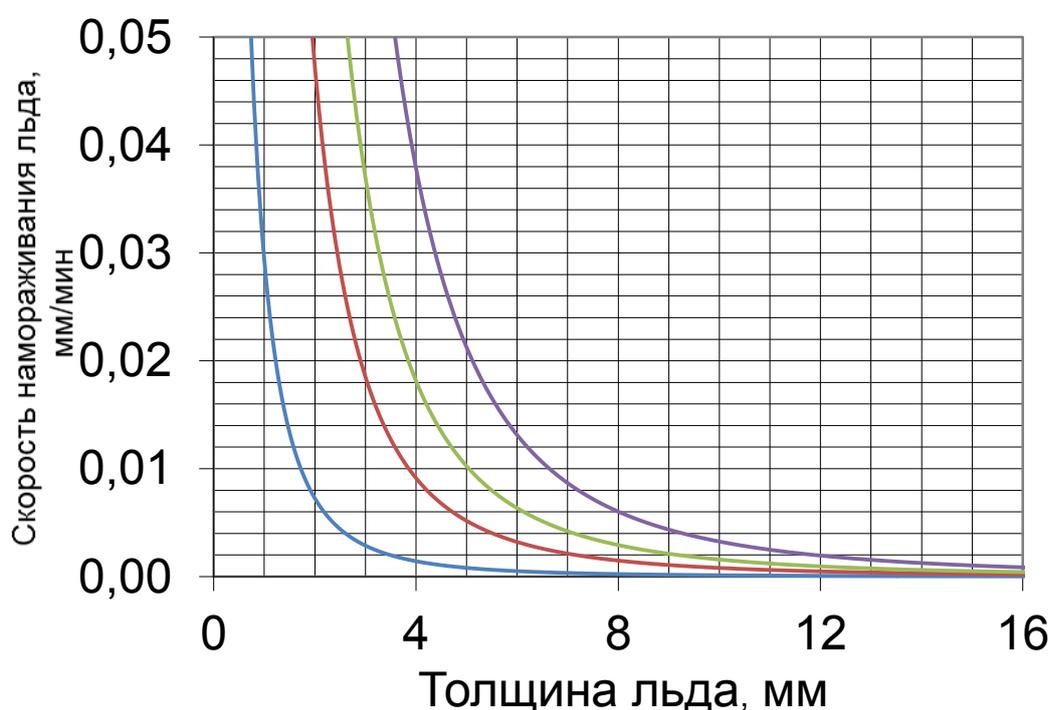


Рисунок 3.3. Зависимость скорости намораживания льда от толщины слоя льда в процессе кристаллизации при температуре хладоносителя:

1 - минус 2°C , 2 - минус 5°C , 3 - минус 7°C , 4 - минус 10°C

Таким образом, разделительное вымораживание сопровождается наиболее эффективными режимами работы при непрерывной работе холодильной машины до достижения слоя льда в $5\div 10$ мм. В данном случае длительность этого процесса составила $20\div 60$ мин., хладоноситель к тому времени охлаждался до температуры $-6\div -7^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, в ходе лабораторных исследований было установлено, что разделительное вымораживание сопровождается наибольшей

эффективностью при непрерывной работе холодильной машины до достижения слоя льда в 5÷10 мм. Разделительное вымораживание при более низких температурах ведет к снижению скорости намораживания льда и является нецелесообразным.

3.2 Определение характеристик вымороженной воды

Проводили исследования физико-химических свойств воды после разделительного вымораживания.

Исследование свойств воды осуществляли по схеме, представленной на рисунке 3.5.

В качестве исходной воды использовали воду из водопроводной сети города Кемерово. Разделительное вымораживание осуществляли при температурах -2°C и -5°C в установке разделительного вымораживания, изображенной на рисунке 2.2. Процесс разделительного вымораживания осуществляли до толщины слоя льда 10÷12 мм.

Органолептические и физико-химические показатели качества воды (цветность воды, сухой остаток воды, жесткость, окисляемость, содержание фторидов и хлоридов) определяли по методикам, представленным в п. 2.3.

К органолептическим показателям воды относятся такие свойства, как запах, привкус, цветность и мутность воды.

