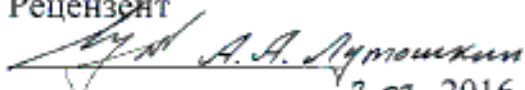


Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)  
Филиал ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ) в г. Усть-Катаве

Кафедра Технологические процессы и оборудование  
машиностроительного производства

ПРОЕКТ ПРОВЕРЕН

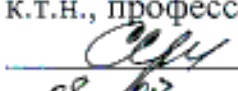
Рецензент

  
\_\_\_\_\_ А.А. Луритский  
\_\_\_\_\_ 3.07 2016 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой,

к.т.н., профессор


  
\_\_\_\_\_ С.В. Сергеев  
\_\_\_\_\_ 08.02 2016 г.

Автоматизация процесса охлаждения воды  
в вентиляторной градирне

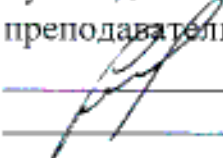
ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОМУ КВАЛИФИКАЦИОННОМУ ПРОЕКТУ  
ЮУрГУ–220301.2016.126.000ПЗ ВКП

Консультанты

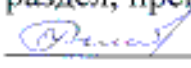
Безопасность жизнедеятельности,  
к.т.н., доцент

  
\_\_\_\_\_ В.Г. Некрутов  
\_\_\_\_\_ 22.06 2016 г.


Руководитель проекта,  
преподаватель

  
\_\_\_\_\_ О.В. Слепов  
\_\_\_\_\_ 20.06 2016 г.


Организационно-экономический  
раздел, преподаватель

  
\_\_\_\_\_ Н.В. Казакова  
\_\_\_\_\_ 21.06 2016 г.

Автор проекта  
студент группы У-КФл-601

  
\_\_\_\_\_ А.А. Сырцев  
\_\_\_\_\_ 20.06. 2016 г.

Нормоконтролер, к.т.н., доцент

  
\_\_\_\_\_ Р.Г. Закиров  
\_\_\_\_\_ 24.06. 2016 г.


Усть-Катав 2016

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)  
Филиал ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ) в г. Усть-Катаве

Кафедра                      Технологические процессы и оборудование  
   машиностроительного производства  
Специальность            220301 Автоматизация технологических процессов  
   и производств (машиностроение)

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой

 С.В. Сергеев  
29 / 03                      2016 г.

**ЗАДАНИЕ**

на выпускной квалификационный проект студента(ки)

Сырцева Александра Алексеевича

Группа У-КФл-621

1 Тема проекта: Автоматизация процесса охлаждения воды в вентиляторной градирне.

утверждена приказом по ректора ЮУрГУ от «15» 04 2016 г. № 661

2 Срок сдачи студентом законченного проекта 1 июня 2016 г.

3 Исходные данные к проекту

1 Чертеж Градирни

2 Функциональная схема автоматизации

3 Анализ существующих систем водооборота

4 Материал преддипломной практики

---

## 4 Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

### Аннотация

### Оглавление

### Введение

1 Обзор литературы и постановка задачи. 1.1 Особенности систем производственного водоснабжения. 1.2 Требования к качеству воды в системах производственного водоснабжения и методы его обеспечения. 1.3 Постановка задачи.

2 Сравнительная оценка отечественных и передовых зарубежных технологий и решений.

3 Классификация и область применения градирен. 3.1 Охлаждающие устройства систем оборотного водоснабжения. 3.2 Принципы охлаждения воды в градирнях. 3.3 Технологические элементы градирен 3.4 Аэродинамический расчет градирни. 3.5 Показатели материального баланса потерь воды в градирне.

4 Конструкторский раздел. 4.1 Автоматизация вентиляторных градирен. 4.2 Аппаратные средства автоматизации вентиляторных градирен. 4.3 Алгоритмическое и программное обеспечение работы вентиляторной градирни. 4.4 Компьютерное моделирование.

5 Организационно-экономический раздел. 5.1 Обоснование проектной разработки. 5.2 Расчет себестоимости проекта автоматизации. 5.3 Расчет экономичности и сроков окупаемости САУ водооборота

6 Безопасность жизнедеятельности 6.1 Шумовые характеристики градирен 6.2 Воздействие выбрасываемых из градирен аэрозолей на окружающую среду 6.3 Обеспечение безопасных условий труда на автоматизированном участке. 6.4 Проектирование защитного заземления участка. 6.5 Мероприятия по уменьшению последствий ураганов и бурь

### Заключение

### Библиографический список

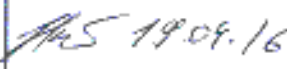



---

5 Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

5.1 Автоматизация процесса охлаждения воды. Теоретический чертеж.	1 л
5.2 Вентиляторная градирня.	1 л
5.3 Функциональная схема оборотного водоснабжения. Плакат.	1 л
5.4 Функциональная схема автоматизации. Плакат.	1 л
5.5 Схема соединений диспетчерской. Плакат.	1 л
5.6 Функциональная схема преобразования сигнала управления. Плакат.	1 л
5.7 Математическая модель автоматизации процесса охлаждения воды . Теоретический чертеж.	1 л
5.8 Технико-экономические показатели. Теоретический чертеж.	1 л
5.9 Вывод по работе. Теоретический чертеж.	1 л

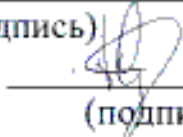
Всего 9 листов

6 Консультанты по проекту, с указанием относящихся к ним разделов проекта

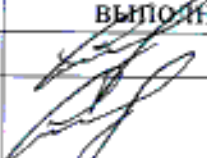
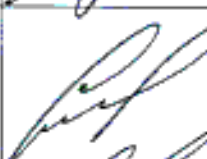

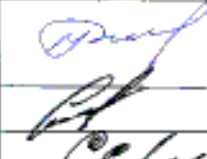
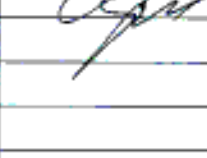


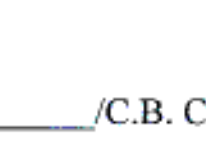
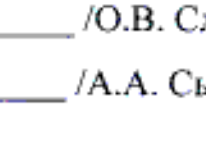
Раздел	Консультант	Подпись, дата	
		Задание выдал (консультант)	Задание принял (студент)
Безопасность жизнедеятельности	Некрутов В.Г.	 19.09.16	
Организационно-экономический	Казакова Н.В.	 19.04.16	

7 Дата выдачи задания 29 марта 2016 г.

Руководитель.  Слепов Олег Владимирович  
(подпись) (ФИО)

Задание принял к исполнению  Александр Алексеевич Сырцев  
(подпись студента)

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов дипломного проекта (работы)	Срок выполнения этапов проекта	Отметка о выполнении
Введение	31.03.2016	
Обзор литературы и постановка задачи	08.03.2016	
Сравнительная оценка отечественных и передовых зарубежных технологий и решений	11.04.2016	
Общий обзор	18.04.2016	
Специальная часть	02.05.2016	
Безопасность жизнедеятельности	19.05.2016	
Организационно-экономический раздел	26.05.2016	
Оформление проекта	30.05.2016	
Направление на рецензию	01.06.2016	

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  /С.В. Сергеев /

Руководитель проекта \_\_\_\_\_ /О.В. Слепов/

Студент \_\_\_\_\_  /А.А. Сырцев/






## Аннотация

Сырцев, А. В. Автоматизация системы водооборота. – Усть-Катав: ЮУрГУ филиал в г. Усть-Катаве, 2016, 82 с. 46 илл. Библиография литературы – 25 наименований, 1 листа чертежей ф. А1, 8 листов плакатов ф. А1

В данном дипломном проекте рассмотрена автоматизированная система управления водооборота предприятия. Произведен сравнительный анализ градирен, используемых для охлаждения воды, так же выбран программируемый логический контроллер для сбора информации.

В проекте выполнено описание разработанной системы управления вентиляторной градирней. Разработана система управления водооборотом. Документ включает в себя сведения об использованном программном обеспечении, описание функционального назначения программируемого логического контроллера.

Выполнен расчет материальных затрат на проектирование и реализацию автоматизированной системы. Разработаны требования безопасности к системе водооборота.

220301.2016.126.000 ПЗ								
					Автоматизация процесса охлаждения воды в вентиляторной градирне			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Сырцев А. А.		30.06.16		Д	4	
Провер.		Слепова О. В.		30.06.16				
Реценз.		Ахметов К. И.		30.06.16				
Н. Контр.		Захаров Р. Г.		30.06.16				
Утверд.		Сергеев С. В.		30.06.16				
						Филиал ФГБОУ ВПО "ЮУрГУ" ИНИУ в г. Усть-Катаве Кафедра ТП/ОМП		

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
<b>1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ</b>	
1.1 Особенности систем производственного водоснабжения	9
1.2 Требования к качеству воды в системах производственного водоснабжения и методы его обеспечения .....	12
1.3 Постановка задачи	
Вывод по разделу один.....	20
<b>2 СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ.....</b>	<b>21</b>
Вывод по разделу два.....	22
<b>3 КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГРАДИРЕН</b>	
3.1 Охлаждающие устройства систем оборотного водоснабжения .....	23
3.2 Принципы охлаждения воды в градирнях .....	33
3.3 Технологические элементы градирен	
3.3.1. Водораспределительные системы.....	37
3.3.2. Оросительные устройства.....	39
3.3.3. Водоуловительные установки.....	43
3.4 Аэродинамический расчет градирни	
3.4.1 Аэродинамический расчет существующей градирни.....	44
3.4.2 Аэродинамический расчет модернизированной градирни....	45
3.5 Показатели материального баланса потерь воды в градирне...	48
<b>4. КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ</b>	
4.1 Автоматизация вентиляторных градирен.....	51
4.2 Аппаратные средства автоматизации вентиляторных Градирен.....	53
4.3 Алгоритмическое и программное обеспечение работы вентиляторной градирни.....	57
4.4 Компьютерное моделирование.....	59
<b>5 ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ</b>	
5.1 Обоснование проектной разработки	
5.1.1 Определение трудоемкости разработки.....	62
5.2 Расчет себестоимости проекта автоматизации	
5.2.1 Материальные затраты на средства автоматизации и заработную плату.....	65
5.3 Расчет экономичности и сроков окупаемости САУ водооборота.....	68

## 6 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

6.1 Шумовые характеристики градирен	
6.1.1 Основные мероприятия по снижению шума градирен.....	70
6.2 Воздействие выбрасываемых из градирен аэрозолей на окружающую среду.....	71
6.3 Обеспечение безопасных условий труда на автоматизированном участке .....	72
6.4 Проектирование защитного заземления участка .....	76
6.5 Мероприятия по уменьшению последствий ураганов и бурь	
6.5.1 Меры предосторожности от воздействия ураганов и бурь...	79
6.5.2 Классификация интенсивности смерчей Фуджиты-Пирсона.	80
6.5.3 Рекомендации по поведению при ураганах и бурях	
Вывод по разделу шесть.....	81
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	82
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	83

					220301.2013.837.00.000 ПЗ	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время вопросы ускорения научно-технического прогресса, развития промышленности, рационального использования природных ресурсов приобретают исключительное значение. Также предусматриваются повышения эффективности мер по охране природы, используются малоотходные и безотходные технологические процессы, повышается эффективность работы очистных сооружений и установок.

Обеспечение водой современных цехов производится путем создания систем оборотного водоснабжения. Это дает возможность сократить до минимума потребление свежей воды и сброс сточных вод в водоемы. Кроме того, шламы, образующиеся при осветлении сточных вод, содержат много ценных компонентов, что позволяет подвергать их утилизации в агропроизводстве. Это дает ощутимый технико-экономический эффект, в результате освобождаются земельные площади, снижается загрязнение поверхностных вод и почвы, повышается эффективность работы предприятия.

Бурное развитие промышленности вызывает необходимость в предотвращении отрицательного воздействия производственных сточных вод на водоемы. В связи с большим разнообразием состава, свойств и расходов сточных вод необходимо применение специфических методов, а также сооружений по их локальной, предварительной и полной очистке.

Потребление свежей воды в промышленности в значительной мере может быть уменьшено за счет перехода производств на безотходные, безводные или маловодные технологии. Однако многие производственные процессы не всегда в полной мере позволяют использовать такие технологии. Тогда на первый план в реализации задачи экономии воды в промышленности вступают охлаждающие системы оборотного водоснабжения с градирнями различных типов и конструкций.

Аппараты для охлаждения воды при ее непосредственном контакте с воздухом (градирни), в настоящее время широко используются во всех отраслях промышленности, где есть потребность в охлаждении оборотной воды. Масштабы использования градирен колоссальны.

В промышленности и энергетике охлажденной на градирнях оборотной водой осуществляется конденсация отработавшего пара и газообразных продуктов, охлаждение жидких продуктов, а также оборудования и механизмов в целях предохранения их от быстрого разрушения под влиянием высоких температур. От эффективности работы градирен зависит степень реализации преимуществ систем оборотного водоснабжения в техническом и экологическом аспектах в сравнении с прямоточными системами, а также производительность технологического оборудования, качество и себестоимость вырабатываемой продукции, удельный расход сырья, топлива и электроэнергии.

При применении в производстве оборотного водоснабжения качество выпускаемой продукции зависит от качества и температуры оборотной воды. В практике производственного водоснабжения подготовка оборотных вод

									Лист
									7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	220301.2016.126.000 ПЗ				

осуществляется на отдельных сооружениях водоподготовки.

При разработке дипломного проекта предусматривается решение задачи повышение эффективности работы вентиляторных градирен путем их реконструкции с применением более совершенного оборудования.

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

# 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

## 1.1 Особенности систем производственного водоснабжения

Различают следующие системы производственного водоснабжения (здесь *П* - производство; *НС* - насосная станция; *ОС* – сооружения по очистке сточных вод; *О* – охладитель):

- с прямоточным использованием воды (рисунок 1.1);
- с последовательным использованием воды (рисунок 1.2);
- с оборотом воды: охлаждающая система оборотного водоснабжения (рисунок 1.3, *а*); технологическая система оборотного водоснабжения (рисунок 1.3, *б*); смешанная (охлаждающая и технологическая) система оборотного водоснабжения (рисунок 1.3, *в*).

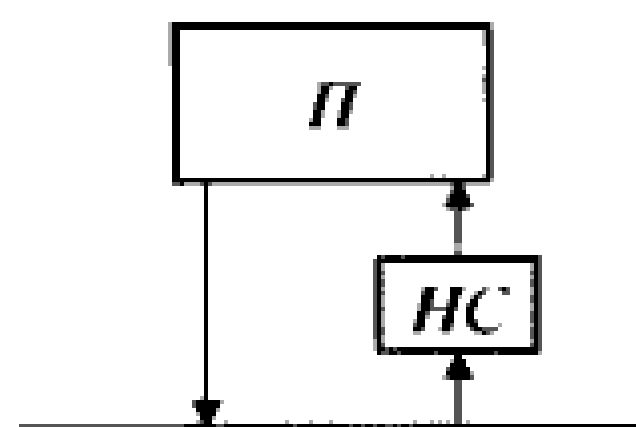


Рисунок 1.1 – Схема системы прямоточного использования воды

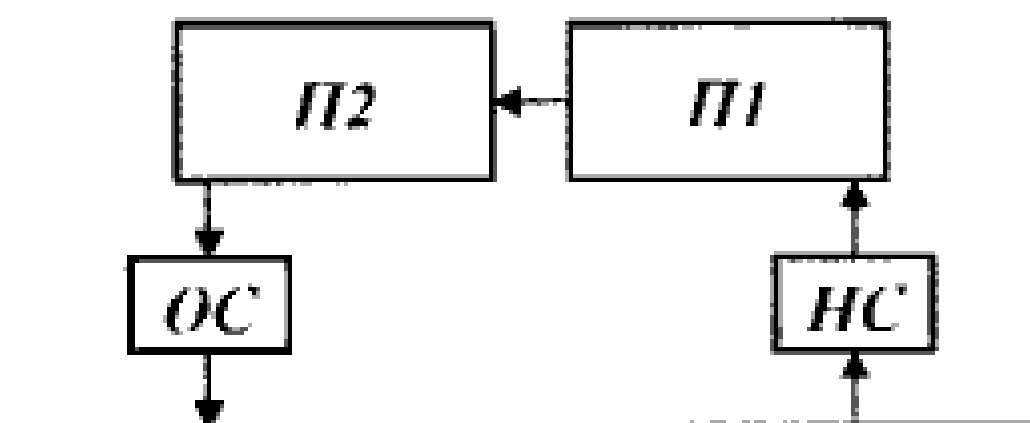


Рисунок 1.2 – Схема системы последовательного использования воды

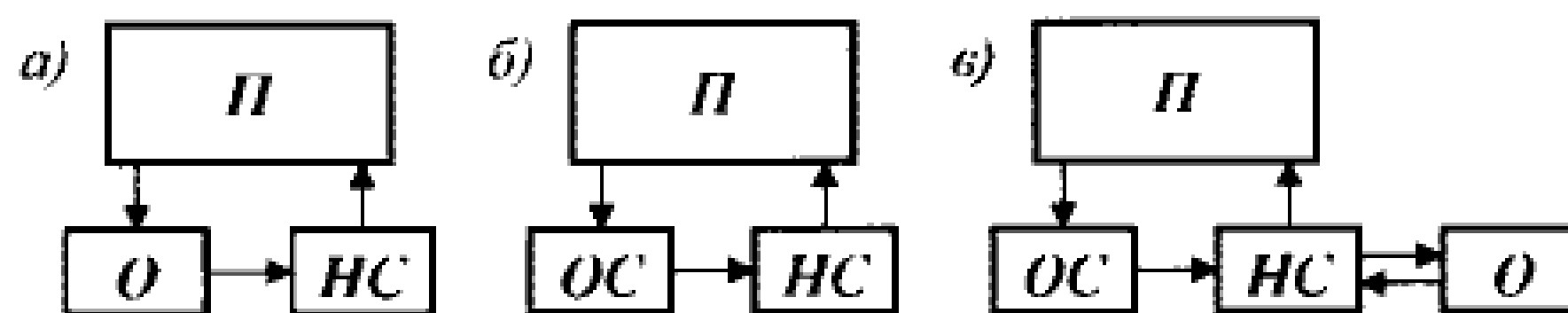


Рисунок 1.3 – Схема системы оборотного использования воды

Приведенные три основные схемы оборотного водоснабжения применяются соответственно назначению воды в производстве. Если вода является теплоносителем, и в процессе использования лишь нагревается не загрязняясь, то применяют схему *а*. Если вода служит средой транспортирующей, поглощающей или экстрагирующей механические и растворенные примеси, и в процессе

использования загрязняется в системе оборотного водоснабжения, то применяют схему б. При комплексном использовании воды, когда она является транспортирующей, поглощающей и экстрагирующей средой и одновременно служит теплоносителем, применяется схема в.

Система водоснабжения должна быть, как правило, с оборотом воды для всего промышленного предприятия или в виде замкнутых циклов для отдельных цехов. При этом следует предусмотреть необходимую очистку сточной воды, охлаждение оборотной воды, обработку и повторное использование сточной воды (без выпуска в водоемы). Последовательное или прямоточное использование воды на производственные нужды со сбросом очищенных сточных вод в водоем допускается только при невозможности или нецелесообразности применения ее в системе оборотного водоснабжения и, как правило, без обработки химическими реагентами.

В реальных условиях при наличии различных требований к качеству используемой воды и различного качества стоков, зависящих от составов цехов промышленного предприятия, системы оборотного водоснабжения модифицируются и усложняются. Так, на рисунке 1.4, а показана схема оборотного водоснабжения при различном качестве сбросной воды в двух группах цехов, т.е. когда цехи одной группы не допускают использования воды, которую сбрасывают цехи другой группы. В этих условиях устраивают изолированные отсеки охлаждающих устройств А и Б, отдельные группы насосов на циркуляционной насосной станции и отдельные подающие водоводы для воды разного качества. На рисунке 1.4, б показана схема оборотного водоснабжения, при которой цехи одной группы сбрасывают воду, требующую дополнительного осветления в отстойниках. После охлаждения вода подается в обе группы цехов единой системой труб.

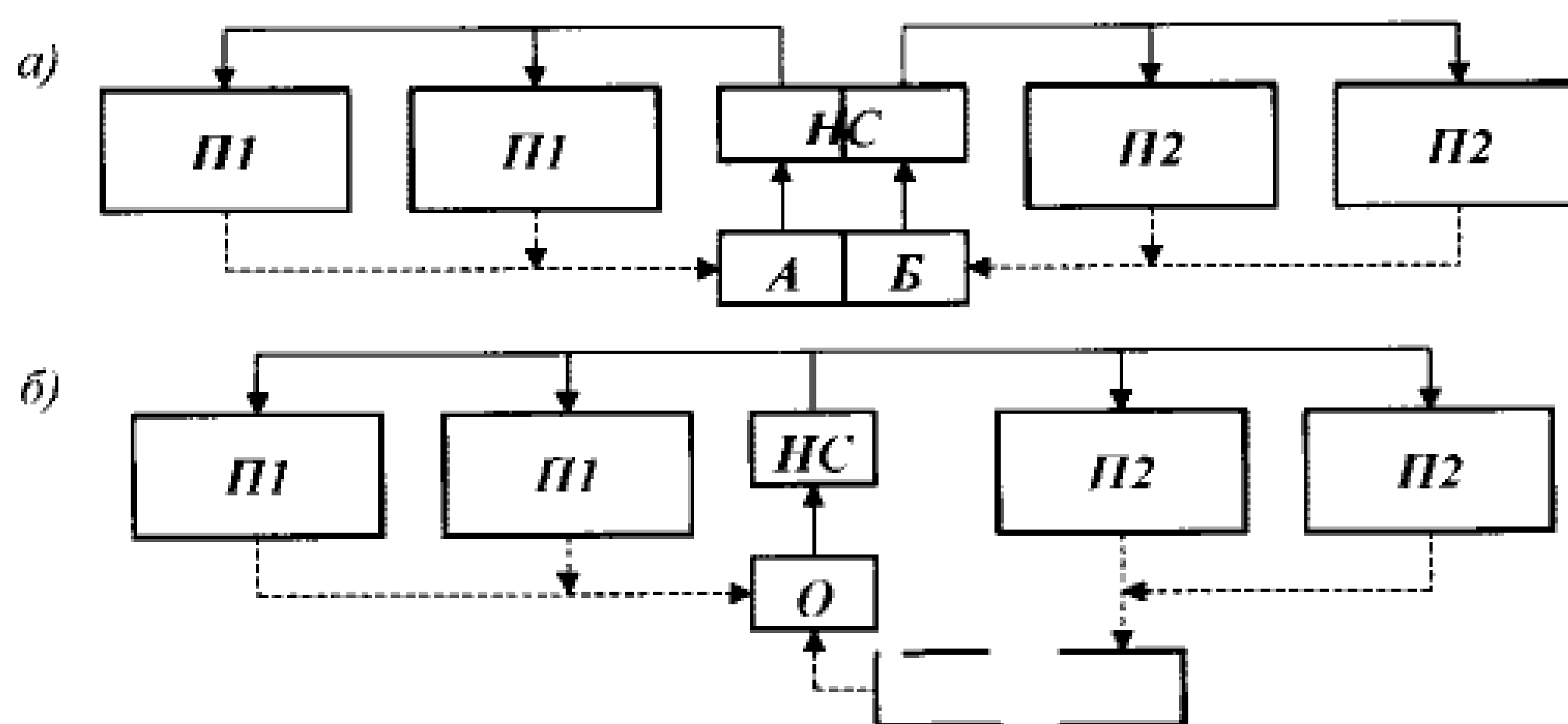


Рисунок 1.4 – схемы оборотного водоснабжения

В практике производственного водоснабжения получили широкое применение системы последовательного использования воды (рисунок 1.2). Эти системы устраивают, когда качество воды, сбрасываемой одним потребителем, допускает

ее использование другими потребителями. Так, потребитель 1 сбрасывает воду нагретую, но не загрязненную. Она может быть использована потребителями 2. Если количество воды, сбрасываемой потребителем 1, превышает потребность цехов 2, ее избыток может поступать в общий сток.

