

Водоснабжение промышленных предприятий.

Лекция.

1.2. Схема

производственного водоснабжения

По характеру использования воды системы производственного водоснабжения подразделяют на системы с прямоточным, последовательным, оборотным и смешанным использованием воды. Последние включают прямоточное и последовательное или оборотное использование воды.

При прямоточном водоснабжении (рис. 1.1,а) вся забираемая из водоема вода $Q_{ист}$ после участия в технологическом процессе возвращается в водоем, за исключением того количества, которое безвозвратно расходуется в производстве $Q_{пот}$. Количество отводимых в водоем сточных вод $Q_{сбр}$ составляет при этом

$$Q_{сбр} = Q_{ист} - Q_{пот}. \quad (1.1)$$

Сточные воды в зависимости от вида загрязнений и других условий перед сбросом в водоем должны проходить через очистные сооружения. В этом случае количество сточных вод, сбрасываемых в водоем, уменьшается, поскольку часть воды отводится со шламом, на величину $Q_{шл}$.

При последовательном водоснабжении (рис. 1.1,б) вода, отработавшая в одном каком-либо производственном процессе или агрегате, передается для повторного использования в других производственных процессах и агрегатах без промежуточной обработки или охлаждения. После второго производства или агрегата отработавшая вода либо удаляется в водоем, либо передается для дальнейшего использования. Количество сбрасываемых сточных вод уменьшается в соответствии с потерями на всех производствах и на очистных сооружениях, т.е.

$$Q_{сбр} = Q_{ист} - (Q_{пот1} + Q_{пот2} + Q_{шл}). \quad (1.2)$$

Повторное использование сточных вод после соответствующей их очистки получило в настоящее время широкое распространение. В ряде отраслей промышленности (черной металлургии, нефтеперерабатывающей) 90-95% сточных вод используются в системах оборотного водоснабжения и лишь 5-10% сбрасывается в водоем.

Если в системе оборотного водоснабжения промышленного предприятия вода является теплоносителем и в процессе использования только нагревается, то перед повторным применением ее предварительно охлаждают в пруду, брызгальном бассейне, градирне (рис. 1.2,а); если вода служит средой, поглощающей и транспортирующей механические и растворимые примеси, и в процессе использования загрязняется ими, то перед повторным применением сточная вода проходит обработку на очистных сооружениях (рис. 1.2,б); при комплексном использовании сточные воды перед повторным применением подвергаются очистке и охлаждению (рис. 1.2,в).

Данный файл представлен исключительно в ознакомительных целях.

Уважаемый читатель!

Если вы скопируете данный файл, Вы должны незамедлительно удалить его сразу после ознакомления с содержанием. Копируя и сохраняя его Вы принимаете на себя всю ответственность, согласно действующему международному законодательству. Все авторские права на данный файл сохраняются за правообладателем. Любое коммерческое и иное использование кроме предварительного ознакомления запрещено.

Публикация данного документа не преследует никакой коммерческой выгоды. Но такие документы способствуют быстрейшему профессиональному и духовному росту читателей и являются рекламой бумажных изданий таких документов.

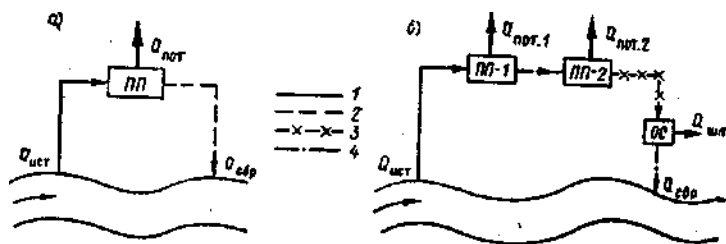
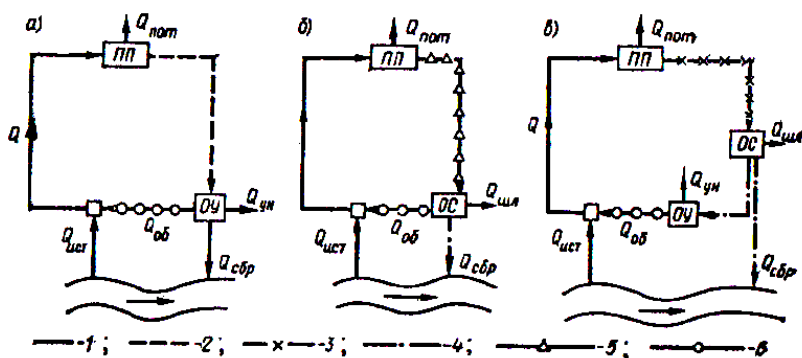


Рис.1.1.

Схемы водообеспечения промышленных предприятий

1 - вода свежая, чистая, ненагретая; 2 - сточная вода, нагретая; 3 - то же нагретая и загрязненная; 4 - то же, очищенная; ПП, ПП-1 и ПП-2 - промышленные предприятия; ОС - очистные сооружения; $Q_{ист}$ - вода, подаваемая из источника на производственные нужды;

$Q_{пот1}$ и $Q_{пот2}$ - вода безвозвратно потребляемая на промпредприятиях; $Q_{шл}$ - вода удаляемая со шламом; $Q_{сбр}$ - вода, сбрасываемая в водоем.



Рид.1.2 Схемы оборотного водоснабжения промышленных предприятий

а - с охлаждением сточных вод; б - с очисткой сточных вод; в - со сгущением и охлаждением сточных вод; 1 - вода свежая, чистая, ненагретая; 2 - сточная вода, нагретая; 3 - то же, ненагретая и загрязненная; 4 - то же, очищенная; 5 - сточная вода, загрязненная; 6 - оборотная вода; ОУ - охлаждающие установки; Q - вода, подаваемая на производственные нужды; $Q_{об}$ - оборотная вода; $Q_{ун}$ - вода, теряемая на испарение и унос из охлаждающих установок. Остальные обозначения те же, что и на рис.1.1.

При таких системах оборотного водоснабжения для компенсации безвозвратных потерь воды в производстве на охладительных установках (испарение с поверхности, унос ветром, разбрызгивание), на очистных сооружениях, а также потерь воды, сбрасываемой в канализацию, осуществляется подпитка из водоемов и других источников водоснабжения. Количество подпиточной воды определяется по формуле

$$Q_{кпв} = Q_{пот} + Q_{ун} + Q_{шл} + Q_{сбр} . \tag{1.3}$$

Подпитка систем оборотного водоснабжения может осуществляться постоянно и периодически. Общее количество добавляемой воды составляет 5-10% общего количества воды, циркулирующей в системе.

Следует отметить, что приведенные выше схемы прямоточного и оборотного водоснабжения промышленных предприятий (см.рис. 1.1 и 1.2) носят общий характер. В практике часто встречаются комбинированные системы водоснабжения и водоотведения с различными схемами, в зависимости от специфики производства, местных условий, напряженности водного баланса и др.

1.3. Баланс воды в системе оборотного водоснабжения

Количество воды в системе оборотного водоснабжения поддерживается постоянным. Убыль воды из системы возмещается подпиточной водой. Статьи прихода и расхода воды в системе оборотного водоснабжения в общем виде приведены в табл.1.1 (применительно к схемам на рис.1.2) /2/.

Безвозвратное потребление и потери воды в производстве в местах ее использования равны количеству воды, уносимой с продуктами и с отходами, определяемыми технологическими расчетами.

То же, на полив полов, проездов и насаждений (по СНиП 2.04.03-85).

Потери воды на испарение при ее охлаждении, Q_{исп. охл} когда вода в системе используется в качестве теплоносителя, могут быть определены из теплового расчета охладителя, а при отсутствии расчета - с достаточным приближением по формуле

$$Q_{исп.охл} = C_1 \cdot \Delta t \cdot Q_{охл}$$

Таблица. 1.1

Поступление и убыль воды в системе оборотного водоснабжения промышленного предприятия

Поступление воды в систему	Убыль воды из системы
1. С исходным сырьем и полуфабрикатами	1. Унос с продуктом и отходами.
2. Со вспомогательными веществами (топлива, реагенты и т.п.)	2. Налив полов, насаждения.
3. С атмосферными осадками (дождь, таяние снега)	3. На испарение в охладителе оборотной воды.
4. В виде шахтного или рудного водоотлива, почвенная (дренажная, инфильтрационная и пр.)	4. Унос с воздухом из охладителя оборотной воды.
5. Из источника водоснабжения	5. Испарение естественное с водной поверхности
6. Сточная вода, повторно используемая после очистки	6. Поглощение растительностью водоема.
	7. Эксфильтрация из системы водоснабжения в почву
	8. Удаление с осадками из очистных сооружений
	9. Сброс воды для освежения оборотной воды (продувка)
	10. Сброс собственно сточных вод в водоем или накопитель

где C₁ - коэффициент потери воды на испарение; Δt - разность температур отработавшей воды, поступающей в охладитель (пруд, брызгальный бассейн или градирню) и воды охлажденной, подаваемой потребителю, °С; Q_{охл}- количество воды, отводимой от производства на охлаждение, в м³/ч (при охлаждении в закрытых теплообменных аппаратах можно считать Q_{охл}=Q_{исп}).

Для градирен и брызгальных бассейнов значения коэффициента C₁принимают в зависимости от температуры воздуха:

Температура воздуха по сухому термометру, С	0	10	20	30
Коэффициент С1	0.001	0.0012	0.0014	0.0015

Для прудов -охладителей, прудов-осветлителей оборотной воды и естественных водоемов в зависимости от естественной температуры воды в водоеме:

Естественная температура воды в водоеме, с	О	10	20	30
Коэффициент C1	0,0007	0,0009	0,0011	0,0013

Для открытых рекуперативных теплообменных аппаратов оросительного типа потери воды на испарение увеличиваются вдвое и формула (1.4) принимает вид

$$Q_{исп} = 2 \cdot C1 \cdot \Delta t \cdot Q_{охл} \quad (1.5)$$

Потери воды в пруде-охладителе или пруде-осветлителе оборотной воды, а также в естественном водоеме, принимающем нагретую воду, могут быть вычислены по формуле (1.5) с коэффициентом C1, который принимается в зависимости от естественной температуры воды в этом водоеме.

Потери воды на унос ее из системы ветром в виде капель (если вода в системе используется в качестве теплоносителя). Эти потери зависят от типа, конструкции и размеров охладителя, а для открытых охладителей - и от скорости ветра и др.

Величина потерь на унос $Q_{ун}$ из охладителя оборотной воды может быть определена по формуле

$$Q_{ун} = C2 \cdot Q_{охл}, \quad (1.6)$$

где C2 - коэффициент потерь воды на унос, равный для брызгальных бассейнов 0,015-0,002; для брызгальных градирен и открытых градирен с простыми жалюзями - 0,01-0,015; для открытых капельных градирен с решетками и для башенных градирен без водоуловителей -0,005-0,01 и с водоуловителями - 0,003-0,005; для вентиляторных градирен с однорядными водоуловителями 0,003-0,005 и с двухрядными водоуловителями - 0,0015-0,003 (меньшее значение - для охладителей большей производительности).