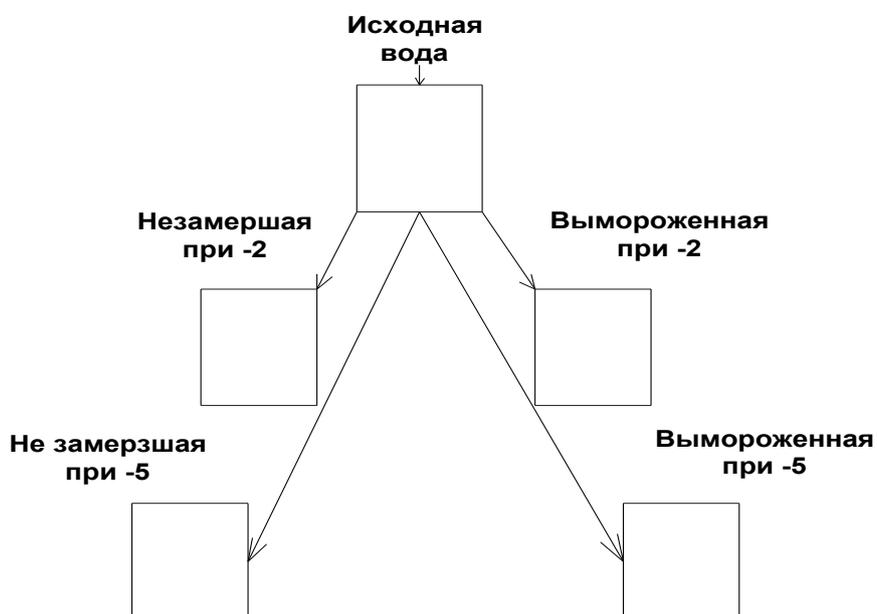


Рисунок 3.5 - Схема исследований воды после разделительного вымораживания

Наличие запахов и привкусов обусловлено содержанием в воде различных газов, минеральных солей, органических веществ, жизнедеятельностью микроорганизмов.

Запах воды может иметь природное и искусственное происхождение. К природным запахам относят: болотный, гнилостный, землистый сероводородный. К искусственным запахам относят: ароматический, хлорный, фенольный, хлорфенольный, нефтяной.

Вода может иметь привкус. Привкусы воды разделяют на горьковатый, солоноватый, сладковатый, кисловатый и т.д.

Как правило, с повышением температуры запахи и привкусы усиливаются. Вода, используемая для питья, не должна иметь при температуре 60° С оценку более 2 баллов.

Цветность воды, то есть ее оптический оттенок, свойственен, как правило, водам поверхностных источников. Цветность воды может быть вызвана природными веществами: сложными высокомолекулярными соединениями почвенного происхождения, растворенным железом, находящимся в коллоидной форме, а также содержанием в воде некоторых ионов. Кроме того, на оптический оттенок воды могут оказывать влияние вещества, попадающие в водные объекты со сточными водами.

Цветность воды измеряется в градусах стандартной платинокобальтовой шкалы, путем сравнения исследуемой пробы с водой эталонной цветности. Цветность питьевой воды не должна превышать 20 градусов стандартной платинокобальтовой шкалы. В некоторых случаях, по согласованию с органами санитарного надзора, этот показатель может достигать 35 градусов.

Мутность (прозрачность) воды зависит от наличия в ней взвешенных частиц и определяется, путем сравнения проб исследуемой воды со стандартными суспензиями. Результаты измерений выражают в мг/дм³.

Нормативы органолептических показателей приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2. Органолептические показатели питьевой воды

Показатель	Единица измерения	Норматив, не более
Запах	Балл	2
Привкус	Балл	2
Цветность	Градус	20 (35)
Мутность	ЕМФ (единицы мутность по фармазину)	2,6 (3,5)*
	мг на литр (мл/л, по каолину)	1,5 (2)

К химическим показателям качества воды относятся водородный показатель рН, общая минерализация (сухой остаток), жесткость, щелочность, окисляемость, а также концентрация растворенных органических и неорганических веществ, нефтепродуктов, поверхностно-активных веществ и т.д.

Водородный показатель воды – это показатель концентрации водородных ионов. Активная реакция воды в зависимости от концентрации водородных ионов может быть нейтральной, кислой или щелочной. Для питьевой воды величина рН должна составлять от 6 до 9.

Общая минерализация – это суммарная концентрация анионов, катионов и диссоциированных, растворенных в воде, органических веществ. Общая минерализация воды совпадает с сухим остатком.

Жесткость воды зависит от содержания в ней катионов кальция и магния, образующих малорастворимые соли с карбонатными и гидроксильными ионами.

Окисляемость воды обусловлена наличием в ней органических веществ, а также ряда легко окисляющихся неорганических примесей, таких как двухвалентное железо, сероводород, сульфиты и т.д.

Окисляемость воды определяют количеством кислорода, израсходованного при химическом окислении содержащихся в воде органических и неорганических веществ под действием различных окислителей.

В таблице 3.3 представлены химические показатели воды и их нормативы (ПДК).