В некоторых случаях часть воды из оборотного цикла одного потребителя 1 (рисунок 1.5) после охлаждения используется для группы других потребителей 2, т.е. имеется комбинация оборотного водоснабжения и последовательного использования воды. Системы последовательного использования воды позволяют значительно сократить подачу свежей воды из источника и снизить затраты на водоснабжение предприятия в целом.

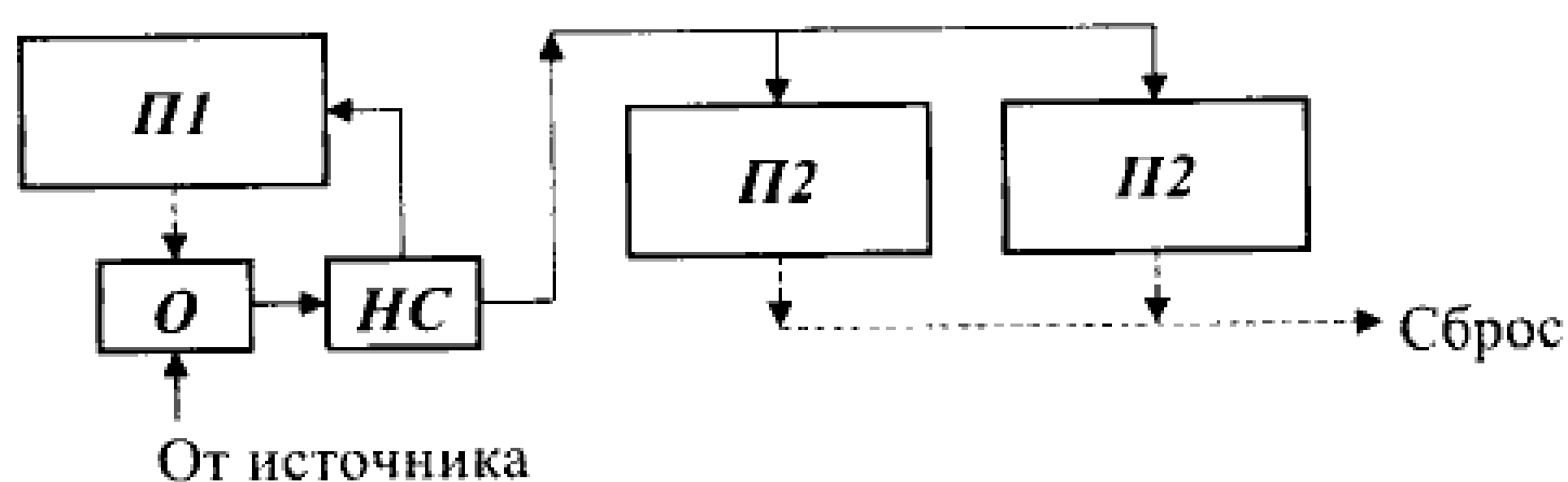


Рисунок 1.5 – Комбинация оборотного и последовательного водоснабжения

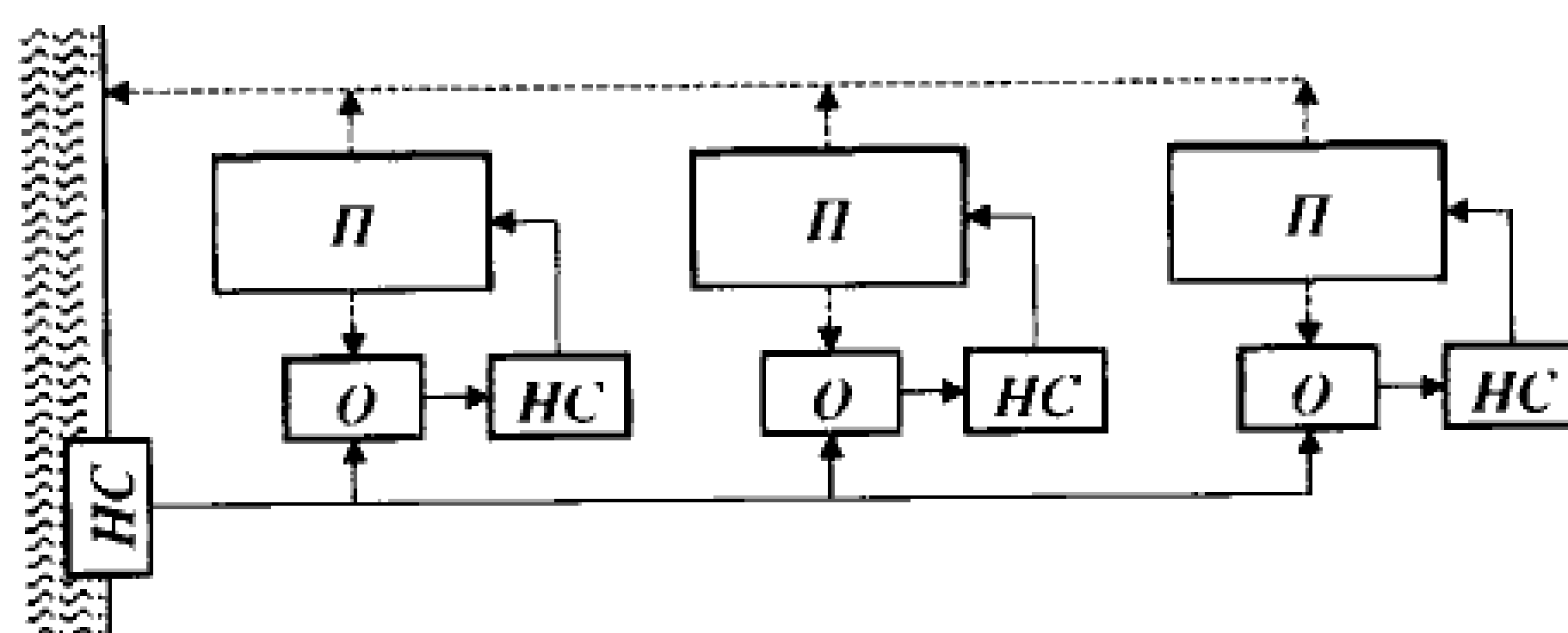


Рисунок 1.6 – Схема разделения системы оборотного водоснабжения на отдельные системы по группам цехов

На крупных предприятиях, занимающих большую территорию, иногда оказывается рентабельным разделение системы оборотного водоснабжения по группам цехов с устройством нескольких блоков охлаждающих сооружений и насосных станций (рисунок 1.6). Это позволяет снизить затраты на сооружение водоводов и магистралей в пределах площадки, сократить расходы энергии на подачу воды и повысить надежность водоснабжения.

## 1.2 Требования к качеству воды в системах производственного водоснабжения и методы его обеспечения

Качество воды, используемой на производстве, устанавливается в зависимости от назначения воды и требований технологического процесса с учетом перерабатываемого сырья, применяемого оборудования и готового продукта производства. Вода должна быть безвредна для здоровья человека при возможном контакте с ней и не должна обладать отрицательными органолептическими свойствами при открытой системе водоснабжения. В таблице 1.1 приведены примерные требования к качеству воды, используемой в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий. Эти требования имеют условный характер, так как они в значительной степени зависят от типа теплообменного оборудования, температуры воды, температуры охлаждаемого продукта или оборудования, характера взвешенных и растворенных веществ и др. Для определения требований к качеству добавочной воды величины, указанные в табл. 1.1, можно разделить на коэффициент концентрирования (упаривания) при условии, что компоненты загрязнений не летучи и не выпадают в осадок.

Используемая для охлаждения жидких и конденсации газообразных продуктов в теплообменных аппаратах и для охлаждения оборудования вода не должна создавать механических и солевых отложений, коррозии металла и биологических обрастаний теплообменного оборудования; не должна разрушать конструктивные материалы сооружений систем водоснабжения.

**Механические отложения.** Основным источником загрязнения воды грубодисперсными примесями, которые образуют так называемые механические отложения, является вода, добавляемая в системы оборотного водоснабжения для восполнения потерь воды, за счет уноса в виде капель из охладителей, испарения в охладителях, продувки и неизбежных утечек воды из системы в грунт. Другим источником загрязнения оборотной воды механическими примесями является атмосферный воздух. Обратная вода при прохождении через градирни вымывает из воздуха в среднем 80% взвешенных веществ в виде пыли и песка минерального и органического происхождения. Если предположить, что запыленность воздуха составляет 1,0 мг/м<sup>3</sup>, то при добавлении воды в систему в размере 2% расхода оборотной воды концентрация загрязнений в оборотной воде в расчете на добавочную воду может составлять 40-50 мг/л.

Механические грубодисперсные примеси, попадающие в систему оборотного водоснабжения с добавочной водой и вымываемые из воздуха, в зависимости от их гидравлической крупности и скорости движения воды могут циркулировать в системе и частично осажаться в резервуаре градирен или в теплообменных аппаратах. При осаждении этих примесей в теплообменных аппаратах общие коэффициенты теплопередачи этих аппаратов могут значительно понижаться. Для удаления грубодисперсных примесей из добавочной воды, как правило, применяют отстойники или осветлители и фильтры с песчаной загрузкой. При отстаивании или фильтровании в воду могут добавляться коагулянты и флокулянты.

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 1.1 Примерные требования к качеству оборотной воды при использовании поверхностных и подземных источников (по А.Ф. Шабалину)

Показатели	Единица измерения	Вода I категории, используемая для охлаждения оборудования и технологических продуктов в теплообменных аппаратах (через стенку)		Вода, используемая в качестве транспортирующей, поглощающей, экстрагирующей и другой среды	
		охлаждение без огневого нагрева поверхностей теплообмена	Охлаждение с огневым нагревом поверхностей теплообмена	II категории, без нагрева (обогащение ископаемых, гидрозолоудаление и др.)	III категории, с нагревом (улавливание и очистка газов, гашение кокса и др.)
1	2	3	4	5	6
Температура	°С	В зависимости от технологического процесса			
Взвешенные вещества	мг/л	до 50	до 20	при гравитации до 10000, при флотации до 200	
Эфирорастворимые	мг/л	до 20	до 10	не нормируются	
Запах	балл	до 3	до 3	до 3	до 4
pH	-	6,5-8,5	6,5-8,5	не нормируется	6,5-9
Жесткость карбонатная	мг-экв/л	до 3,5	до 2,5	не нормируется	при обработке газов необходима обработка оборотной воды
Щелочность общая	мг-экв/л	не более 4	не более 3	не нормируется	необходима обработка воды
Общее солесодержание	мг/л	до 2000	до 800	не нормируются	
Cl <sup>-</sup>	мг/л	до 350	до 150	не нормируются	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	мг/л	до 500	до 250	не нормируются	
Fe <sub>общ</sub> ***	мг/л	1-4	0,5-1	не нормируются	

Иногда для вывода из оборотной системы взвешенных грубодисперсных примесей применяют осветление части оборотной воды на байпасе с помощью сетчатых или безздвижечных напорных песчаных фильтров. На осветление в таких случаях подается часть оборотной воды – 5-15%.







менее растворимы, чем карбонаты, и могут быть выведены из системы оборотного водоснабжения с продувкой.

При обработке воды кислотой продувку системы оборотного водоснабжения допускается не предусматривать, если при заданном уносе капельной влаги из охладителей, отборах и утечках оборотной воды из системы водоснабжения, коэффициент упаривания не достигнет величины, при которой происходит увеличение концентрации сульфата кальция сверх предела растворимости.

Сульфат кальция не выпадает в системе, если произведение активных концентраций Ca и SO<sub>4</sub> в оборотной воде не превышает произведения растворимости сульфата кальция, которое для воды при температуре 25-60°C рекомендуется принимать 2,4·10<sup>-5</sup>. В том случае, когда произведение активных концентраций ионов Ca и SO<sub>4</sub> будет превышать 2,4·10<sup>-5</sup>, необходимо предусматривать продувку системы оборотного водоснабжения.

Метод рекарбонизации основан на растворении углекислоты для стабилизации бикарбоната кальция. Увеличение концентрации углекислоты в оборотной воде компенсирует потерю ее в градирне и тем самым препятствует распаду бикарбонатов, сохраняет щелочность воды на прежнем уровне. Неудобство этого метода состоит в трудностях растворения необходимого количества углекислоты, особенно при высокой; бикарбонатной щелочности добавочной воды или высоких коэффициентах упаривания. При недостатке углекислоты в системе будет наблюдаться частичный распад бикарбонатов и, как следствие, накипеобразование.

Предотвращение накипеобразования фосфатированием применяется давно и дает в ряде случаев хорошие результаты, особенно при умеренных температурах воды. Фосфатирование эффективно при наличии в воде даже очень малых концентраций углекислоты и малых концентраций фосфатов примерно 1,5-2,0 мг/л и менее (в расчете на P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Физико-химическая сущность процесса стабилизации воды фосфатами основана на «закомплексывании» карбонатной жесткости при концентрациях фосфатов ниже стехиометрических величин. Фосфатирование выгодно отличается от подкисления и рекарбонизации еще и тем, что оно не требует точной дозировки. Передозировка кислоты и углекислоты может привести к значительной коррозии, недозировка – к накипеобразованию. Увеличение дозы фосфатов сверх оптимальной величины не имеет таких последствий, и вместе с тем оно нецелесообразно, так как не приводит к улучшению стабилизационного эффекта.

Для фосфатирования применяют полифосфаты – гексаметафосфат или триполифосфат натрия. При определенных условиях (высокие значения pH и температуры) полифосфаты постепенно могут гидролизироваться в ортофосфаты, которые не обладают ингибирующими свойствами по отношению к накипи и могут образовывать осадки из фосфата кальция. В последние годы находят применение синтетические фосфорорганические соединения – фосфонаты. Они действуют так же, как и неорганические полифосфаты, но обладают большими возможностями предотвращения накипеобразования и, что более важно, не гидролизуются. Однако при их применении следует обращать внимание на то,

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

чтобы жесткость воды и значения рН не были велики. В таких случаях полезно оценку возможности применения фосфатов делать по индексу Ланжелье – он должен быть положительным.

Реагентное умягчение воды (декарбонизация) известью применяется гораздо реже, чем указанные выше способы предотвращения накипеобразования. Оно целесообразно в тех случаях, когда требуется одновременное снижение жесткости и щелочности воды; при этом часто главной задачей является устранение щелочности. Сущность его состоит в связывании растворенной в воде углекислоты гидроксильными ионами с образованием бикарбонатных ионов. Дальнейшее добавление извести приводит к переводу бикарбонатных ионов в карбонатные, а последние реагируют с катионами кальция, образуя карбонат кальция. При достижении предела растворимости карбонат кальция выделяется в осадок. Реагентное умягчение воды осуществляется обычно в осветлителях или в отстойниках, специально предназначенных для этой цели, с последующим пропуском воды через фильтры с зернистой загрузкой. Ускорение процесса умягчения достигается подогревом воды, добавлением избытка реагента-осадителя и созданием контакта умягченной воды с ранее образовавшимся осадком. Чрезмерный избыток извести повышает остаточную жесткость воды и одновременно приводит к увеличению гидратной щелочности.

В тех случаях, когда вода содержит кальций и магний в сочетании с анионами не только слабых, но и сильных кислот, в воду кроме извести вводится сода для перевода в осадок кальция. Известково-содовый метод пригоден для умягчения воды с любым ионным составом.

При использовании воды в качестве добавки в оборотные системы, умягченной известью или известью с содой, необходимо предусматривать корректировку рН до 7,0-7,5 подкислением. Без корректировки вода, умягченная этими реагентами, может быть пересыщена карбонатом кальция, особенно при низких температурах, и может иметь высокую рН = 9,5-10,0. При поступлении такой воды в теплообменные аппараты может происходить выпадение карбоната кальция и образование отложений вследствие «доумягчения» воды при нагреве, так как растворимость этой соли понижается с увеличением температуры. Вода, умягченная известью или известью с содой, практически имеет остаточную жесткость 0,5-1,0 мг-экв/л.

Коррозия. Основной причиной коррозии металлов в охлаждающей воде является наличие растворенного кислорода и углекислоты. Последняя снижает рН воды, вследствие чего происходит воздействие кислоты на металл. Другими факторами, усиливающими коррозию, являются электропроводность воды и наличие растворенных в воде таких газов, как сернистый ангидрид, аммиак, хлор и др. Эти газы могут попадать в охлаждающую воду из окружающего атмосферного воздуха в градирнях. Например, на предприятиях, использующих в топках печей тяжелое жидкое топливо, из-за выбросов в атмосферный воздух сернистого ангидрида рН воды может заметно снижаться. Утечка аммиака в охлаждающую воду в аммиачных конденсаторах приводит к растворению его в воде и как следствие к усилению коррозии. Среди других причин, усиливающих

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

коррозию, можно назвать отложения продуктов коррозии на стенках труб, биологические обрастания, а также в некоторых случаях накипи.

Основными физическими факторами, способствующими коррозии, являются температура, контакты различных по потенциалу металлов в водной среде и твердые отложения взвешенных веществ. Твердые отложения в трубопроводах и теплообменных аппаратах образуют области, изолированные от общего потока воды, и коррозия под ними может протекать за счет разного уровня аэрирования воды в основной массе потока и в слое воды под отложениями.

В нейтральной или щелочной воде коррозия может начаться в результате разрушения защитной окисной пленки на поверхности металла и разницы потенциала между чистым металлом и пленкой. В результате произойдет электрохимическое разрушение металла. Присутствие кислорода ускоряет этот процесс, и коррозионное воздействие усиливается за счет аэрации воды на градирнях. Биологические обрастания в системах оборотного водоснабжения также могут быть причиной усиления коррозии. Микроорганизмы, вызывающие эти обрастания, попадают в систему оборотного водоснабжения с добавочной водой или из воздуха на градирнях. Углеводороды, попадающие в воду из теплообменных аппаратов в результате утечек продукта, могут служить питательной средой, усиливающей рост бактерий.

К коррозионной группе бактерий, прежде всего, относятся сульфатредуцирующие. Они восстанавливают находящиеся в воде сульфаты до сульфидов и сероводорода, особенно в таких местах, где запас кислорода в воде истощен, например, под коррозионными отложениями. Такая коррозия может быть точечного типа, причем образовавшиеся углубления в металле бывают заполнены мягкими дурнопахнущими сульфидами.

Некоторые виды бактерий окисляют нитриты и нитраты, которые иногда применяются в качестве ингибиторов коррозии. Железобактерии образуют отложения в виде окиси железа, имеющие цвет ржавчины, отложения в виде слизи или желеобразного вещества.

Предотвращение коррозии в системах оборотного водоснабжения, как правило, обеспечивается с помощью ингибиторов. Естественный процесс образования накипи на внутренних поверхностях труб до некоторой степени обеспечивает антикоррозионную защиту. Функция ингибитора состоит в образовании защитной пленки на поверхности корродирующего металла.

В качестве ингибиторов коррозии в основном применяются неорганические ингибиторы: хроматы, фосфаты и редко силикаты и нитраты.

Хорошее защитное действие от коррозии оказывают хроматы в присутствии солей металлов, например сернокислого цинка и фосфатов. Применение солей цинка в концентрации 1-3 мг/л (в расчете на цинк) в смеси с хроматами даже в таких малых концентрациях, как 2-3 мг/л (в расчете на  $\text{Na}_2\text{CrO}_3$ ), и с фосфатами 2-4 мг/л (в расчете на  $\text{PO}_4$ ), уже дает неплохое защитное действие. Применение малых концентраций хроматов особенно важно, поскольку для них существуют жесткие предельно допустимые концентрации для воды водоемов и для атмосферного воздуха.

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
						18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

При применении хроматов следует избегать присутствия в оборотной воде таких восстановителей, как двуокись серы, которая образует нерастворимые соли с хромом. Следует принимать также меры по устранению утечек в воду нефтепродуктов, так как некоторые из них могут воздействовать на шестивалентный хром как восстановители.

Биологические обрастания. Наличие биологических обрастаний в системах оборотного водоснабжения обусловлено интенсивным ростом и развитием различных форм бактерий, грибов и водорослей, попадающих из источника водоснабжения и воздуха. Бактериальные и грибковые биологические обрастания, как правило, наблюдаются в теплообменных аппаратах, обрастания водорослями – в градирнях.

Для предупреждения развития бактериальных биологических обрастаний в теплообменных аппаратах, а также в трубопроводах рекомендуется применять хлорирование воды. Хлор вводится в оборотную воду периодически – 3-4 раза в сутки. Продолжительность хлорирования каждого периода 40-60 мин. Доза хлора должна обеспечивать содержание остаточного активного хлора в оборотной воде после наиболее удаленных теплообменных аппаратов от места ввода хлора не менее 1,0 мг/л в течение 30-40 мин.

Для удаления биологических обрастаний, а также механических отложений в закрытых теплообменных аппаратах в необходимых случаях может предусматриваться устройство для периодической гидropневматической промывки аппаратов или для промывки аппаратов водой или смесью воды с воздухом и с присадкой абразивных материалов (кварцевый песок, полиэтиленовая крошка). Гидropневматическая промывка осуществляется водой и воздухом в соотношении от 1 : 1 до 1 : 2.

Требования к качеству технической воды в производстве строительных металлоконструкций приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3

Требования к качеству технической воды, используемой на заводах металлоконструкций

Показатели	Единица измерения	Допустимая величина
Взвешенные вещества	мг/л	10
Жесткость	мг-экв/л	6
Cl <sup>-</sup>	мг/л	17
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	мг/л	0,26
	мг/л	0,3

На заводах металлоконструкций вода расходуется на охлаждение и мытье оборудования, очистку воздуха в гидрофилтрах окрасочных камер, на мытье и промывку металлоконструкций под горячее цинкование, промывку деталей после обезжиривания и травления, в отстойных ваннах окрасочных камер, на приготовление смесей и эмульсий и пополнение систем оборотного водоснабжения.

Система водоснабжения – оборотная, прямоточная и с использованием очищенных сточных вод.

### 1.3 Постановка задачи

На основании информации, представленной в выше, сформируем цель, задачи и техническое предложение дипломного проекта.

Цель дипломного проекта - разработать систему автоматического управления процессом оборотного водоснабжения на производстве.

