

# 1 Оценка исходных данных

Прежде чем приступить к работе над курсовым проектом, необходимо ознакомиться с данными научно-технической, нормативной и справочной литературы; с данными задания и оценить их.

## 1.1 Анализ воды источника и его проверка

Пригодность воды источника для тех или иных целей и выбор соответствующего метода обработки осуществляется на основе полного анализа его состава.

Правильность выбора метода подготовки воды и оптимальных режимов проведения процесса (температуры, pH среды, скорости, дозировки реагентов) во многом зависят от правильности проведения анализа и полного его соответствия действительности.

Проверка анализа производится по следующим показателям:

1 Сумма катионов  $\Sigma\text{Кат}$  должна равняться сумме анионов  $\Sigma\text{Ан}$ , выраженных в миллиграмм-эквивалент на литр

$$\frac{\text{Ca}}{20,04} + \frac{\text{Mg}}{12,16} + \frac{\text{Na}}{23} + \frac{\text{NH}_4}{18,04} = \frac{\text{HCO}_3}{61,02} + \frac{\text{SO}_4}{48,03} + \frac{\text{Cl}}{35,48},$$

где  $\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Na}^+, \text{NH}_4^+, \text{HCO}_3^-, \text{SO}_4^{2-}, \text{Cl}^-$  - содержание по анализу воды из источника, мг/л;

2 Концентрация катионов натрия и калия, обычно принимается в анализах равной разности между суммой всех анионов  $\text{Ан}$  и суммой остальных катионов, мг-экв/л

$$\text{Na}^+ + \text{K}^+ = \sum \text{Ан} - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+} + \dots)$$

3 Величина общей жесткости должна равняться сумме концентраций кальция и магния, мг-экв/л

$$\text{Ж}_{\text{об}} = \frac{\text{Ca}^{2+}}{20,04} + \frac{\text{Mg}^{2+}}{12,16}$$

4 Концентрация бикарбонатного иона  $\text{HCO}_3^-$ , мг-экв/л, должна быть

$$\begin{aligned} &\text{при } \text{Ж}_{\text{и.в.}} > \text{Щ}_{\text{и.в.}} \quad [\text{HCO}_3^-]_{\text{и.в.}} = \text{Ж}_{\text{к}} = \text{Щ}_{\text{и.в.}} \\ &\text{при } \text{Ж}_{\text{и.в.}} < \text{Щ}_{\text{и.в.}} \quad [\text{HCO}_3^-]_{\text{и.в.}} = \text{Щ}_{\text{и.в.}}; \quad \text{Ж}_{\text{и.в.}} = \text{Ж}_{\text{к}}; \quad \text{Ж}_{\text{н.к}} = 0 \end{aligned}$$

где  $\Pi_{\text{и.в}}$  – щелочность исходной воды, мг-экв/л;  
 $[HCO_3^-]_{\text{и.в}}$  – концентрация бикарбонатного иона в исходной воде, мг-экв/л;

$J_{\text{к}}$  – карбонатная жесткость исходной воды, мг-экв/л;

$J_{\text{н.к}}$  – некарбонатная жесткость исходной воды, мг-экв/л.

Наиболее наглядно представить анализ воды возможно в виде диаграммы гипотетического состава солей (рисунок 1.1). Пользуясь правилом, что сумма растворенных в воде катионов равна сумме анионов, строится график состава исходной воды, для чего на параллельных шкалах в соответствии с рядом активности ионов в масштабе откладываются содержание катионов и под ними – анионов, мг-экв/л. Такой график помогает решить ряд вопросов процесса водоподготовки (известкование, подкисление, обезжелезивание и др.).

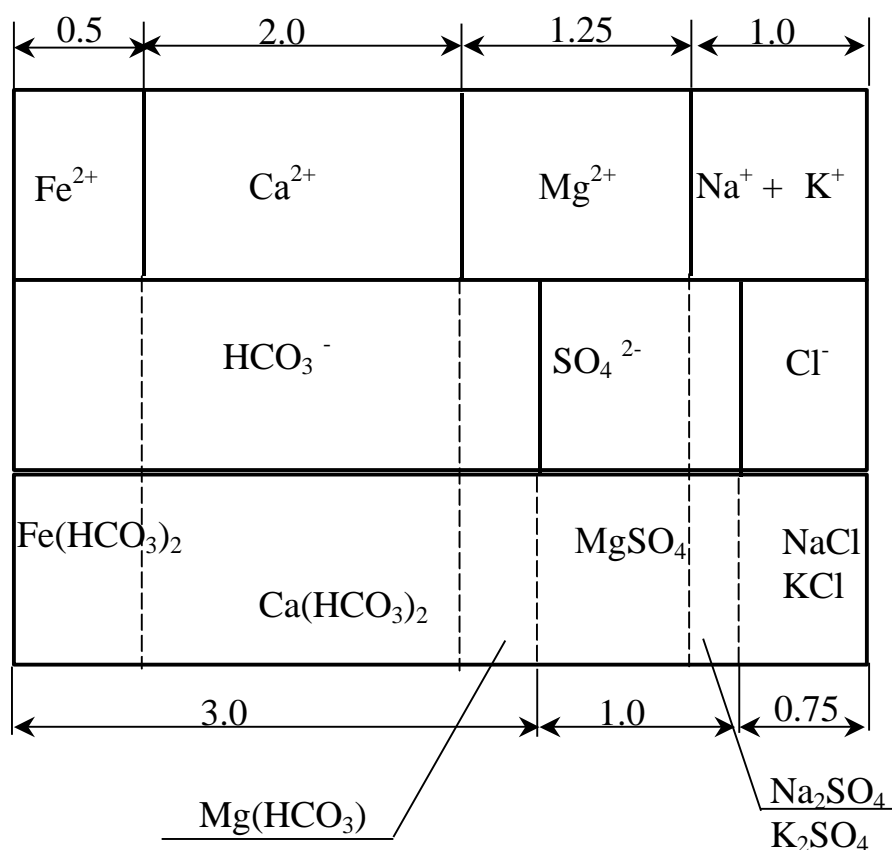


Рисунок 1.1

## **2 Общие сведения о водном хозяйстве промпредприятий**

Используемая в производственных целях вода по своему назначению может быть разделена на категории:

- 1 Охлаждающая вода незагрязняемая в производстве;
- 2 Вода для поглощения и отвода различных примесей, т.е. загрязняемая, но без нагрева при использовании;
- 3 Охлаждаемая вода, загрязняемая при использовании;
- 4 Вода, используемая в качестве экстрагента, растворителя;

Водоснабжение предприятий может осуществляться по следующим схемам:

- прямоточной с однократным использованием воды;
- прямоточной с последовательным использованием воды;
- оборотной с рециркуляцией воды и её многократным использованием одним и тем же потребителем.

На практике чаще всего встречаются комбинированные системы водоснабжения, сочетающие в себе несколько схем водоснабжения и их элементов.

Наиболее предпочтительны, с точки зрения экономичности и рациональности использования водных ресурсов, являются оборотные системы с организацией на предприятии оборотных циклов водоснабжения. Такие циклы могут быть локальными (для одного потребителя), совместными (для нескольких потребителей) или общезаводскими. Кроме того, в соответствии с категорией используемой воды, циклы могут быть «чистыми» или «грязными», причем, на одном предприятии может быть один или несколько их типов.