Таблица 3.3. Химические показатели питьевой воды

Показатель	Единица измерения	Норматив (ПДК), не более
Водородный показатель	рН	6÷9
Общая минерализация (сухой остаток)	мг/л	1000 (1500)
Жесткость общая	моль/л	7,0 (10,0)
Окисляемость перманганатная	мгО/л	5,0
Нефтепродукты	мг/л	0,1
Поверхностно-активные вещества	мг/л	0,5
Фенольный индекс	мг/л	0,25

Результаты проведенных исследований представлены на рисунках 3.6÷3.11. Данные основаны на протоколах лабораторных исследований Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека Кемеровского филиала ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии по железнодорожному транспорту» (Приложения).

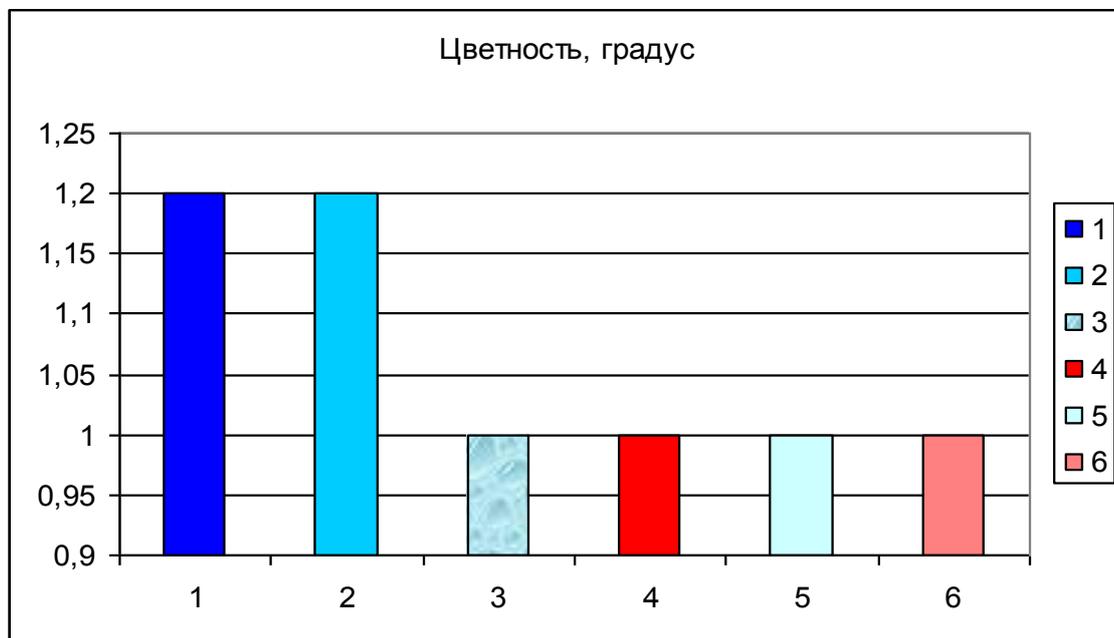


Рисунок 3.6. График анализа цветности исследуемой воды

1 - вода из водопроводной системы; 2 - отстоявшаяся вода; 3 - вымороженная при -2°C ; 4 - незамерзшая при -2°C ; 5 - вымороженная при -5°C ; 6 - незамерзшая при -5°C

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что вымораживание, в целом, снижает цветность воды. Возможно, при низкотемпературном воздействии выпадают в осадок вещества, влияющие на показатели цветности воды. Хотя, изменения цветности очень незначительны.