Основными задачами являются:

- изучение участка системы оборотного водоснабжения как объекта управления;
- разработка математического описания элементов, входящих в систему;
- разработка алгоритмов управления системой водоснабжения, с учетом отработки внештатных ситуаций (управляющая программа);
- моделирование переходных процессов в системе автоматического управления процессом оборотного водоснабжения;
- расчет эффективности капиталовложений и окупаемости разработанной системы автоматического управления процессом оборотного водоснабжения.

Таким образом, опишем необходимый функциональный минимум, которым по итогам проектирования и разработки должна обладать система автоматического управления процессом оборотного водоснабжения:

- Контроль и регулирование параметров оборотной воды;
- Контроль полученных параметров воды в процессе доставки до места ее непосредственного применения в технологическом процессе.
- Регулирование температуры в процессе охлаждения в брызгально-эжекционной градирне;
- Предусмотреть индикацию аварийных состояний, например, индикация светодионом; загрязнение очистных блоков - фильтров (на основании обработки показаний с датчиков), прорыв трубопроводов (так же применение датчиков давления, можно использовать датчики целостности);
- Предусмотреть как режим автоматического управления, так и режим ручного управления системой (в случае выхода автоматики из строя или технического обслуживания, диагностики и ремонта системы).
- Разработанная система автоматического управления процессом оборотного водоснабжения должна соответствовать требованиям по электробезопасности (изоляция кабелей, защитное зануление).

Вывод по разделу один

Вне зависимости от того какие испытания проводятся, основная их задача это контроль за качеством выпускаемой продукции.

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

## 2 СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ

В настоящее время существует большое количество компаний, занимающихся проектированием и изготовлением градирен, некоторые из которых нашли свое применение и в России. Наиболее популярные из них приведены ниже:

Таблица 2.1 – Распространенные компании в России

Фирма-изготовитель	Страна	Вид выполняемых работ
ТЕПЛОЭЛЕКТРОПРОЕКТ, г. Москва	Россия	Разработка проектов новых и реконструируемых градирен башенных и вентиляторных
ИРВИК, г. Москва	Россия	Разработка технологического оборудования из полимерных материалов
АГРОСТРОЙСЕРВИС, г. Дзержинск Нижегородской обл.	Россия	Реконструкция вентиляторных и башенных градирен с использованием технологических элементов из полимерных материалов
ЭТЕРНА, г. Челябинск	Россия	Малогарабитных градирен, сетчатых полимерных оросителей и водоразбрызгивающих сопел
HEMA VERMETAUSHER ГМБХ, Представительство в России, г. Москва	Германия	Поставки градирен, вентиляторов и технологического оборудования немецкой фирмы "Бальке-Дюрр"
SCAM T.P.E. Представительство в России, г. Москва	Италия	Поставки градирен, вентиляторов и технологического оборудования

При таком многообразии испытательного оборудования на российском рынке естественно возникает вопрос о выборе. Выбор оборудования представляет собой достаточно трудную задачу, аналогичную поиску оптимального решения в условиях многокритериальности. Ниже приводится примерный перечень критериев оценки испытательных стендов, которые в первую очередь должны интересовать пользователя. В нем можно выделить две группы показателей:

- технические характеристики;
- стоимостные характеристики.

## Вывод по разделу два

В современное время ассортимент рынка градирен очень разнообразен, имеются градирни способные удовлетворить самые высокие требования заказчика, однако цена таких градирен также велика, зачастую оказывается, что градирни не удовлетворяют ожиданиям заказчика, и радость от приобретения сменяется разочарованием, поэтому нет другого выхода, как на основании имеющегося оборудования за счет модернизации получить требуемый продукт: надежный, недорогой, с простым пользовательским интерфейсом.

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



### 3 КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГРАДИРЕН

#### 3.1 Охлаждающие устройства систем оборотного водоснабжения

Процессы охлаждения воды в охладителях. Понижение температуры воды в охладителях происходит в результате передачи ее тепла воздуху. По способу передачи тепла охладители, применяемые в системах оборотного водоснабжения, разделяются на испарительные и поверхностные (радиаторные). В испарительных охладителях охлаждение воды происходит в результате ее испарения при непосредственном контакте с воздухом (испарение 1% воды снижает ее температуру на 6°C). В радиаторных охладителях охлаждаемая вода проходит внутри трубок радиаторов, через стенки которых происходит передача ее тепла воздуху.

Испарительные охладители по способу подвода к ним воздуха разделяются на открытые, башенные и вентиляторные. К открытым охладителям относятся водохранилища-охладители (или пруды-охладители), брызгальные бассейны, открытые градирни; к башенным охладителям – башенные градирни; к вентиляторным охладителям – вентиляторные градирни. Радиаторные охладители, которые называют также сухими градирнями, по способу подвода к ним воздуха могут быть башенными или вентиляторными.

При охлаждении воды в испарительных охладителях понижение ее температуры определяется совместным действием различных по физической природе процессов: теплоотдачи соприкосновением – переноса теплоты путем теплопроводности и конвекции, и поверхностного испарения воды – превращения части ее в пар и переноса пара путем диффузии и конвекции. При охлаждении воды в открытых водоемах с большим зеркалом воды кроме теплоотдачи соприкосновением и испарением происходит также теплообмен излучением (эффективное излучение).

Выбор охладителей производится на основе технико-экономического сравнения различных типов с учетом показателей работы снабжаемого водой оборудования и требований технологических процессов промышленных предприятий к температуре охлаждающей воды. При сравнении учитываются также гидрологические, метеорологические, геологические и топографические условия, качество и стоимость добавочной воды, наличие строительных материалов.

Открытые градирни бывают двух типов: брызгальные и капельные. Их применяют в системах водоснабжения с расходом оборотной воды от 15 до 500 м<sup>3</sup>/ч, допускающих временное нарушение технологического процесса отдельных установок.

Первые представляют собой небольшой брызгальный бассейн, огражденный со всех сторон жалюзийными решетками, препятствующими большому выносу брызг воды за пределы градирни; решетки выполняют из досок под углом 45-60° к горизонту. Плотность орошения для таких градирен принимают от 1,5 до 3 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup>.

									Лист
									23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	220301.2016.126.000 ПЗ				

В капельной градирне в отличие от брызгальной имеется ороситель из деревянных реек.

Область применения открытых градирен определяется следующими оптимальными условиями: плотность орошения 0,8-1,4 кг/(м<sup>2</sup> с); перепад температур горячей и охлажденной воды 5-10 °С.

Вытяжные башни градирен служат для создания естественной тяги за счет разности удельных весов наружного воздуха, поступающего в градирню, и нагретого и увлажненного воздуха, выходящего из градирни.

Наиболее сложным элементом башенной градирни является вытяжная башня, которая работает в очень тяжелых условиях, поэтому к материалу для ее изготовления предъявляются особые требования.

Башни крупных градирен выполняются, как правило, в виде оболочек гиперболической формы (рисунок 3.1), которая наиболее рациональна по условиям устойчивости и внутренней аэродинамики.

Допуская большую плотность орошения, они могут быть компактно размещены на площадке промышленного предприятия. Наличие высоких башен позволяет размещать их на небольших расстояниях от производственных зданий и сооружений.

Область применения башенных градирен характеризуется следующими параметрами: перепад температур горячей и охлажденной воды 5-15 °С; разность температуры охлажденной воды и температуры атмосферного воздуха по смоченному термометру 6-8 °С, т.е. меньше, чем у открытых градирен. Таким образом, охлаждение воды на этих градирнях происходит до более низких температур.

Имеются два основных типа вентиляторных градирен: башенные, оборудованные вентиляторами большой производительности с использованием естественной тяги воздуха и секционные, состоящие из ряда стандартных секций, каждая из которых обслуживается отдельным вентилятором.

В горловине башен одновентиляторных градирен (рисунок 3.2) над оросителем устанавливают большие вентиляторы с диаметром лопастей от 10 до 18 м. Секционные вентиляторные градирни (рисунок 3.3) состоят из нескольких прямоугольных стандартных секций, в которые воздух входит с одной стороны или с двух сторон. Каждая секция оборудуется отсасывающим или нагнетательным вентилятором с лопастями диаметром до 10 м и электроприводом. Вентиляторы отсасывающего типа, которые устанавливаются над оросителем, обеспечивают более равномерное распределение воздуха в оросителе и, находясь в зоне теплого воздуха, не обмерзают в зимнее время. Нагнетательные вентиляторы устанавливаются на входном отверстии градирни у основания.

Вентиляторные градирни применяют в системах оборотного водоснабжения, требующих устойчивого и глубокого охлаждения воды, при необходимости маневренного регулирования температуры охлажденной воды, автоматизации для поддержания заданной температуры охлажденной воды или охлаждаемого продукта, а также при необходимости сокращения объемов строительных работ.

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
						24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		





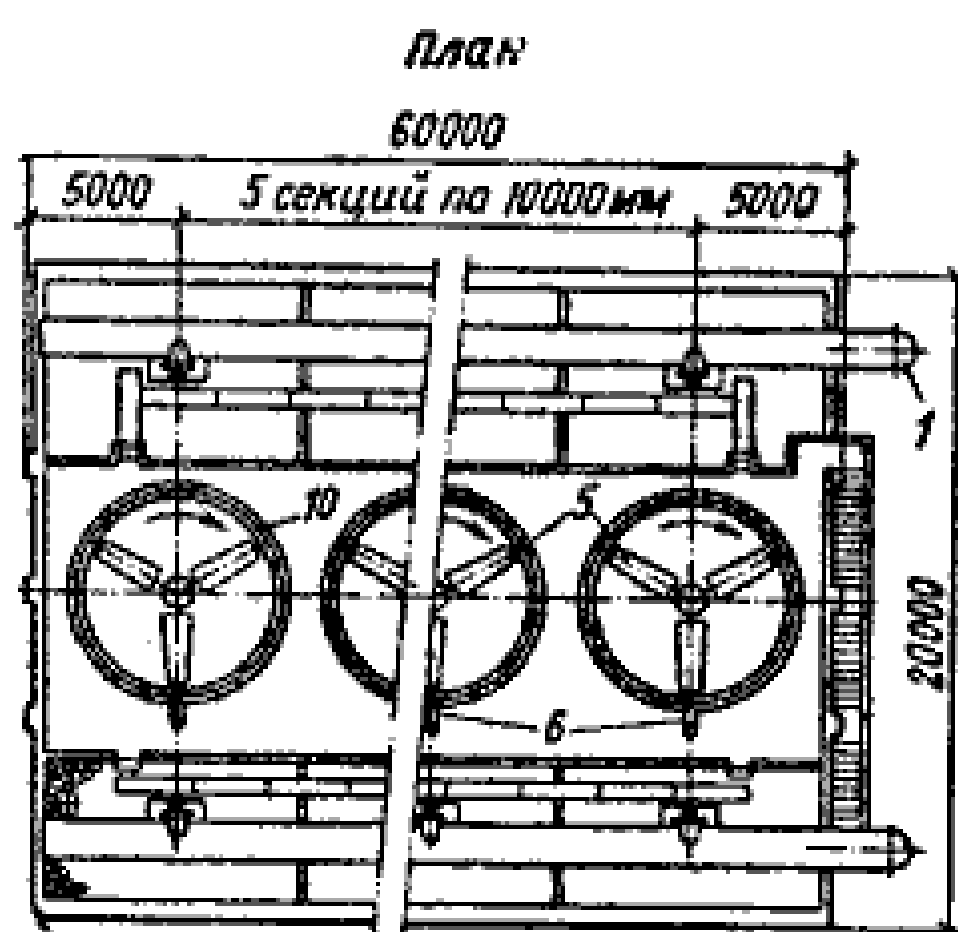
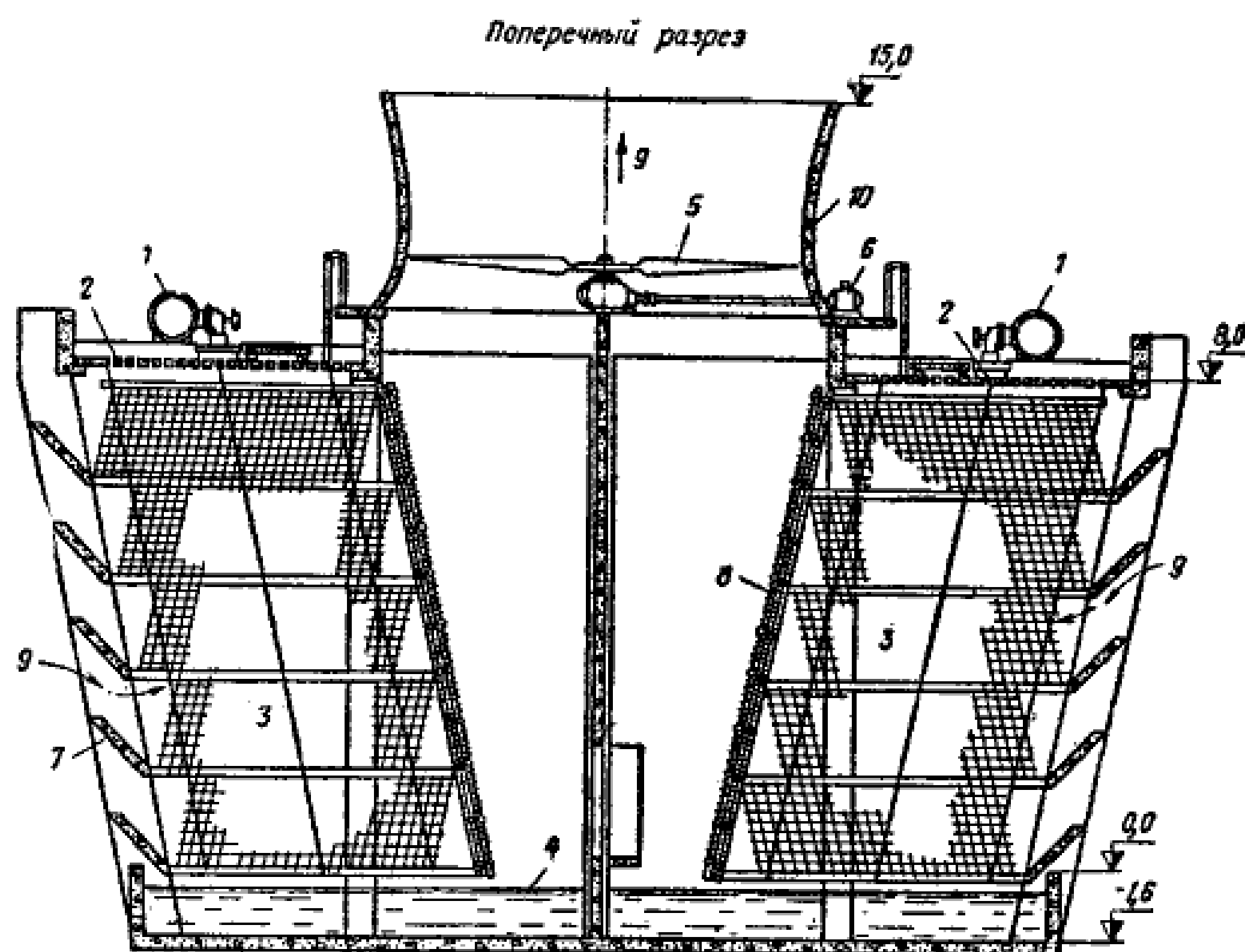


Рисунок 3.3 – Вентиляторная шестисекционная градирня:

1 – водоподводящая труба; 2 – водораспределительное устройство; 3 – капельный ороситель; 4 – водосборный резервуар; 5 – вентилятор; 6 – электродвигатель вентилятора; 7 – воздухонаправляющие козырьки; 8 – водоулавливающие жалюзи; 9 – направление потока воздуха; 10 – вытяжной диффузор

Радиаторы изготавливаются самых разнообразных конструкций, главным образом, из стали или алюминия.

Сухие градирни применяются в случаях:

- когда необходимо иметь закрытый, изолированный от контакта с атмосферным воздухом контур циркуляции воды в системе оборотного водоснабжения;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

220301.2016.126.000 ПЗ

Лист

27

- высоких температур нагрева оборотной воды в теплообменных технологических аппаратах, не допускающих ее охлаждения в градирнях испарительного типа;
- отсутствия или серьезных затруднений в получении свежей воды на пополнение безвозвратных потерь в оборотных циклах.

Сухие градирни не имеют широкого распространения в сравнении с испарительными градирнями из-за их высокой стоимости, малой производительности и большого расхода электроэнергии.

Одним из недостатков систем воздушного охлаждения с сухими градирнями является зависимость их холодопроизводительности от температуры наружного воздуха, которая резко меняется не только в течение года, но и в течение суток. Для устойчивой работы таких градирен требуется также обеспечивать стабильную тепловую нагрузку, в особенности при холодном атмосферном воздухе.

Гибридная градирня – это комбинированное сооружение, в котором совмещены процессы тепломассообмена, присущие испарительной и сухой градирне. Тяга воздуха может создаваться вытяжной башней, вентилятором или совместно башней и несколькими вентиляторами, размещенными по периметру башни в ее нижней части (рисунок 3.5).

Технологические и технико-экономические показатели гибридных градирен лучше в сравнении с сухими, но уступают испарительным. Они имеют меньше дорогостоящего теплообменного оборудования и охлаждающая способность их в меньшей мере зависит от изменения температуры воздуха. К достоинствам гибридных градирен можно отнести заметное снижение безвозвратных потерь воды в сравнении с испарительными градирнями и возможность работы без видимого парового факела.

По охлаждающей способности гибридные градирни превосходят сухие, но уступают испарительным градирням.

Гибридные градирни более сложны при проектировании и строительстве, требуют повышенного внимания и обслуживания при эксплуатации не только самих градирен, но и системы водооборота в целом. При недостаточно качественной оборотной воде на стенках внутри труб радиаторов образуются солевые отложения, а оребрения труб загрязняются пылью входящего воздуха, что приводит к резкому возрастанию теплового сопротивления.

Это вызывает нарушение расчетных режимов работы сухой и испарительной частей, а также аварийные ситуации в зимнее время.

В нашей стране гибридные градирни не получили распространения из-за повышенных требований при эксплуатации и большей стоимости в сравнении и обычными испарительными градирнями.

При охлаждении воды в градирнях, чем больше поверхность контакта воды с воздухом, тем более благоприятны условия теплопередачи. Контакт воды с воздухом и увеличение поверхности этого контакта достигаются различными способами.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

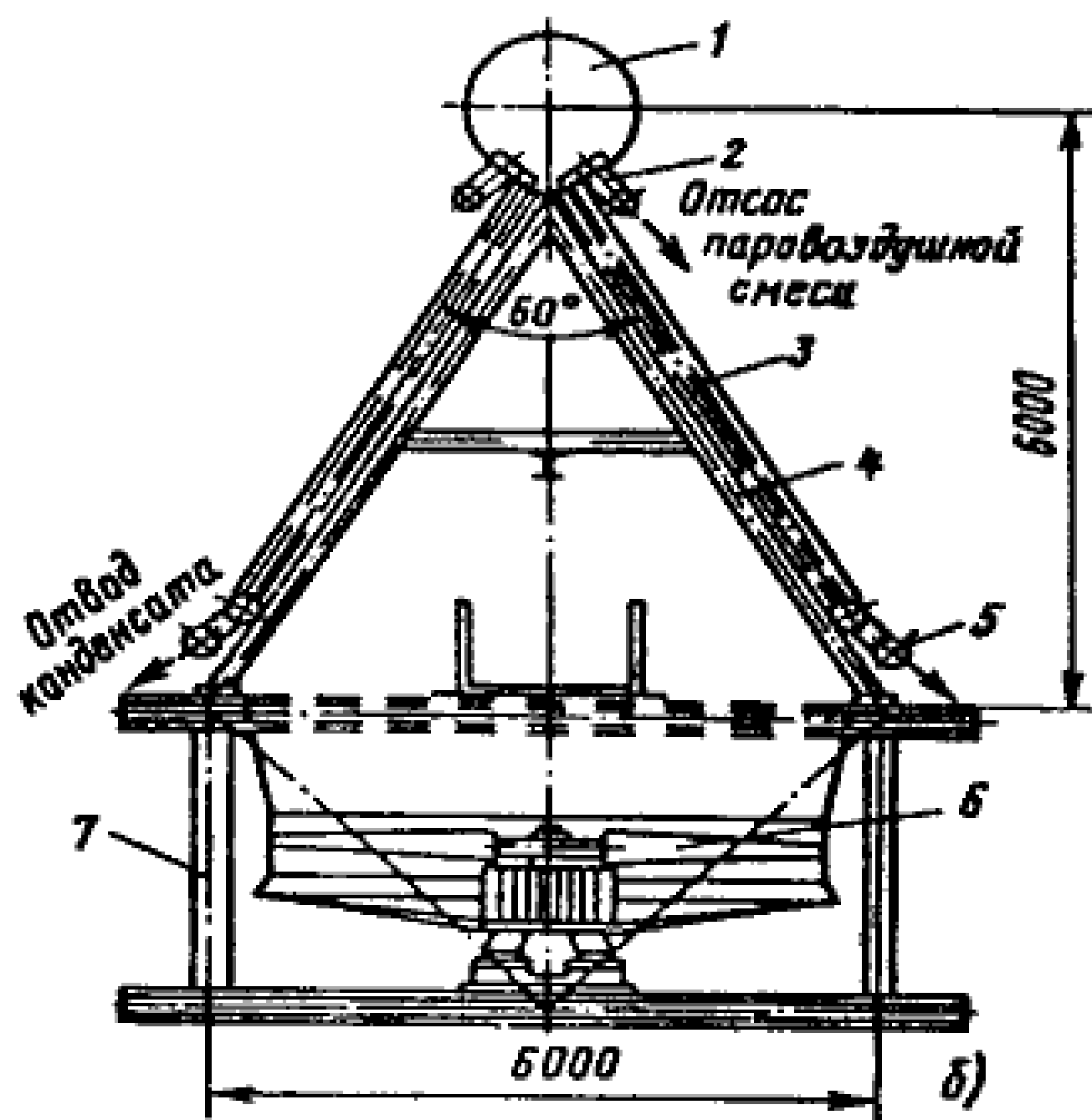
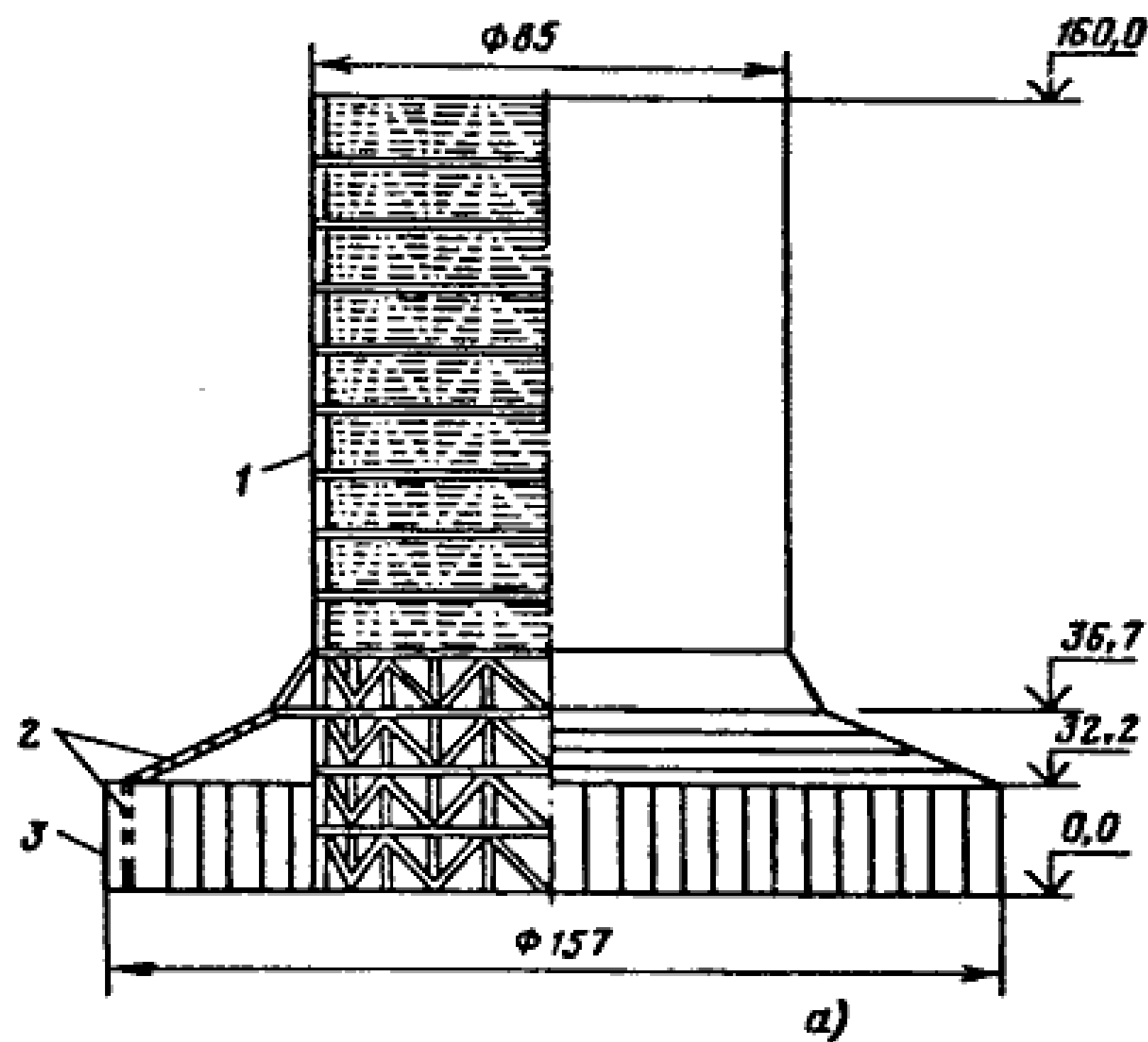