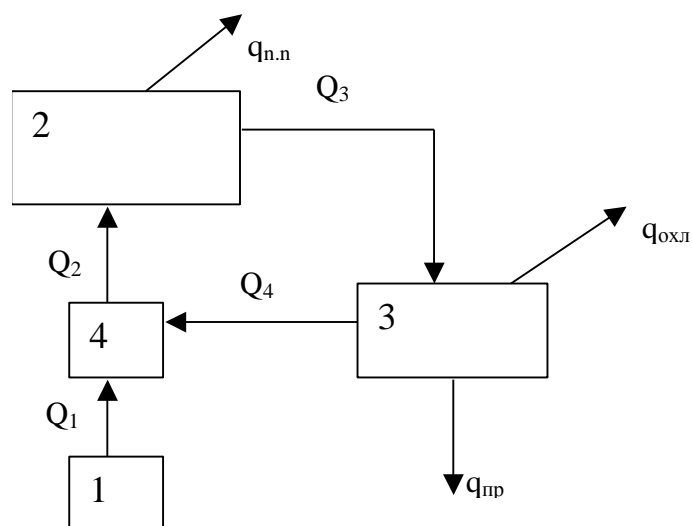
При проектировании оборотных систем следует учитывать, что с течением времени количественный и качественный состав циркулирующей воды изменяется в результате физико-химических, биологических и иных процессов. Обратная вода многократно последовательно нагревается, охлаждается, упаривается, частично теряется при испарении, капельном уносе в атмосферу, грунт, сбросе, становится более загрязненной и минерализованной. При этом нарушается стабильность воды.

Восполнение потерь и восстановление качества воды в системе производится добавлением подпиточной воды, качество которой отличается от оборотной.

Применяют различные способы обработки подпиточной и циркуляционной воды для приведения их качества в соответствии с технологическими и эксплуатационными требованиями. При этом используются различные методы водоподготовки и обработки воды.

В курсовом проекте рассматривается оборотная система водоснабжения, которая в свою очередь, подразделяется на три основные схемы.

## 2.1 Первая схема (чистого оборотного цикла)



1- водозабор, 2 – потребитель, 3 – охладитель, 4 – насосная станция;  
 $Q_1$  – свежая (добавочная) техническая вода;  
 $Q_2$  – производственная вода (расчетное количество);  
 $Q_3$  - нагретая вода;  $Q_4$  – оборотная (возвращаемая в производство) вода;  
 $q_{п.п}$ ,  $q_{охл}$ ,  $q_{пр}$  – потери воды, соответственно, безвозвратные в производстве, в охладителе, «продувка» системы.

Рисунок 2.1

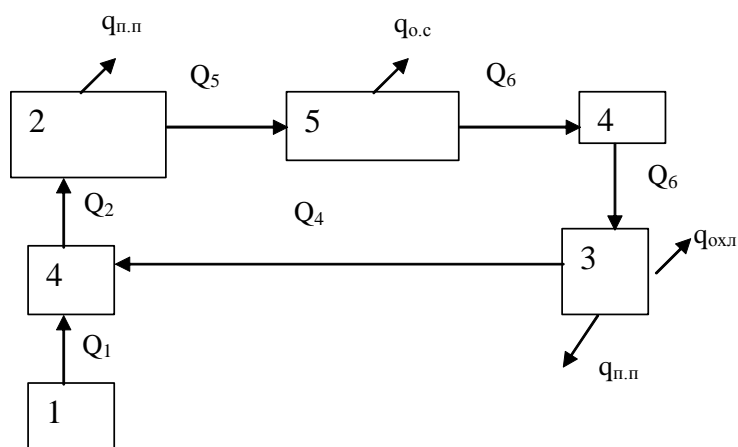
$$Q_1 = q_{п.п} + q_{охл} + q_{пр},$$

$$Q_3 = Q_2 - q_{п.п},$$

$$Q_4 = Q_3 - q_{охл} - q_{пр}.$$

Данная схема оборотного водоснабжения применяется в тех случаях, когда вода является теплоносителем и в процессе использования лишь нагревается не загрязняясь. В системе оборотного водоснабжения эту воду перед повторным применением для тех же целей предварительно охлаждают, а в некоторых случаях подвергают стабилизационной обработке.

## 2.2 Вторая схема (грязного оборотного цикла)



1, 2, 3, 4,  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$ ,  $Q_4$ ,  $q_{п.п}$ ,  $q_{охл}$ ,  $q_{пр}$  – согласно рисунку 2.1.,  
 5 – очистные сооружения механической очистки;  
 $Q_5$  – нагретая и загрязненная механическими примесями вода;  
 $Q_6$  – осветленная вода;  
 $q_{о.с}$  – потери воды на очистных сооружениях  
 за счет выделения механических загрязнений.

Рисунок 2.2

$$Q_5 = Q_2 - Q_{п.п},$$

$$Q_6 = Q_5 - Q_{о.с}.$$

Данная схема применяется в тех случаях, когда вода является теплоносителем и служит средой, транспортирующей, поглощающей или экстрагирующей механические и растворенные примеси и в процессе использования загрязняется и нагревается. Эта вода перед повторным применением подвергается механической очистке, охлаждению, а в некоторых случаях специальной обработке.

### 2.3 Третья схема (бессточного оборотного водоснабжения)

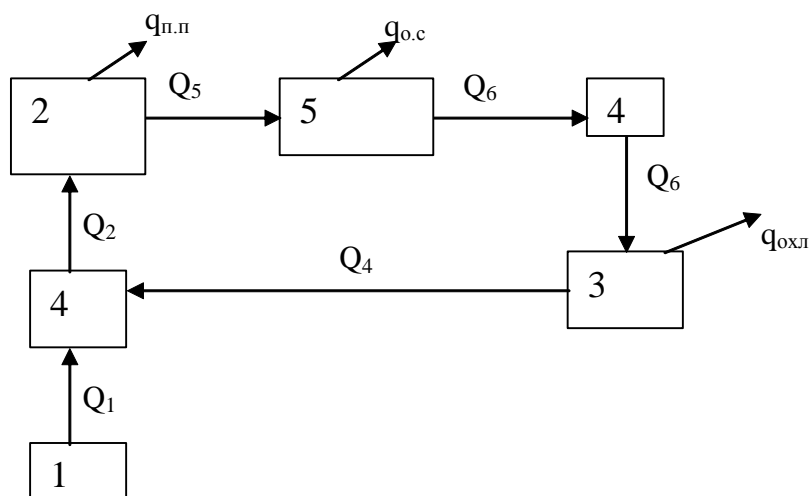


Рисунок 2.3

Данная схема применяется в тех случаях, что и вторая, при условии, что вся использованная вода, в том числе и продувочная, не может быть сброшена в водоотводящие системы или передана на другое предприятие. После очистки и охлаждения она в полном объеме повторно используется на предприятии.

### 3 Определение расчетных расходов воды

Водопотребление предприятия зависит от его профиля и от объемов выпускаемой продукции. Определение расходов воды ведется в соответствии с определенными среднегодовыми нормами водопотребления по [5] для данного производства, и вычисляются по формулам

#### 3.1 Среднечасовые расходы

##### 3.1.1 Оборотной воды, м<sup>3</sup>/ч

$$Q_{\text{об.ср}} = \frac{q_{\text{об.ср}} \times n}{T},$$

где  $n$  – объем продукции (по заданию);

$q_{\text{об.ср}}$  – среднегодовой удельный расход оборотной воды на единицу продукции, м<sup>3</sup>, (Приложение А, графа 3);

$T$  – годовой фонд рабочего времени, ч (по заданию).

##### 3.1.2 Технической свежей воды, м<sup>3</sup>/ч

Используемая свежая вода на предприятии может быть питьевого качества или техническая и определяется это технологическими требованиями производственного процесса.

В производственных процессах свежая вода используется для подпитки оборотных циклов, в прямоточных системах, для восполнения потерь воды в технологии производства и т.д.

$$Q_{\text{т.ср}} = \frac{q_{\text{т}} \times n}{T},$$

где  $q_{\text{т}}$  – среднегодовой удельный расход технической воды, м<sup>3</sup>, (Приложение А, графа 4).

##### 3.1.3 Питьевой воды (для производственных целей), м<sup>3</sup>/ч

$$Q_{\text{х.п.ср}} = \frac{q_{\text{х.п.}} \times n}{T},$$

где  $q_{\text{х.п.}}$  – среднегодовой удельный расход воды, м<sup>3</sup>, (Приложение А, графа 5).