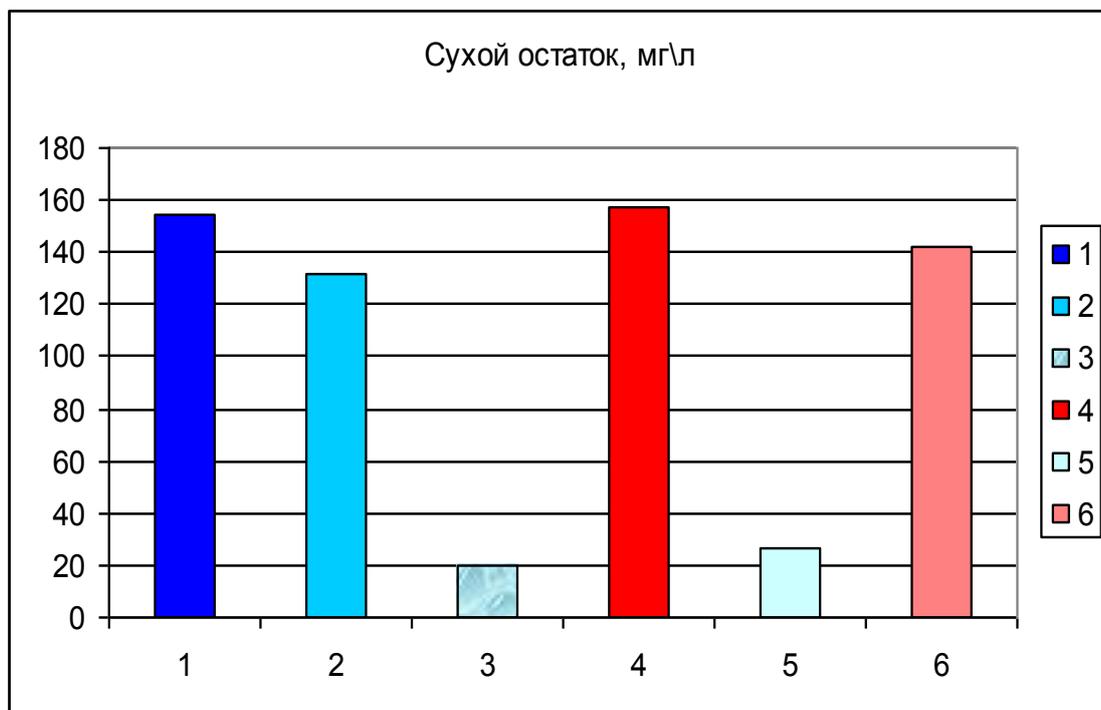


Рисунок 3.7. Сухой остаток воды после разделительного вымораживания

1 - вода из водопроводной системы; 2 - отстоявшаяся вода; 3 - вымороженная при -2°C ; 4 - незамерзшая при -2°C ; 5 - вымороженная при -5°C ; 6 - незамерзшая при -5°C .

Приведенные результаты свидетельствуют о значительном влиянии разделительного вымораживания на содержание растворенных веществ. Наименьший сухой остаток имеет вода, вымороженная при температуре -2°C . Наибольший сухой остаток имеет вода, оставшаяся незамерзшей при температуре -2°C . Вода, вымороженная при температуре -5°C , имела несколько больший сухой остаток, в то же время вода, оставшаяся незамерзшей, имела несколько меньший сухой остаток по сравнению с водой, разделяемой при температуре минус 2°C . Это обусловлено, вероятно, большей скоростью процесса разделительного вымораживания при температуре -5°C . При более высокой скорости кристаллизации в формирующийся массив льда захватывается большее количество растворенных веществ и, соответственно, меньшее их количество остается в жидкой фазе. При более медленной кристаллизации осуществляется более глубокое отделение воды от растворенных в ней компонентов.

Значительное снижение содержания сухого остатка в отстоявшейся воде по сравнению с водопроводной объясняется выпадением в осадок некоторого количества растворенных компонентов при отстаивании.

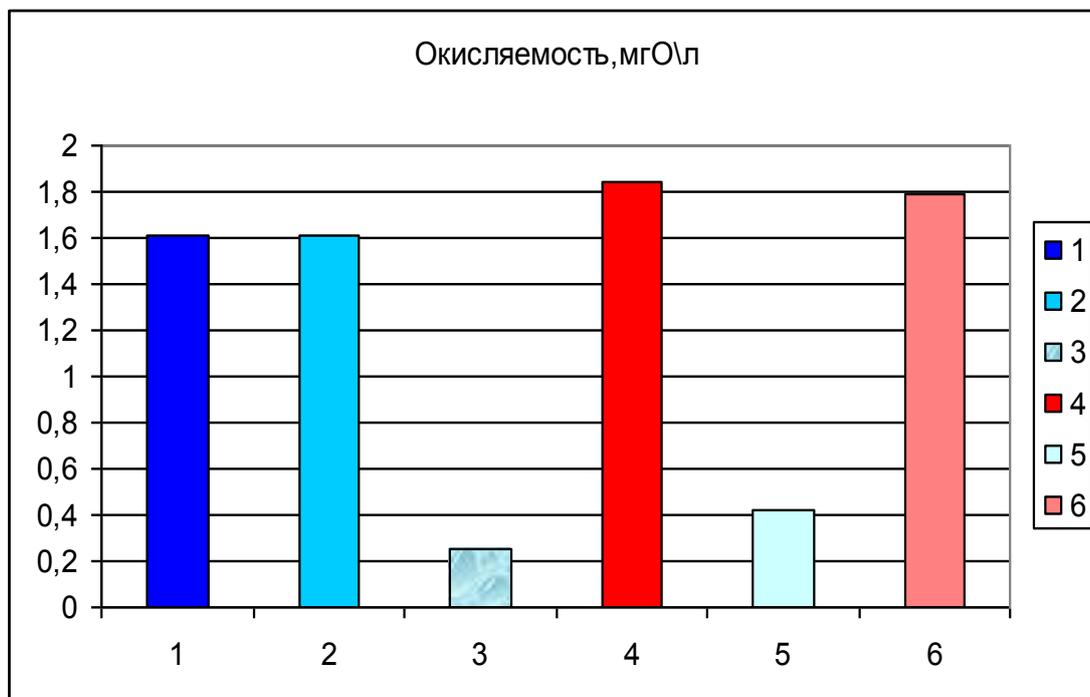


Рисунок 3.9. Окисляемость исследованной воды

1 - вода из водопроводной системы; 2 - отстоявшаяся вода; 3 - вымороженная при -2°C ; 4 - незамерзшая при -2°C ; 5 - вымороженная при -5°C ; 6 - незамерзшая при -5°C .