Рисунок 3.4 – Сухие градирни:

а–воздушно–конденсационная установка (ВКУ) с естественной тягой воздуха; 1–вытяжная башня; 2–охладительные дельты; 3–жалюзийная решетка; 6–воздушный конденсатор с механической тягой воздуха; 1–паропровод; 2–трубопровод паровоздушной смеси; 3–охладительные дельты; 4–каркас секции; 5–трубопровод отвода конденсата; 6–вентилятор; 7–опорная конструкция

									Лист
									29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

220301.2016.126.000 ПЗ

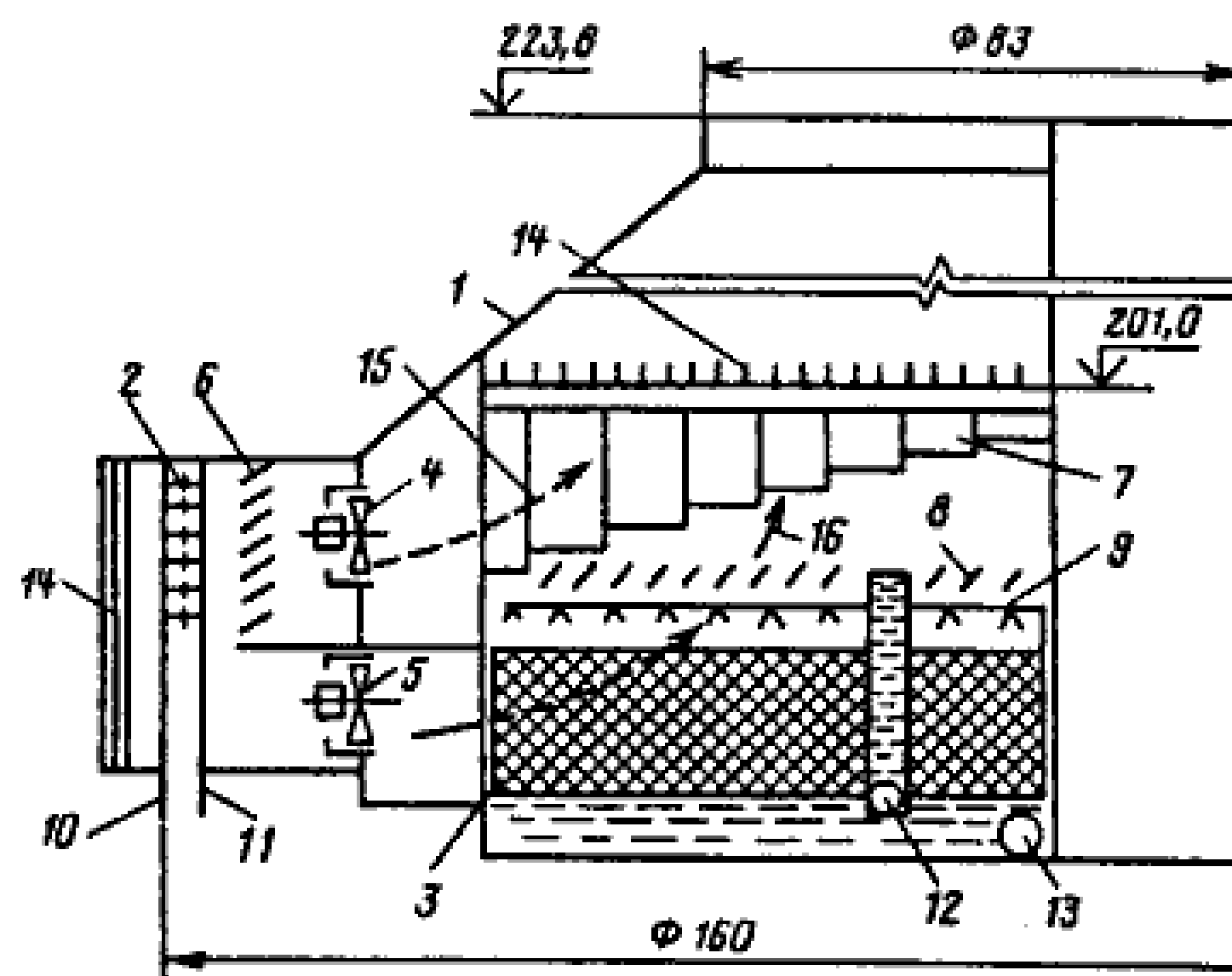


Рисунок 3.5 – Гибридная градирня фирмы «Бальке-Дюрр» (Германия) с комбинированной подачей воздуха:

1 – башня; 2 – сухие охлаждающие элементы; 3 – ороситель; 4,5 – вентиляторы сухой и мокрой частей; 6 – жалюзи; 7 – смешивающие элементы; 8 – водоуловитель; 9 – система распределения воды; 10,12 – подача нагретой воды в сухие охлаждающие элементы и на ороситель; 11,13 – отвод охлажденной воды от сухой и мокрой частей; 14 – шумоглушители; 15 – сухой нагретый воздух; 16 – на-сыщенный нагретый воздух.

В зависимости от конструкции оросительного устройства и способа, которым достигается увеличение поверхности соприкосновения воды с воздухом, градирни подразделяются на пленочные, капельные и брызгальные.

Каждый из указанных типов градирен может иметь весьма разнообразные виды и конструкции отдельных элементов оросителей, отличаться размерами их и расстояниями между ними и быть выполнен из различных материалов.

Вентиляторные градирни выполняются секционными или отдельно стоящими — одновентиляторными, в плане имеют форму прямоугольника, квадрата, многоугольника или круга. Вентиляторные градирни допускают более высокие тепловые нагрузки и обеспечивают более глубокое охлаждение воды за счет повышенного относительного (к расходу воды) расхода воздуха, проходящего через градирню.

На вентиляторные градирни допускается удельная тепловая нагрузка 90—120 тыс. Вт/м<sup>2</sup> [80—100 тыс. ккал/(ч·м<sup>2</sup>)] и выше, в то время как, например, башенные градирни при прочих равных условиях эти нагрузки не превышают 90

тыс. Вт/м<sup>2</sup> [80 тыс. ккал/(ч·м<sup>2</sup>)]. Для атмосферных градирен максимальная тепловая нагрузка составляет 35-60 тыс. Вт/м<sup>2</sup> [30—50 тыс. ккал/(ч·м<sup>2</sup>)]. Зависимость охладительного эффекта атмосферных градирен от силы и

									Лист
									30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	220301.2016.126.000 ПЗ				



направления ветра ограничивает область их применения.

С помощью вентиляторных градирен температуру охлажденной воды получают на  $4-6^{\circ}$  (в отдельных случаях на  $2-3^{\circ}$ ) выше температуры воздуха по смоченному термометру, с помощью башенных градирен – на  $8-10^{\circ}$ . С помощью «сухих» (радиаторных) градирен температуру охлажденной воды можно получить только выше температуры воздуха по сухому термометру.

Замена водяного охлаждения воздушным экономичнее лишь в случае охлаждения продукта с высокой начальной температуры до температуры, примерно на  $20^{\circ}$  превышающей температуру по сухому термометру. Величина перепада температур воды на градирнях назначается в зависимости от температуры поступающей на градирни воды, которая, в свою очередь, определяется технологическим оборудованием, использующим воду как хладагент. На вентиляторных градирнях возможно достижение перепада температур воды до  $25^{\circ}\text{C}$  и более (в зависимости от начальной температуры воды). В практике использования башенных градирен (например, на тепловых электростанциях) максимальный перепад температур воды составляет  $8-10^{\circ}$ .

Вентиляторные градирни обеспечивают более устойчивое заданное охлаждение воды и более маневренное, чем башенные, регулирование ее температуры. Работа вентиляторных градирен более легко поддается автоматизации для поддержания температуры охлажденной воды на заданном уровне. Вентиляторные градирни требуют меньшей площади застройки в сравнении с другими охладителями воды при достижении одинакового эффекта охлаждения. В сравнении с башенными градирнями они работают при более низких напорах воды.

Сооружение вентиляторных градирен дешевле на  $50-80\%$ , чем башенных, и на  $30-50\%$ , чем брызгальных бассейнов. Экономия древесины, при строительстве деревянных вентиляторных градирен вместо башенных достигает  $60-70\%$ . Однако для привода вентиляторов требуется значительный расход электроэнергии, а сами вентиляторы и их приводы нуждаются в постоянном уходе и ремонте и, следовательно, вентиляторные градирни требуют дополнительных эксплуатационных расходов по сравнению с башенными. Кроме того, в отдельных случаях вентиляторные градирни, особенно с нагнетательными вентиляторами, вызывают рециркуляцию теплого влажного воздуха. Во всех случаях необходимо производить выбор того или иного типа градирни на основе технико-экономического анализа с учетом расчетных расходов и температур воды, метеорологических параметров атмосферного воздуха, условий размещения градирен на площадке предприятия, инженерно-геологических и гидрогеологических условий площадки и др.

Секционные градирни проектируются с площадью оросителя одной секции от 2 до  $400\text{ м}^2$  и отдельно стоящие одновентиляторные от 400 до  $1200\text{ мм}^2$ . При выборе типа и числа градирен исходят обычно из следующих условий: оптимальное число секций или градирен, в одном оборотном цикле, как правило, принимается от 4 до 8, максимальное— 12; наименьшее число секций 2. Опыт эксплуатации показал, что соблюдение этих условий обеспечивает экономичную

									Лист
									31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	220301.2016.126.000 ПЗ				

эксплуатацию градирен, требуемую степень резервирования и регулирования температуры охлаждаемой воды за счет отключения отдельных вентиляторов при одновременной экономии площади, занятой градирнями.

Оросительное устройство является одним из основных элементов градирни. Оно предназначено для увеличения площади поверхности соприкосновения между водой и воздухом и, следовательно, для ускорения процесса охлаждения.

Удельная гидравлическая нагрузка для вентиляторных градирен ориентировочно может быть принята: при пленочном оросителе 2,2-3,4 кг/(м<sup>2</sup>·с) [8-12 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч)], капельном оросителе 1,7-2,2 кг/(м<sup>2</sup>·с) [6-8 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч)] и брызгальном 1,4-1,7 кг/(м<sup>2</sup>·с) [5-6 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч)]. Скорость воздуха в оросителе вентиляторных градирен принимается, как правило, не выше 4-5 м/с.

При выборе типа оросительного устройства в каждом конкретном случае производится сопоставление охлаждающей способности и стоимости градирни.

Величина потерь напора при движении воздуха в оросителе также является неотъемлемым показателем его работы, так как она определяет величину эксплуатационных затрат на градирню: чем меньше сопротивление потоку воздуха, тем меньше требуемая мощность вентилятора и ниже расход электроэнергии (или высота башни в башенных градирнях). Следовательно, при выборе типов оросителей следует отдавать предпочтение таким, какие будут обеспечивать более высокую охлаждающую способность и низкие потери напора. При выборе и оценке оросительных устройств необходимо учитывать и ряд других показателей, таких, как долговечность, изнашиваемость материала оросителя, прочность и масса оросителя, легкость установки, доступность ремонтов и осмотров. Важным фактором является также наличие в охлаждаемой воде взвешенных веществ и агрессивных примесей. При наличии в охлаждающей воде примесей, агрессивных по отношению к материалам конструкций градирен, в отдельных случаях может оказаться экономически целесообразным предусматривать обработку воды с целью исключения или уменьшения степени агрессивности.

Оросительные устройства вентиляторных градирен по своей функции могут быть аналогичными оросителям башенных градирен.

В оросителе каждого из указанных типов градирен вода движется вертикально сверху вниз под действием силы тяжести. Воздух же, нагнетаемый или отсасываемый из оросителя вентиляторами или в результате башенного эффекта, может двигаться либо снизу вверх навстречу воде, либо в поперечном направлении по отношению к движению воды. В первом случае градирни называются противоточными, во втором случае – поперечноточными.

Противоточная схема движения воды и воздуха более эффективна, чем поперечноточная. Это объясняется тем, что значение средней разности теплосодержаний, являющейся «движущей силой» процесса тепло-массообмена, при противотоке больше, чем при поперечном токе. За счет этого размеры градирен, а следовательно, и их стоимость при прочих одинаковых условиях при противотоке получаются меньшими, чем при поперечном токе. Существует еще и

									Лист
									32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	220301.2016.126.000 ПЗ				

комбинированное направление движения воздуха по отношению к воде — поперечно-противоточное. По числу потоков воздуха в градирне они могут быть двухпоточные и однопоточные.

Поперечноточные градирни в плане, как правило, имеют прямоугольную или квадратную форму и выполняются в виде секционных. Противоточные градирни могут иметь в плане любую из указанных форм, а в том случае, когда они прямоугольные или квадратные, выполняются преимущественно секционными.

Вход воздуха в секционные градирни со всасывающими вентиляторами осуществляется только с двух противоположных сторон, в отдельно стоящие — с четырех (по всему периметру в плане). Это выгодно отличает отдельно стоящие градирни от секционных, так как обеспечивает более равномерное распределение воздуха по оросителю и меньшие потери давления воздуха при входе в градирню. Поэтому отдельно стоящие градирни в сравнении с секционными при прочих равных условиях, обладают более высокой охлаждающей способностью и лучшими экономическими показателями.

На возведение секционных градирен затрачивается меньше строительных материалов, так как каждые две соседние секции имеют одну общую стенку, и площадь застройки для секционных градирен меньше, чем для отдельно стоящих. Благодаря прямоугольной форме секционных градирен строительство их в отличие от многоугольных отдельно стоящих проще и может быть осуществлено при меньшем числе типоразмеров элементов [5].

### 3.2 Принципы охлаждения воды в градирнях

При охлаждении воды в градирнях часть тепла передается атмосферному воздуху за счет поверхностного испарения воды (превращение части воды в пар с переносом его посредством диффузии и конвекции в воздух), другая часть — за счет разницы в температурах между водой и воздухом, т. е. теплоотдачей соприкосновением (теплопроводность и конвекция). Кроме того, некоторое количество тепла отводится от воды за счет излучения. Однако тепло, передаваемое излучением, настолько мало в сравнении с другими видами отдачи тепла, что им можно пренебречь при составлении теплового баланса градирни.

Согласно кинетической теории газов, механизм процесса испарения воды с поверхности соприкосновения ее с воздухом может быть представлен следующим образом. Молекулы воды находятся в беспорядочном тепловом движении, при этом скорости их колеблются в широких пределах. Те молекулы, которые обладают наибольшей скоростью (точнее, наибольшей кинетической энергией), вырываются в пространство, расположенное над поверхностью воды (испарение). При этом могут оторваться от воды только молекулы, расположенные вблизи ее поверхности, у которых составляющая скорости, нормальная к этой поверхности, достаточно велика и способна преодолеть силы молекулярного сцепления. Молекулы воды, оторвавшиеся от поверхности, при столкновениях с молекулами воздуха изменяют величину и направление своего движения. Некоторая часть вырвавшихся из воды молекул, сталкиваясь с молекулами воздуха, может быть

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



давлением насыщенного пара и парциальным давлением пара очень мала.

Для расчета процессов испарительного охлаждения в градирнях с достаточной степенью точности принимается (по Стефану), что в слое воздуха, непосредственно расположенном у поверхности воды, накапливается такое количество молекул пара, которое соответствует состоянию насыщения, при этом температура пара равна средней температуре воды. Различием в температурах на поверхности капель и пленок воды и в их толще можно пренебречь, так как в градирне размеры капель и толщина пленок малы и происходит интенсивное перемешивание воды. Следовательно, парциальное давление паров воды в слое воздуха, непосредственно примыкающем к поверхности воды, равно давлению насыщенного пара  $P''_{пт}$  при средней температуре воды.

В общем случае основная масса воздушного потока,двигающегося над поверхностью воды в градирнях, не насыщена водяными парами. При значениях температур и давлений в условиях работы градирен можно принять, что водяной пар подчиняется законам идеальных газов, и тогда парциальное давление пара в основной массе воздушного потока  $P_{п\theta}$  при температуре и  $^{\circ}\text{C}$  можно представить как произведение относительной влажности воздуха на давление насыщенного водяного пара:

$$P_{п\theta} = \varphi P''_{п\theta}, \quad (3.1)$$

где  $\varphi$  – относительная влажность воздуха в долях единицы;

$P''_{п\theta}$  – давление насыщенного пара при температуре основной массы потока воздуха [5].

«Движущей силой» процесса испарения воды в градирне является разность парциальных давлений пара у поверхности воды и в ядре воздушного потока.

$$\Delta P_{п} = P''_{пт} - P_{п\theta} \quad (3.2)$$

При теплоотдаче соприкосновением такой движущей силой является разность температур воды и воздуха [9]. Положительное значение этой разности – необходимое условие, при котором молекулы пара будут отводиться от поверхности воды в основную массу воздушного потока и будет происходить испарение. В условиях работы градирен парциальное давление пара  $P''_{пт}$  всегда выше парциального давления пара  $P_{п\theta}$ , и поэтому разность  $P''_{пт} - P_{п\theta}$  всегда положительная независимо от того, больше или меньше температура воды температуры окружающего воздуха. Следовательно, в градирне всегда происходит испарение воды. Но поскольку испарение связано с затратой тепла на изменение агрегатного состояния, оно вызывает поток тепла  $Q_{\beta}$  только от воды к воздуху, т. е. охлаждение воды.

Поток тепла, возникающий в результате теплоотдачи соприкосновением  $Q_{\alpha}$ , может быть направлен как от воды к воздуху, так и от воздуха к воде в

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
						35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

зависимости от того, какая из этих сред имеет более высокую температуру.

Когда температура воды больше температуры воздуха (обычный случай для градиен), то теплоотдача за счет испарения и соприкосновения (теплопроводность и конвекция) направлена в одну сторону – от воды к воздуху. Количество тепла, отдаваемого водой, для этого случая будет

$$Q = Q_{\alpha} + Q_{\beta}, \quad (3.3)$$

Когда же температура воздуха больше температуры воды, поток тепла  $Q_{\alpha}$  направлен от воздуха к воде. Пока количество тепла  $Q_{\beta}$ , теряемое водой благодаря ее поверхностному испарению, больше притока тепла к воде  $Q_{\beta}$ , поток результирующего тепла направлен в сторону от воды к воздуху, т.е.  $Q = Q_{\beta} - Q_{\alpha}$ , и температура воды будет понижаться. Это происходит до тех пор, пока направленный от воздуха к воде поток тепла  $Q_{\alpha}$  не становится равным потерям тепла водой от испарения  $Q_{\beta}$ . Равенство  $Q_{\alpha} = Q_{\beta}$  достигается тогда, когда температура воды  $t$  становится равной температуре атмосферного воздуха по влажному термометру  $\tau$ . Равновесие это носит динамический характер, так как ни испарение воды, ни подвод к ней тепла от воздуха при  $Q_{\alpha} = Q_{\beta}$  и  $t = \tau$  не приостанавливаются. С увеличением температуры воды общие теплопотери возрастают, причем теплоотдача испарением увеличивается значительно быстрее, чем теплоотдача соприкосновением. В результате этого в общих потерях тепла преобладает теплоотдача испарением. При снижении температуры воды до температуры воздуха по сухому термометру потери тепла соприкосновением становятся равными нулю, а при последующем снижении температуры воды они становятся отрицательными, т. е. поток тепла  $Q_{\alpha}$  направлен от воздуха к воде. Когда температура воды, снижаясь, приближается к температуре воздуха по влажному термометру, тогда потери тепла водой в результате испарения  $Q_{\beta}$  остаются положительными, в то же время потери соприкосновением становятся все больше и больше по своей абсолютной величине. При снижении температуры воды до температуры воздуха по влажному термометру отрицательные теплопотери соприкосновением  $Q_{\alpha}$  становятся равными положительным потерям тепла при испарении  $Q_{\beta}$ . Следовательно, существует равновесное состояние, но, как указывалось выше, оно носит динамический характер. В этой точке, характеризующей равновесное состояние, результирующая теплоотдача равна нулю и вода не снижает свою температуру.

Из изложенного выше следует, что процессы, происходящие при испарительном охлаждении, более сложные, чем теплообмен через твердую стенку. При испарительном охлаждении происходит дополнительно поверхностное испарение воды, сопровождающееся массообменом. Вода может быть охлаждена до температуры, более низкой, чем начальная температура охлаждающего ее воздуха (по сухому термометру), что свойственно только испарительному охлаждению. Температура охлаждающего воздуха может

									Лист
									36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	220301.2016.126.000 ПЗ				

повышаться и понижаться при понижении в то же время температуры воды [5].

### 3.3 Технологические элементы градирен

Большинство испарительных градирен, несмотря на разнообразие конструкций, имеют ряд общих элементов. К ним относятся: водораспределительные системы, оросительные устройства, водоуловители, сборные резервуары [4].