## 3.2 Максимальные часовые расходы

### 3.2.1 оборотной воды, м<sup>3</sup>/ч

$$Q_{\text{об.макс}} = Q_{\text{об.ср}} \times K_{\text{лет}} \times K_{\text{ч}},$$

где  $K_{\text{лет}}$  – коэффициент изменения среднегодовой нормы расхода воды на единицу продукции в летний период, (Приложение А, графа 11);

$K_{\text{ч}}$  – коэффициент часовой неравномерности, принимаемый по (Приложению В) по отрасли промышленности по заданию.

Расчетные максимальные расходы технической (свежей) и питьевой воды определяются аналогично расходам оборотной.

## 3.3 Безвозвратное потребление и потери воды в производстве

При использовании воды на предприятии, даже на самом совершенном технологическом оборудовании, всегда имеют место безвозвратные потери воды, складывающиеся из потерь на испарение, на капельный унос влаги с вырабатываемой продукцией и т.д. и зависят от множества факторов и различны для каждого производства.

Общий среднечасовой расход безвозвратных потерь в производстве в сутки среднего водопотребления, м<sup>3</sup>/ч, вычисляется по формуле

$$Q_{\text{п.п.ср}} = \frac{q_{\text{б.п.}} \times n}{T},$$

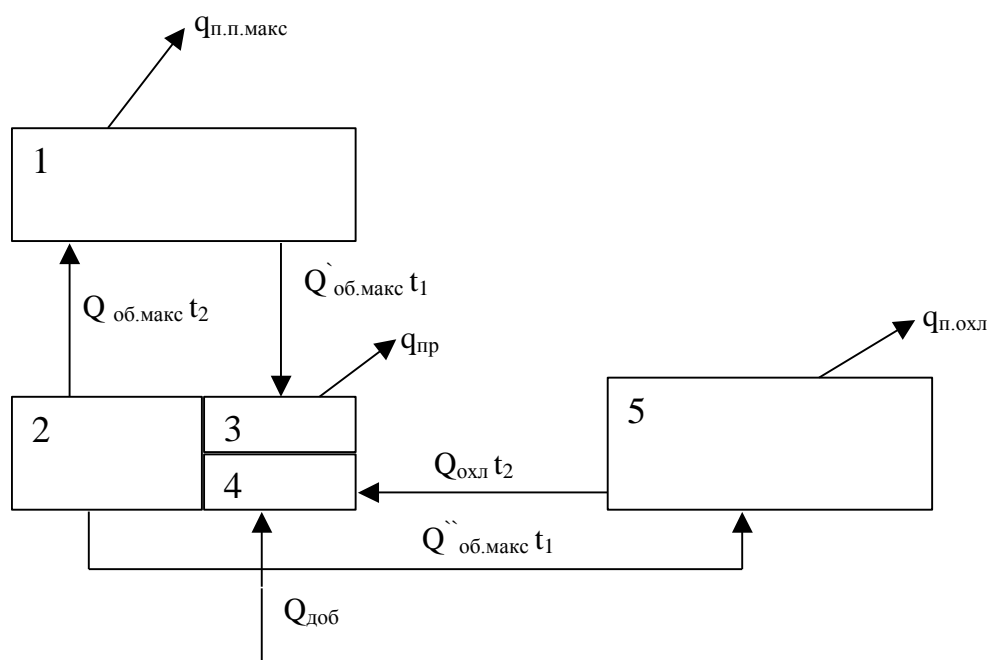
где  $q_{\text{б.п.}}$  – удельное безвозвратное потребление и потери в производстве, м<sup>3</sup>, (Приложение А, графа 11).

Максимальный расчетный часовой расход потерь определяется, м<sup>3</sup>/ч

$$Q_{\text{п.п.макс}} = Q_{\text{п.п.ср}} \times K_{\text{лет}} \times K_{\text{ч}}$$



## 4 Принципиальная схема чистого оборотного цикла водоснабжения



- 1 – цеха (потребители); 2 – циркуляционная насосная станция;  
 3,4 – соответственно приемные камеры нагретой и охлажденной воды;  
 5 – градирни;  
 $t_1$  – температура нагретой воды (по заданию);  
 $t_2$  – температура охлажденной воды в соответствии с требованиями производственного процесса к качеству воды, (Приложение Б, графа2);  
 $Q_{об.макс}$  – расчетный расход оборотной воды,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  
 $Q'_{об.макс}$  – расчетный расход оборотной воды, отводимой от потребителей,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  
 $Q''_{об.макс}$  – расчетный расход воды, подаваемой на охлаждение,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  
 $Q_{пр.}$  – величина продувки оборотного цикла (сброса),  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  
 $Q_{охл}$  – расчетный расход охлажденной воды,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  
 $q_{п.охл}$  – потери воды в охладителе,  $\text{м}^3/\text{ч}$  - определяются расчетом;  
 $Q_{доб}$  – расход добавочной воды для восполнения всех видов потерь воды в системе оборотного водоснабжения,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Рисунок 3.1

$$Q'_{об.макс} = Q_{об.макс} - q_{п.п.макс},$$

$$Q''_{об.макс} = Q_{об.макс} - q_{п.п.макс} - q_{пр},$$

$$Q_{охл} = Q''_{об.макс} - q_{п.охл}.$$

## 5 Охлаждение оборотной воды

При оборотном водоснабжении вода может использоваться в различных целях. В курсовом проекте предусматривается применение воды для охлаждения оборудования с её нагревом, но без загрязнения в производстве.

Для охлаждения воды в промышленности нашли применение водохранилища-охладители, брызгальные бассейны, различные типы градирен.

Башенные градирни обеспечивают устойчивое охлаждение и низкие температуры охлажденной воды при большой плотности орошения. Наличие башни, отводящей влажный нагретый воздух на значительную высоту, позволяет размещать их в непосредственной близости от зданий и сооружений. Башенные градирни можно применять для любой производительности оборотного цикла, но более экономичны большие по производительности. Недостатками данных градирен являются высокая стоимость и сложность их сооружения.

Вентиляторные градирни дают наиболее устойчивое и стабильное охлаждение воды из всех охладителей. Они имеют меньшую стоимость по сравнению с башенными и допускают большую плотность орошения, что позволяет компактно размещать их на территории промпредприятий. Наличие регулируемого привода вентиляторов дает возможность регулировки процесса охлаждения воды. Вентиляторные градирни энергоемки и имеют ограничения по размещению (с подветренной стороны), т.к. вызывают обледенение в зимний период окружающих зданий и сооружений.

### 5.1 Выбор типа охладителей

Выбор типа охладителей производится в зависимости:

- от расхода охлаждаемой воды ( $Q_{\text{об.макс}}$ );
- от расчетной температуры охлажденной воды ( $t_2$ ), перепада температур ( $\Delta t = t_1 - t_2$ ) и требований к устойчивости охлаждения;
- от режима работы охладителя;
- от климатических условий заданного района ( $v_1$  – температуры воздуха по сухому термометру и  $\tau_1$  – температуры воздуха по смоченному термометру, °C);
- от условий размещения охладителей на промплощадке;
- от физико-химического состава добавочной и оборотной воды;
- от категории надежности водопотребителя

Область применения охладителей рекомендуется принимать в соответствии [1, п.11.32] по таблице 5.1.

Таблица 5.1

Охладитель	Удельная плотность орошения $q_{ж},$ $м^3/м^2 \times ч$	Перепад температу р $\Delta t = t_1 - t_2,$ $^{\circ}C$	Минимальн ая разница температур $t_2 - t_1, ^{\circ}C$
Водохранилище (пруд-охладитель)	0,01-0,1	5-10	6-8
Брызгальные бассейны	1-1,2	5-10	10-12
Открытые градирни:			
с брызгальным оросителем	1,5-3,0	5-10	10-12
с капельным оросителем	2,0-4,01	5-10	10-12
Башенные градирни:			
с брызгальным оросителем	2,5-3,5	5-15	8-10
с капельным оросителем	3-4	5-15	8-10
с пленочным оросителем	5-8	5-15	8-10
Вентиляторные градирни:			
с брызгальным оросителем	5-6,5	3-20	4-5
с капельным оросителем	6-8	3-20	4-5
с пленочным оросителем	8-10	3-20	4-5
с пленочным оросителем	8-10	3-20	4-5
с пленочным оросителем	8-10	3-20	4-5
Радиаторные градирни	-	5-10	15-20

## 5.2 Расчет вентиляторных градирен

Конечной целью технологического (теплового и аэродинамического) расчета вентиляторных градирен является определение плотности орошения и числа градирен (секций), обеспечивающих охлаждение расчетного количества охлаждаемой воды ( $Q_{охл}$ ) от температуры  $t_1$  до температуры  $t_2$  при расчетных параметрах атмосферного воздуха.