Наименьшая окисляемость воды обнаружена у воды, вымороженной при температуре -2°C . Наибольшая – у воды, не замерзшей при температуре -2°C . При этом окисляемость воды оставшейся не замерзшей при температуре -2°C и при температуре -5°C , отличаются не значительно.

Окисляемость водопроводной и отстоявшейся воды приблизительно одинакова.

Существенное снижение окисляемости вымороженной воды объясняется тем, что при кристаллизации из воды вытесняются растворенные в ней газы. В том числе и кислород.

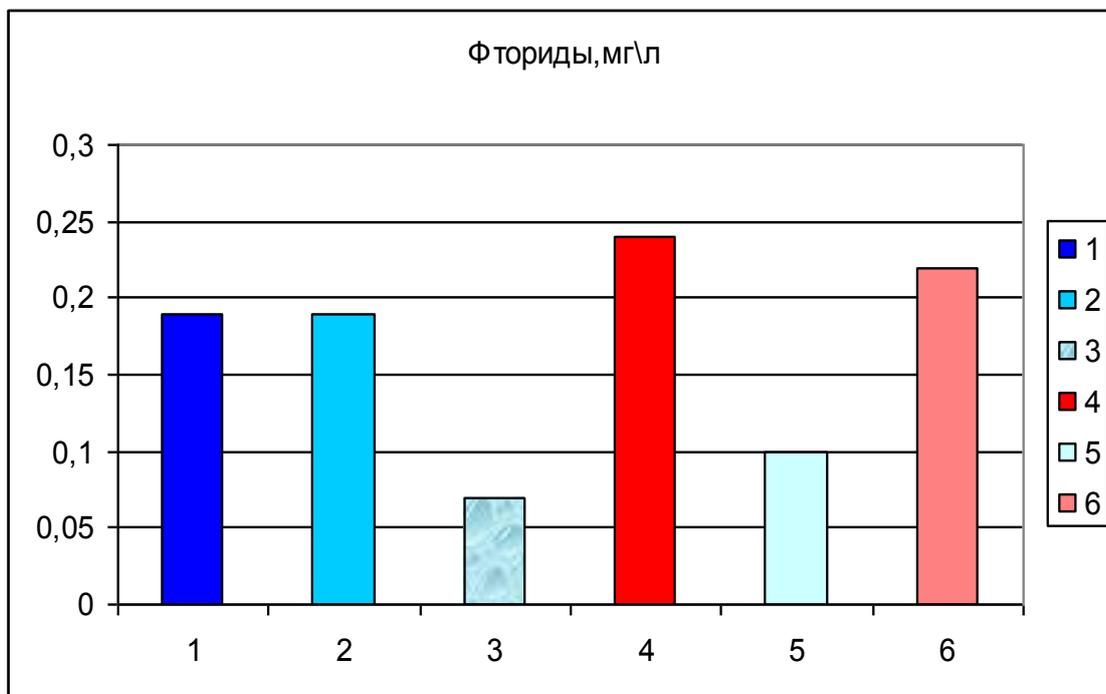


Рисунок 3.10. Содержание фторидов в исследованной воде

1 - вода из водопроводной системы; 2 - отстоявшаяся вода; 3 - вымороженная при -2° С; 4 - незамерзшая при -2° С; 5 - вымороженная при -5° С; 6 - незамерзшая при -5° С.

Содержание фторидов в водопроводной и отстоявшейся воде одинаково. Фториды не выпадают в осадок. Наименьшее содержание фторидов в воде, вымороженной при температуре -2° С. Наибольшее содержание фторидов наблюдалось в воде, оставшейся незамерзшей при температуре -2° С. Характер приведенных результатов свидетельствует о накоплении фторидов в незамерзшей воде и эффективном освобождении вымороженной воды от солей фтороводородной кислоты.