#### 3.3.1. Водораспределительные системы

Водораспределительная система предназначена для равномерного распределения охлаждаемой воды по поверхности орошения градири, в результате которого создается необходимая поверхность водного потока, определяющая его охлаждающую способность. Распределение воды может осуществляться как по напорной, так и безнапорной схемам.

Первая представляет собой систему трубопроводов, выполненную из металлических или асбестоцементных труб, которые оборудованы разбрызгивающими соплами. Подвод воды в систему напорного водораспределения (рисунок 3.6) осуществляется подводящим водоводом 6 к стояку 1. По коллекторам 2 и 3 вода поступает в периферийную и центральную зоны орошения, а затем по распределительным трубопроводам 5 подводится к соплам 4. На концах распределительных линий устанавливают «промывные» сопла 7.

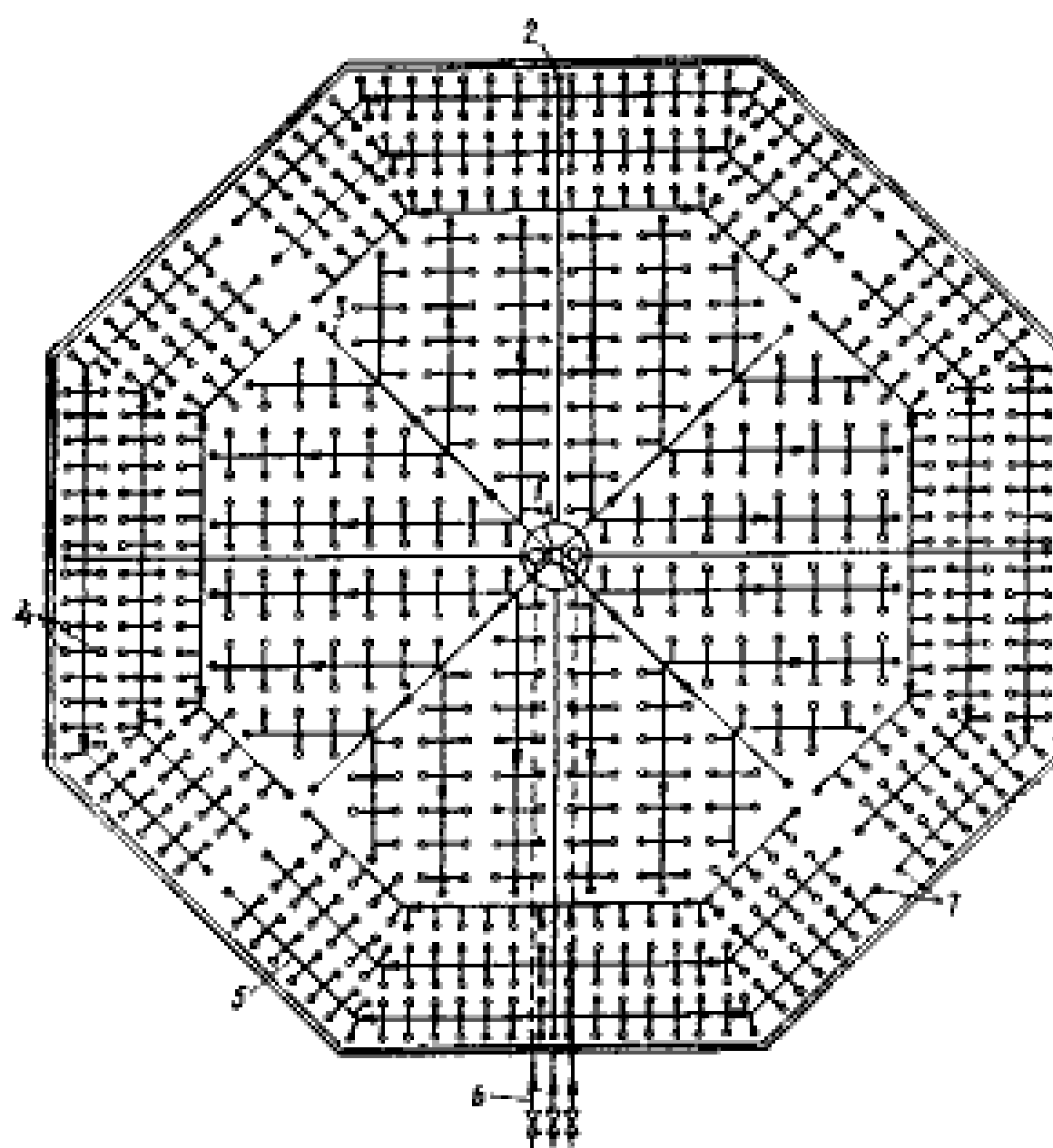


Рисунок 3.6 – Схема напорного водораспределителя

Установка разбрызгивающих сопел осуществляется двумя способами: направленными вниз факелами и направленными вверх факелами. В первом случае расстояние от сопла до оросителя принимается равным 0,8—1 м, а во втором

									Лист
									37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	220301.2016.126.000 ПЗ				





С целью интенсификации процесса охлаждения иногда применяют дифференцированное распределение воды с уменьшением плотности дождя к центру, что достигается применением гидравлических насадков или сопел различных диаметров либо изменением расстояния между ними.

Расстояние между тарелочками или соплами определяется из условия равномерного дождя. Для проведения трудоемких гидравлических расчетов совместного действия разбрызгивающих устройств существуют программы расчета на ЭВМ.

В отечественной и зарубежной практике уделяется большое внимание распределительным системам без разбрызгивания воды. Распределение воды без разбрызгивания осуществляется благодаря пуску ее через треугольные лотки с боковыми отверстиями, фильтрации через слой пористого материала, пропуску воды через щели с регулируемой шириной и др. Эти системы эффективно работают в условиях дефицита свежей воды [4].

### 3.3.2. Оросительные устройства

Направление движения воздуха по отношению к охлаждаемой воде в оросительных устройствах градирен может быть противоточным и поперечным. Оросительные устройства служат для создания необходимой поверхности охлаждения. Они могут быть:

- пленочного типа, теплоотдача в которых происходит главным образом с поверхности капель воды;
- пленочного типа, теплоотдача в которых происходит с поверхности водяной пленки, образующейся на щитах оросительного устройства;
- капельно-пленочного типа, теплоотдача в которых происходит как с поверхности капель, так и с поверхности пленки.

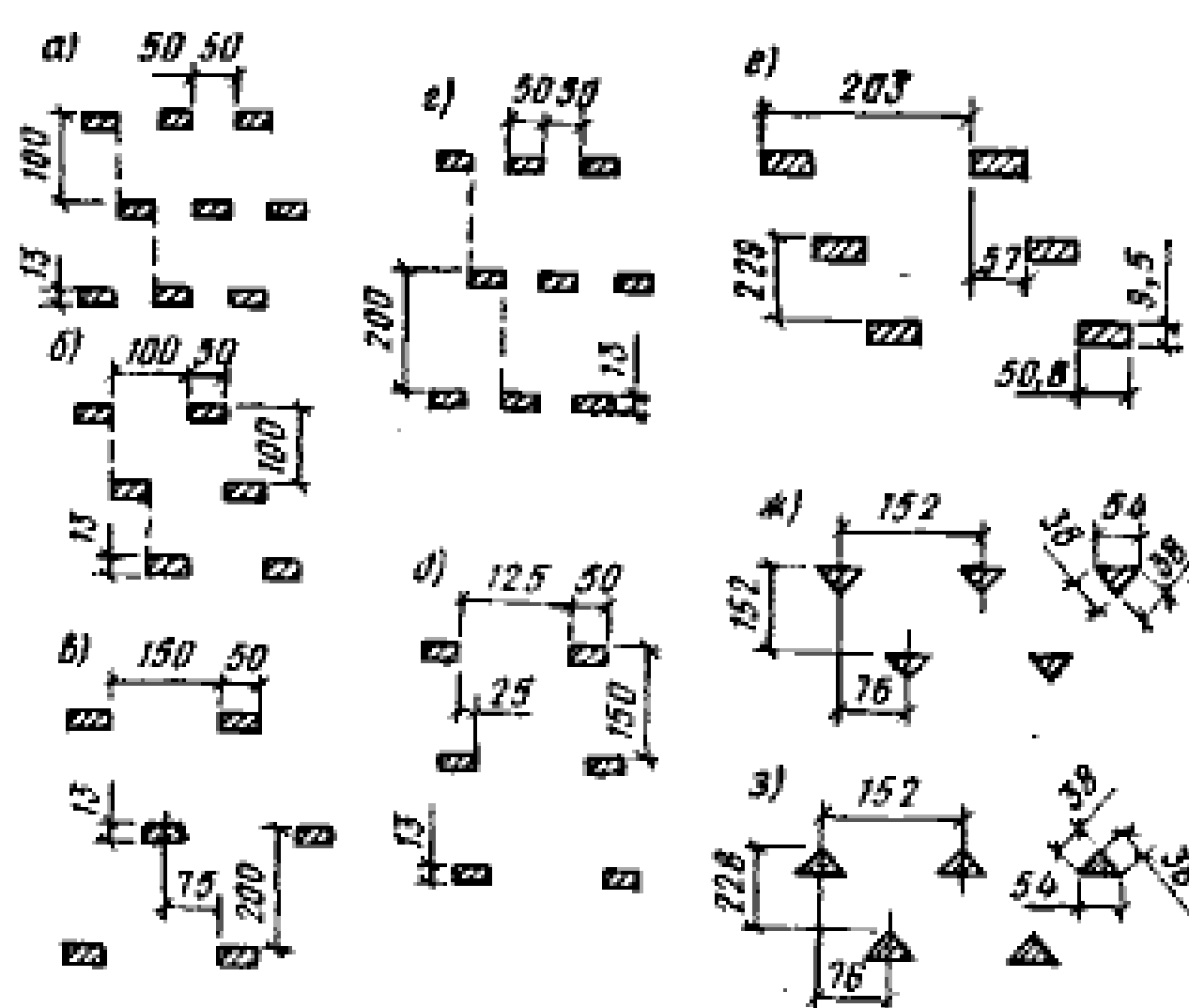


Рисунок 3.8 – Конструкции капельных оросителей из прямоугольных (а-е) и треугольных (ж, з) брусков

Капельный ороситель (рисунок 3.8 размеры даны в мм) выполняется из деревянных реек прямоугольного или треугольного сечения, которые располагаются в определенном порядке, обеспечивающем их смачивание охлаждаемой водой и возможно меньшее аэродинамическое сопротивление воздуху. При падении капля с реек верхнего яруса оросителя на нижний образуются факелы мелких брызг, создающие большую поверхность соприкосновения с воздухом, часть воды стекает. Вода при плотности орошения до  $1,4 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$  стекает с одной рейки на другую в виде капель.

Оросители из трехгранных реек имеют хорошие гидравлические и аэродинамические показатели, но сложны в изготовлении. Наиболее широко применяются оросители из прямоугольных брусков.

Пленочный ороситель выполняют из щитов (доски толщиной 10 мм), установленных вертикально или под углом  $85^\circ$  на расстоянии 30-40 мм друг от друга в несколько ярусов (рисунок 3.9). Вода, стекая по щитам, образует пленку толщиной 0,3—0,5 мм.

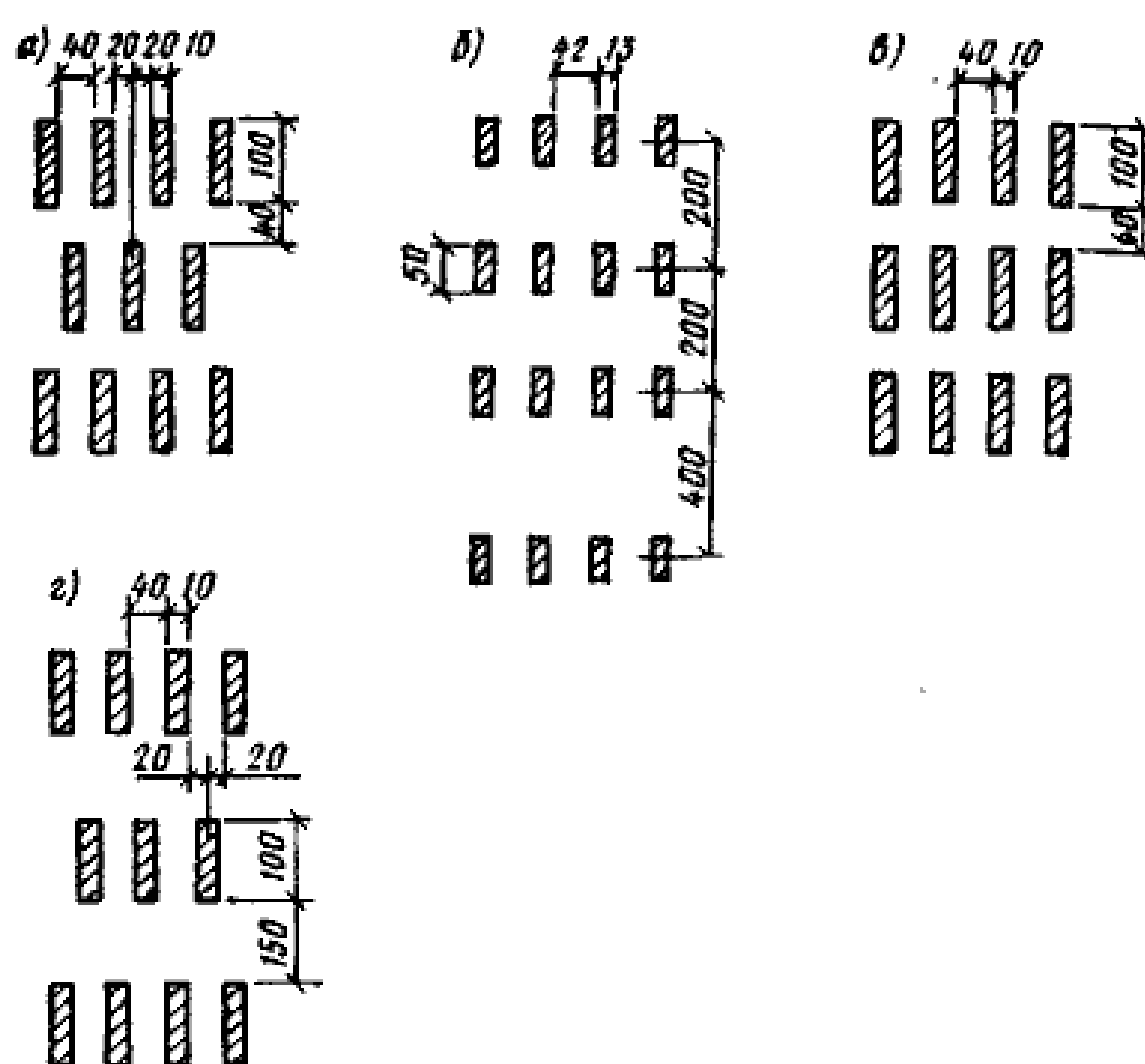


Рисунок 3.9 – Пленочные оросители из деревянных брусков

Пленочные оросители могут выполняться из асбестоцементных листов (рисунок 3.10) и полимерных материалов (рисунок 3.11). Существуют ячеистые оросители, которые могут выполняться из взаимно перекрещивающихся досок, поставленных на ребро и образующих в плане ячейки. Эти оросители могут быть изготовлены также из пластмассы.

На величину поверхности охлаждения пленочных оросителей сильно влияет смачиваемость щитов. Хорошее смачивание имеют оросители из нестроганных досок и асбестоцемента. Щиты из пластмасс, обладающие гидрофобными свойствами, смачиваются неполностью до момента образования карбонатной

					Лист
					40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

220301.2016.126.000 ПЗ



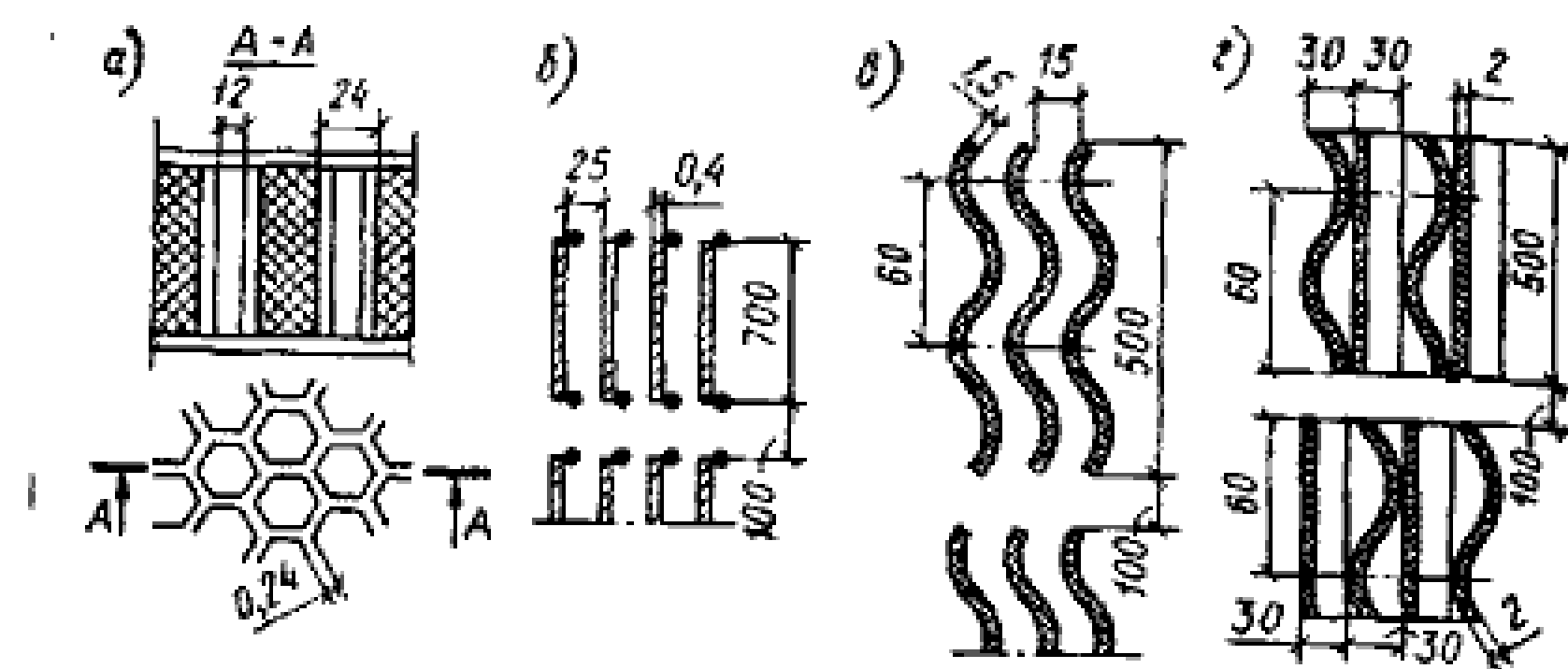


Рисунок 3.11 – Пленочные оросители из пластмасс:  
 а — сотоблочный; б — из перфорированного листа; в — из гофрированного  
 листа; г — из волнистого листа

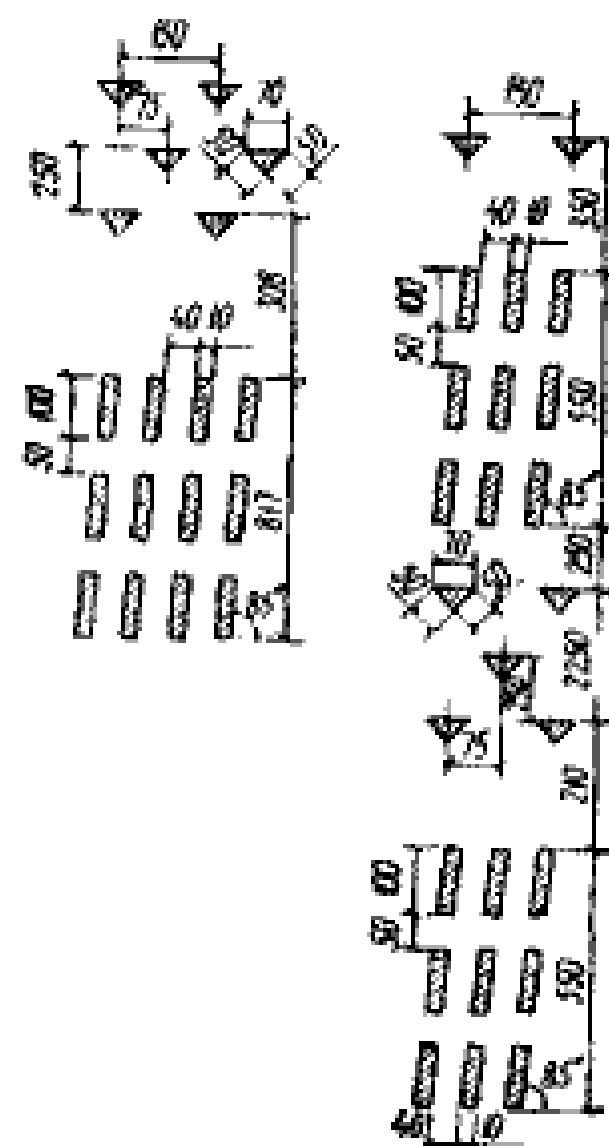


Рисунок 3.12 – Капельно-пленочный ороситель из деревянных брусков

Пленочный ороситель применяют для устойчивого и глубокого охлаждения воды, а также в условиях жаркого климата с расчетной температурой воздуха по влажному термометру выше 21°C. Его использование позволяет уменьшить площадь градирни на 30-40 % по сравнению с капельным оросителем той же производительности что является важным преимуществом при строительстве градирен на застроенной территории.

Выбор типа оросителя зависит также от химико-физического состава охлаждаемой воды. Наличие в воде жиров, смол нефтепродуктов, а также взвешенных веществ препятствует применению пленочных оросителей, так как может происходить засорение пространства между стоящими рядом щитами. В этом случае наблюдается плохая смачиваемость щитов и происходит ухудшение охлаждения воды. В таких условиях применяются капельные оросители или они не применяются вообще.

Плотность орошения для капельных оросителей башенных градирен обычно принимается равной не менее  $0,8 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ , для пленочных —  $1,4 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ . Для вентиляторных градирен плотность орошения ориентировочно может быть принята: при пленочном оросителе  $2,2—3,3 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ , капельном оросителе  $1,7—2,2 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$  и брызгальном  $1,4—1,7 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$  [4].

### 3.3.3. Водоуловительные установки

Вынос капель из градирен вызывает потери воды в системах водоснабжения промышленных предприятий. На некоторых предприятиях вынос недопустим по санитарным соображениям и для охраны окружающей среды.

Учитывая, что размеры, мощность и число градирен на промышленных площадках непрерывно возрастают, количество уносимой из них воды весьма велико. С целью уменьшения ее выноса над водораспределителями градирен устанавливаются водоуловители, что позволяет снизить вынос воды из градирни до  $0,05—0,2 \%$  расхода оборотной воды.

Из применяемых водоуловителей наиболее распространены водоуловители, выполняемые из двух рядов наклонных досок (рисунок 3. 8, а) и из волнистых асбоцементных листов (рисунок 3. 8, б).