В соответствии с [1, п.11.33] технологический расчет охладителей за летний период при обеспеченности 1,0-10%, принимаемый в зависимости от категории водопотребителя по таблице 5.2.

Таблица 5.2

Категория водопотребите ля	Степень ухудшения технологического процесса производства при $t_2 > t_{2 \text{ расч}}$	Обеспеченност ь, %
I	Нарушение технологического процесса в целом (значительные убытки)	1
II	Допустимо временное нарушение технологического процесса отдельных установок	5
III	Временное снижение экономичности технологического процесса в целом и отдельных установок	10

Для заданных условий работы предприятия по обеспеченности 1-10% и географического размещения принимаются расчетные параметры атмосферного воздуха по [6, таблица 7].

Так как разрабатывается проект чистого оборотного цикла, то при расчетных параметрах атмосферного воздуха ( $\Delta t = t_1 - t_2$ , °C), предварительно принимаются вентиляторные секционные градирни с пленочным оросителем. Конечной целью технологического расчета (теплого и аэродинамического) вентиляторных градирен является определение плотности орошения  $q_{\text{ж}}$  и числа градирен (секций), обеспечивающих охлаждение расчетного количества охлажденной воды  $Q_{\text{охл}}$  от температуры  $t_1$  при расчетных параметрах атмосферного воздуха ( $v_1, \tau_1, \varphi_1, P_{\text{бар}}$ ).

Определение плотности орошения ведется по номограммам или формулам, приведенным в [6].

Предварительно можно принять пленочный ороситель с величиной удельной плотности орошения  $q_{\text{ж}} = 8-10 \text{ м}^3/\text{м}^2 \times \text{ч}$  или выбрать требуемый типоразмер оросителя (в соответствии с  $Q_{\text{охл}}$  и  $N_c$ ), его тип и паспортные характеристики ( $h_{\text{ср}}, A, Q_{\text{возд}}$ ).

Тогда необходимая ориентировочная общая площадь орошения

$$F_{\text{ор}} = Q_{\text{об.макс}} / q_{\text{ж}}, \text{ м}^2$$

При минимальном (оптимальном) количестве секций  $N_c = 4$ , площадь одной секции составит

$$F_c = F_{op} / 4, \text{ м}^2$$

В зависимости от  $F_c$  и типа оросителя выбирается типовой проект градири с соответствующей маркой вентилятора и его параметрами [6, таблица 12].

$h_{op}$  – высота оросителя, м;

$A$  – характеристика оросителя,  $\text{м}^{-1}$

$\sigma_6 \times 10^{-3}$  – подача воздуха вентилятором,  $\text{м}^3/\text{ч}$

Определение действительной плотности орошения ( $q_{ж \text{ действ.}}$ ) для данных градири при номинальной подаче воздуха вентилятором производится по графикам [6].

Перед началом расчета вычисляется произведение  $A \times h_{op}$ .

Графики расчетов составлены для расчетных параметров:

$t_2$  от 23 до 30 °С через 0,1 °С

$\Delta t$  от 5 до 15 °С через 5 °С

$v_1$  от 23 до 30 °С через 1 °С

$\phi_1$  от 0,4 до 0,7 через 0,1 доли единицы

$Ah_0$  от 0,5 до 2 через 0,1 доли единицы

Для промежуточных значений расчетных параметров плотность орошения,  $q_{ж}$ , определяется интерполяцией между соседними графиками.

Действительная необходимая площадь орошения градири

$$F_{\text{действ}} = Q''_{\text{об макс}} / q_{ж \text{ действ}}, \text{ м}^2$$

Количество секций градири с первоначально выбранной площадью одной секции с соответствующим вентилятором

$$N_{\text{с.действ}} = F_{\text{действ}} / F_c, \text{ шт}$$

### 5.3 Потери воды в охладителях

Потери воды в охладителях складываются из потерь на испарение и на каплеунос

$$Q_{\text{п.охл}} = q_{1 \text{ охл}} + q_{2 \text{ охл}}$$

Потери воды на испарение при охлаждении

$$q_{1 \text{ охл}} = K_{\text{исп}} \Delta t Q''_{\text{об.макс}}, \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$P_1 = q_{1 \text{ охл}} 100 / Q''_{\text{об.макс}}, \%$$

где  $K_{\text{исп}}$  – коэффициент, учитывающий долю теплоотдачи испарением в общей теплоотдаче, принимаемой для градирен в зависимости от температуры воздуха по сухому термометру  $t_1$  по [1, таблица 36] .

Потери воды вследствие уноса ветром

$$q_{2 \text{ охл}} = P_2 Q''_{\text{об.макс}} / 100, \text{ м}^3/\text{ч}$$

где  $P_2$  – потери воды вследствие уноса ветром, %, принимаются в размере 0,2-0,05% циркуляционного расхода воды по [1, таблица 38].

## 5.4 Размещение охладителей

На основании [1, п.11.76] размещение охладителей на площадке предприятий необходимо предусматривать из условия обеспечения свободного доступа к ним воздуха, а так же наименьшей протяженности трубопроводов и каналов. При этом необходимо учитывать направление зимних ветров для исключения обмерзания зданий и сооружений. При размещении охладителей на генплане площадки предприятия необходимо выдержать минимальные расстояния между ними и расположенными вблизи зданиями и дорогами, которые принимаются в соответствии с [3, п.3.36] и таблице 5.3.

Таблица 5.3

Наименование сооружений	Расстояние до секционных вентиляторных градирен, м
Промышленные здания	21
Градирни секционные	9-24
Внутризаводские железнодорожные пути	12
Автодороги внутризаводские и подъездные	9

## **6 Обработка оборотной воды**

Нормальной работе систем производственного водоснабжения препятствуют отложения и обрастания, образующиеся в теплообменных аппаратах, трубопроводах, градирнях в процессе эксплуатации. Прежде всего, это карбонат кальция, отлагающийся на внутренней поверхности оборудования вследствие нарушения углекислотного равновесия в системе оборотного водоснабжения, а так же, биологические обрастания, представляющие собой биоценоз микроорганизмов, развивающихся в определенных стабильных во времени условиях.

### **6.1 Предотвращение карбонатных отложений в системах оборотного водоснабжения**

Солевой баланс систем оборотного водоснабжения зависит от концентрации солей, поступающих в системы с добавочной водой. Характер и величина изменений концентраций солей зависит от растворимости их, физико-химических процессов, происходящих с ними, водного режима оборотной системы и от его параметров.

Соли, поступающие в системы оборотного водоснабжения с добавочной водой, делятся на две основные группы:

- к первой относятся соли хорошо растворимые (хлориды калия, натрия, кальция, магния, железа);
- ко второй – соли, которые вследствие недостаточной растворимости или физико-химических превращений могут выпадать в осадок (сульфаты и бикарбонаты кальция).

Отложения карбоната кальция образуются наиболее интенсивно на поверхности теплообмена вследствие нарушения углекислотного равновесия в системах оборотного водоснабжения.

Эти отложения типичны для систем, использующих в качестве добавочной, воду с высокой жесткостью и щелочностью (артезианскую).

Концентрация равновесной углекислоты зависит от:

- температуры воды;
- концентрации ионов  $\text{HCO}_3^-$ , при  $\text{pH} < 8,3$  равной общей щелочности воды;
- содержания в воде катионов  $\text{Ca}^{2+}$ ;
- общего солесодержания.