При наличии в производстве открытых рекуперативных теплообменных аппаратов оросительного типа (оросительных холодильников) добавляются потери на унос воды ветром с этих теплообменных аппаратов. Величина потерь на унос воды из оросительных холодильников может быть вычислена как

$$Q_{ун} = C3 \cdot Q_{об},$$

где C3 - коэффициент потерь воды на унос из оросительных холодильников, может быть принят равным 0,005-0,01; $Q_{об}$ - количество оборотной воды, м³/ч.

Потери воды на водоочистных сооружениях (если вода используется как среда, поглощающая и транспортирующая механические примеси) с удаляемым осадком $Q_{шл}$ определяется замером объема удаляемого осадка V за время τ с учетом его влажности. Эти потери невелики и в большинстве случаев ими можно пренебречь.

Указанные выше безвозвратное потребление и потери воды из системы оборотного водоснабжения могут быть названы производственными $Q_{пр.пот}$.

Для соблюдения водного баланса $\sum Q_{поступл} = \sum Q_{убыл}$ в системе оборотного водоснабжения указанные потери покрываются таким же количеством воды, добавляемой в систему

$$Q_{ист} = Q_{пр.пот}. \quad (1.8)$$

Часть воды из данной системы оборотного водоснабжения может намеренно сбрасываться в количестве $Q_{сбр}$, м³/ч, с целью освежения оборотной воды с заменой её свежей водой из источника в том же количестве $Q_{ист} = Q_{сбр}$. Тогда количество воды, добавляемой в систему из источника,

$$Q_{ист} = Q_{пр.пот} + Q_{сбр}. \quad (1.9)$$

1.4. Требования к качеству и свойствам воды в системах оборотного водоснабжения

Требования к качеству и свойствам воды, подаваемой для производственных целей, устанавливают в каждом конкретном случае в зависимости от применяемых в технологии оборудования, сырья и материалов. Общими являются следующие требования к технической воде /4/:

1. В открытых системах вода должна быть безвредной для здоровья обслуживающего персонала и не обладать отрицательными органолептическими свойствами. Поэтому содержание в 1 л воды кишечных палочек не должно превышать 1000.

2. Техническая вода может использоваться только для охлаждения машин и агрегатов или продукта через стенку по схеме, приданной на рис. 1.2,а. Температура воды не должна быть выше допустимой; так, для средневропейской полосы она должна быть ниже 28-30°. Поэтому оборотную воду охлаждают в градирнях или других сооружениях.

3. Содержание взвешенных веществ крупностью до 0,05 мм в воде не должно превышать допустимых значений, зависящих от скорости воды в охлаждаемом оборудовании, приведенных в табл.1.2.

Таблица 1.2

Допустимая концентрация взвеси (крупностью до 0,05 мм) в охлаждающей оборотной воде

Скорость движения воды в теплообменных аппаратах, м/с	Допустимая концентрация взвеси в охлаждающей воде мг/л	
	нормально	кратковременно
До 0.01	5	20
0.01-0.2	10-20	50
0.2-0.5	30-50	100
0.5-1.0	50-80	200

4. Обратная вода, используемая для охлаждения, должна быть термостабильной, т.е. из нее не должно выделяться более 0,2 г/ (м ч) карбоната кальция CaCO₂, других солей и механических примесей (слой отложений не более 0,08 мм в месяц). В противном случае вода должна предварительно обрабатываться.

5. Вода не должна вызывать точечной и язвенной коррозии, а также равномерной коррозии металла со скоростью, превышающей 0,09 г/(м² ч) (слой до 0,1 мм в год) и разрушения бетона. Допустима равномерная скорость коррозии углеродистой стали, не превышающая 0,45 г/(м² ч), (слой до 0,5 мм в год) при отсутствии признаков точечной и язвенной коррозии. Следует выбирать стойкие материалы для оборудования, трубопроводов и сооружений, предусматривать их защиту покрытиями или производить соответствующую обработку воды.

6. Вода не должна способствовать развитию биологических обрастаний теплообменных аппаратов и охладителей оборотной воды со скоростью, большей 0,07 г/(м² ч) (слой до 0,05 в месяц) по сухому весу в воздухе. При необходимости воду периодически обрабатывают хлором, а охладители воды - раствором медного купороса.

Вода, используемая для охлаждения оборудования и продукта в теплообменных аппаратах, относится к воде I категории. Вода II категории используется в качестве среды, поглощающей и транспортирующей примеси по схеме рис.1.2,б при непосредственном контакте с продуктом (обогащение полезных ископаемых, гидрозола-удаление и др.). Она может содержать взвешенные вещества в концентрации не более допустимой и крупностью не выше установленного предела во избежание осаждения их по пути движения воды. Норма допустимой концентрации взвешенных веществ в воде, подаваемой потребителям, устанавливается отдельно для каждого производства. Перед каждым циклом использования воды в системе оборотного водоснабжения эта вода должна быть очищена и, при необходимости, охлаждена. Вода III категории используется как среда, поглощающая и транспортирующая механические примеси и одновременно служащая охладителем продукта по схеме рис.1.2,в. В ней могут иметь место процессы растворения (выщелачивания) солей, органических веществ и газов. Количество и технологические свойства воды в таком случае должны отвечать требованиям, указанным выше для воды I и II категории.

Следует отметить, что качество и технологические свойства (термостабильность и коррозионность) воды, используемой для охлаждения или обогащения продукта при непосредственном контакте с ним, формируется в основном этим продуктом, а также условиями использования воды и от качества и свойств природной воды практически не зависят.

Особо чистая вода используется для приготовления технологических производственных растворов. Она не должна содержать осаждающихся взвешенных и других веществ, вредных для производства или образующих с растворяемыми веществами вредные примеси.

Примерные общие требования к качеству пресных вод, используемых для охлаждения продукта и оборудования, очистки газов и обогащения полезных ископаемых, приведены в табл.1.3.

1.5. Критерии рациональности использования воды

Эффективность использования вода на промышленных предприятиях оценивается тремя показателями.

I. Техническое совершенство системы водоснабжения оценивается количеством использованной оборотной воды, %,

$$P_{об} = \frac{Q_{об}}{Q_{об} + Q_{ист} + Q_c} \cdot 100 \quad (1.10)$$

где $Q_{об}$, $Q_{ист}$, Q_c - количество вода, используемой соответственно в обороте, забираемой из источника и поступающей в систему с сырьем.

2. Рациональность использования вода, забираемой из источника, оценивается коэффициентом использования

$$K_{ис} = \frac{Q_{ист} + Q_c - Q_{сбр}}{Q_{ист} + Q_c} \quad (1.11)$$

3. Потери воды и безвозвратное потребление в системе оборотного водоснабжения, %, определяются по формуле

$$P_{пот} = \frac{Q_{ист} + Q_c - Q_{сбр}}{Q_{об} + Q_{ист} + Q_c + Q_{посл}} \cdot 100$$

где $Q_{посл}$ - количество вода, используемой в производстве последовательно.

1.6. Очистка и обработка вода систем оборотного водоснабжения

Необходимость очистки и обработки воды в системах оборотного водоснабжения определяется:

- требованиями, предъявляемыми потребителями к качеству и свойствам вода;
- данными лабораторных анализов природной и оборотной воды, предназначенной к использованию;
- результатами исследования технологических свойств вода (термостабильность, биогенность и коррозионность), на моделях или в производственных условиях;
- опытом эксплуатации аналогичных систем, использующих воду данного (или аналогичного) источника водоснабжения.

Таблица 1.3

Требования к качеству пресных вод, используемых для охлаждения очистки газов и обогащения полезных ископаемых

Показатели	Вода 1 категории при температурах охлаждения продукта или стенки теплообменника, С			Вода 2 категории	Вода 3 категории
	До 80	80-400	>400		
Температура, С, не более	25-38	28-40	40-45	Не нормируется	25-30
Содержание взвешенных веществ, мг/л	20-30	20-30	20-30	1000 при гравитационных процессах, 50 при флотации	150-200
Содержание масел и смолообразных продуктов (эфиро-растворимых), мг/л, не более	10-20	10-20	10-20	Не нормируется	
Запах, в баллах, не более	3	3	3	3	4
Цветность, градусы платинокобальтовой шкалы	Не нормируется				
pH	-	-	7.2-8.5	-	-
Жесткость общая, мэкв/л	Не нормируется	7	5	Не нормируется	
Жесткость карбонатная, мэкв/л	2,5-3	2-2,5	1,5	То же	
Щелочность общая, мэкв/л	3.5-4	3-3.5	2-2.5	>	
Общее содержание солей, мг/л	2000	1300	800	>	
Содержание, мг/л: Хлоридов (Cl ⁻) Сульфатов (SO ₄ ²⁻) Железа (Fe ³⁺)	350 500 1-4	250 350 1-4	150 250 1-4	> > >	
Ионов тяжелых металлов	Не нормируется				
Поверхностно-активных веществ	Не нормируется				
Окисляемость перманганатная, мг O ₂ /л	10-15	10-15	10-15	10 при фторации	Не нормируется
БПК _{поли} , мг O ₂ /л	15-20	15-20	15-20	Не нормируется	
Содержание биогенных компонентов- фосфора и азота мг/л	0.5	1.5	2.5	То же	

Чтобы правильно выбрать способ обработки загрязненной оборотной воды, необходимо знать стабильный состав воды по каждому загрязнителю (или по сумме загрязнителей). В общем случае такой состав можно установить на основании мгновенного материального баланса загрязнителей (обычно тех или иных солей при условии, что они не разлагаются и не кристаллизуются):

$$dG = C_0 \cdot (Q_{исп} + Q_{ун} + Q_{прод}) d\tau - C \cdot (Q_{ун} + Q_{прод}) d\tau \quad (1.13)$$

где dG - прирост количества соли или другого лимитирующего загрязнителя, или их суммы в течение бесконечно малого времени работы оборотной системы; C_0 - концентрация соли в воде, добавляемой в систему; C - текущая (мгновенная) в каждый данный момент времени средняя концентрация соли в системе; $Q_{исп}$ - потери воды в единицу времени в оборотной системе на испарение (при этом концентрация соли в системе возрастает); $Q_{ун}$ - потери в результате уноса и разбрызгивания; $Q_{прод}$ - потери воды от продувки (сброса части воды из системы);

количество воды, добавляемой в систему:

$$Q_{исп} + Q_{ун} + Q_{прод} = Qd.$$

Определение концентрации C_0 иногда затрудняется тем, что в систему часто добавляют (рис.1.3) не только воду из естественного источника $Q_{ист}$, но и сточные воды $Q_{ст}$, часть продувочных и другие воды, содержащие тот же принятый для расчета загрязнитель. Уравнение (1.13) представляет собой баланс не только основного цикла I (рис.1.3 показан сплошными линиями) без возврата воды продувки этого цикла, причем $Q_{ст}=0$.