Установка водоуловителя в некоторой степени увеличивает аэродинамическое сопротивление градирен, которое зависит от ряда факторов: степени заполнения живого сечения водоуловителя лопатками, наклона, формы, их взаимного расположения, материала.

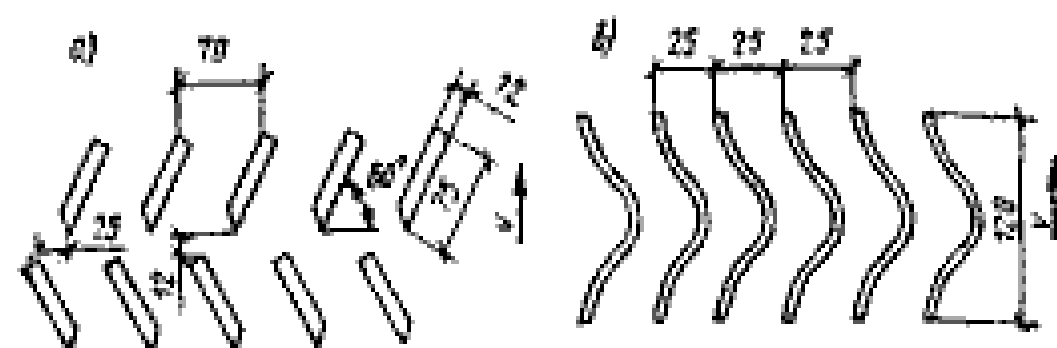


Рисунок 3. 8 – Типы водоуловителей для градирен

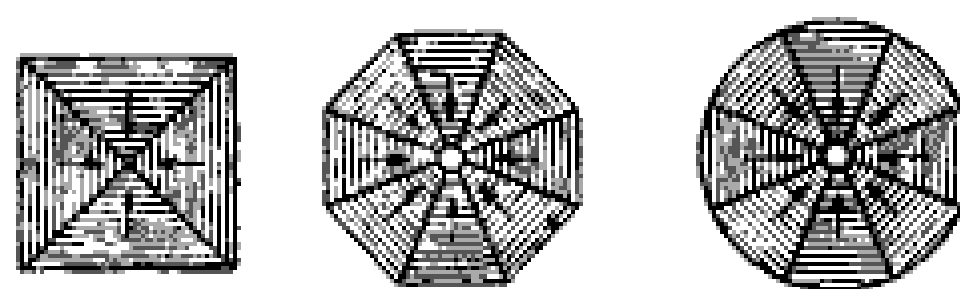


Рисунок 3. 8 – Схемы расположения водоуловителей в градирнях (стрелками указано направление наклона лопаток)

Наличие водоуловителя в градирне приводит к неравномерности распределения потока воздуха перед вентилятором, что может привести к снижению КПД вентиляторной установки. На рис. 9 приведены рекомендуемые схемы расположения водоуловителей, позволяющие выравнивать поток воздуха.

Применение водоуловителей из волнистого полиэтилена позволяет исключить недостатки рассмотренных конструкций. Их аэродинамическое сопротивление

									Лист
									43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	220301.2016.126.000 ПЗ				

ниже сопротивления деревянных и асбестоцементных водоуловителей [4]

### 3.4 Аэродинамический расчет градирни

#### 3.4.1 Аэродинамический расчет существующей градирни

Задачей аэродинамического расчета является определение аэродинамического сопротивления градирни. Расчет выполнен на основе усовершенствованной методики, разработанной НИИ ВОДГЕО [9].

Общее сопротивление градирни  $P_c$  определяется следующим образом:

$$P_c = (P_{вх} + P_{ор} + P_{вр} + P_{ву} + P_{пв}) \cdot \Phi + P_d, \quad (3.5)$$

где  $P_{вх}$  – сопротивление входа в градирню, включая воздухораспределитель, с учетом поворота потока воздуха в ороситель;

$P_{ор}$  – сопротивление оросителя;

$P_{вр}$  – сопротивление водораспределителя;

$P_{ву}$  – сопротивление водоуловителя;

$P_{пв}$  – сопротивление подхода воздуха от водоуловителя до обечайки;

$P_d$  – сопротивление, добавляемое при подаче на градирню воды. Это сопротивление зависит от гидравлической нагрузки, типа оросителя, водораспределителя и размеров секции;

$\Phi$  – коэффициент, учитывающий влияние формы секции в плане на общее сопротивление градирни.

Подсчет сопротивления секции производится по формуле

$$P_c = \xi_c \frac{\rho \omega^2}{2g}, \quad (3.6)$$

где  $\omega = 2.43$  м/с – скорость движения воздуха в свободном сечении градирни;

$\rho = 1.2$  кг/м<sup>3</sup> – плотность воздуха;

$\xi_c$  – коэффициент сопротивления градирни (секции), определяемый как сумма коэффициентов сопротивления всех элементов, находящихся на пути прохождения воздуха.

$$\xi_c = (\xi_{вх} + \xi_{ор} \cdot h_{ор} + \xi_{вр} + \xi_{ву} + \xi_{пв}) \cdot \Phi + \xi_d, \quad (3.7)$$

где  $\xi_{вх} = 1$  – коэффициент сопротивления входа в градирню, включая воздухораспределитель, с учетом поворота потока воздуха в ороситель;

$\xi_{ор} = 0.78$  1/м – коэффициент сопротивления оросителя;

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$h_{ор} = 1.02$  м – высота оросителя;

$\xi_{вр} = 0.4$  – коэффициент сопротивления водораспределителя;

$\xi_{вд} = 4.7$  – коэффициент сопротивления водоуловителя;

$\xi_{пв} = 10$  – коэффициент сопротивления при подходе воздуха к вентилятору по пути от водоуловителя до обечайки;

$\xi_d$  – коэффициент аэродинамического сопротивления при подаче воды на градирню, определяемый по формуле

$$\xi_d = q_{ж} (0.2l + K_{ор}h_{ор} + K_{вр}h_{вр})П, \quad (3.8)$$

где 0.2 – коэффициент удельного сопротивления дождя под оросителем, отнесенный к скорости воздуха в свободном горизонтальном сечении;

$l = 1.85$  м – половина длины воздухораспределителя;

$K_{ор}$  – коэффициент сопротивления дождя в оросителе, принимаемый для пленочного деревянного оросителя равным 0.075;

$K_{вр}$  – коэффициент сопротивления дождя в водораспределительном устройстве, принятый для трубчатого водораспределителя с тангенциальными пластмассовыми соплами ВОДГЕО по данным натурных исследований равным 0.1;

$h_{вр}$  – высота дождя в водораспределителе, равная 1.6 м;

$П$  – коэффициент размерности для перехода к безразмерному значению  $\xi_d$ , при единицах измерения, принятых в данном случае, равен  $1ч/м^2$ ;

$q_{ж} = 15.84$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч) – плотность орошения.

Коэффициент аэродинамического сопротивления при подаче воды на градирню:

$$\xi_d = 15.84 \cdot (0.2 \cdot 1.85 + 0.075 \cdot 2.02 + 0.1 \cdot 1.6) \cdot 1 = 10.795$$

Коэффициент сопротивления градирни (секции):

$$\xi_c = (1 + 0.78 \cdot 2.02 + 0.4 + 4.7 + 10) \cdot 1 + 10.795 = 28.47$$

Полное аэродинамическое сопротивление градирни:

$$P_c = 28.47 \cdot \frac{1.2 \cdot 2.43^2}{2 \cdot 9.81} = 12.28 \frac{кг}{м^2}$$

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
						45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

### 3.4.2 Аэродинамический расчет модернизированной градирни

Задачей аэродинамического расчета является определение аэродинамического сопротивления градирни. Расчет выполнен на основе усовершенствованной методики, разработанной НИИ ВОДГЕО [9].

Общее сопротивление градирни  $P_c$  определяется по формуле (3.5)

$$P_c = (P_{вх} + P_{ор} + P_{вр} + P_{ву} + P_{пв}) \cdot \Phi + P_d,$$

где  $P_{вх}$  – сопротивление входа в градирню, включая воздухораспределитель, с учетом поворота потока воздуха в ороситель;

$P_{ор}$  – сопротивление оросителя;

$P_{вр}$  – сопротивление водораспределителя;

$P_{ву}$  – сопротивление водоуловителя;

$P_{пв}$  – сопротивление подхода воздуха от водоуловителя до обечайки;

$P_d$  – сопротивление, добавляемое при подаче на градирню воды. Это сопротивление зависит от гидравлической нагрузки, типа оросителя, водораспределителя и размеров секции;

$\Phi$  – коэффициент, учитывающий влияние формы секции в плане на общее сопротивление градирни.

Подсчет сопротивления секции производится по формуле (3.6)

$$P_c = \xi_c \frac{\rho \omega^2}{2g},$$

где  $\omega = 2.43$  м/с – скорость движения воздуха в свободном сечении градирни;

$\rho = 1.2$  кг/м<sup>3</sup> – плотность воздуха;

$\xi_c$  – коэффициент сопротивления градирни (секции), определяемый как сумма коэффициентов сопротивления всех элементов, находящихся на пути прохождения воздуха

$$\xi_c = (\xi_{вх} + \xi_{ор} \cdot h_{ор} + \xi_{вр} + \xi_{ву} + \xi_{пв}) \cdot \Phi + \xi_d,$$

где  $\xi_{вх} = 1$  – коэффициент сопротивления входа в градирню, включая воздухораспределитель, с учетом поворота потока воздуха в ороситель;

$\xi_{ор} = 6.20$  1/м – коэффициент сопротивления оросителя;

$h_{ор} = 1.02$  м – высота оросителя;

$\xi_{вр} = 0.4$  – коэффициент сопротивления водораспределителя;

$\xi_{ву} = 13.6$  – коэффициент сопротивления водоуловителя;

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46



$\xi_{пв} = 10$  – коэффициент сопротивления при подходе воздуха к вентилятору по пути от водоуловителя до обечайки;

$\xi_d$  – коэффициент аэродинамического сопротивления при подаче воды на градирню, определяемый по формуле (3.7)

$$\xi_d = q_{ж} (0.2l + K_{ор}h_{ор} + K_{вр}h_{вр})\Pi,$$

где 0.2 – коэффициент удельного сопротивления дождя под оросителем, отнесенный к скорости воздуха в свободном горизонтальном сечении;

$l = 1.85$  м – половина длины воздухораспределителя;

$K_{ор}$  – коэффициент сопротивления дождя в оросителе, принимаемый для пленочного деревянного оросителя равным 0.366;

$K_{вр}$  – коэффициент сопротивления дождя в водораспределительном устройстве, принятый для трубчатого водораспределителя с тангенциальными пластмассовыми соплами ВОДГЕО по данным натурных исследований равным 0.1;

$h_{вр}$  – высота дождя в водораспределителе, равная 1.6 м;

$\Pi$  – коэффициент размерности для перехода к безразмерному значению

$\xi_d$ , при единицах измерения, принятых в данном случае, равен  $1\text{ч}/\text{м}^2$ ;

$q_{ж} = 15.84 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  – плотность орошения.

Коэффициент аэродинамического сопротивления при подаче воды на градирню:

$$\xi_d = 15.84 \cdot (0.2 \cdot 1.85 + 0.366 \cdot 2.02 + 0.1 \cdot 1.6) \cdot 1 = 20.11$$

Коэффициент сопротивления градирни (секции):

$$\xi_c = (1 + 6.20 \cdot 2.02 + 0.4 + 13.6 + 10) \cdot 1 + 20.11 = 57.63$$

Полное аэродинамическое сопротивление градирни:

$$P_c = 57.63 \cdot \frac{1.2 \cdot 2.43^2}{2 \cdot 9.81} = 20.81 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$$

Необходимо проверить соответствие аэродинамических сопротивлений на градирни напору, развиваемому вентилятором. Для этой цели вычисляется подача воздуха вентилятором  $G''$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , исходя из формулы

$$G'' = \frac{\lambda q_{ж} f_{ор}}{\rho},$$

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
						47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где  $\lambda$  – удельный расход воздуха;

$f_{ор}$  – площадь орошения градирни (секции),  $m^2$ ;

$\rho = 1.2 \text{ кг}/m^3$  – плотность воздуха.

$$G''_в = \frac{0.663 \cdot 4.4 \cdot 3600 \cdot 54.76}{1.2} = 479491 \frac{m^3}{ч}$$

Номинальная подача вентилятора составляет 436.25 тыс.  $m^3/ч$ . Отклонение от номинальной подачи составляет 9.9% (допускается до  $\pm 20\%$ ), следовательно, аэродинамическое сопротивление градирни считается соответствующим напору.

Скорость движения воздуха в свободном сечении градирни

$$\omega = \frac{G''_в}{f_{ор}}$$

$$\omega = \frac{479491}{3600 \cdot 54.76} = 2.43 \text{ м/с}$$

В результате аэродинамического расчета существующей и модернизированной градирен было определено общее аэродинамическое сопротивление и количество воздуха равно  $479491 \text{ м}^3/ч$ . Аэродинамическое сопротивление градирни считается соответствующим напору. Также была найдена скорость движения воздуха в свободном сечении градирни, равная  $2.43 \text{ м/с}$ .

### 3.5 Показатели материального баланса потерь воды в градирне

При охлаждении воды в градирнях всегда происходит потеря воды за счет испарения и уноса капельной влаги с уходящим воздухом. Количество испарившейся воды может быть подсчитано исходя из уравнения теплового и материального баланса:

$$G_{ж1} c_{ж} t_1 - G_в h_2 = G_{ж2} c_{ж} t_2 - G_в h_1;$$
$$G_{и} = G_{ж1} - G_{ж2},$$

где  $G_{ж1}$  и  $G_{ж2}$  – расход воды на входе и выходе из градирни,  $кг/с$ ;

$c_{ж} = 4.19 \text{ кДж}/(кг \cdot ^\circ C)$  – удельная теплоемкость воды;

$t_1, t_2$  – температура воды на входе в градирню и выходе из нее,  $^\circ C$ ;

$h_1, h_2$  – энтальпия воздуха в ядре потока при входе в градирню и выходе из нее,  $кДж/кг$  ( $ккал/кг$ );

$G_в$  – расход воздуха,  $кг/с$ .

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
						48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Количество испарившейся воды может быть выражено также и через расход и влагосодержание воздуха, кг/с (кг/ч):

$$G_{\text{и}} = G_{\text{в}}(d_2 - d_1),$$

где  $d_1, d_2$  – влагосодержания насыщенного воздуха на входе в градирню и выходе из нее, кг/кг.

Решая совместно эти уравнения, получим следующую формулу для определения количества испарившейся воды:

$$G_{\text{и}} = \frac{G_{\text{ж1}} c_{\text{ж}} (t_1 - t_2)}{\frac{h_2 - h_1}{d_2 - d_1} - c_{\text{ж}} t_2}$$

Этой формулой удобно пользоваться при испытаниях действующих градирен в натуре или опытных установок в лабораторных условиях, когда требуется определить относительно точные количества испарившейся воды.

При проектировании систем оборотного водоснабжения для определения расхода добавочной воды (для восполнения ее потерь) можно исходить из предположения, что все тепло отнимается от воды только за счет испарения и тогда можно написать

$$G_{\text{и}} r \approx G_{\text{ж}} \Delta t c_{\text{ж}},$$

где  $r = 2493 \text{ кДж/кг}$  – удельная теплота парообразования.

Отсюда количество испарившейся воды в процентах от общего расхода циркуляционной воды будет определяться формулой

$$P_1 = \frac{G_{\text{и}}}{G_{\text{ж}}} 100 = \frac{\Delta t c_{\text{ж}}}{r} 100 = a \Delta t,$$

$$\text{где } a = \frac{c_{\text{ж}}}{r} 100.$$

При средних температурах воды в градирнях коэффициент  $a$  будет равен примерно  $0,171 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$ . В действительности благодаря наличию теплоотдачи соприкосновением, особенно значительной при низких температурах наружного воздуха, величина этого коэффициента уменьшится. При температуре атмосферного воздуха по сухому термометру  $\theta = 28,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$  по СНиП коэффициент

$$a = 0,1489 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}.$$

Количество испарившейся воды в процентах от общего расхода

									Лист
									49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	220301.2016.126.000 ПЗ				

циркуляционной воды для существующей градирни:

$$P_1 = 0.1489 (37 - 32) = 1.75\%$$

Количество испарившейся воды в процентах от общего расхода циркуляционной воды для модернизированной градирни:

$$P_1 = 0.1489 (37 - 28.2) = 0.002\%$$

Восходящий поток влажного воздуха при прохождении через градирню увлекает мелкие капли и выносит их за ее пределы. Вынос капель воды вызывает увлажнение расположенных поблизости от градирен сооружений, а также потери воды в системе оборотного водоснабжения предприятия. Для снижения потерь воды вследствие уноса капельной влаги с уходящим воздухом градирнях всех типов предусматриваются водоуловители.

Потери воды в результате уноса  $P_2$  в значительной мере зависят от конструкций водораспределителя и каплеуловителя градирни, а также от скорости движения воздуха в градирне над оросителем.

Величина этих потерь может быть установлена только экспериментально, однако проведение опытов затруднено из-за небольшой величины уноса по отношению к общему расходу воды. Для брызгальных градирен принимаются потери за счет уноса в размере 1.0—1.5% циркуляционного расхода воды. При неисправностях водораспределителя (лоткового) и водоуловителя размер этих потерь значительно возрастает. По данным натурных испытаний каплеотбойника (ИК-100) производства ООО «ИРВИК», который будет использоваться в модернизированной градирне  $P_2 = 0.002\%$ .

Величина потери на продувку  $P_3$  с целью ограничения солесодержания охлаждающей воды определяется в зависимости от качества добавочной (свежей) воды и способа водоподготовки. Эти потери предусматривают для поддержания расчетной концентрации растворимых в оборотной воде солей, не выпадающих в осадок.

Количество добавочной воды.

Количество воды, добавляемой в систему  $P_{доб}, \%$ , равно общей сумме потерь воды в системе:

$$P_{доб} = P_1 + P_2 + P_3$$

Вывод по разделу три.

В данном разделе были рассмотрены принципы охлаждения воды в градирнях, технологические элементы градирен. Так же был произведен аэродинамический расчет градирни.

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

## 4 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ

### 4.1 Автоматизация вентиляторных градирен

В общем случае водооборотные системы, применяемые в горнодобывающей, нефтеперерабатывающей, стекольной, химической промышленности, машиностроении, металлургии и других отраслях, включают в себя (рисунок 4.1):

- промышленных потребителей, использующих оборотную воду для охлаждения машин, аппаратов и рабочих сред;
- насосные станции с системой водоподготовки для обеспечения циркуляции воды в системе;
- охладительные установки (градирни).

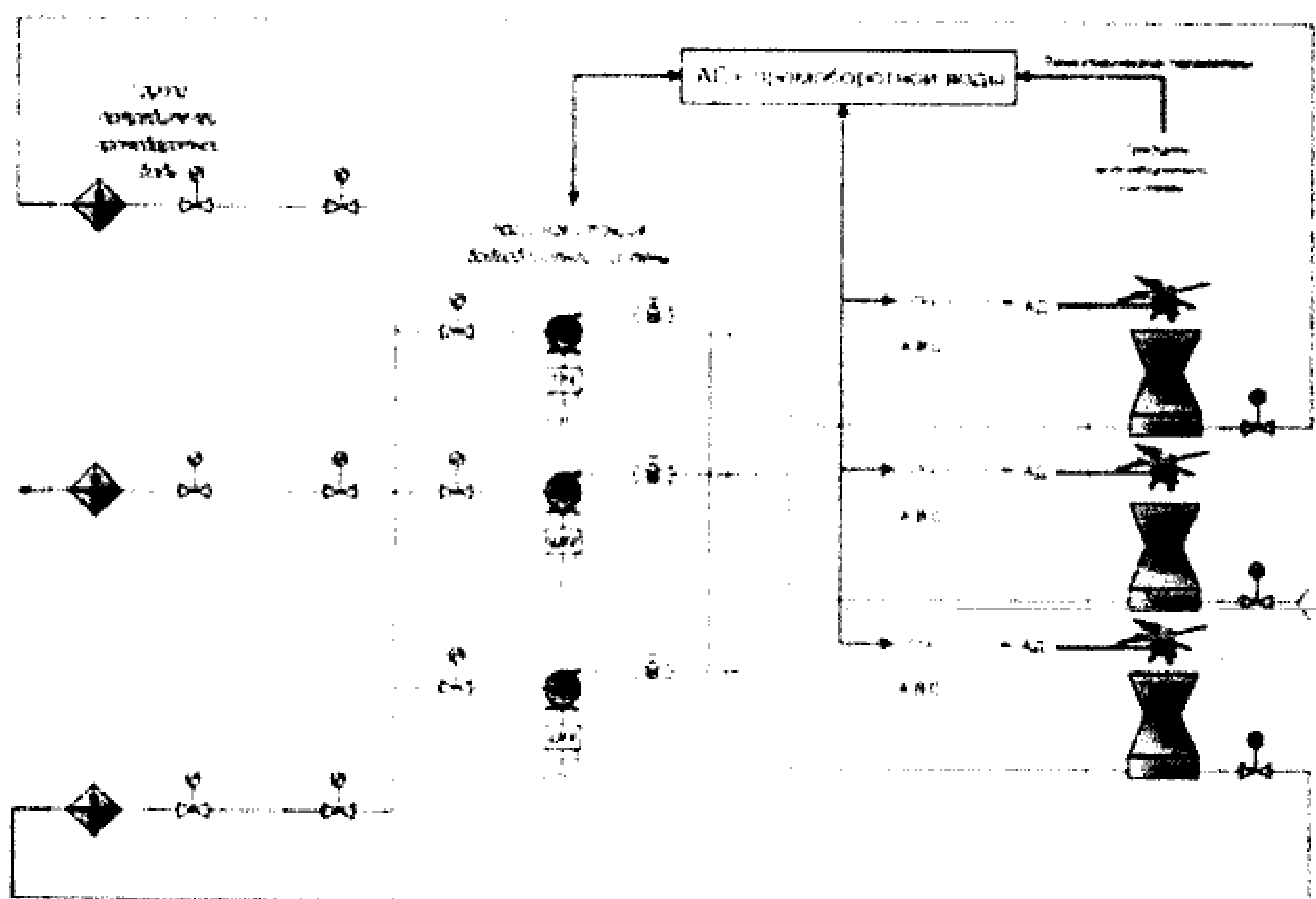


Рисунок 4.1 – Функциональная схема водооборотной системы:

Условные обозначения: АД — асинхронный двигатель; ПЧ — преобразователь частоты; ШКУ — шкаф контакторного управления

Для повышения эффективности технологического процесса охлаждения воды и обеспечения энергосбережения в периоды пониженной нагрузки на охладительные установки целесообразно внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) водооборотных циклов. Автоматизация технологического процесса охлаждения воды может быть:

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51











средствами ПЧ и промышленного компьютера (ПК), прогнозирования неисправностей в фоновом режиме, формирования оптимальных динамических режимов.