В качестве показателя интенсивности карбонатной агрессии принимается индекс насыщения воды карбонатом кальция (индекс Ланжелье)

$$J = \text{pH}_O - \text{pH}_S = \pm 0,2 ,$$

где  $pH_0$  – замеренная величина  $pH$ , при её фактической температуре;

$pH_s$  – величина  $pH$ , соответствующая равновесному насыщению воды карбонатом кальция.

$$pH_s = f_1(t) - f_2(Ca^{2+}) - f_3(Щ) + f_4(P),$$

где  $f_1(t)$ ,  $f_2(Ca^{2+})$ ,  $f_3(Щ)$  и  $f_4(P)$  – величины, зависящие соответственно от температуры воды, содержания в ней кальция, щелочности и общего солесодержания, определяемые по номограмме [1].

При  $J > 0,2$  вода склонна к образованию карбонатных отложений; при  $J < 0,2$  – к их растворению (коррозионная); при  $J = 0$  – стабильная.

Недостаток углекислоты в оборотной воде обуславливается потерей её в градирне, при нагревании в системе, а так же при упаривании.

Обработку воды для предотвращения карбонатных отложений следует предусматривать при условии

$$Щ_{доб} \times K_y \geq 3,$$

где  $Щ_{доб}$  – щелочность добавочной воды;

$K_y$  – коэффициент концентрирования (упаривания) солей, не выпадающих в осадок.

Предельная величина коэффициента упаривания, достигаемая при установившемся режиме будет

$$K_y = \frac{\sum P_1 + \sum P_2 + \sum P_3}{\sum P_2 + \sum P_3},$$

где  $\sum P_1, \sum P_2, \sum P_3$  – сумма потерь воды в системе оборотного водоснабжения соответственно, на испарение, на унос, на продувку.

Подкисление, согласно [1, п.11.20], применяется при любых величинах щелочности и общей жесткости добавочной воды и коэффициентах упаривания воды в системах; фосфатирование – при щелочности добавочной воды ( $Щ_{доб}$ ) до 5,5 мг-экв/л; рекарбонизацию дымовыми газами или газообразной кислотой – при щелочности добавочной воды до 3,5 мг-экв/л и коэффициентах упаривания не превышающих 1,5.

Дозы кислоты, углекислоты и фосфатных реагентов следует определять по [1, приложение 12].



## **6.2 Борьба с биологическим обрастанием**

В оборотных системах, использующих в качестве добавочной воду из поверхностных источников, могут происходить биологические обрастания трубопроводов, теплообменных аппаратов и градирен.

Значительную часть отложений составляют грубодисперсные примеси, вносимые в системы с воздухом и с добавочной водой. Отложения могут представлять собой конгломерат из названных компонентов, а так же продуктов коррозии.

Для предупреждения развития бактериальных биологических обрастаний применяется хлорирование оборотной воды перед сооружениями оборотного цикла согласно [1, приложение 11].

В целях предупреждения обрастания водорослями градирен применяется периодическая обработка воды раствором медного купороса 2-4% концентрации. Дозы, продолжительность и периодичность обработки принимаются по [1, приложение 11].

## **6.3 Предотвращение механических отложений**

Возможность и интенсивность образования механических отложений в резервуарах градирен и теплообменных аппаратах определяется на основе опыта эксплуатации систем оборотного водоснабжения, расположенных в данном районе, работающих на воде данного источника или исходя из данных о концентрации, гранулометрическом составе механических загрязнений воды и воздуха.

Для предотвращения механических отложений следует предусматривать частичное осветление оборотной воды.

Для открытых систем оборотного водоснабжения промпредприятий характерно загрязнение воды грубодисперсными механическими примесями. Основными источниками загрязнения чистых оборотных циклов является добавочная вода и пыль атмосферного воздуха, попадающая в циркулирующую воду при охлаждении в градирнях.

Согласно [5] содержание взвешенных веществ в воде 1-ой категории допускается не более 5-50 мг/л (для различных условий нагрева). Увеличение концентрации сверх установленных норм ведет к осложнениям в работе оборудования, поэтому необходимо выведение из оборотного цикла грубодисперсных примесей в количестве, эквивалентном поступающему.

Такое выведение осуществляется механической очисткой части оборотной воды. Для определения массы части удаляемых примесей (а следовательно и расхода очищаемой воды), необходимо решение

уравнения баланса (и рекомендуется составление балансовой схемы движения взвешенных веществ в системе)

$$Q_{\text{чоц}} \times (C_{\text{чоц.взв}} - C_{\text{ост.взв}}) = Q_{\text{доб}} \times C_{\text{доб.взв}} + Q_{\text{возд}} \times C_{\text{возд.взв}} \times \varepsilon_{\text{возд}} - Q_{\text{пр}} \times C_{\text{чоц.взв}}$$

Исходя из уравнения баланса взвешенных веществ и остаточной концентрации взвешенных веществ в обработанной воде возможно определить необходимое количество обрабатываемой воды

$$Q_{\text{чоц.обр}} = \frac{Q_{\text{доб}} \times C_{\text{доб.взв}}}{C_{\text{чоц.взв}} - C_{\text{взв.ост}}} - \frac{Q_{\text{пр}} \times C_{\text{чоц.взв}}}{C_{\text{чоц.взв}} - C_{\text{взв.ост}}} + \frac{Q_{\text{возд}} \times C_{\text{возд.взв}} \times \varepsilon_{\text{возд}}}{C_{\text{чоц.взв}} - C_{\text{взв.ост}}}$$

Расход воздуха  $Q_{\text{возд}}$  проходящего через градирни при охлаждении воды для вентиляторных градирен принимается равным производительности установленного вентилятора, рассчитанного и подобранного согласно [6,7]; для башенных градирен ориентировочно можно принять [7] 500-1000 м<sup>3</sup> воздуха на 1м<sup>3</sup> охлаждаемой воды.

Эффективность перехода взвешенных веществ из атмосферного воздуха в оборотную воду ( $\varepsilon_{\text{возд}}$ ) колеблется в пределах 80-95 %, в зависимости от запыленности воздуха  $C_{\text{возд.взв}}$  в интервале концентраций 1-10 мг/м<sup>3</sup> и определяется интерполяцией.

Расход обрабатываемой воды для удаления механических примесей из «чистого» оборотного цикла обычно не превышает 5-8% от общего количества оборотной воды. Удаление механических примесей из оборотной воды чаще всего осуществляется фильтрованием через зернистую загрузку фильтров различной конструкции. Предпочтение отдается сверхскорым фильтрам Никифорова и «волокнуистым».

В курсовом проекте должен быть приведен расчет фильтров согласно [1,4,8,9] с подбором промывных насосов, расчетом расхода промывной воды, в том числе приведенного к среднечасовому (для учета потерь её из системы при составлении балансовой схемы). Обработку промывной воды для уменьшения потерь оборотной, необходимо предусмотреть на локальных сооружениях по обработке промывных вод, расчет и выбор которых производится по [1, приложение 9].

Подача воды на фильтры очистки оборотной воды осуществляется:

- при наличии на насосной станции оборотного водоснабжения двух групп основных насосов (теплой и холодной воды) - от насосов теплой воды с возвратом очищенной в приемную камеру теплой воды;
- при наличии в насосной станции одной группы насосов (в случае подачи нагретой воды из технологического процесса на градирню под остаточным напором) - от насосов холодной воды с возвратом очищенной в приемные камеры холодной воды.

В обоих случаях производительность данных насосов увеличивается на величину  $Q_{\text{чощ обр.}}$ .

## 7 Насосная станция оборотного водоснабжения

Водное хозяйство промышленных предприятий, как правило, включает насосные станции.

В курсовом проекте необходимо разработать одну из циркуляционных насосных станций, обеспечивающую подачу оборотной воды «чистого» цикла к технологическому оборудованию рассматриваемого производства.

На ЦНС может быть предусмотрено две, три и более групп насосов. Все насосы устанавливаются под заливом. Как правило, в данной насосной станции устанавливаются и насосы, подающие часть оборотной воды на механическую очистку.