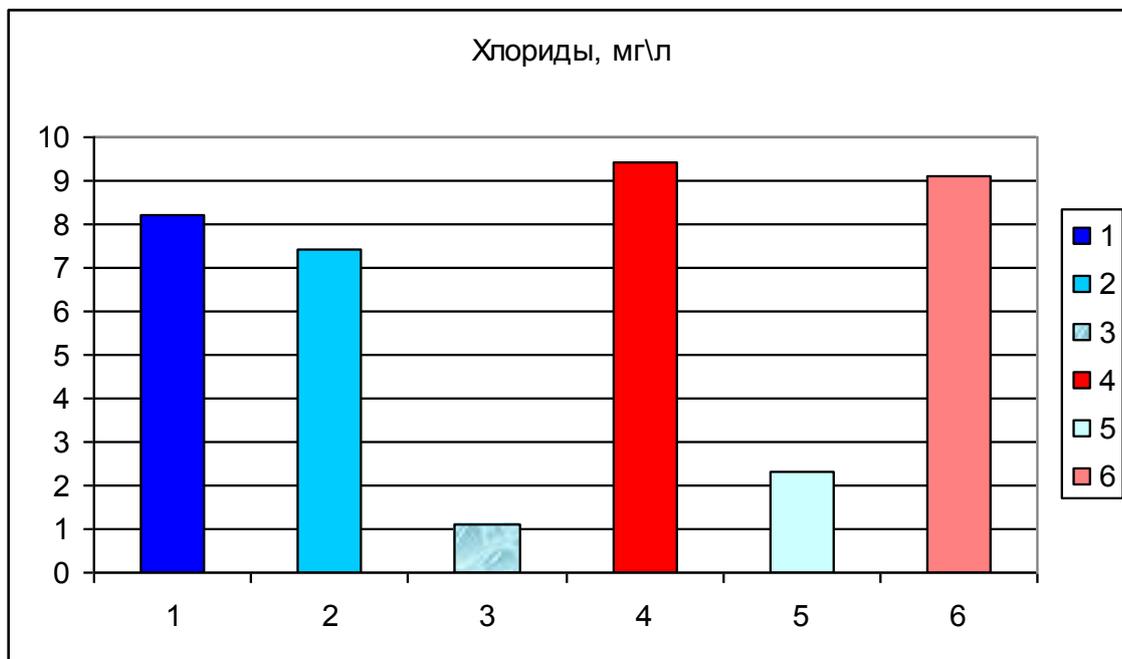


Рисунок 3.11. Содержание хлоридов в исследованной воде

1 - вода из водопроводной системы; 2 - отстоявшаяся вода; 3 - вымороженная при -2°C ; 4 - незамерзшая при -2°C ; 5 - вымороженная при -5°C ; 6 - незамерзшая при -5°C .

В целом соотношение содержания хлоридов в исследуемых образцах воды соответствует характеру распределения содержания фторидов в тех же образцах воды. Наименьшее содержание хлоридов наблюдалось у образцов воды, вымороженной при температуре -2°C . Наибольшее – в воде, оставшейся не замерзшей при температуре -2°C .

Показатели содержания фторидов в отстоявшейся воде имеют меньшее значение по сравнению с показателями воды, взятой из водопроводной сети. Это свидетельствует о выпадении некоторого количества солей соляной кислоты в осадок в процессе отстаивания.

Суммарные показатели химического состава исследованных образцов воды приведены в таблице 3.4.

В целом показатели исследованных образцов воды свидетельствуют о значительном улучшении показателей вымороженной воды по сравнению с водой из водопроводной сети, а также по сравнению с отстоявшейся водой.

Показатели воды, вымороженной при -5°C , также более высокие по сравнению с водой из водопроводной сети и отстоявшейся водой, но имеют худшие значения по сравнению с водой, вымороженной при температуре -2°C . Это объясняется тем, что процесс разделительного вымораживания при температуре -2°C идет медленнее, чем при температуре -5°C , поэтому выделение чистой воды идет более эффективно.

Таблица 3.4. Химический состав исследованных образцов воды

Показатель	Единица измерения	Вода						Гигиенические
		исходная	отстоявшаяся	вымороженная		незамерзшая		
				2° С	5° С	2° С	5° С	
Цветность	радус	,2	,2	,0	,0	,0	,0	0
Сухой остаток	г\л	154,4 ± 15,4	31,6 ± 13,2	9,6 ± 2,0	6,8 ± 2,7	57,1 ± 15,7	42,3 ± 14,2	000
Жесткость общая	Ж	,5 ± 0,4	,5 ± 0,4	,4 ± 0,2	,6 ± 0,2	,0 ± 0,4	,9 ± 0,2	
Окисляемость	гО\л	,61 ± 0,32	,61 ± 0,20	,25 ± 0,03	,42 ± 0,04	,84 ± 0,20	,79 ± 0,20	
Хлориды	г\л	,2 ± 1,7	,4 ± 1,7	,1 ± 1,1	,3 ± 1,1	,4 ± 1,6	,1 ± 1,5	50
Фториды	г\л	,19 ± 0,04	,19 ± 0,04	,07 ± 0,01	,1 ± 0,02	,24 ± 0,05	,22 ± 0,05	,5