В этом случае $Qd = Q_{ист}$ и $C_0 = C_{ист}$

Количество соли в оборотной системе в любой момент времени составляет

$$G = V \cdot c,$$

где V - объем вода оборотной системы;

$$V = a \cdot Q,$$

Q - расход воды в оборотной системе; a - продолжительность так называемого полного оборота воды.

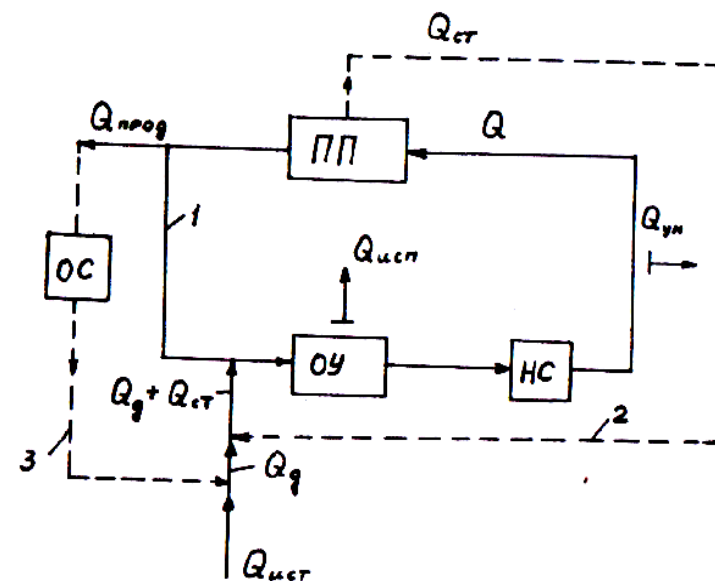


Рис.1.3

ПП - производство; ОУ - охладительные установки; ОС - очистные сооружения; НС - насосная станция; 1 - основной цикл водооборота с расходом воды Q ; 2 - встречающийся в практике вариант сброса загрязненных сточных вод $Q_{ст}$ в оборотную систему; 3 - возможный цикл очистки и возврата воды продувки основного цикла

С учетом этих параметров уравнение (1.13) можно привести к виду

$$a \cdot Q \cdot dc = C_0 \cdot (Q_{исп} + Q_{ун} + Q_{прод}) d\tau - C \cdot (Q_{ун} + Q_{прод}) d\tau$$

откуда

$$\frac{dc}{d\tau} = C_0 \frac{Q_{исп} + Q_{ун} + Q_{прод}}{a \cdot Q} - C \frac{Q_{ун} + Q_{прод}}{a \cdot Q}$$

Абсолютные величины потерь воды можно заменить относительными величинами (в долях)

$$P_1 = \frac{Q_{исп}}{Q} \quad P_2 = \frac{Q_{ун}}{Q} \quad P_3 = \frac{Q_{прод}}{Q}$$

Тогда

$$\frac{dc}{d\tau} + c \frac{P_1 + P_2}{a} = C_0 \frac{P_1 + P_2 + P_3}{a} \quad (1.14)$$

Для решения уравнения (1.14) константу интегрирования определяют, исходя из граничного условия: $C = C_0$ при $\tau = 0$. При замыкании системы водопользования изменение концентрации солей описывается уравнением

$$C = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2 + P_3} C_0 - \frac{P_1 \cdot C_0}{P_2 + P_3} \cdot e^{-\frac{P_2 + P_3}{a} \tau} \quad (1.15)$$

откуда при $\tau \rightarrow \infty$

$$C_{np} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2 + P_3} C_0 \quad (1.16)$$

Таким образом, при известном значении C_{np} (в соответствии с требованиями к качеству воды) и заданном значении C_0 можно найти P_3 (а значит, и $Q_{прод}$), если рассчитать величины P_1 и P_2 . Основная задача заключается в том, чтобы довести до нулевого значения величину продувки P_3 , правильно выбрав способ обработки (очистки) воды или ее части в оборотной системе.

Анализ уравнения (1.15) показывает существенную зависимость времени достижения близкого к предельному значению, величины C от показателя a , т.е. от объема воды V , поэтому оборотные системы большого объема позволяют позже, считая от момента замыкания цикла, начинать очистку добавляемой в систему воды. Так называемое среднее время пребывания солей в системе при этом возрастает.

В соответствии с необходимостью повторного или многократного использования воды важное значение имеет умение оценить возможность применения продувочных вод данной оборотной системы в другие производства, для которых требования к качеству воды понижены. Иногда воду открытого (незамкнутого) использования после соответствующей обработки применяют в замкнутых системах промышленного водопотребления. В частности, очищенные и обезвреженные городские стоки широко применяют в таких системах. Создание замкнутого водоиспользования экономически целесообразно, поскольку вместо двух блоков очистки воды (в системах сточных вод и подгоовки природных вод) можно использовать один.

1.7. Очистка оборотной воды от механических примесей

Механическая очистка применяется для выделения из оборотной воды нерастворимых минеральных и органических примесей.

Назначение механической очистки заключается в подготовке производственных сточных вод при необходимости к биологическому физико-химическому и другому методу более глубокой очистки. Механическая очистка на современных очистных станциях состоит из процеживания через решетки, пескоулавливания, отстаивания и фильтрования. Типы и размеры этих сооружений зависят в основном от состава, свойств и расхода производственных сточных вод, а также методов их дальнейшей обработки.

Как правило, механическая очистка является предварительным, реже - окончательным этапом для очистки производственных сточных вод. Она обеспечивает выделение взвешенных веществ из этих вод до 90-95% и снижение органических загрязнений (по показателю БПКполн) до 20-25%.

Повышение технологической эффективности сооружений механической очистки очень важно при создании замкнутых систем водоснабжения промышленных предприятий. Этому требованию удовлетворяют различные новые конструкции многополочных отстойников, сетчатых фильтров, фильтров с новыми видами зернистых и синтетических загрузок, гидроциклонов (напорных, безнапорных, многоярусных).

С целью обеспечения надежной работы сооружений механической очистки сточных вод, рекомендуется применять не менее двух рабочих единиц основного технологического назначения - решеток, песколовков, усреднителей, отстойников или фильтров.

В ряде случаев механическая очистка является, единственным и доступным способом для извлечения из производственных сточных вод нерастворимых веществ и подготовки их к повторному использованию в системах оборотного водоснабжения.

где Q – расход сточной воды, $м^3 / сут$; K – коэффициент неравномерности подачи воды; U_c - скорость движения воды в сетке; для плоских сеток $U_c = 0.2-0.4$ м/с для вращающихся $U_c = 0.4-1.0$ м/с; в- размер ячеек в свету, равным 0.5-5 мм; d – диаметр проволоки сетки, равный 0.3 -2.0 мм; F1- часть площади, занимаемой рамами и шарнирами; K2 – коэффициент загрязнения сетки, равный 1.2-1.8
Площади фильтрующей поверхности микрофильтров равно

$$F_{м.ф.} = \frac{K_1 \cdot Q \cdot K}{K_2 \cdot \tau \cdot v_{\phi}} \tag{1.21}$$

где τ - время работы микрофильтра в течении суток, ч; K1, K2 - коэффициенты соответственно равные 1,03 и 0.63; v_{ϕ} - скорость фильтрации =20-29м/ч.
Потери на напор на чистой сетке рассчитывают по формуле

$$H = \xi_o \frac{\rho \cdot v_{\phi}^2}{2 \cdot A^2} \tag{1.22}$$

технические характеристики микрофильтров и барабанных сеток даны в табл. 1.4.

Очистка оборотной воды в отстойниках

Взвешенные примеси из оборотных вод выделяют обычно отстаиванием воды в бассейнах-отстойниках или прудах.
Пруд-осветлитель оборотной воды представляет собой водоем с большой площадью поверхности. Вода в нем протекает от места впуска к месту выпуска с очень малой скоростью, при которой воду
Для очистки $1 м^3 / ч$ оборотной воды требуется активная площадь поверхности воды в пруде-осветлителе около $7-10 м^2$ с глубиной не менее 1 м до уровня осадка, исключая толщину льда в зимний период. При ограниченной площади пруд-осветлитель рассчитывается как горизонтальный отстойник.
Отстойники являются основными сооружениями механической очистки вод, используются для удаления грубодисперсных взвешенных веществ, при этом используют аппараты периодического или непрерывного действия. Отстойники периодического действия целесообразны при небольших объемах вод или при их периодическом поступлении. Обычно они представляют собой металлические или железобетонные резервуары с коническим дном, из которых вода отбирается через сифон или специальные желоба. Осадок из таких отстойников удаляют чаще всего вручную. Размеры отстойников по периодического действия определяются расходом сточной воды и гидродинамическими свойствами осаждаемой взвеси.
Горизонтальный прямоугольный отстойник представляет собой бассейн, в котором очищаемая вода подводится к одной из его стенок, проходит вдоль

отстойника до противоположной торцевой стенки и там отводиться.

Таблица 1.4

Технические характеристики микрофильтров (МФМ) и барабанных сеток (БС)

Показатели	Размер ячеек сетки, мм	Типоразмеры МФМ и БС, м					
		1.5x1.9	1.5x2.8	1.5x3.7	3x2.8	3x3.7	3x4.6
Расчетная пропускная способность, тыс. $м^3 / ч$:							
МФМ для механической очистки сточных вод	0.035 или 0.04x0.04	0.35	0.5	0.65	1.2	1.6	2
БС для механической очистки сточных вод	0.3x0.3-0.5x0.5	0.35	0.55	0.75	1.25	1.65	2.1
БС (при установке перед фильтрами) для глубокой очистки сточных вод	0.3x0.3x-0.5x0.5	0.42	0.62	0.84	1.5	2	2.5
Число поясов барабана	-	2	3	4	3	4	5
Площадь фильтрования, $м^2$	-	3.75	5.6	7.5	13	17.5	22
Частота вращения барабана, Ориентировочные размеры установки, мм	-	2.6	2.6	2.6	1.7	1.7	1.7
Длина	-	3620	4525	5450	4545	5450	6375
Ширина	-	1850	1850	1850	3156	3156	3156
Высота	-	2750	2750	2750	4240	4240	4240
Номинальная мощность электродвигателя, кВт	-	2.2	2.2	2.2	3	3	3
Ориентированная масса, т	-	2.2	2.57	2.86	3.1	3.4	3.8

Примечание: В обозначение типоразмера сетчатых фильтров входят условные размеры диаметра и длины барабана. Например МФМ 1.5x2.8 означает, что барабан имеет условный диаметр 1.5 и длину 2.8 м.
Пропускная способность барабанных сеток должна уточняться по результатам технологического изысканий
Выбор фильтрующей сетки установок, применяемых для очистки производственных сточных вод, производится на основании специальных исследований.