Реализация тахограмм «мягкого» пуска, торможения и перехода на новые скорости при минимальной кратности токов АД благоприятно сказывается на старении изоляции обмоток двигателя, его тепловом состоянии, а ограничение больших динамических моментов приводит к отсутствию напряжений и ударов в механических передачах (длинных валах, редукторах и лопастях вентилятора). К тому же становится возможной работа вентилятора в зоне помпажа и снижается вероятность рециркуляции воздуха (затягивание влажного воздуха обратно в воздухозаборные жалюзи градирни).

Наконец, координация работы всех локальных систем технологического процесса и обмен между ними информацией в рамках АСУ ТП второго уровня в среде Ethernet позволяет оптимизировать и инициализировать функционирование всего производственного процесса с единого диспетчерского поста, принципиальная схема которого показана рисунке 4.3.

Кроме того, системой автоматизации выполняются следующие функции:

- контроль состояния аппаратов в схеме управления электродвигателями вентиляторов (реле протока масла редуктора, положения переключателя выбора управления);
- контроль температуры и протока масла в редукторах вентиляторов с выработкой предупредительных сигналов и команды на отключение вентиляторов при получении аварийных сигналов;
- получение информации от расходомеров горячей воды, подаваемой на градирню из насосной станции;
- получение из насосной станции информации от управляющего контроллера и выработка соответствующей команды управления вентиляторам градирни в аварийном режиме;
- отображение информации о ходе технологического процесса в форме мнемосхемы (видеокадра) на мониторах ПК с подачей звукового (голосового) сигнала при аварийных ситуациях;
- ведение протокола событий с возможностью вывода на печать данных, полученных за заданный промежуток времени (смена, сутки).

В перспективе возможно включение данной локальной автоматизированной системы управления в АСУ ТП оборотного водоснабжения.

В состав аппаратуры рассматриваемой системы автоматизации входят следующие приборы и устройства:

- термопреобразователи сопротивления для измерения температуры с характеристикой Pt100;
- модули ADAM-6015 — преобразователи аналоговых сигналов от термопреобразователей сопротивления в цифровые данные, передаваемые в ПК по локальной сети Ethernet;
- модуль ADAM-6017 — преобразователь токовых сигналов 4...20 мА в

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56



которые определяют путём статистической обработки экспериментальных данных (число замеров 50-100).

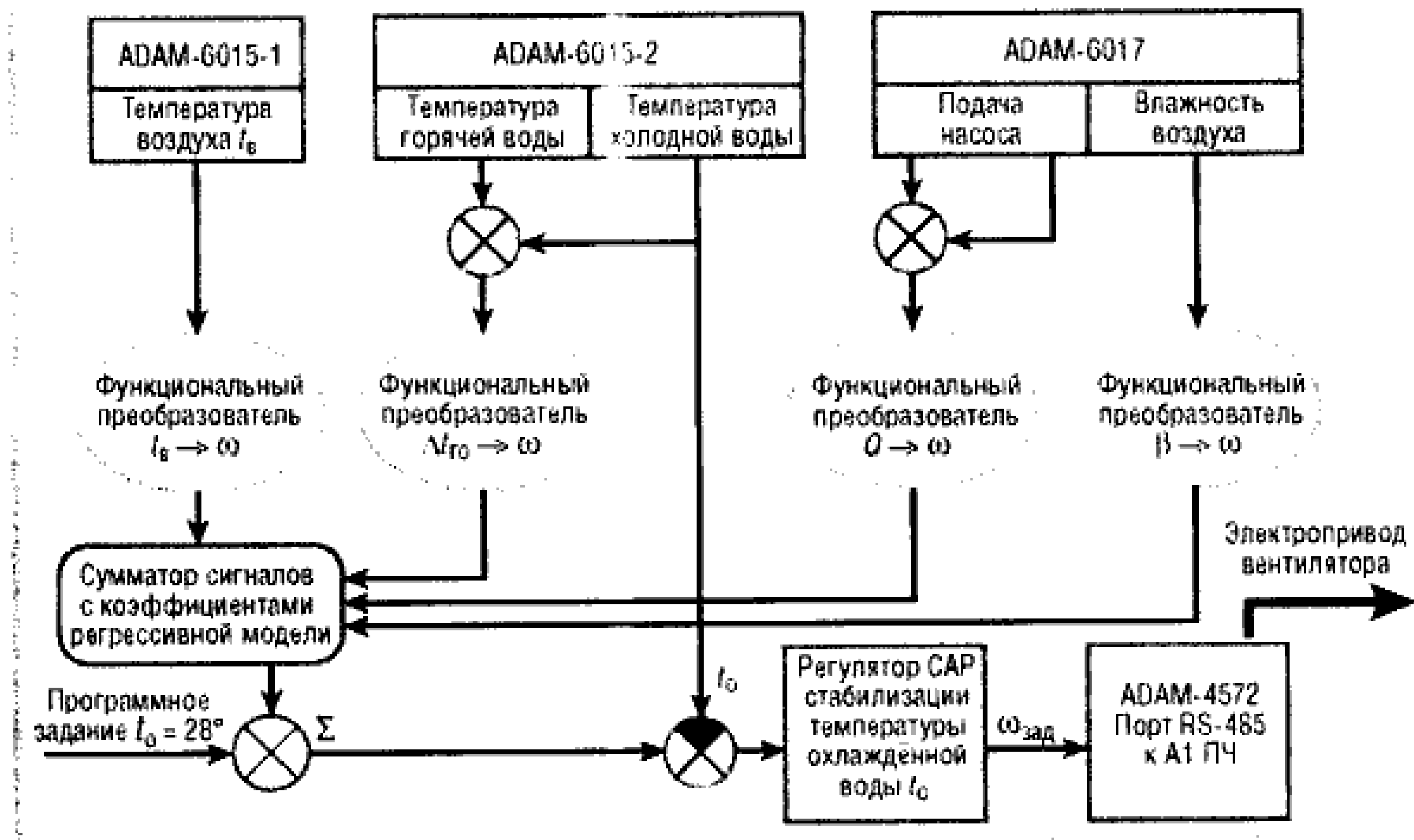


Рисунок 4.5 – Преобразование сигналов в системе управления скоростью вентилятора градирни

Однако, судя по представленным на рис. 4.7 зависимостям  $\dot{\omega} = f(\beta, t_a)$ , практически все такого рода характеристики являются нелинейными, близкими по виду к функциям  $y = x^n$  при  $n > 1$ . Поэтому подобную регрессионную модель и алгоритм управления представляем в виде:

$$\dot{\omega}_{\text{зад}} = A (\Delta t_{\text{тв}})^a (t_{\text{в}})^b (\beta)^c (Q)^d (e)^g, \quad (4.2)$$

где  $A$  — коэффициент пропорциональности;  $a, b, c, d, g$  — показатели интенсивности каждого из возмущающих воздействий, включая помехи и неучтённые атмосферные возмущения  $e$  (интенсивность и направление ветра, суточные изменения давления, наличие и характер осадков).

В зависимости от конкретных требований к точности задания скорости вентилятора и поддержания стабильной температуры охлаждённой воды используются либо линеаризованные (точность до 10%), либо нелинейные регрессионные алгоритмы. Во втором случае точность определяется совокупной точностью датчиков и коэффициентов в расчётном уравнении.



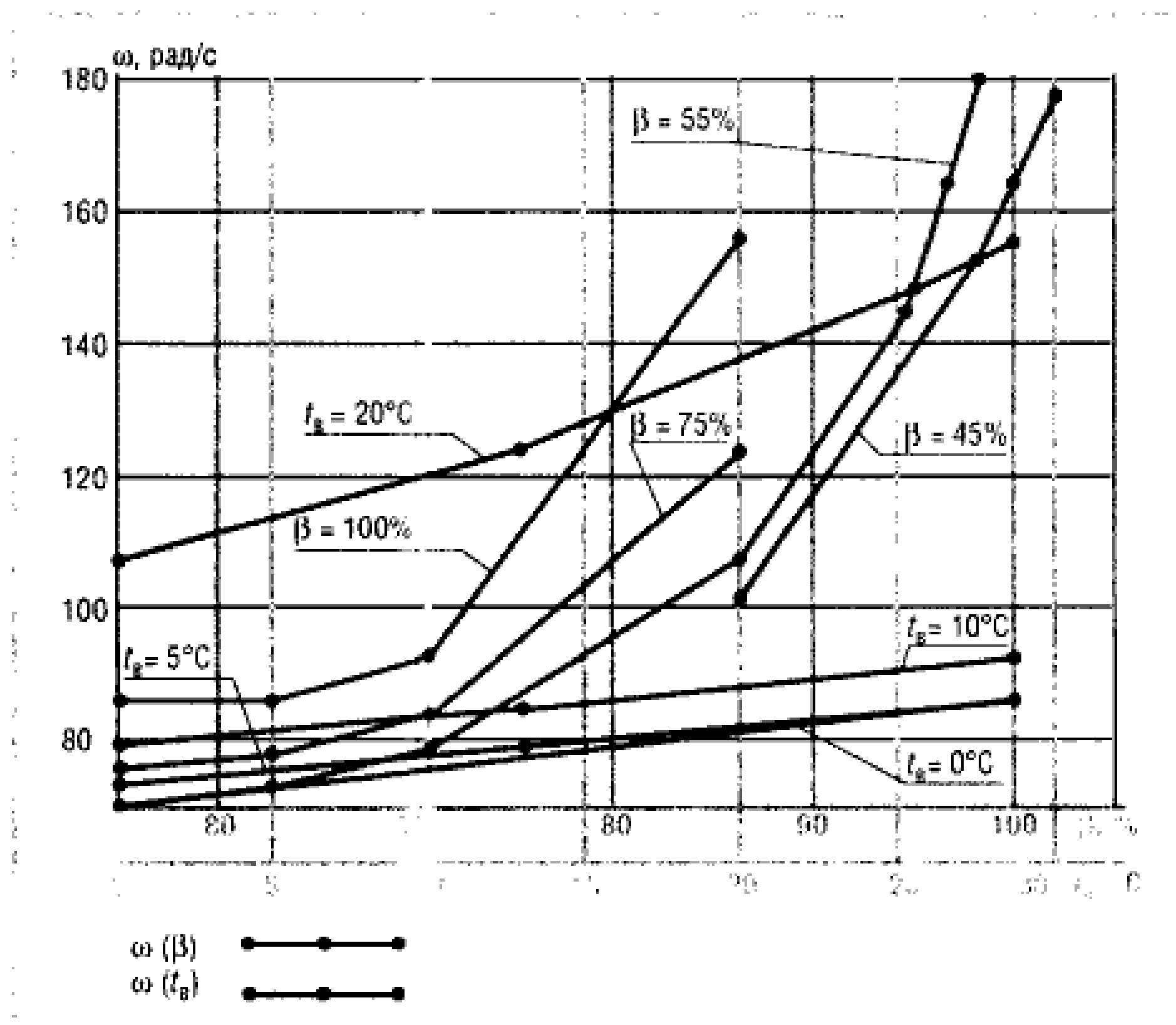


Рисунок 4.7 – Экспериментальные зависимости, характеризующие охлаждающие возможности градирни

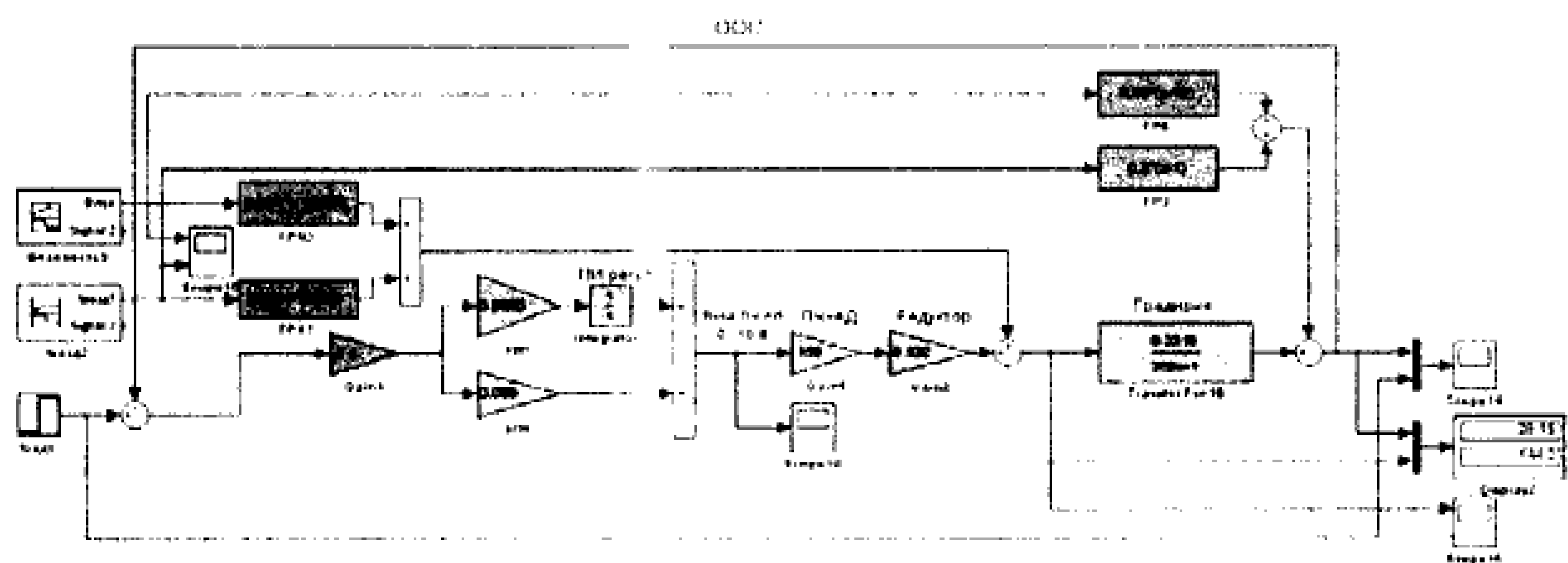


Рисунок 4.8 – Структурная схема модели САР водооборотной системы, учитывающей действия метеорологических возмущений (моделирование в среде MatLab 6.5)

Получен достаточный объем наглядных результатов, подтверждающих корректность реализации данного проекта. Приведены временные диаграммы переходных процессов при линейном и ступенчатом изменении возмущений, действующих на водооборотную систему с вентиляторными градирнями. Данные результаты в совокупности с исследованиями на макете электропривода мощностью 300 Вт позволяют подтвердить эффективность и адекватность разработанного проекта.

При высоких требованиях к статической точности стабилизации главного технологического параметра — температуры охлажденной воды — необходимо оптимизировать соответствующие регуляторы АСУ ТП с учётом нескольких видов возмущений и возможности реализации принципа декомпозиции при синтезе САР.

#### Вывод по разделу четыре

В рассмотренном проекте разработана универсальная автоматизированная система регулирования температуры охлажденной воды через управление электроприводом вентиляторной градирни. На основе теории вероятностей и методов математической статистики разработана совокупность регрессионных алгоритмов для адекватного задания скорости вращения ПЧ-АД вентилятора градирни, позволяющая точно учесть влияние всех критичных видов возмущений. Кроме того, разработана и синтезирована замкнутая автоматизированная система стабилизации температуры охлажденной воды на базе управления электроприводом ПЧ-АД, инвариантная к действию всех основных метеорологических и технологических возмущений.

Средства автоматизированного управления электроприводом вентилятора градирни позволяют оптимизировать режимы энергосбережения, мониторинга и диагностики работы водооборотной системы и интегрировать её в АСУ ТП всего производства.

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
						61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 5 ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

### 5.1 Обоснование проектной разработки

Целью данного дипломного проекта является разработка системы автоматического управления процессом охлаждения воды в вентиляторной градирне.

Применение систем водооборота на производстве может быть экономически оправдано повышением качества выпускаемой продукции, увеличением срока службы технологического оборудования, резкое сокращение потребностей в свежей воде, уменьшение количества сбрасываемых сточных вод, а также повышением технического уровня данного производства.

Для работы системы охлаждения воды необходима система автоматизации, которая выполняет следующие функции:

- автоматическое регулирование параметров, определяющих технологический процесс;
- автоматическое управление основными технологическими процессами в соответствии с заданным режимом, или по заданной программе;
- автоматический контроль основных параметров, характеризующих технологический процесс.

#### 5.1.1 Определение трудоемкости разработки

Под трудоемкостью понимаются затраты рабочего времени на разработку проекта в определенных условиях. Все применяемые методы оценки трудоемкости сводятся к трем группам: экспертные, опытно-статистические, аналитические.

Бурное развитие и совершенствование современных технологий как в области микроконтроллеров и программного обеспечения, так и в области промышленного оборудования не позволяет эффективно использовать метод прямого нормирования работ для оценки трудоемкости разработки. В этом методе трудоемкость работы определяется по нормативам времени с применением поправочных коэффициентов, зависящих от новизны, объема, сложности и прочих условий, а эти нормативы быстро устаревают.

Поэтому расчет трудоемкости разработки дипломного проекта будем проводить методом экспертной оценки.

В связи с быстрым развитием современных технологий в области технических средств и программного обеспечения, разработка любого продукта содержит в себе экономический риск: есть вероятность того, что к моменту внедрения готовой системы разработка может морально устареть. Кроме того, есть большая вероятность, что конкурирующие организации могут предложить более совершенную и выигрывающую по цене систему.

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
						62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Поэтому на решение поставленной задачи заданы жесткие ограничения по времени и человеческим ресурсам:

- время выполнения поставленной задачи не более 9 мес;
- время реализации на монтаж и внедрение системы – не более 14 дней;
- число человек, работающих над проектом – 2 чел;
- число человек, задействованных в операциях внедрения/монтажа системы – 6 чел.

Расчет трудоемкости разработки производится по формуле (5.1).

$$T_{об} = \sum_{i=1}^n t_i \quad (5.1)$$

где:

- $t_i$  – трудоемкость работ по стадиям проектирования,
- $n$  – количество стадий проектирования.

Воспользуемся экспертными методами определения трудоемкости работ на каждую стадию процесса. Определим, пользуясь собственным опытом и знаниями, максимальное и минимальное время необходимое для разработки каждого пункта, а исходя из них ожидаемое время. Ожидаемое время определяется по формуле (5.2).

$$T_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5} \quad (5.2)$$

Затраты времени на каждую стадию разработки проекта представлены в таблице 5.1

Таблица 5.1 – Затраты времени по стадиям разработки проекта

Стадия разработки	$t_{min}$ , чел. дни	$t_{max}$ , чел. дни	Ожидаемые затраты времени, чел. дни
Подготовительный этап	10	24	18
Проектирование	25	40	31
Моделирование	10	15	12
Разработка/выбор технических средств	45	50	47
Программирование/тестир ование/отладка	20	40	32
Составление документации	10	15	14
Итого:	120	184	154

В подготовительный этап входят: аналитический обзор, оценка структуры системы и взаимосвязанных с ней промышленных сетей, формирование технического предложения.

Для выполнения поставленной задачи необходим руководитель проекта и разработчик. В этом случае можно организовать простейшее разделение труда и возложить функции проектирования, общего руководства и работы с заказчиками на руководителя, а техническую разработку и документацию на разработчика.

Распределение объемов работы между исполнителями приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Распределение объемов работы

Этапы разработки	Трудоемкость, чел. дн.	Исполнители	Доля участия, %	Фонд времени, дн.
Подготовительный этап	18	Руководитель	60	10
		Разработчик	40	8
Проектирование	31	Руководитель	15	5
		Разработчик	85	26
Моделирование	12	Руководитель	5	1
		Разработчик	95	11
Разработка/выбор тех.средств	47	Руководитель	15	7
		Разработчик	85	40
Программирование/тестирование/отладка	32	Руководитель	5	2
		Разработчик	95	30
Составление документации	14	Руководитель	5	1
		Разработчик	95	13
Итого:	154	Руководитель	16	25
		Разработчик	84	129

Суммарный объем всех выполняемых работ равен 154 чел. дн.

## 5.2 Расчет себестоимости проекта автоматизации

### 5.2.1 Материальные затраты на средства автоматизации и заработную плату (ЗП)

Затраты на приобретение оборудования приведем в таблице 5.3

Таблица 5.3 – Затраты на приобретение оборудования автоматизации

Назначение	Единица измерения	Цена за ед. (руб.)	Кол-во	Сумма (руб.)
Термопреобразователи сопротивления Pt100	шт.	870	4	3480
Модуль Adam-6015	шт.	22550	2	45100
Модуль Adam-6017	шт.	18960	1	18960
Модуль Adam-4572	шт.	16500	2	33000
Коммутатор сети Ethernet	шт.	11000	1	11000
Промышленный ПК IPC-510-SYS1-3	шт.	128400	2	256800
Источник питания 220/24	шт.	3550	1	3550
Датчик влажности	шт.	1500	1	1500
Расходомер воды	шт.	12120	1	12120
ПЧ ATV38HD33N4	шт.	95000	1	95000
Кабель МКЭШ	м.	45	200	9000
Кабель витая пара кат.5	м.	72	50	3600
Итого:				493110

Расходы по материальному обеспечению приведенные в таблице 5.3 составили:

С<sub>мат</sub> = 493110руб.

Транспортно-заготовительные расходы составляют 5% от стоимости оборудования:

$$С_{тз} = 0,05 \cdot 493110 = 24655.5 \text{ руб. (5.3)}$$

Основная заработная плата производственных рабочих находится по формуле:

$$P_{оп} = C \cdot t, \quad (5.4)$$

где

C – часовая тарифная ставка, соответствующая разряду выполняемой работы, руб.

									Лист
									65
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

220301.2016.126.000 ПЗ

t – время на выполнение операции, час.

Так как проект разрабатывается внутренними силами предприятия без вовлечения сторонних организаций, то целесообразно не учитывать заработную плату, выданную за период разработки руководителю проекта и инженеру-разработчику. Разработка ведется для собственных нужд предприятия, дополнительных прибавок к заработной плате не влечет.

Таким образом, учитывать в общей себестоимости проекта будем только заработную плату, выплаченную специалистам из привлекаемых отделов. Результаты расчетов заносим в таблицу 5.4.

Таблица 5.4 – Сводная ведомость определения расценки на создание САУ процессом оборотного водоснабжения

Операция	Кол. чел.	Раз.	Часовая тарифная ставка, руб	Время на операцию, час.	Сдельная расценка, руб
Монтаж электрооборудования:	2	3	63,23	24	3035,04
электромонтажники	2	4	67,39	16	3156,48
Итого:	4				5191,52

Расчет фонда премии ЗПрем. ( 60% от ЗПпрям.):

$$\text{ЗПрем.} = 5191,52 \cdot 0,6 = 3114,90 \text{ руб.}$$

Расчет фонда доплат ЗПдп. (8,3% от ЗПпрям.):

$$\text{ЗПдп.} = 5191,52 \cdot 0,083 = 430,90 \text{ руб.}$$

Расчет фонда ЗП рабочих занятых монтажом оборудования выполним по формуле:

$$\text{ЗПосн.} = \text{ЗПпрям.} + \text{ЗПрем.} + \text{ЗПдп.}, \quad (5.5)$$

$$\text{ЗПосн.} = (5191,52 + 3114,90 + 430,90) = 8737,32 \text{ руб.}$$

Дополнительную заработную плату электромонтажников находим по формуле:

$$\text{ЗПдоп.} = \text{ЗПосн.} \cdot n \backslash 100, \quad (5.6)$$

где:

n – принятый на предприятии процент дополнительной ЗП (15%).

$$\text{ЗПдоп.} = 8737,32 \cdot 15 \backslash 100 = 1310,60 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{пол.} = (ЗП_{осн.} + ЗП_{доп.}) \cdot Кр$$

где:

Кр – районный коэффициент – 1,15

$$ЗП_{пол.} = (8737,32 + 1310,60) \cdot 1,15 = 11555,10$$

Страховые взносы (32,5%) рассчитаем по формуле:

$$Отч = ЗП_{пол.} \cdot Со \backslash 100, \quad (5.7)$$

где:

Со – размер отчислений, % .

$$Отч = 11555,10 \cdot 32,5 \backslash 100 = 2311,00 \text{ руб.}$$

Накладные расходы составляют 35% от начисленного ФОТ и рассчитываются по формуле:

$$Накл = ЗП_{осн.} \cdot 0,35; \quad (5.8)$$

$$Накл = 8737,32 \cdot 0,35 = 3058,06 \text{ руб.}$$

Значения фонда оплаты труда и основной заработной платы для обозначенных специалистов – идентичны.