В результате проделанной работы можно сделать вывод, разделительное вымораживание является эффективным способом очистки воды. Данный способ позволяет в значительной степени улучшить химические и органолептические показатели. Кроме того, универсальность данного способа позволяет без дополнительных стадий очистки получать высококачественный продукт в промышленных масштабах. Предложенное решение по практической реализации разделительного вымораживания является эффективным и с точки зрения энергоэффективности. Кроме разработки реверсивной установки для очистки воды при помощи вымораживания, разработан ряд приложений, носящих информационный характер. Приложения позволяют оператору очистительной установки понимать принцип работы и избежать ошибок при эксплуатации. Кроме этого, приложения позволяют обеспечить работу оператора, не обладающего специальными навыками. Отсутствие требований к специальным навыкам позволяют использовать приложения с пошаговой инструкцией запуска и переключения режимов работы реверсивной установки для очистки воды при помощи вымораживания.

										Лист
										4
	Лист	№ докум	Подпись	Дата						

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения дипломной работы:

1. Исследован процесс кристаллизации воды в емкостном кристаллизаторе установки разделительного вымораживания. Определены наиболее эффективные режимы разделительного вымораживания. Энергетически оптимальная толщина льда, намораживаемого в емкостном кристаллизаторе, составляет 13÷16 мм.
2. Исследовано влияние разделительного вымораживания на химический состав разделяемых компонентов: вымороженной воды и не замерзшего остатка.

Установлено, что понижение температуры хладоносителя ведет к ухудшению физико-химических показателей очищаемой воды. Наилучшая очистка воды разделительным вымораживанием наблюдалась при температуре хладоносителя -2°C . Разработана промышленная установка очистки воды вымораживанием производительностью 0,5 т/час. В процессе разработки и проектирования применены технические решения, позволяющие оптимизировать процесс очистки и повысить энергетическую эффективность холодильной установки.

3. При проектировании промышленной установки очистки воды вымораживанием разработаны:
 - 3.1 гидравлическая схема, позволяющая непрерывно обеспечить как процессы охлаждения и кристаллизации, так и процесс оттайки;
 - 3.2 использование теплоты конденсации холодильной установки, отводимой теплоносителем, для оттайки замороженного ледяного массива в рабочей емкости;
 - 3.3 техническое решение, позволяющее избежать остановки холодильной установки при переключении режимов работы рабочих емкостей;
 - 3.4 техническое решение, позволяющее избежать смешения теплоносителя и хладоносителя при помощи накопительных баков и сливных линий.

В процессе выполнения дипломной работы были получены навыки проектирования и опыт решения задач, которые не являются стандартными и появлялись в процессе выполнения диссертации.

						Лист
						4
	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов, Н.Н. Водоснабжение / Н.Н. Абрамов // Учебник для вузов. - Изд. 2-е перераб. и доп. - Москва: Стройиздат, 1974. - 480 с.
2. Антипов С.Т. Тепло- и массообмен при концентрировании жидких сред вымораживанием / С.Т. Антипов, В.Е. Добромиров, В.Ю. Овсянников; Воронеж. гос. технол. акад. Воронеж, 2004. –208с.
3. Беликов С.Е. Водоподготовка Справочник. / Под ред. д.т.н., действительного члена Академии промышленной экологии С.Е. Беликова. Москва: Аква-Терм, 2007. – 240 с.
4. Василенко Л.В. Методы очистки промышленных сточных вод / Л.В. Василенко, А.Ф. Никифоров, Т.В. Лобухина учебное пособие. / - Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. университет, 2009. – 174с.
5. Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод / Ю.В. Воронов, С.В. Яковлев Учебник для вузов: - Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006 – 704с.
6. Гинзбург, А.С. Теплофизические свойства пищевых продуктов / А.С. Гинзбург, М.А. Громов, Г.И. Красовская. – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.
7. Глазов М.В. Химическая термодинамика и фазовые равновесия / В.М. Глазов, Л.М. Павлов. – Москва, 1981. – 336с.
8. Гончарова Г.Ю. Создание новых ледовых покрытий спортивного назначения методом молекулярного воздействия и исследование их свойств: дис. д-ра тех. наук / Г.Ю Гончарова. – Москва, 2011. –239 с.
9. Громов С.Л. Мембранные технологии очистки воды для пищевой промышленности [Электронный ресурс] / С.Л. Громов, Е.Б. Федосеева. – Режим доступа: http://www.mediana-filter.ru/water_membrane_technology.html
10. Гужулев Э.П. Водоподготовка и вводно-химические режимы в теплоэнергетике: Учеб. пособие / Э.П. Гужулев, В.В. Шалай, В.И. Гриценко, М.А. Таран. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. – 384 с.
11. Гунько П.А. Исследование и разработка технологий извлечения белковых компонентов из творожной сыворотки низкотемпературными методами: дис. к-та тех. наук / П.А. Гунько. – Кемерово, 2014. – 124с.
12. Гунько, П.А. Очистка воды вымораживанием / П.А. Гунько // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. - 2011. - Т. 38. - № 4. - С. 74-75.
13. Драгинский, В.Л. Озонирование в процессах очистки воды. / В.Л. Драгинский, Л.П. Алексеева, В.Г. Самойлович.; под общ.ред. В.Л. Драгинского. – Москва: ДеЛи принт, 2007. -400с.
14. Ефимов О.Д. Фазовые равновесия в водно-солевых холодоаккумулирующих системах: дис. к-та тех. наук / О.Д. Ефимов. – Краснодар, 2001. – 137с.
15. Ивлева, А.М. Современные методы очистки воды / А.М. Ивлева, С.В. Образцов, А.А. Орлов // Учебное пособие. - Томск, ТПУ, 2010. - 78 с.