Горизонтальные отстойники применяют при расходах сточных вод более $15000 \text{ м}^3 / \text{сут}$. Глубина отстойников достигает 1,5-4 м, отношение длины к глубине составляет 8-12 (до 20). Ширина отстойника зависит от способа удаления осадка и обычно находится в пределах 6-9 м. По ширине отстойник делится на несколько коридоров. Отстойники оборудуют скребковыми механизмами тележечного или ленточного типа (рис.1.5), сдвигающими выпавший осадок в приямок. Объем приямка равен двухсуточному (не более) количеству выпавшего осадка. Из приямка осадки удаляют насосами, гидроэлеваторами или под гидростатическим давлением. Угол наклона стенок приямка принимают 50-60.

Поскольку осадок неравномерно распределялся по дну отстойника и скапливается в первой половине, ее размеры больше, чем второй половины. Это обеспечивается уклоном дна отстойника в сторону, противоположную направлению движения воды. Уклон днища отстойника к приямку составляет не менее 0.05%. Для равномерного распределения и отбора воды используют обычно дырчатые перегородки и дырчатые желоба слива осветленной воды, а для уменьшения зоны повышенной турбулентности, образующейся за дырчатой перегородкой в начале отстойника, экранируют выход из отверстий перегородки сферическим или коническим успокоителем.

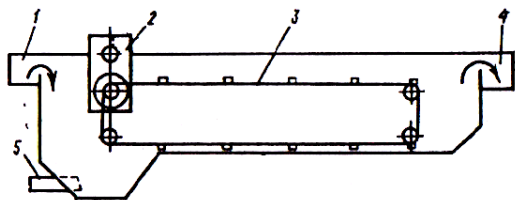


Рис.1.5.Горизонтальный отстойник

1 – водоподводящий лоток; 2 – привод скребкового механизма; 3 – скребковый механизм; 4 – водоотводящий лоток; 5 – отвод осадка

При расчете отстойников условно принимают, что вода движется с одинаковой скоростью во всех токах его поперечного сечения, что скорость осаждения частиц постоянна во все времена их выпадения. Расчетная длина горизонтального отстойника L может быть определена по формуле:

$$L = \alpha \cdot \frac{V}{u_0} \cdot H, \quad (1.23)$$

где V - скорость протекания воды в отстойнике, м/с; u_0 - скорость осаждения взвешенных веществ, м/с (по данным опыта); α - поправочный коэффи-

ент, учитывающий процессы, задерживающие осаждения взвешенных частиц, который принимают равным 1,2-1,5. Величина его зависит от отношения L/H и тем меньше, чем больше это отношение обычно принимают L равной не менее $10H$.

Для очистки оборотной воды с высокой мутностью от мелкодисперсных взвешенных веществ в отстойниках предусматривают коагулирование воды.

Для очистки сточных оборотных вод применяемые горизонтальные отстойники можно разделить по двум основным признакам:

- по загрязненности и характеру механических примесей (легкие или тяжелые);
- времени накопления осадка, а также с непрерывным или периодическим его удалением.

Основные технические характеристики типовых горизонтальных отстойников со скребковым механизмом приведены в табл.1.5 /1/.

Радиальные отстойники применяют при расходах сточных вод более $20000 \text{ м}^3 / \text{сут}$. Эти отстойники по сравнению с горизонтальными имеют некоторые преимущества: простота и надежность эксплуатации, экономичность, возможность строительства сооружений большой производительности. Недостаток - наличие подвижной формы со скребками.

Применяют радиальные отстойники трех конструктивных модификаций - с центральным впуском, с периферийным впуском и с вращающимися сборно-распределительными устройствами. Наибольшее распространение получили отстойники с центральным пуском воды (рис.1.6).

Таблица 1.5

Технические характеристики типовых первичных горизонтальных

Показатели	отстойников				
	При пропускной способности очистной станции, тыс $\text{м}^3 / \text{сут}$				
	25	35	50	70	100
Расчетный расход, $\text{м}^3 / \text{ч}$	1400	1900	2600	3500	4900
Пропускная способность, $\text{м}^3 / \text{ч}$, при продолжительности отстаивания 1.5 ч	1160	1740	2130	3200	4260
Размеры, м:					
Длина	24	24	30	30	30
Ширина	6	6	9	9	9
Число отстойников	4	6	4	6	8
Фактический объем, м^3	1740	2610	3200	4800	6400
Номер типового проекта	902-2-305	902-2-304	902-2-240	902-2-241	902-2-241

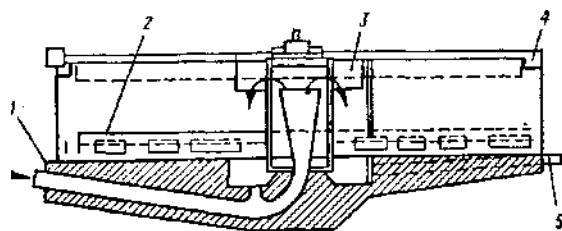


Рис.1.6. Радиальный отстойник I - труба для подачи воды; 2 - скребки; 3 - распределительная чаша; 4 - водослив; 5 - отвод осадка

Вода поступает в центральную часть отстойника по трубе 1, уложенной на неподвижной ферме, пройдя распределительное устройство 3, вода проходит по отстойнику в радиальном направлении и, осветленная, поступает в круговой лоток 4 и далее по трубопроводу к насосной станции оборотной воды. Распределительное устрой-

ство в радиальном отстойнике располагается в центре и выполняется в виде цилиндрической дырчатой трубы с окнами и решетками, с вертикальными прозорами для равномерного распределения воды со всей площади и глубине отстойника. Выпавший на дно отстойника осадок сдвигается к центру скребками 2, прикрепленными к подвижной ферме. Ферма вращается вокруг центра по круговому рельсу, уложенному на борту отстойника. Осадок по шламовым всасывающим трубам 5, поступает к насосам, расположенным в здании шламовой насосной станции, которые перекачивают его по трубопроводу и шламонакопитель. В подводящей трубе I установлена решетка. При работе радиального отстойника важно обеспечить равномерный отвод воды из отстойника, т.е. равномерный перелив ее в круговой лоток 4. Для этого устанавливают доску толщиной 20-25 мм, которую прикрепляют к первому ребру лотка; кроме ее выравнивается в строго горизонтальном положении.

Площадь радиального отстойника F_0 в плане определяется по формуле:

$$F_0 = \frac{Q}{q} \quad (1.24)$$

где Q – расчетный расход сточных вод $\text{м}^3 / \text{ч}$, q – гидравлическая нагрузка, приходящейся на единицу площади зеркала воды в отстойнике.

Диаметр отстойника, м ,

$$D_0 = \sqrt{4F_0 / \pi} = \sqrt{4Q / (\pi \cdot q)} \quad (1.25)$$

Гидравлическая нагрузка не зависит от диаметра отстойника и для каждого вида и состава загрязнения оборотной воды не будет одинаковой; значение q зависит от гидравлической крупности взвешенных веществ и степени осветления воды, которая устанавливается на основании технологических анализов осветляемой воды. Гидравлическая нагрузка принимается обычно в пределах $1-3 \text{ м}^3 / \text{ч м}^2$.

Площадь радиального отстойника можно также определить по наименьшей скорости осаждения взвешенных частиц U_0

$$F_0 = \frac{Q}{U_0} \quad (1.26)$$

Диаметр отстойника в этом случае вычисляется из соотношения

$$D_0 = \sqrt{4Q / (\pi \cdot U_0)} \quad (1.27)$$

Скорость U_0 определяется по данным технологического анализа или эксплуатации радиальных отстойников, работающих в аналогичных условиях, и обычно $U_0 = 0,4-1,5$ мм/с. И, наконец, радиальные отстойники можно рассчитать по методу /5/, в соответствии с которым радиус отстойника

$$R_0 = 9(280 \frac{Q}{U_0})^{0.525} + r_{в.з} \tag{1.28}$$

где $r_{в.з}$ - радиус центральной вихревой зоны, в которой взвешенные частицы не осаждаются; $r_{в.з}$ зависит от конструкции водораспределительного устройства и принимается в пределах 3-5 м.

Радиальные отстойники изготавливают диаметром 5-60 м и боле. Глубину отстойника $H_{ст}$ у стенки обычно принимают в пределах 1,5 2,5 м. Тогда глубина центральной части $H = H_{ст} + iR$, где i уклон днища отстойника равный 0,02-0;04%.

Как показывает опыт эксплуатации; радиальных отстойников в системах оборотного водоснабжения, их работа оценивается гидравлической нагрузкой q $м^3 / ч$, приходящейся на 1 м площади зеркал воды в отстойнике, которая не зависит от его диаметра. Гидравлическая нагрузка для каждого вида и состава загрязнения обороти воды не будет одинаковой. Значение q зависит от гидравлической крупности взвешенных веществ и степени осветления воды, которой устанавливается на основании технологических анализов осветляв мой воды и принимается обычно в пределах 1-3 м /ч с 1 м .

Основные размеры типовых радиальных отстойников указаны в табл.1.6 /5/

Таблица 1.6

Технические характеристики типовых первичных радиальных отстойников с центральным впуском воды

Показатели	При пропускной способности очистной станции, тыс. $м^3 / сут$						
	25	35	50	70	100	140	200
Расчетный расход, $м^3 / ч$	1400	1900	2600	3500	4900	6700	9600
Пропускная способность, $м^3 / ч$, при продолжительности отстаивания 1.5ч	1575	2100	2790	3720	5840	9162	12216
Диаметр,м	18	18	24	24	30	40	40
Фактический объем, $м^3$	2360	3160	4200	5600	8760	13750	18300
Фактическая продолжительность отстаивания, ч	1.7	1.7	1.6	1.6	1.8	2.1	1.9

Вертикальные отстойники применяют при очистке оборотных сточных вод расходом до $20,000 м^3 / сут$. Отстойник представляет собой круглый (иногда квадратный) в плане бассейн диаметром 1-9 м с коническим днищем. Наиболее распространены отстойники с впуском воды через центральную трубу с раструбом (рис.1.7), а этих отстойниках осветляемая вода движется вертикально - снизу вверх. Скорость движения воды в трубе 1 принимают равной до 30 мм/с. Расстояние между отражательным щитом 4 и раструбом выбирают таким, чтобы скорость поступления воды в отстойную зону 3 была не более 20 мм/с. Диаметр раструба трубы и его высоту рекомендуется принимать равными 1,35 диаметра центральной трубы, а диаметр отражательного щита - 1,3 диаметра раструба. Осветленная вода отводится через сборный желоб 2; осадок .скапливается в нижней конической части отстойника, откуда он периодически удаляется по трубе 5.