Потребное количество воды, подаваемое насосами, зависит от графиков водопотребления, устанавливаемых технологическими процессами производства и учитываемое коэффициентами часовой и сезонной неравномерности, и принимаемым по Приложениям А и В в зависимости от рассматриваемого проектом производства.

Количество рабочих агрегатов и их производительность выбирают с учетом определенных ранее расходов, категории надежности насосной станции. При необходимости, регулирование суммарной подачи насосной станции осуществляют путем включения различного числа насосов или регулирование их режимов работы.

Категорию насосной станции необходимо установить в зависимости от категории водопотребителя (таблица 5.2).

В насосной станции для каждой группы насосов количество резервных агрегатов следует принимать по таблице 7.1.

Таблица 7.1

Количество агрегатов одной группы	Количество резервных агрегатов в насосных станциях для категории:		
	I	II	III
До 6	2	1	1
От 6 до 9	2	1	-
Свыше 9	2	2	-

При этом количество агрегатов одной группы, кроме пожарных, должно быть не менее двух. В насосных станциях II и III категории при обосновании допускается установка одного рабочего агрегата.

Габаритные размеры, компоновочные решения и оборудование насосной станции должны быть выполнены с учетом требований разделов 7 и 12 [1].

Напор, развиваемый насосами, определяется по формуле

$$H = H_r + H_{св} + \Delta h,$$

где  $H_r$  – геометрическая высота подъема воды, м;

$H_{св}$  – требуемый свободный напор, м;

$\Delta h$  – суммарные потери напора при движении воды от приемной камеры насосной станции до точки назначения.

Для группы насосов, подающих воду потребителю,  $H_r$  равна разности геодезических отметок пола 1-ого этажа цеха и минимального уровня воды в приемной камере ЦНС;

$H_{св}$  – требуемый свободный напор на вводе у потребителя на уровне пола первого этажа (из задания).

Для насосов, подающих воду на обработку,  $H_r$  следует принимать как разность отметок расположения распределительной системы градирен (или необходимых напоров для очистных сооружений) и минимальным уровнем воды в приемной камере насосной станции. Минимальный уровень воды в соответствии с [1, п.9.7] для насосных станций обратного водоснабжения, работающих в равномерном режиме должен быть равен 5-10-минутной производительности насосов.

## 8 Баланс воды в системах оборотного водоснабжения

Количество воды в системах оборотного водоснабжения поддерживается постоянным. Убыль воды из системы возмещается добавочной водой, т.е. в системе поддерживается баланс между убываемой и добавочной водой.

Восполнение воды:

- 1 С исходным сырьем и полуфабрикатами,  $Q_{\text{сыр}}$ ;
- 2 С вспомогательными веществами (топливо, реагенты т.п.),  $Q_{\text{всп}}$ ;
- 3 С атмосферными осадками (дождь, таяние снега),  $Q_{\text{атм}}$ ;
- 4 Из источника водоснабжения (свежая вода),  $Q_{\text{свеж}}$ .

Потери воды:

- 1 На унос с продуктом и отходами,  $Q_{\text{п.п}}$ ;
- 2 На полив полов, проездов, насаждений,  $Q_{\text{пол}}$ ;
- 3 На испарение в охладителе оборотной воды  $Q_{\text{исп.охл}}$ ;
- 4 На унос с воздухом из охладителя оборотной воды,  $Q_{\text{ун}}$ ;
- 5 На удаление с осадками из сооружений,  $Q_{\text{осад}}$ ;
- 6 На сброс воды в водоем или другую систему,  $Q_{\text{пр}}$ .

$$\sum Q_{\text{поступл}} = \sum Q_{\text{убыль}}$$

На основе данных по определению расходов всех видов производственного водопотребления составляются балансы её, включающие потери, необходимые сбросы (продувку) и добавление воды в систему для компенсации убыли из неё.

Балансовые схемы составляются в масштабе расходов, измеряемых в м<sup>3</sup>/час или в м<sup>3</sup>/сут. При этом линейные размеры зданий и сооружений не соблюдаются.

Для наглядности потоки воды различного назначения и качественной характеристики должны иметь различные условные обозначения (рисунок 8.1).

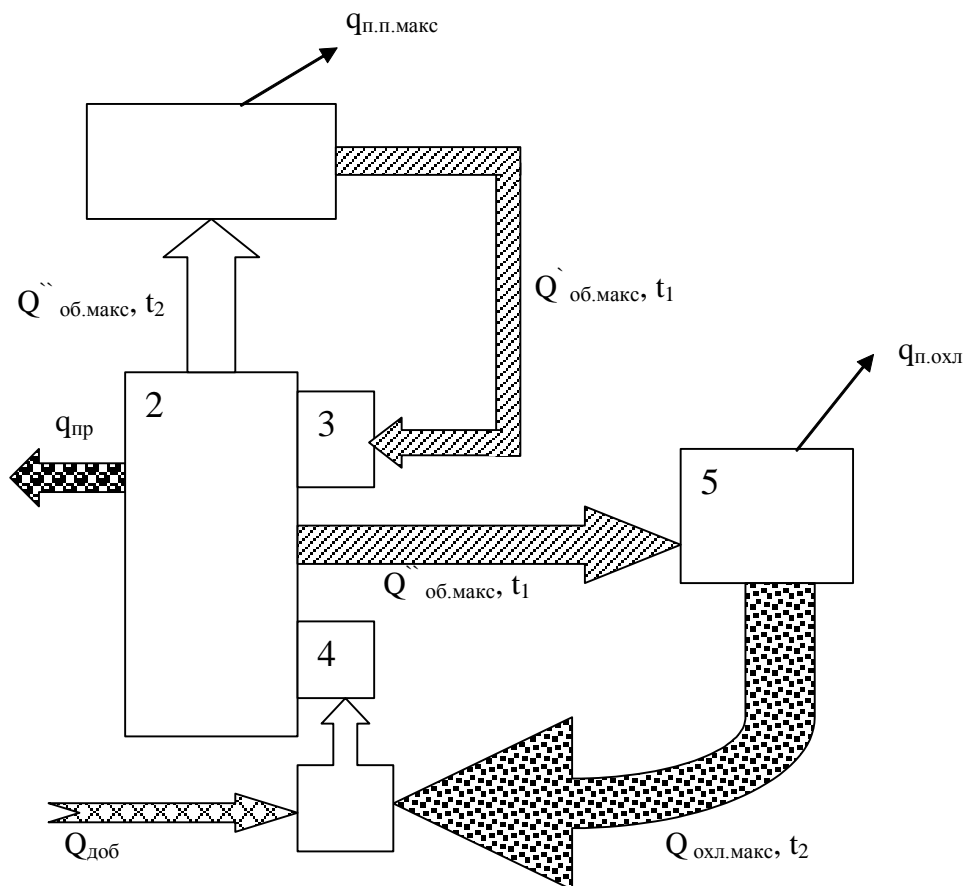


Рисунок 8.1

## 8.1 Оценка эффективности использования воды

Техническое совершенство системы оборотного водоснабжения предприятия оценивается процентом использования оборотной воды

$$P_{об} = \frac{Q_{об}}{Q_{об} + Q_{свеж} + Q_{сыр}} \times 100\%,$$

где  $Q_{свеж}$  – количество воды, забираемое из источника;  
 $Q_{сыр}$  – количество воды, поступающей в систему водоснабжения с сырьем.

При этом, чем ближе к 100%  $P_{об}$ , тем совершеннее система.

Эффективность использования воды, забираемой из источника, оценивается коэффициентом использования

$$K_{и} = \frac{Q_{свеж} + Q_{сыр} - Q_{сбр}}{Q_{свеж} + Q_{сыр}} \leq 1$$

где  $Q_{\text{сбр}}$  – количество воды, сбрасываемое в водоем за единицу времени.

$K_{\text{и}}$  должен быть максимально близким к единице.