Сведем затраты на разработку и внедрение проекта автоматизации в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Смета затрат на разработку

Статья затрат	Величина затрат
Затраты на оборудование	493110,00
Транспортные расходы	24655,50
Заработная плата электромонтажников	11555,10
Затраты на страховые взносы	2311,00
Накладные расходы	3058,06
Итого:	534689,66

В итоге совокупная стоимость владения системой составит ДК=534689,66руб.



Кр – районный коэффициент;

Котч – коэффициент учитывающий отчисления на социальные нужды, принимаем 1,325;

$$ДСзпр = 67,39 \cdot 150 \cdot 1,683 \cdot 1,15 \cdot 1,325 = 25922,96 \text{ руб.}$$

Определим экономию полученную в процессе внедрения САУ по формуле:

$$ДС = ДСэк + ДСзпр, \quad (5.11)$$

$$ДС = 294404,33 + 25922,96 = 320327,29 \text{ руб.}$$

Определим годовой экономический эффект, полученный от внедрения САУ в производство по формуле:

$$Эг = ДС - Ен \cdot ДК, \quad (5.12)$$

где: Ен – нормативный коэффициент сравнительной эффективности капитальных вложений, принимаем 0,2.

$$Эг = 320327,29 - 0,2 \cdot 534689,66 = 213389,36 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости капитальных вложений определим по формуле:

$$Тр = ДК/ДС, \quad (5.13)$$

$$Тр = 534689,66 / 320327,29 = 1,7 \text{ года}$$

Таким образом, сроки окупаемости проекта – составляют 620 рабочих дня, что является достаточно высоким показателем качества, рентабельности разработки и полностью оправдывает материальные затраты на автоматизацию системы водооборота.

Вывод по разделу пять.

В данном разделе были произведены расчет себестоимости проекта автоматизации и расчет экономичности и сроков окупаемости.

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
						69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 6 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Экологические требования по защите окружающей среды, в частности, от воздействия промышленных объектов постоянно возрастают. Градирню рассматривают в двух аспектах – как источник шума и как источник выбросов аэрозолей вместе с выходящим из нее насыщенным воздухом в атмосферу.

При согласовании строительства вентиляторных градирен санитарная инспекция прежде всего рассматривает их как источник шума. Градирни должны отвечать требованиям защиты окружающей среды от шума в соответствии с допустимыми санитарными нормами.

При размещении градирен на жилых или производственных территориях с нормируемым уровнем шума, требуется производить акустический расчет и при необходимости предусматривать мероприятия по снижению шума [9].

### 6.1 Шумовые характеристики градирен

Градирня как источник шума представляет собой сооружение, в котором шум может создаваться движением воды (шум «дождя») – на частотах 500-8000 Гц. В зависимости от конструкций и размеров градирни в создаваемом ею шуме может преобладать один из указанных источников, или они могут быть равны по мощности звука. Дополнительные шумы могут возникнуть также при колебаниях и вибрациях отдельных элементов градирни (оболочки, диффузора и т.п.).[9].

При больших размерах секции значительную долю в общий шум, создаваемый градирней, может вносить шум «дождя», особенно на высоких частотах. Разница в шуме градирни с различными типами капельных и пленочных оросителей незначительна и колеблется в пределах 3 дБ.

Шум, создаваемый градирней, оценивается по ее шумовой характеристике. Шумовой характеристикой вентиляторной градирни принято считать уровни звукового давления на среднегеометрических частотах октавных полос в диапазоне 63-8000 Гц на расстоянии 1 м от звукоактивных поверхностей.

Звукоактивная поверхность – часть поверхности градирни с наибольшим излучением шума (входные окна, корпус вентилятора, выход из диффузора).

#### 6.1.1 Основные мероприятия по снижению шума градирен

Уровень шума градирен, как правило, не превышает допустимого по санитарным нормам для территорий промышленных предприятий уже на расстоянии 10м, поэтому их можно размещать в любом месте промышленного предприятия без проведения каких-либо мероприятий по защите от шума. Однако если поблизости находятся жилые или другие здания, уровень шума для которых ограничен санитарными нормами, следует предусматривать мероприятия для снижения уровня шума в расчетных точках до значений, допустимых санитарными нормами.

Эти мероприятия необходимо предусматривать на стадии проектирования и привязки к местности, что обходится обычно в 2-3 раза дешевле, чем обеспечение

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



защиты от шума после пуска градирен в эксплуатацию.

Борьба с шумом градирен осуществляется по следующим основным направлениям:

- уменьшение шума в источнике (градирне) конструктивными и административными методами (создание и применение малошумного источника, регламентация времени его работы и мест расположения на территории);
- снижение шума на пути его распространения в городской среде от источника (градирни) до объекта шумозащиты;
- устройство шумозащиты непосредственно на объекте конструктивно-строительными методами, обеспечивающими повышение звукоизолирующих качеств ограждающих конструкций, зданий и сооружений.
- устройство удлиненных диффузоров с непрерывным течением потока при покрытии внутренней поверхности диффузора звукопоглощающим материалом с пластмассовой пленкой для защиты от воды;
- размещение градирен с выходом звуковой энергии в сторону, противоположную рассматриваемому помещению.

В качестве мероприятий по борьбе с шумом на путях его распространения могут быть рекомендованы:

- удаление от жилых домов на достаточное расстояние;
- устройство между градирней и рассматриваемым объектом экранов в виде насыпей, ограждений, стенок, полос зеленых насаждений;
- использование глушителей [9].

## 6.2 Воздействие выбрасываемых из градирен аэрозолей на окружающую среду

Работающая градирня выбрасывает в атмосферу нагретый до 35-45 °С насыщенный водяными парами воздух, содержащий капли воды размером 100-

500 мкм в количестве 0,5-1 г на 1 м<sup>3</sup> воздуха. С парами в атмосферу поступает примерно 95% тепла, отводимого от охлаждаемого оборудования, а оставшаяся часть тепла отводится в водоисточники с продувочной водой. Интенсивность теплового потока на выходе из градирни в зависимости от тепловой нагрузки может достигать 250-300 кВт/м<sup>2</sup>. Он создает факел тумана (паровой факел), поднимающийся на высоту до 150-300 м и распространяющийся в направлении ветра на 2-10 км. Наличие парового факела является неотъемлемым признаком мокрых градирен, работающих по принципу испарительного охлаждения воды.

При работе на промплощадке большого количества мокрых градирен и определенном сочетании погодных условий группа факелов может формировать в районе предприятия местный микроклимат с повышенной влажностью атмосферного воздуха. Кроме того, при наличии в атмосферном воздухе газообразных примесей выходящая из градирни влага может с ними взаимодействовать и образовывать вредные для окружающей среды соединения.

									Лист
									71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	220301.2016.126.000 ПЗ				

При требованиях к работе охладителей, исключаящих видимость паровых факелов, применяются сухие или гибридные градирни.

При использовании для подпитки оборотных систем городских и промышленных сточных вод, а также сильно минерализованных природных вод (например, морской воды) градирни могут быть источником вредного воздействия на окружающую среду – атмосферу, почву, водные объекты.

Вредное воздействие происходит в результате выброса капель оборотной воды в атмосферу, осаждения их на почву и на поверхность воды водных объектов. Капли воды распространяются в атмосфере в районе градирен и увлажняют поверхность земли и близрасположенные сооружения, а в зимний период вызывают их обледенение, поэтому в СНиП приведены допустимые минимальные расстояния от градирен до ближайших сооружений.

Градирни размещают по отношению к жилым застройкам с учетом розы ветров. При этом следует предусматривать санитарно-защитные зоны.

Зона выпадения капельной влаги на поверхности земли имеет форму эллипса с большой осью, проходящей через центр градирни в направлении ветра. Наибольшая интенсивность выпадения капель на поверхность земли в этой зоне находится на большой оси эллипса на расстоянии примерно двух высот градирни. Размер зоны зависит от высоты градирни, скорости ветра, степени турбулентности воздуха в приземном слое, концентрации и крупности капель, а также от температуры и влажности атмосферного воздуха.

При использовании в системах оборотного водоснабжения с градирнями очищенных сточных вод остаточные примеси вредных веществ и токсичных ингибиторов коррозии могут повлиять на санитарно-гигиенические условия в зоне выброса и распространения водного аэрозоля, выносимого из градирен.

На основе экспериментальной и расчетной оценки токсичности аэрозолей оборотных вод устанавливаются гигиенические нормативы - ориентировочные безопасные уровни воздействия аэрозолей (ОБУВ). Такие нормативы должны учитываться при определении допустимого выноса капельной влаги из градирен при расчетах минимальной санитарно-защитной зоны от градирен до жилой зоны.

Возможен контроль загрязнения атмосферы в районе расположения градирни и по аэрозолям отдельных компонентов, которые встречаются в оборотной воде при использовании сточных вод, при этом их концентрация не должна превышать ПДК.

Эпидемиологическая безопасность в районе градирен обеспечивается обработкой сточных вод, используемых в системах оборотного водоснабжения различными реагентами или безреагентными методами обеззараживания воды. Допускается обработка оборотной воды гипохлоридом натрия, озоном, озоном с хлором [9].

### 6.3 Обеспечение безопасных условий труда на автоматизированном участке

Автоматизированным участком, на котором необходимо обеспечить безопасные условия труда, является диспетчерский пункт, на котором осуществляется получение информации следующего вида: расход, давление и

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
						72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



40, тип светильника – открытый светильник прямого света ОДР (общего освещения диффузный с экранирующей решеткой).

Для расчета общего равномерного освещения при горизонтальной рабочей поверхностью является метод светового потока (коэффициента использования), учитывающий световой поток, отраженный от потолка и стен [12].

$\Phi$  – световой поток каждой из ламп,  $\Phi = 2340$  лм;

$k$  – коэффициент запаса учитывающий старение ламп и их запыленность;  
 $k=1,4$ ;

$S$  – площадь помещения  $S= 14$  м<sup>2</sup>;

$Z$  – коэффициент неравномерности освещения для ламп накаливания:  $Z=1,11$

$n$  – ламп в светильниках,  $n=2$ ;

$E_{\min}$  – освещенность,  $E_{\min} = 500$ лк.

Обеспечение равномерного распределения освещенности достигается в том случае, если отношение  $L/H_p$  расстояния между центрами светильников  $L$  к высоте их подвеса над рабочей поверхностью  $H_p$  составляет для светильников ОДР– 1,4.

$U$  – коэффициент использования светового потока ламп %, т.е. отношение светового потока, падающего на расчетную поверхность к суммарному потоку всех ламп. Зависит от типа светильника, коэффициентов отражения потолка  $R_p$  и стен  $R_c$  и индекса формы помещения  $I$ .

$H_p$  – высота подвеса светильников над рабочей поверхностью,  $H_p = 2,5$  м;  
 $a$  и  $b$  – длина и ширина помещения,  $a= 3,5$  м,  $b = 4$  м.

$$I = \frac{a \cdot b}{H_p (a + b)} = \frac{3,5 \cdot 4}{2,5 \cdot (3,5 + 4)} = 0,933, \quad (6.1)$$

$U$  – коэффициент использования светового потока ламп.  $U = 48$  %.

$$N = \frac{E_{\min} \cdot 100 \cdot S \cdot Z \cdot k}{\Phi \cdot U \cdot n} = \frac{500 \cdot 100 \cdot 14 \cdot 1,1 \cdot 1,4}{2340 \cdot 48 \cdot 2} = 4,79 \approx 5, \quad (6.2)$$

$N$  – число ламп общего освещения в помещении,  $N = 5$  шт.;

$$L = \sqrt{\frac{S}{N}} = \sqrt{\frac{14}{5}} = 1,7 \text{ м.} \quad (6.3)$$

$L$  – расстояния между центрами светильников,  $L = 1,7$  м.

Схема расположения светильников показана на рисунке 6.1.

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74



электрооборудования; размещаются сети на недоступной прикосновению высоте; используются запирающие устройства, сигнализаторы, ограждения, изолирующие и вспомогательные средства индивидуальной защиты, знаки безопасности.

Пожарная безопасность представляет совокупность мероприятий, при которых исключается возможность пожара и взрыва, а в случае их возникновения предотвращается воздействие на людей опасных и вредных факторов пожара и взрыва и обеспечивается защита материальных ценностей.

На данном диспетчерском пункте располагается электрооборудование, которое может быть пожароопасными, поэтому спроектированный участок относится к категории В – пожароопасные.

Класс пожара в данном помещении – Е – пожары, связанные с горением электроустановок, находящихся под напряжением.

В проектируемом помещении применена пожарная сигнализация. Она должна быстро и точно сообщать о пожаре с указанием места его возникновения. В помещении установлены не менее двух автоматических извещателя. Тепловые пожарные извещатели установлены, на потолке и на стенах.

Ручные извещатели установлены на путях эвакуации (в коридорах, проходах и т.д) на расстоянии не более 1,5 м друг от друга.

Пожарная сигнализация и связь, кроме охранно-пожарной сигнализации, включает диспетчерскую связь с пожарными частями и оперативную радиосвязь управления пожарными расчетами на месте пожара.

Помещение оснащено стационарными средствами пожаротушения. К первичным средствам пожаротушения относят порошковые огнетушители, песок, асбестовое полотно.

Для проектируемого помещения необходимо установить пожарный щит типа ЩП-Е, он должен комплектоваться следующими средствами пожаротушения: огнетушитель порошковый (ОП) объемом 10 л, лопата совковая, асбестовое полотно размером 2 х 2, крюк с деревянной рукояткой, комплект для резки электропроводов: ножницы, диэлектрические боты и коврик, ящик с песком объемом не менее 0,5 м<sup>3</sup>.

Пожарный щит может быть установлен на расстоянии от возможного очага пожара до места размещения не менее 30 м.

К индивидуальным средствам защиты, применяемым на участке относятся: для борьбы с повышенным уровнем шума – вкладыши, наушники и шлемы; для борьбы с вибрацией – спецобувь, защитные рукавицы, а также виброзащитные прокладки или пластины. Обязательно применение спецодежды.

#### 6.4 Проектирование защитного заземления участка

Сопротивление защитного заземления в любое время года не должно превышать допустимого сопротивления и при проектировании заземляющего устройства следует соблюдать приведенные в ПУЭ требования.

									Лист
									76
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	220301.2016.126.000 ПЗ				

Нормируемое сопротивление заземляющего устройства по ПУЭ  $R_{зд}=10$  Ом для напряжения в сети 380 В и суммарной мощности всего электрооборудования на участке 30,3 кВт и при любом режиме нейтрали.

Расчет защитного заземления.

Расчетное сопротивление грунта:

$$\rho = \rho_r \cdot \Psi. \quad (6.4)$$

где  $\rho_r$  – удельное сопротивление грунта, грунт – глина  $\rho_r = 15$  Ом·м;

$\Psi$  – климатический коэффициент, зависящий от вида грунта и степени влажности, для климатической зоны Южного Урала:  $\Psi = 1,5$  – для вертикальных заземлителей,

$$\rho = 15 \cdot 1,5 = 22,5 \text{ Ом.}$$

Выбор материала, типа, размера и числа искусственных заземлителей.

Применяем выносное заземляющее устройства с числом заземлителей  $n = 4$ . В качестве заземляющих проводников применяют полосовую и круглую сталь. Трубу принимаем диаметром  $d = 30$ мм; длиной  $l = 2$ м; расстояние между заземлителями принимаем  $l_{мз} = 2$ м; заглубление заземлителей  $t_0 = 0,5$ м.

Сопротивление одного заземлителя вычисляем по формуле:

$$R_{зо} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) \quad (6.5)$$

где  $t = 1,5$  м – глубина до середины трубы.

Подставив данные в (6.5) получим:

$$R_{зо} = \frac{22,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot 2}{0,03} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 1,5 + 2}{4 \cdot 1,5 - 2} \right) = 3,02 \text{ Ом.}$$

Находим сопротивление соединительной полосы.

Ширина полосы  $b = 20$  мм, её длина выбирается равной:

$$l_n = l_{мз} \cdot (n - 1), \quad (6.6)$$

где  $l_{мз} = 2$  м – расстояние между заземлителями.

$$l_n = 2 \cdot (4 - 1) = 6 \text{ м.}$$

Сопротивление соединительной полосы:

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		77

$$R_{\text{по}} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2 \cdot l^2}{b \cdot t}, \quad (6.7)$$

$$R_{\text{по}} = \frac{22,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 6} \cdot \ln \frac{2 \cdot (6)^2}{0,02 \cdot 0,51} = 3,98 \text{ Ом.}$$

Общее сопротивление вертикальных электродов:

$$R_{\text{в}} = \frac{R_{\text{зо}}}{n \cdot \eta_{\text{в}}}. \quad (6.8)$$

где  $\eta_{\text{в}}$  – коэффициент использования вертикальных заземлителей  $\eta_{\text{в}} = 0,85$

$$R_{\text{в}} = \frac{3,02}{4 \cdot 0,85} = 0,888 \text{ Ом.}$$

Определяется сопротивление соединительной полосы с учетом экранирования

$$R_{\text{п}} = \frac{R_{\text{по}}}{\eta_{\text{п}}} \quad (6.9)$$

где  $\eta_{\text{п}} = 0,85$  – коэффициент использования соединительной полосы,

$$R_{\text{п}} = \frac{3,98}{0,85} = 4,68 \text{ Ом}$$

Расчетное сопротивление искусственного заземления

$$R_{\text{изр}} = \frac{R_{\text{в}} \cdot R_{\text{п}}}{R_{\text{в}} + R_{\text{п}}}. \quad (6.10)$$

$$R_{\text{изр}} = \frac{0,88 \cdot 4,68}{0,88 + 4,68} = 0,73 \text{ Ом.}$$

Проверяем условие  $R_{\text{изр}} \leq R_{\text{зд}}$ .

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
						78
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		





аварийных источников энергоснабжения. Приводят в готовность средства передвижения.

С приближением урагана и сильной бури усиливают регулирование движения на автомагистралях, иногда движение на автомагистралях прекращают полностью. Особо опасные участки ограждают предупредительными знаками, и возле них выставляют посты.

В районах урагана или бури проводят работы по предотвращению пожаров.

При угрозе возникновения снежной бури проводят, в основном те же мероприятия, что и при приближении урагана. Особое внимание обращают на обеспечение бесперебойного движения транспорта по основным дорогам. Для борьбы с заносами организуют непрерывное патрулирование снегоочистительной техники.

Аналогичные работы проводят и при угрозе пыльной бури. На всех объектах в зоне урагана приводят в готовность необходимые силы (аварийные команды, формирования гражданской обороны).

#### 6.5.2 Классификация интенсивности смерчей Фуджиты-Пирсона

В практических целях используют классификацию интенсивности Фуджиты-Пирсона, в принципе сходную с приведенной шкалой Бофорта.

Классы 0,1 и 2 – максимальные скорости ветра 18-32, 33-49 и 50-69 м/с, длина пути до 16 км, ширина до 160 м; повреждения отвечают ветру 8-10, 10-12,2 и 12,2-12,5 баллов по шкале Бофорта;

Класс 3 – скорости ветра 70-92 м/с, длина пути 16-51 км, ширина 160-510 м; серьезные разрушения: некоторые здания разрушены полностью, перевернуты автомобили и железнодорожный транспорт, большинство деревьев вырваны с корнем;

Класс 4 – скорости ветра 93-116 м/с, длина пути 51-160 км, ширина 510-1600 м; опустошительные разрушения; от домов остаются груды обломков, сильно разрушены стальные конструкции, автомобили и поезда отброшены в сторону, с деревьев сорвана кора, в воздухе летают крупные предметы;

Класс 5 – скорости ветра 117-142 м/с, длина пути 161-507 км, ширина 1600-5070 м; потрясающие повреждения, серьезно повреждены железобетонные конструкции, в воздухе летают предметы размером с автомобиль;

Класс 6 – скорость ветра и другие показатели – еще выше, невообразимые повреждения, в том числе вторичные – от падающих тяжелых предметов.

#### 6.5.3 Рекомендации по поведению при ураганах и бурях

Основными рекомендациями могут служить следующие действия:

- люди должны знать о том, находится ли их населенный пункт в зоне воздействия урагана, а также они должны знать способы оповещения об угрозе урагана или сильной бури;

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80





## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аксенов, В.И., Ладыгичев М.Г. и др. Водное хозяйство промышленных предприятий: Справочное издание: В 2-х книгах. Книга 1/ Под ред. В.И. Аксенова – М.: Теплотехник, 2005.
2. Атанов, Н.А. Обратное водоснабжение нефтеперерабатывающего завода. Учебное пособие. Самара: Самарская государственная архитектурно-строительная академия. 2002.
3. Берман, Л.Д. Испарительное охлаждение циркуляционной воды.– М.: Госэнергоиздат, 1957.– 314 с.
4. Ведомственные указания по технологическому проектированию производственного водоснабжения, канализации и очистки сточных вод предприятий нефтеперерабатывающей промышленности. ВУТП-97. М.: Министерство топлива и энергетики РФ, 1997.
5. Клевцов, А.В., Радин В.П., Федорович Л.А. Расчет градирни/ Под ред. И.Н. Тамбиевой. – М.: Изд-во МЭИ, 1992. – 72с.
6. ПБ 03-585-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов».
7. Пономаренко, В.С., Арефьев, Ю.И. Градирни промышленных и энергетических предприятий: Справочное пособие/ Под общ. ред. В.С. Пономаренко. - М.: Энергоатомиздат: 1998. – 376 с.: ил.
8. Пособие по проектированию градирен (к СНиП 2.04.02-84). М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987г.
9. Правила техники безопасности при обслуживании теплосилового оборудования электростанций. Атомиздат, 1972.
10. РД 34.22.505. Методические указания по эксплуатации башенных градирен.
11. СНиП 2.04.02-84\* «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения».
12. СНиП 3.05.05-84 «Технологическое оборудование и технологические трубопроводы».
13. СНиП 3.05.04-85 «Наружные сети и сооружения водоснабжения и канализации».
14. СНиП 23-01-99\* «Строительная климатология (с изменением №1)». и строительстве.
15. Шабалин, А.Ф. Обратное водоснабжение промышленных предприятий. - М., Стройиздат, 1996. 296 с.

					220301.2016.126.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83