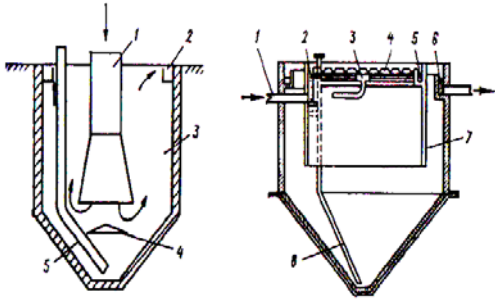


Рис.1.7. Вертикальный отстойник
1 - центральная труба; 2 - водослив; 3 - отстойная часть; 4 - отражательный щит; 5 - илопровод

1.8.Вертикальный отстойник с нисходяще-восходящим потоком

1 - труба для подвода воды; 2 - приемная камера; 3 - воронка для удаления плавающих веществ; 4 - зубчатый водослив; 5 - распределительный лоток; 6 - лоток для оборачивания очищенной воды; 7 - кольцевая перегородка; 8 - отвод ила

2. ОХЛАЖДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ОБОРОТНЫХ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

2.1. Общие положения

Для охлаждения отработанной вода применяют различные типы водоохладительных сооружений. По способу охлаждения они разделяются на испарительные и поверхностные (7).

В испарительных охладителях охлаждение воды происходит в процессе ее частичного испарения и передачи теплоты атмосферному воздуху при его непосредственном контакте с поверхностью воды. В поверхностных охладителях охлаждаемая вода не соприкасается с воздухом, а передача теплоты от воды к воздуху происходит через стенки радиаторов, внутри которых протекает вода.

К испарительным охладителям относятся открытые водоемы (пруды-охладители, водохранилище, реки, озера), брызгательные бассейны и градирни (открытые, башенные в винтляторные), к поверхностным – радиаторные (сухие) градирни.

Работа охладителя характеризуется удельной гидравлической, тепловой нагрузкой, шириной и высотой зоны охлаждения.

Удельная гидравлическая нагрузка g_g - отношении расхода охлаждаемой воды к площади активной водной поверхности или поперечного сечения, охладителя в плане; удельная тепловая нагрузка g -отношение количества теплоты, отдаваемой водой воздуху в единицу времени, к площади активной водной поверхности или поперечного сечения охладителя в плане.

Шириной зоны охлаждения (или перепадом температура) называется разность температур воды до и после охладителя $\Delta t = t_1 - t_2$.

Высотой (глубиной) зоны охлаждения называется разность температур охлажденной воды и воздуха по мокрому термометру. Последняя является теоретическим пределом охлаждения воды.

2.2. Выбор расчетных параметров вода и атмосферного воздуха.

Исходные данные для проектирования и поверочных расчетов охладителей оборотной воды. Расчет охладителей при проектировании производят для наиболее неблагоприятного - летнего периода года. Значение удельных тепловой нагрузки, ширины и глубины зон охлаждения, соответствующие реальным условиям эксплуатации различных типов охладителей, приведены в табл.2.1. Фактическая охлаждающая способность охладителей может в несколько раз отличаться от расчетной. Она зависит от времени и суток года, температуры и влажности атмосферного воздуха, скорости ветра и др. Степень влияния перечисленных факторов различна для разных видов и типов охладителей.

Наиболее распространенным видом охладителей оборотной воды на промышленных предприятиях в условиях плотной городской застройки являются вентиляторные градирни.

Температуру воды перед вентиляторной градирней принимают равной $t_1 = t_{mn} - \Delta t_*$

где t_{mn} - оптимальная температура технологического процесса (например, при конденсации пара в конденсаторах паровых турбин, холодильных установок, охладителях технологических продуктов и т.п.); $\Delta t_* = 4...6^\circ \text{C}$. Температуру воды за градирней

$t_2 = t_1 - \Delta t$ определяют с использованием рекомендованных значений ширины зоны охлаждения воды Δt (см.табл.2.1) и расчетных параметров атмосферного воздуха. Расчетные параметры воздуха выбирают с учетом их обеспеченности по табл.2.2.

Обеспеченностью метеопараметров атмосферного воздуха называют отношение среднестатистической (по результатам многолетних наблюдений) длительности периода, в течение которого среднесуточные значения температуры атмосферного воздуха по сухому V_1 и мокрому τ_1 термометрам и его относительная влажность γ_1 совпадают со значениями, принимаемыми в качестве расчетных, к длительности летнего периода (июнь-август для стран СНГ и Прибалтики) или календарного года.

Обеспеченность метеопараметров 1% (примерно 1 день за год) длительности летнего периода принимается для водопотребителей, если допустима нарушения технологического процесса в целом и значительные убытки (категория I); обеспеченность на уровне 5% (около 5 дней в году) приемлема, если допускается нарушение технологического режима на отдельных установках (категория II). Обеспеченность 10% (около 10 дней в году) принимается для объектов, на которых допустимо временное снижение экономичности технологического процесса в целом и на отдельных установках (категория III). При отсутствии готовых данных по расчетным параметрам воздуха, для выбранного района строительства можно построить кривые длительности стояния оре дне суточных значений V_1, τ_1, γ_1 и произ-

70-71

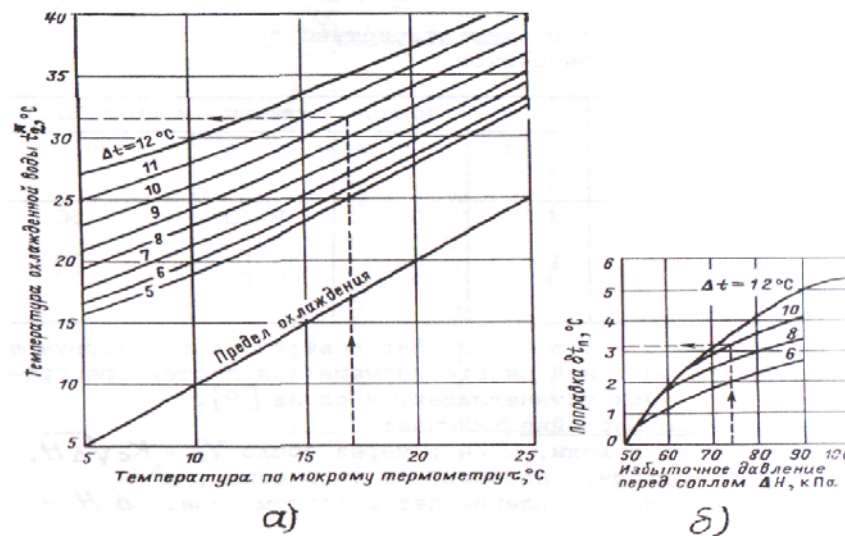


Рис.2.2. Номограммы для расчета температур вода охлажденной в брызгальном бассейне при избыточном давлении воды перед соплами 50 кПа и скорости ветра $W = 2$ м/с (в) и давлениях, отличных от 50 кПа (б)

2.5. Башенные градирни

Башенные градирни применяются, главным образом, на атомных и тепловых электростанциях. Они могут быть испарительными, радиаторными (сухими) и сметанными - испарительно-сухими. К испарительно - сухим относятся сухие градирни, в которых для увеличения глубины охлаждения осуществляется орошение наружной поверхности, как правило, обессоленной водой [7].

Основные технологические элементы - водораспределительное устройство, ороситель, водосборный бассейн, вытяжная башня, водоуловитель и воздухорегулирующее устройство.

Водораспределительные системы градирни могут быть самотечными (безнапорными) и напорными, состоящими из магистральных и напорных трубопроводов. Напорные системы более надежны и устойчивы в работе. Подвод воды в систему водораспределения делается центральным (через железобетонный стояк в центре градирни), боковым или нижним. Расположение водораспределительных труб или лотков выполняется по радиальной или прямоугольной схеме: при этом должна предусматриваться возможность отключения секций для ремонтных работ.

Водораспределительные лотки безнапорных систем выполняются из дерева, асбоцемента или из сборного железобетона. Ширина лотка должна быть не менее 1,0 см, превышение борта над максимальным горизонтом воды - 10-12 см. Трубы системы напорного водораспределения выполняются из стали, асбоцемента и пластмассы.

Оросительное устройство - один из основных элементов градирни. В градирнях с брызгальным оросителем (в основном полые с форсунками) вода разбрызгивается с помощью расположенных в водораспределителе сопел. Падая вниз, вода охлаждается воздухом, частично испаряясь и собирается в бассейне. Градирни с указанным оросителем применяют при малых расходах воды или при ее значительном загрязнении. Плотность орошения (количество воды, проходящее через единицу площади сечения градирни в единицу времени) в них $g_r = 1,4 - 1,7 \text{ кг} / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$

При использовании капельного оросителя вода с содержанием взвешенных частиц более 200 мг/кг вытекает через отверстия в распределительных лотках и мелко разбрызгивается, ударяясь о специальные отбойные тарелки. Плотность орошения в них

$$g_r = 1,7 - 2,2 \text{ кг} / (\text{м}^2 \cdot \text{с}).$$

72-73

В пленочном оросителе охлаждаемая вода стекает тонкой пленкой ($\delta = 0,3 - 0,5 \text{ мм}$) по системе вертикально расположенных щитов. В пленочных оросителях $g_r = 2,2 - 4,4 \text{ кг} / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

Выбор типа оросителя производят, сопоставляя их по охлаждающей способности, стоимости оросителя и аэродинамическому сопротивлению. Подземные конструкции башенных градирен выполняются из монолитного железобетона. Допускается выполнение их из железобетон в ленточном исполнении.

Водосборный бассейн состоит из днища толщиной по менее 25 см, который может быть выполнен с разделительными перегородками или без них в зависимости от режима работа градирни, па размеров в плане и др.

Вытяжная башня выполняется в основном из монолитного или сборного железобетона. Форма вытяжной башни градирен может быть цилиндрической, конической, гиперболической или приближающейся к гиперболической, например биоконической (рис.2.3). Башни с металлическим каркасом обычно имеют пирамидальную или гиперболическую форму с основанием в виде многоугольника или квадрата. Металлический каркас снаружи обшивается гофрированными листами из алюминий-магниевого сплава.

Кроме того, имеются градирни с металлическим стальным каркасом и обшивкой из дерева или асбоцементных листов. Преимущество этих градирен в том, что они сооружаются в более короткие сроки. Обшивка из асбоцементных листов применяется для градирен, сооружаемых в районах с расчетной температурой холодной пятидневки не ниже $t = -23^\circ\text{C}$. При более низких температурах для обшивки применяют дерево или алюминиевые сплавы. Железобетонные градирни сооружаются в районах с расчетной температурой до -28°C .