Процент безвозвратного потребления и потерь воды в системе оборотного водоснабжения от общего её расхода

$$P_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{свеж}} + Q_{\text{сыр}} - Q_{\text{сбр}}}{Q_{\text{свеж}} + Q_{\text{сыр}} + Q_{\text{посл}} + Q_{\text{об}}} \times 100\%,$$

где  $Q_{\text{посл}}$  – количество воды, используемой последовательно.

Значение  $P_{\text{н}}$  должно быть минимальным.



### Список литературы:

- 1 СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети» - М.; Госстрой России, 1998
- 2 СНиП 2.04.03-84 «Канализация. Наружные сети и сооружения» - М.;Стройиздат, 1985
- 3 СНиП II-89-80 «Генеральные планы промышленных предприятий» – М.; Стройиздат, 1979
- 4 Справочник проектировщика. Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий (Под редакцией Назарова И.А.) – М.; Стройиздат, 1977
- 5 Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности/ СЭВ ВНИИ ВодГЕО 2-ое издание, переработанное – М.; Стройиздат, 1982
- 6 Пособие по проектированию градирен (к СНиП 2.04.02-84) / ВНИИ ВодГЕО Госстроя СССР – М.;ЦИТП Госстроя СССР,1989
- 7 Руководство по проектированию градирен (Утверждено институтом Союзводоканалпроект 24 января 1980г.) – М.;1980
- 8 Кожин В.Ф. Очистка питьевой и технической воды – М.; Стройиздат,1971
- 9 Лифшиц О.В. Справочник по водоподготовке котельных установок малой мощности – М.; Энергия,1969
- 10 Особенности промышленного водоснабжения / Андоньев С.И., Жильцов В.М., Левин Г.М. и др. – Киев, Будивельник,1981
- 11 Кучеренко Д.И., Гладков В.А. Обратное водоснабжение (системы водного охлаждения) –М.; Стройиздат, 1980
- 12 Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод – Киев, Будивельник, 1986
- 13 Турк В.И., Минаев А.В., Карелин В.Я. Насосы и насосные станции – М.; Стройиздат, 1976
- 14 Шевелев Ф.Н. Таблицы для гидравлического расчета стальных, чугунных, асбестоцементных, пластмассовых и стеклянных водопроводных труб – М.;Стройиздат,1973
- 15 Лукиных А.А., Лукиных Н.А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле академика Павловского – М.; Стройиздат, 1974

**Приложение А**  
**Данные по производственному водопотреблению и водоотведению**

Предприятие	Ед. изм	Среднегодовой расход воды на единицу продукции, м <sup>3</sup>				Среднегодовое количество сточных вод, выпускаемых в водоем или др., м <sup>3</sup>				Коэффициент повышения среднегодовой нормы в летний период, К <sub>лет</sub>
		оборотной, q <sub>об</sub>	свежей из источника			всего	в том числе		безвозвратное потребление, q <sub>бп</sub>	
			технической, q <sub>т</sub>	питьевой для производственных целей, q <sub>хп</sub>	всего		производственных, подлежащих очистке	не требующих очистки		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

**Приложение Б**  
Требования к качеству воды, используемой на предприятиях

Наименование предприятия, производства	Температура, °С	Взвешенные вещества	pH	Жесткость общая, мг-экв/л	Жесткость карбонатная, мг-экв/л	Щелочность, мг-экв/л	Солесодержание общее, мг/л	Хлориды, мг/л	Сульфаты, мг/л	Железо общее, мг/л	Ca <sup>2+</sup> , мг/л	Mg <sup>2+</sup> , мг/л	Цветность, град
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1 ТЭЦ на твердом топливе с оборотом пара на тепловую энергию	Св. 33	Св. 20	6,5-8,5	Не нормирован.	Не нормирован.	-	-	-	-	Св. 4	Не нормирован.	-	-
2 Аглофабрика	Св. 25	Св. 20	6,5-8,5	-	Св. 2,5	Св. 3	Св. 500	Св. 150	Св. 250	0,5	-	-	-
3 Фабрика окатышей	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 Доменное производство при электроприводе воздушных компрессоров	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5 Сталеплавильное производство (конверторная сталь)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6 Прокатное производство - рельсобалочные станы	25	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7 Ферросплавное	20	20	6,5-8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

производство													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
8 Сталепроволочный цех – травление в H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Св. 25	Св. 20	6,5-8,5	-	Св. 2,5	Св. 3	Св. 500	Св. 150	Св. 250	0,5	-	-	-
9 Коксохимическое производство при мокром тушении кокса без использования тепла	20	15	6,5-8,5	-	3	Св. 3	-	-	-	-	-	-	-
10 Производство плавяных огнеупоров	25	20	6,5-8,5	-	2,5	3	500	150	250	0,5	-	-	-
11 Алюминиевый завод по производству слитков	12	10	7,4-7,9	3,42	1,95	1,95	253 (co)	16	52	1,0	23	17,5	-
12 Производство пластификаторов	20	8	7,4-7,7	2,7	-	-	275 (co)	4,2	60,4	0,9	1,3	1,3	-
13 Производство химических волокон	20	6	7,8	4,64	-	2,04	-	36,4	100	0,21	4,13	-	-
14 Производство лавсана	26	5	7-8	1	1	-	500 (co)	100	100	0,05	-	-	10
15 Производство кислорода	25	20	6,5-7,5	0,6	2,5	3	500	100	100	0,5	-	-	-
16 Производство ДВП (для проектируемых предприятий)	25	5	6,5-7,5	0,8	0,4	3	500	150	250	0,3	-	-	-
17 Производство высокозольной	25	20	6,5-8	5	2,5	2,5	750	200	100	0,2	-	-	50

бумаги													
18 Производства спирта-сырца	20	20	6,5-8,5	7	2,5	4	2000	350	500	4	300/	40/	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
19 Производство крахмальной патоки по рекомендуемой схеме	15	10	7-8	3,5	-	3	290 (co)	-	30/	0,2	-	-	50
20 Производство майонеза	15	50	6,5-8,5	2,5	2	2	1000	350	500	0,3	-	-	20
21 Производство натуральных моющих средств (туалетное мыло)	20	50	6,5-8,5	3,5	2	2	1000	350	500	0,3	-	-	20
22 Производство электроизмерительных приборов	25	30	6,5-8,5	7	2	3,5	700	-	-	-	-	-	-
23 Заводы горношахтного оборудования	30	30	7-8,5	6	-	-	3000	50	100	0,3	-	-	-
24 Заводы машиностроения легкой промышленности	25	10	7-8	1,5	-	-	80	50	100	0,1	-	-	20
25 Сахарорафинадный завод	28	500	6,5-7,5	2	1	20	150	-	-	-	-	-	-

**Приложение В**  
Коэффициенты часовой неравномерности

Отрасли промышленности	$K_{\text{ч}}$
Металлургическая	1,1
Машиностроение	1,3-1,4
Химическая	1,3-1,5
Текстильная	1,15-1,6
Резиновая	1,3-1,4
Пищевая	1,5-2,0
Бумажная	1,3-1,8
Деревообрабатывающая	1,1
Строительной индустрии	1,1-1,5