						Лист
						4
	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

16. Игнатова А.Ю. Мониторинг и охрана городской среды: учеб. пособие для студентов очной формы обучения специальности 120303 .Городской кадастр. / А. Ю. Игнатова.– Кемерово: ГУ КузГТУ, 2010. – 288с.
17. Карапетьянц М.Х. Химическая термодинамика. –3-е издание, переработано и дополнено. –Москва: Химия, –583с.
18. Копылов А.С. Водоподготовка в энергетике: Учебное пособие для вузов. – 2-е издание, стереот. – Москва: издательский дом МЭИ, 2006. –309с.
19. Короткий И.А. Исследование и разработка технологий замораживания и низкотемпературного хранения плодово-ягодного сырья сибирского региона: дис. д-ра тех. наук / И.А. Короткого. – Кемерово, 2009. – 372 с.
20. Кузнецов Д. М., Гапонов В. Л., Смирнов А. Н. О возможности исследования кинетики фазовых переходов в жидкой среде методом акустической эмиссии // Инженерная физика, 2008, № 1, С. 16—20.
21. Кульский Л.А. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды / Л.А. Кульский, И.Т. Гороновский, А.М. Когановский, М.А. Шевченко: справочник в двух частях. – Киев: «НАУКОВА ДУМКА», – 680с.
22. Кульский Л.А. Технология очистки природных вод /Л.А. Кульский, П.П. Строкач. – Киев: Вища шк. Головное из-во. 1986. –352с.
23. Лаптев Д.М. Химическая термодинамика: учебное пособие / Д.М. Лаптев, А.И. Пошевнева, Н.М. Кулагин; СибГИУ. – Новокузнецк, 2010. –160с.
24. Павлихин, Г.П. Расчет технологического оборудования для очистки воды: Методическое пособие - Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана,1999. - 24 с.
25. Пантелеев А.А. Технологии мембранного разделения в промышленной водоподготовке / А.А. Пантелеев, Б.Е. Рябчиков, О.В. Хоружий, С.Л. Хоружий, А.Р. Сидоров. – Москва: ДеЛи плюс, 2012. – 429с.
26. Пап Л. Концентрирование вымораживанием / Пер. с венг. под ред. О.Г. Комякова. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 96с.
27. Пат. 2077160 Российская Федерация. МПК С02F1/22. Способ улучшения качества питьевой воды вымораживанием / Сосновский А.В., Ивлиев С.А., Самойлов Р.С., Гохман В.В.; заявитель и патентообладатель Сосновский Александр Вульфович. - № 94011389/26; заявл. 01.04.1994; опубл. 10.04.1997.
28. Пермяков П.Г. Основные закономерности протекания химических процессов в газообразных и конденсированных системах: учебное пособие / П.Г. Пермяков, М.Х. Ахметов, С.В. Зенцова; СибГИУ. – Новокузнецк, 2009. –106с.
29. Плотников В.Т. Разделительные вымораживающие установки. / В.Т. Плотников, В.Н. Филаткин –Москва: Агропромиздат, 1987. –352с.
30. Рогов, И.А. Консервирование пищевых продуктов холодом / И.А. Рогов, В.Е. Куцакова, В.И. Филиппов, С.В.Фролов. –Москва: Колос, 1999. – 176 с.

										Лист
										4
	Лист	№ докум	Подпись	Дата						

Приложения.

Спецификация кристаллизатора

Поз. обознач	Наименование	Кол.	Примечание
1	Изолированный корпус кристаллизатора	1	
2	Рабочий цилиндр	16	
3	Сливной конус	1	
4	Крышка кристаллизатора	1	
5	Сливной коллектор	1	
6			