Внутренняя поверхность железобетонных градирен и опорный железобетонный каркас для защиты от разрушений под влиянием температурно-влажностных колебаний воздуха должны иметь антикоррозионное покрытие на основе эпоксидных смол или другую изоляцию. Для улучшения аэродинамических свойств наиболее рациональной формой вытяжной башни является гиперболическая или близкая к ней. При этом градирня в меньшей мере подвержена вредному влиянию ветра, снижающего эффективность охлаждения воды. Для предотвращения отрыва воздушного потока на выходе из башни в условиях штиля или слабого ветра центральный угол диффузорной части гиперболических градирен не должен превышать 10° .

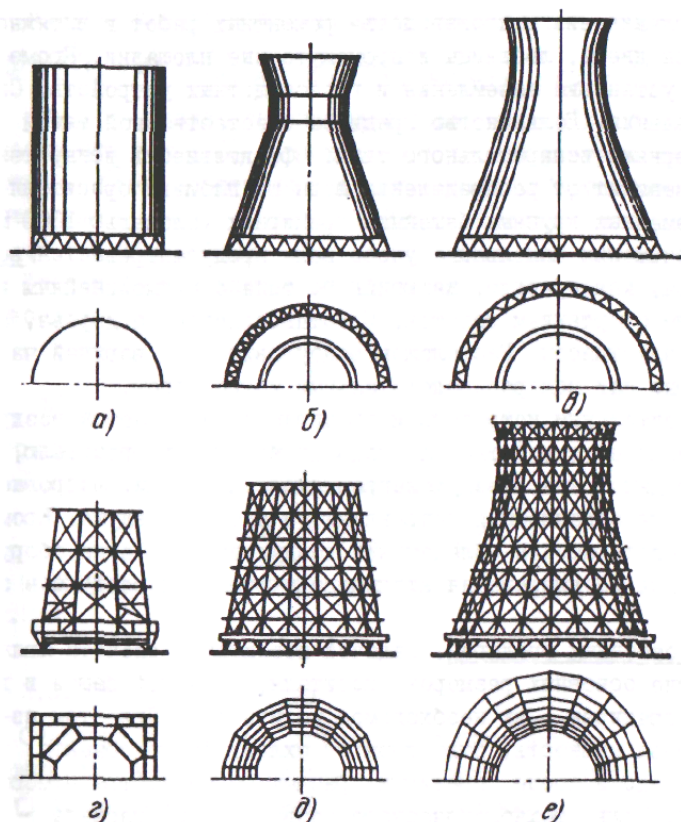


Рис.2.3. Вытяжные башни градирен железобетонные (а - цилиндрическая; б - биконическая; в - гиперболоидная) и каркасно-обшивные (г - пирамидальная восьмигранная с квадратным основанием; д - пирамидальная многогранная; е - гиперболоидная)

Лами или безнапорной системы с желобами, снабженными сливными трубками. Струи воды из сливных трубок ударяются о расположенные под ними розетки и разбрызгиваются.

Водораспределительная система, как правило, выполняется двухфазной: верхняя (расчетная) - для летних условий эксплуатации и нижняя - для зимних.

Нижняя зона водораспределения без разбрызгивания о разливом вода из перфорированных дырчатых труб. Для предупреждения переохлаждения вода предусмотрены трубы, через которые осуществляется сброс теплой воды непосредственно в бассейн, минуя,

ороситель.

Градирни значительных размеров рекомендуется разделять на отдельные секции, допускающие их отключение на время ремонта или очистки водосборного бассейна. В этом случае высоту рабочих водораспределительных желобов следует принимать из условия пропуска всего форсированного расхода воды на остающиеся и работе секции градирни.

Размещение градирен на генплане промышленного предприятия должно осуществляться только в один ряд для обеспечения беспрепятственного доступа к ним воздуха. Расстоянии между отдельными градирнями в ряду следует принимать не менее 5-6 м. Градирни следует располагать длинной стороной перпендикулярно господствующему направлению ветра в летний период.

Направление ветра в зимний период по возможности должно обеспечивать унос паров и капель воды в сторону от близрасположенных сооружений и дорог.

Как показывает практика, применение открытых градирен может быть целесообразно при комбинировании их с брызгальными бассейнами(10). Использование в качестве разбрызгивателей жидкостноэжекционных устройств может повысить эффективность теплообмена в градирнях, что в условиях действующих предприятия требует меньших производственных площадей, и, соответственно, сокращает капитальные затраты.

Как показывают расчеты, при производительности до 10000 м³/ч систем водооборота вместо башенных градирен и брызгальных бассейнов целесообразно применять эжекционные градирни, а также установки с применением распиливающих дисков и сопел Вентури.

Гидравлический и аэродинамический расчеты башенных градирен рассмотрены в (7). Движение воздуха через градирню обеспечивается за счет естественной тяги. Движущий напор $\Delta P = gH(\rho_0 - \rho)$, где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; H - высота градирни между входом и выходом воздуха; ρ_0, ρ - плотность атмосферного воздуха и воздуха при средних параметрах в градирне.

2.7. Вентиляторные градирни

Вентиляторные градирни применяются в системах оборотного водоснабжения, требующих устойчивого и глубокого охлаждения воды, при высоких удельных гидравлических и тепловых нагрузках, при необходимости сокращения объема строительных работ, маневренного регулирования температуры охлажденной воды средством автоматизации. Вентиляторные градирни выполняются секционными или отдельностоящими - одновентиляторными, в плане имеют форму прямоугольника, квадрата, многоугольника или круга. Более высокие тепловые нагрузки в более глубокое охлаждение воды они обеспечивают за счет повышенного относительного (к расходу воды) расхода воздуха, проходящего через градирню.

На вентиляторные градирни допускается удельная тепловая нагрузка 90 – 120 кВт/м² и выше, в то время как, например, на башенные градирни при прочих равных условиях эти нагрузки не превышают 90 кВт/м².б Для атмосферных градирен максимальная теп-

ловая нагрузка составляет $35-60 \text{ кВт/м}^2$. Зависимость охладительного эффекта атмосферных градирен от силы и направления ветра ограничивает область их применения (11).

С помощью вентиляторных градирен температуру охлажденной воды получают на $4-6^\circ\text{C}$ (в отдельных случаях на $2-3^\circ\text{C}$) выше температуры воздуха по мокрому термометру, с помощью башенных - на $8-10^\circ\text{C}$. Величина перепада температур воды на градирнях выбирается 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°C и более (в зависимости от начальной температуры воды). В практике использования башенных градирен максимальный перепад температур воды обычно составляет $8-10^\circ\text{C}$. Технологическая схема вентиляторной градирни включает в себя следующие основные элементы: оболочку (корпус), состоящих из

80-81

каркаса, обшитого листовым материалом, водораспределительное устройство, ороситель, водоуловитель, водосборный бассейн и вентиляторную установку.

Секционные градирни (рис.2.5) проектируются по площади поперечного сечения оросителя одной секции от 2 до 400 м^2 и отдельно стоящие одновентиляторные от 400 до 1200 м^2 (9).

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 показывает (11), что соблюдение этих условий обеспечивает экономичную эксплуатацию градирен, требуемую степень резервирования и регулирования температуры охлаждаемой вода за счет отключения отдельных вентиляторов при одновременное 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 улучшения процесса охлаждения.

Удельная гидравлическая нагрузка для вентиляторных градирен ориентировочно может быть принята: при пленочном оросителе $2,2-3,4 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{с} / (8-12 \text{ м}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{ч})$, капельном оросителе $1,7-2,2 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с} / (6-8 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч}))$ я брызгальном $1,4-1,7 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с} / (5-6 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч}))$. Скорость воздуха в оросителе вентиляторных градирен принимается, как правило, не выше $4-5 \text{ м/с}$.

При выборе типа оросительного устройства в каждом конкретном случае производится сопоставление охлаждающей способности и стоимости градирни. Показателями работы оросительного устройства являются: величина потерь напора, охлаждающая способность градирни, долговечность, изнашиваемость материала оросителя, прочность, а масса оросителя, легкость установки, доступность ремонтов и осмотров, наличие в охлаждаемой воде взвешенных веществ в примесей.

Оросительные устройства вентиляторных градирен по своей конструкции в основном аналогичны оросителям башенных градирен. Вентиляторы в градирнях располагается

внизу, вверху или сбоку градирни - на уровне земли. При верхней расположении вентилятора отсасывает воздух из градирни, а при нижнем - нагнетают. Преимущественное распространение получили градирни с отсасывающими вентиляторами. В зависимости от потоков воздуха и вода градирни подразделяются на противоточные, поперечно-тепловые и поперечно-

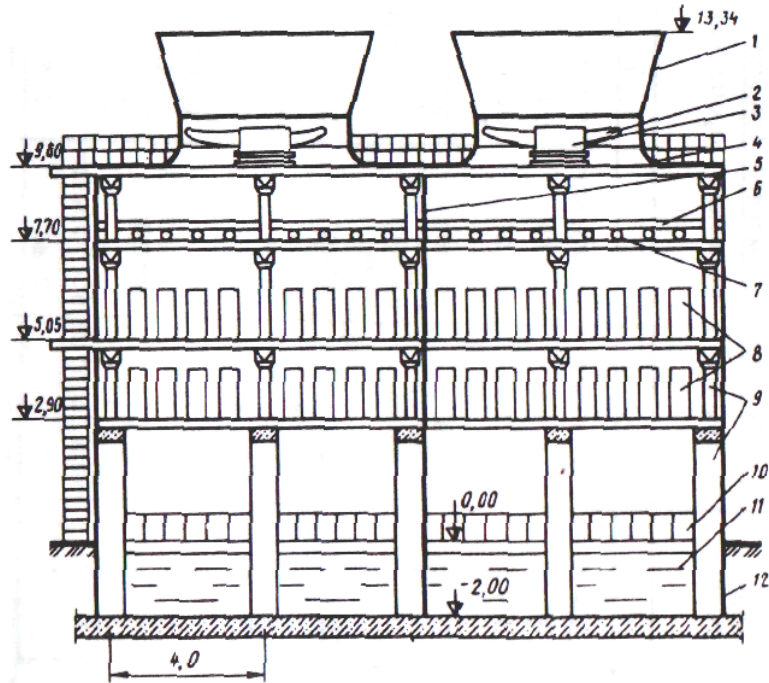


Рис.2.5. Вентиляторная многосекционная градирня конструкции Союз-водоканал проекта
 I - диффузор; 2 - вентилятор; 3 - электродвигатель; 4 - конфузор; 5 - межсекционная перегородка; 6 - водоуловитель; 7 - водораспределительная система; 8 - ороситель; 9 - железобетонные каркас; 10 - окна для входа воздуха; II - водосборный бассейн; К - обшивка

90-91

Таблица 2.7
 Рекомендованные значения теплового потока в зависимости от разности температур

$(t_2 - v_1), C^0$	8-15	15-20	20-40	40-75
$Вт/м^2$	До 520	470-700	700-1000	1000-1750

По выбранному значению g определяют необходимую установочную поверхность теплообмена $F_{уст} = Q / g$ подбирают конкретный тип АВО по табл.2.6. Далее вычисляют расход охлаждающего воздуха, проводят оценку и выбор расчетной температуры атмосферного воздуха согласно климатическим условиям. По выбранной конструкции и исходным данным выполняют поверочный тепловой и аэродинамический расчеты для уточнения необходимой (фактической) поверхности нагрева, запас которой должен быть не менее 20% установочной. Точное определение запаса поверхности охлаждения важно при длительной эксплуатации АВО, когда снижается производительность вентилятора, режим работы отклоняется от расчетного и необходимо регулировать производительность за счет оптимальной работы конденсатоотводчиков. Уточненные тепловой и аэродинамический расчеты выполняют с использованием известных методов расчета рекуперативных теплообменников с поверхностью теплообмена из оребренных труб (16).

3. СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ТРАНСФОРМАТОРАМИ ТЕПЛОТЫ

3.1. Системы водоснабжения с холодильными циклами

В гл.2 было отмечено, что расчетный температурный режим технологических процессов при охлаждении оборудования, технологических продуктов оборотной водой обеспечивается лишь в течение времени, когда параметры атмосферного воздуха (температура и влажность) ниже расчетных или совпадают с ними. В летнее время возможно отклонение температурного режима технологического процесса от расчетного. На современных промышленных предприятиях одна система оборотного водоснабжения обеспечивает водой обычно несколько различных по назначению и мощности технологических систем. Степень влияния отклонения параметров воздуха от расчетных на качество продукции и технико-экономические показатели этих систем может быть разной. Поэтому попытки обеспечить высокую надежность и экономичность всех их без исключения повышением охлаждающей способности включенных в оборотную систему градирен, ведут чаще к неоправданно завышенным капитальным и эксплуатационным затратам. Более того, в наиболее жаркие летние дни, особенно при повышенной влажности воздуха, поддержание расчетного значения температуры оборотной воды становится невозможным.

Опыт эксплуатации подобных систем показывает, что более экономичным может быть частичное использование более холодной, чем оборотная, артезианской воды или воды, заохлажденной с помощью холодильных установок. Например, для Московского региона расчетная температура оборотной воды после градирни в летний период составляет порядка 22°C. Но в жаркие дни она может достигать до 30°C. Зимой температура оборотной воды не должна опускаться ниже 10-12°C во избежание замерзания в участках системы с пониженной температурой и скоростью воды. Вода из артезианской скважины, независимо от времени суток и погодных условий, имеет температуру не выше 7°C. Получение заохлажденной воды с такой температурой в парокомпрессионных, пароэжекторных или абсорбционных холодильных машинах хорошо освоено и особых трудностей не представляет. Причем, холодильная машина может быть установлена в непосредственной близости от охлаждаемого объекта, что исключает необходимость подачи заохлажденной воды на большие расстояния по наружным трубо-

92-93

проводам. Поэтому опасность замерзания вода практически исключается. Использование артезианской или заохлажденной в холодильных установках воды возможно, если, например, заданный уровень надежности и экономичности большей части производств, подключенных к оборотной системе, обеспечивается, но имеются отдельные производства, для которых уровень температуры охлаждающей воды в неблагоприятный летний период недостаточен для поддержания требуемых температуры или вакуума в технологическом процессе.

Возможные варианты схем водоснабжения нескольких производств, отличающихся требуемым уровнем надежности и экономичности в зависимости от температуры охлаждающей воды, приведены на рис.3.1 и 3.2. В первом случае для охлаждения четвертого производства используется прямоточное водоснабжение от артезианской скважины. Недостатком системы является повышенный расход воды от внешних источников водоснабжения, более высокая загрузка очистных сооружений и повышенный сброс стоков в промышленную канализацию. В очистные сооружения, кроме продувок градирен (несколько процентов от расхода воды на производства 1...3), сбрасывается 100%, артезианской воды после производства 4. Дополнительные проблемы при использовании артезианской воды возникают из-за более интенсивного, нежели при использовании оборотной воды, отложения загрязнений на теплообменных поверхностях, что ведет к сокращению межремонтного периода и увеличению эксплуатационных затрат на их обслуживание. Причине - повышенное солесодержание (до 700 мг/л) артезианской воды. Например, после года эксплуатации холодильной абсорбционной машины, для охлаждения конденсатора и абсорбера которой на Кусковском химзаводе применялась артезианская вода, машина практически вышла из строя. Сброс стоков в городские очистные сооружения через промышленную канализацию, как известно, нормируются по объему и составу [1]. Согласно соответствующим нормативам сброс 1 м³ воды в пределах установленного лимита по объему обходился московским предприятиям в 1995 г. около 5000 руб. Примерно столько же предприятия платили за 1 м³ воды, полученной от водоснабжающих предприятий Мосводоканала, или при использовании артезианской воды. Сумма платежей за сброс воды увеличивается, кроме того, при превышении предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих компонентов, содержащихся в стоках. При превышении ПДК по каждому из компонентов вводятся соответствующие коэффициенты. Поэтому

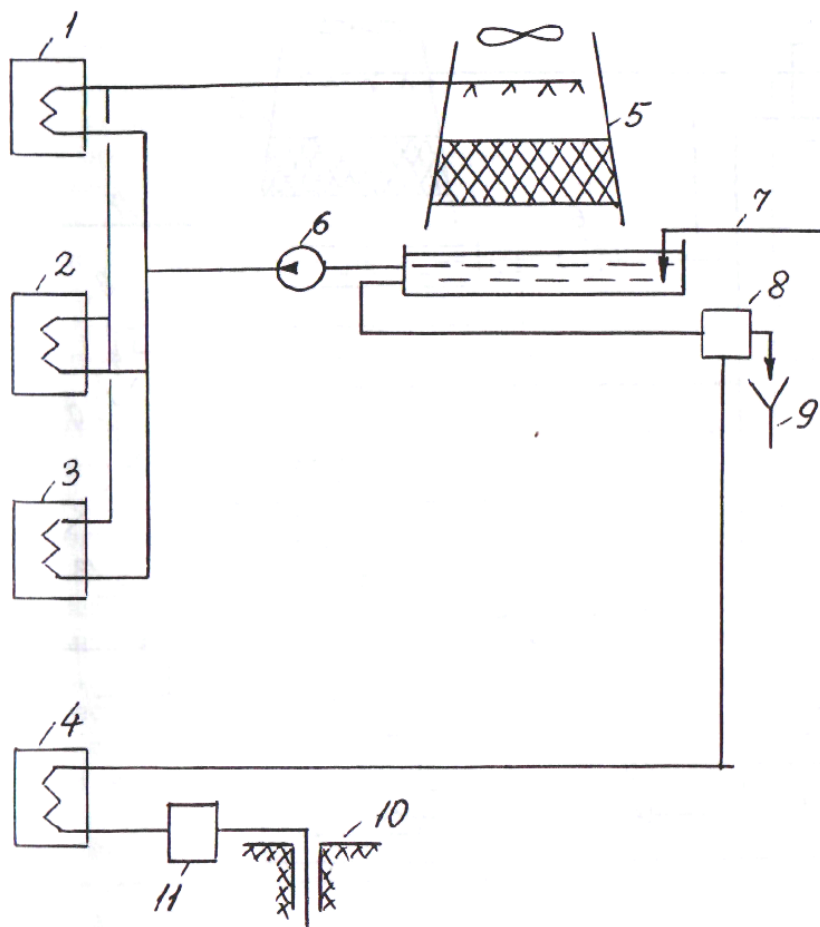


Рис.3.1. Схема комбинированного снабжения производств охлаждающей водой от градирни и артезианской скважины
1- 3 - производство с умеренными требованиями к температуре охлаждающей воды; 4 - производство с повышенными требованиями к температуре охлаждающей воды; 5 - вентиляционная; 6 - насос циркуляционный; 7 - подпитка оборотной системы чистой водой; 8 - очистные сооружения; 9 - сброс стоков в промышленную канализацию; 10 - артезианская скважина; II - насосно-фильтрационная станция

94-95

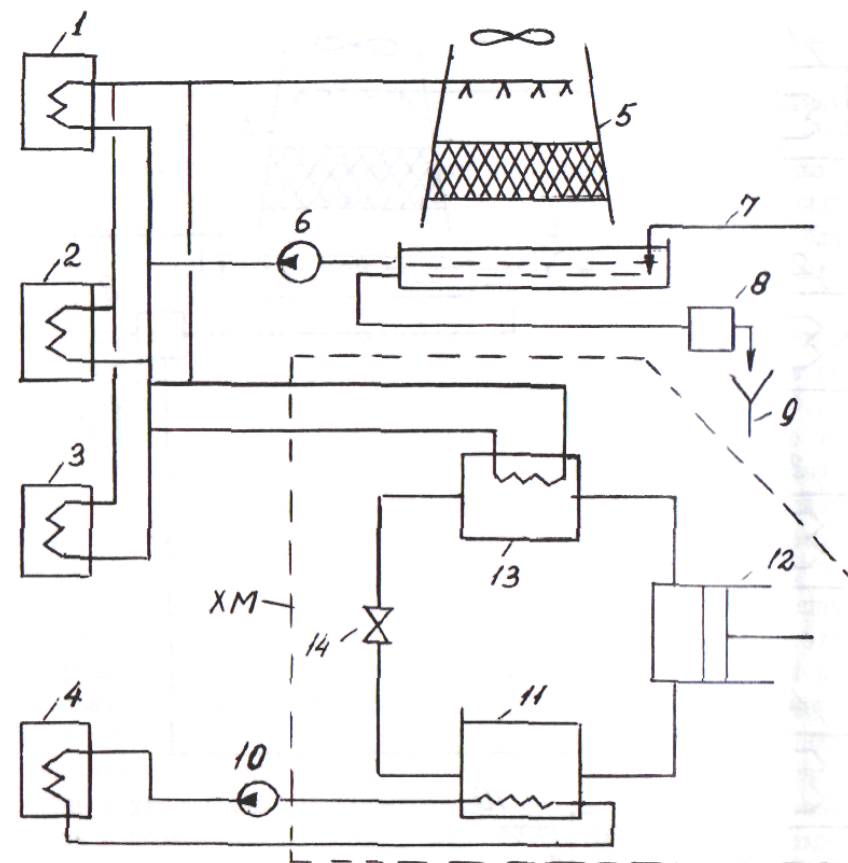


Рис.3.2. Схема комбинированного снабжения производств охлаждающей водой от градирни и парокомпрессионной холодильной установки
Обозначения позиций с 1 по 9 совпадают с обозначениями на рис.3.1; 10 - циркуляционный насос; ХМ - холодильная машина с основными элементами: II - испаритель; 12 - компрессор; 13 - конденсатор; 14 - дроссельный вентиль

вопрос об использовании артезианской вода на цели охлаждения оборудования ИЛИ тех-

нологических продуктов требует тщательной техники — экономической проработки. В схеме на рис.3.2 охлаждение оборудования или технологических сред в производстве 4 выполняется водой, охлаждаемой до температуры 7°C в испарителе холодильной машины. После охлаждаемого объекта температура воды поддерживается обычно на уровне не выше 10° . При расходе захлажденной воды $120 \text{ м}^3/\text{ч}$ холодильная мощность машины составит 350 кВт. Для реализации подобной схемы может быть использована машина ФУ 175, работающая на хладоне R 12. Потребляемая электрическая мощность машин — 75 кВт. Расход оборотной воды от градирни на охлаждение конденсатора — $60 \text{ м}^3/\text{ч}$ при начальной и конечной температуре воды 23 и 29°C соответственно.