**Приложение Г**  
**Расчетные параметры атмосферного воздуха**

Пункты наблюдения	Обеспеченность параметров воздуха, %								
	1			5			10		
	$\nu_1$	$\varphi_1$	$\tau_1$	$\nu_1$	$\varphi_1$	$\tau_1$	$\nu_1$	$\varphi_1$	$\tau_1$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Алма-Ата	32,0	28	19,8	27,7	31	17,4	26,5	34	17,0
Астрахань	30,4	52	23,2	28,8	55	22,4	27,8	56	21,6
Ашхабад	36,3	18	20,2	34,8	20	19,8	33,9	22	19,7
Горький	26,8	48	19,6	24,0	52	17,8	22,7	56	17,3
Иркутск	22,0	63	17,6	20,5	68	16,9	19,7	71	16,5
Казань	26,8	43	18,7	24,6	51	18,2	23,4	55	17,8
Краснодар	28,0	55	21,6	26,5	57	20,6	25,5	59	20,1
Красноярск	24,4	55	18,6	22,5	61	17,8	21,4	64	17,2
Ленинград	26,0	56	20,1	23,2	60	18,3	21,7	63	17,4
Луганск	30,1	30	18,8	27,0	37	17,8	25,7	44	18
Москва	27,0	55	20,8	24,5	57	19,0	22,9	59	17,9
Новосибирск	25,4	54	19,3	23,3	59	18,2	22,0	63	17,6
Омск	27,4	44	19,4	24,1	50	17,6	22,5	55	17,0
Свердловск	25,8	49	18,8	23,2	57	17,8	21,5	62	17,0
Ташкент	31,2	37	21,0	29,4	38	19,8	28,6	40	19,6
Томск	24,3	60	19,2	22,3	64	18,0	21,0	68	17,4
Тула	25,5	56	19,6	23,1	60	18,2	21,6	63	17,3
Уфа	27,6	44	19,5	25,3	48	18,3	23,8	53	17,8
Харьков	28,5	38	19,2	26,4	45	18,8	24,9	52	18,6
Челябинск	26,0	51	19,4	23,7	54	15,8	22,4	58	17,3

## Приложение Д

### Определение величины продувки оборотной системы

Одним из методов предотвращения образования накипи в оборотных системах является продувка воды из циркуляционной системы охлаждения. Расход воды на продувку определяется из условия, что увеличение жесткости воды в оборотной системе, происходящее вследствие испарения части воды, не должно превышать определенных пределов, при которых начинают выпадать соли жесткости.

При продувке вместе с водой удаляется часть солей карбонатной жесткости. С повышением карбонатной жесткости в системе увеличивается количество удаляемых солей до тех пор, пока оно не уравнивается с количеством солей, поступающих с добавочной водой. После этого дальнейшее нарастание карбонатной жесткости воды в оборотной системе прекращается.

Расход воды на продувку, %. Определяется по формуле

$$P_3 = \frac{Ж_{доб} \times P_1}{Ж_{об} - Ж_{доб}} - P_2,$$

где  $Ж_{доб}$  и  $Ж_{об}$  – карбонатная жесткость добавочной воды и предельная карбонатная жесткость оборотной воды, мг-экв/л

Продувка применяется в том случае, когда карбонатная жесткость добавочной воды меньше допустимой карбонатной жесткости оборотной воды.

Для определения допустимой карбонатной жесткости для данной оборотной системы необходимо определить предельно-допустимую величину коэффициента упаривания ( $K_y$ ), который определяется методом последовательных приближений и равен

$$K_y = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2} + P_3 = \frac{P}{P_2} + P_3,$$

где  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  – потери воды из системы на испарение, унос ветром и сброс (продувка), %, расхода оборотной воды.

По [1, приложение 12, таблица 2] принимается  $K_y = 1,5; 2; 3$

Величина продувки в %, исходя из  $K_y$

$$P_3 = \frac{P_1}{K_y - 1} - P_2$$



Для каждого  $K_y$  вычисляется  $P_3$ .

Затем по [1, приложение 12, формула 4] определяется величина солесодержания оборотной воды  $S_{об}$  при данных  $K_y$  по формуле

$$S_{об} = S_{доб} \times K_y,$$

где  $S_{доб}$  – солесодержание добавочной воды, мг/л.

Исходя из общего солесодержания по [1, приложение 12, таблица 1], определяется величина  $\psi$ , для каждого вычисленного общего солесодержания оборотной воды,  $S_{об}$  и температуры охлажденной воды,  $t_2$ . Концентрация солей  $Ca$  по [1, формула 3] равна

$$N_o = \frac{\psi}{\sqrt{K_y (Ca)_{доб}}},$$

где  $(Ca)_{доб}$  – концентрация кальция в добавочной воде, мг/л

Тогда равновесная щелочность для оборотной воды вычисляется по [1, формула 2] для данных условий

$$\begin{aligned} \text{Щ}_{об} = & 0,1N_o \sqrt{4,84N_o^2 (P - P_1)^2 + (100 - P)(CO_2)_{охл} + P(CO_2)_{доб} + 44\text{Щ}_{доб}P -} \\ & - 0,22N_o^2 (P - P_1) \end{aligned}$$

где  $(CO_2)_{охл}$  – концентрация двуокиси углерода в охлажденной воде, мг/л, определяемая по [1, таблица 2], в зависимости от щелочности добавочной воды и коэффициента упаривания воды в системе  $K_y$ ;

$(CO_2)_{доб}$  – концентрация двуокиси углерода в добавочной воде, мг/л.

Доза кислоты  $D_{кис}$ , мг/л для подкисления добавочной воды вычисляется по [1, формула 1]

$$D_{кис} = \frac{100 \times e_{кис} \times (\text{Щ}_{доб} - \frac{\text{Щ}_{об}}{K_y})}{C_{кис}},$$

где  $e_{кис}$  – эквивалентный вес кислоты, мг/мг-экв, для серной кислоты 49, для соляной – 36,5;

$C_{кис}$  – содержание  $H_2SO_4$  или  $HCl$  в технической кислоте, %, 76, 85, 96.

Сульфат не выпадает в системе обратного водоснабжения, если произведение активных концентраций ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  в оборотной воде [1, формула 5] не превышает произведение растворимости сульфата кальция, т.е.

$$f_{\text{H}}^2 \times C_{\text{Ca}} \times C_{\text{SO}_4} \times K_y^2 < \text{П} \times \text{P}_{\text{CaSO}_4},$$

где  $f_{\text{H}}$  – коэффициент активности двухвалентных ионов, принимаемый по [1, таблица 3] в зависимости от величины  $\mu$  – ионной силы раствора (охлажденной воды), г-ион/л, определяемой по [1, формула 6]

$$\mu = \frac{K_y [(C_{\text{Cl}} + C_{\text{HCO}_3} + C_{\text{Na}}) + 4(C_{\text{Ca}} + C_{\text{Mg}} + C_{\text{SO}_4})]}{2},$$

где  $C_{\text{HCO}_3}$ ,  $C_{\text{Na}}$ ,  $C_{\text{Mg}}$ ,  $C_{\text{Ca}}$  – концентрация ионов бикарбонатных, натрия, магния и кальция в добавочной воде, г-ион/л;

$C_{\text{Cl}}$ ,  $C_{\text{SO}_4}$  – концентрация ионов хлоридного и сульфатного в подкисленной добавочной воде, г-ион/л, принимаемая при подкислении серной кислотой по [1, формула 7]

$$C_{\text{Cl}} = C_{\text{Cl}} C_{\text{SO}_4} = C_{\text{SO}_4} + \left( \frac{D_{\text{кис}}}{98000} \right) \times \left( \frac{C_{\text{кис}}}{100} \right)$$

при подкислении соляной кислотой – по [1, формула 8]

$$C_{\text{Cl}} = C_{\text{Cl}} + \left( \frac{D_{\text{кис}}}{36500} \right) \times \left( \frac{C_{\text{кис}}}{100} \right); C_{\text{SO}_4} = C_{\text{SO}_4},$$

где  $C_{\text{Cl}}$ ,  $C_{\text{SO}_4}$  – концентрация ионов хлоридных и сульфатных в добавочной воде до подкисления, г-ион/л;

$D_{\text{кис}}$  – доза кислоты, мг/л, определяемая по [1, формула 1];

$\text{П}_{\text{CaSO}_4}$  – произведение растворимости сульфата кальция (константа), при температуре воды 25-60<sup>0</sup> С, равная  $2.4 \times 10^{-5}$ .

По вычисленным произведениям растворимости по [1, формула 5] и принятым коэффициентам упаривания ( $K_y$ ) строится график  $f(K_y, \text{ПР})$  и по нему определяется  $K_y$  при  $\text{ПР} = 2.4 \times 10^{-5}$  и уточняется доза кислоты, ее суточное количество, емкости растворяемых и расходных баков, насосы-дозаторы.