Реализация такой схемы в отличие от предыдущей позволяет сохранить систему водоснабжения практически замкнутой, но требует более высоких затрат электроэнергии, так как большинство парокомпрессионных машин имеют электропривод. Кроме того, холодильные машины указанного типа размещают в специальных помещениях, на сооружение которых так же, как на эксплуатацию машин требуются дополнительные расходы.

В случае собственной паровой котельной или получения пара от внешнего потребителя вместо парокомпрессионной холодильной машины с электроприводом может быть использована парожекторная холодильная машина (рис.3.3). Такая система по предложению Московского энергетического института (МЭИ) была реализована на Кусковском химическом заводе в Москве. При расходе захлаживаемой от $+10$ до $+7^{\circ}\text{C}$ воды через испаритель $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ распыляемая холодильная мощность машины — 350 кВт, расход оборотной воды через конденсатор — около $400 \text{ м}^3/\text{ч}$. Более высокий расход оборотной воды, по сравнению с парокомпрессионной машиной объясняется тем, что в качестве рабочего тела используется пар водяной давлением $0,7 \text{ МПа}$, который после смешения с инжектируемым паром в главном эжекторе направляется в конденсатор. При максимально достижимом значении коэффициента инжекции главных эжекторов машины до 0,25 общий расход рабочего пара достигает $2,5 \text{ т/ч}$.

Увеличение расхода оборотной воды на конденсатор в данном случае по сравнению с парокомпрессионной машиной — явный

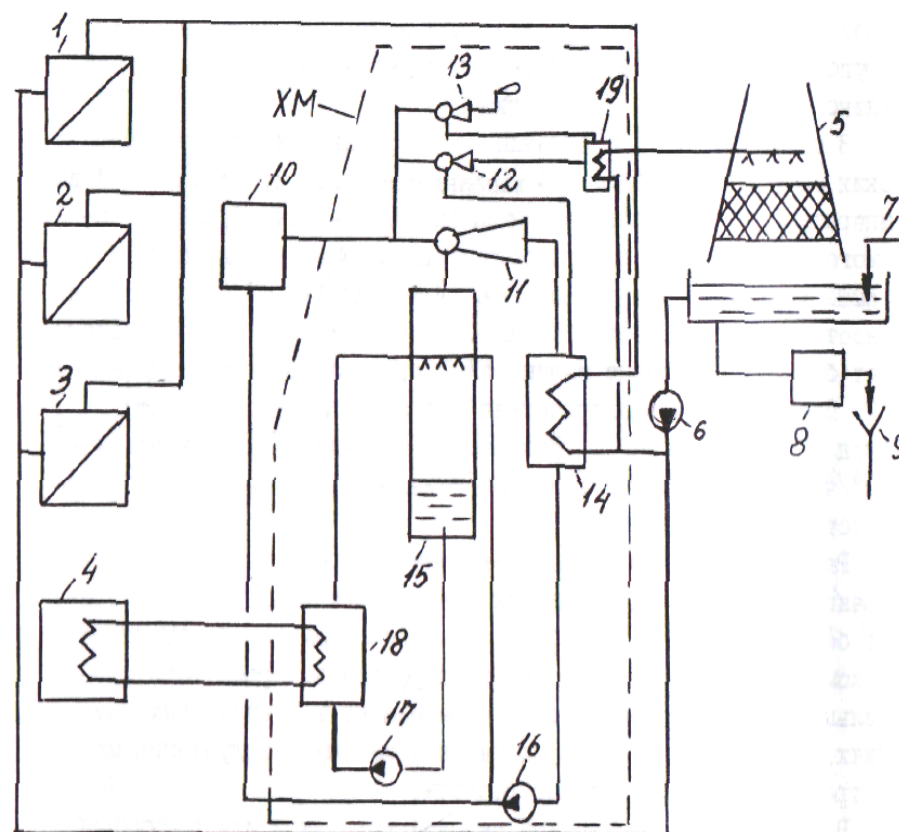


Рис. 3.3. Схема комбинированного снабжения производств охлаждающей водой от градирни и парожекторной холодильной машины

Обозначения с Г по 9 позиции совпадают с обозначениями на рис.3.1: -Ш - паровая котельная; ХМ - холодильная машина с основными элементами; П - главный паровой эжектор; 12,13 - вспомогательные эжекторы; 14 - конденсатор и 15 - испаритель холодильной установки; 16,17 - циркуляционные насосы; 18 - теплообменник; 19 - конденсатор первой ступени вспомогательных эжекторов

недостаток системы. Но расход электрической энергии существенно ниже, чем в предыдущем случае (табл.3.1). Более того, машина смонтирована не в помещении, а под навесом, что существенно снизило затраты на ее сооружение.

Сопоставление технико-экономических показателей обеих установок (табл.3.1) свидетельствует о конкурентоспособности вариантов. Но для Кусковского химзавода решающим фактором явилась возможность получения дешевого пара при сжигании жид-

ких промышленных отходов в установке огневого обезвреживания стоков циклонного типа, оборудованной паровым котлом-утилизатором фактической производительностью до 4 т/ч пара давлением до 1,1 МПа.

При наличии дешевого пара или других источников теплоты, в том числе топливных или тепловых вторичных энергоресурсов, конкурентоспособной становится схема с использованием абсорбционных холодильных установок (рис.3.4).

Таблица 3.1
Технико-экономические показатели установок захлаживания оборотной воды, млн.руб.

Статья расходов	ПЭХМ	ПКХМ
Капиталовложения		
Общие капиталовложения	30	40
Годовые капиталовложения при нормативном коэффициенте K=0,15	4,5	6,0
Эксплуатационные затраты		
3.амортизационные отчисления	3,6	4,8
4.текущий ремонт	0,54	0,72
5.пар	40,0	-
6.электроэнергия	4,6	13,0
7.оборотная вода	24,0	3,6
8.прочие расходы	0,03	0,04

Приведенные затраты 77,27 28,16

Эксплуатационные затраты на энергоресурсы рассчитаны при стоимости теплоты - 8 тыс.руб. /Гкал; электроэнергии - 51 руб./кВт-ч; оборотной воды - 29 руб./м³. Число часов работы холодильных машин принято равным 3000 ч/год.

ПЭХМ и ПКХМ - парозежекторная и парокомпрессионная холодильные машины.

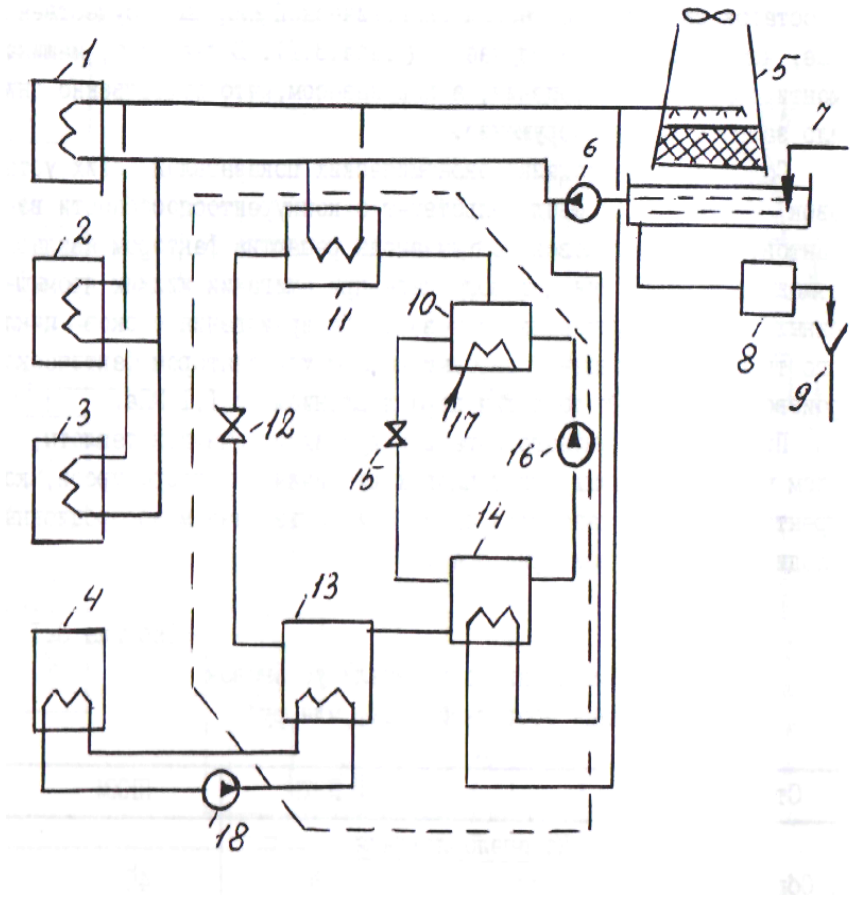


Рис.3.4.Схема комбинированного снабжения производств охлаждающей водой от градирни и от абсорбционной холодильной установки

Обозначения с I по 9 позицию совпадают с обозначениями на рис.3.1; ХМ - холодильная машина с основными элементами: 10 – генератор; 11 - конденсатор; 12 - дроссельный вентиль холодильного контура; 13 - испаритель; 14 - абсорбер; 15 - дроссельный вентиль в контуре термохимического компрессора; 16 - насос для перекачки раствора абсорбента; 17 - теплоноситель; 18 - насос циркуляционный

По данным [21] параметрический ряд отечественных бромисто-литиевых холодильных машин, позволяющих получать захлаженную воду с температурой +7°С, включает следующие типоразмеры по холодильной мощности, кВт : 290; 580; 1150; 1860; 2900 в

5800. Зарубежные фирмы выпускают широкий типоразмерный ряд машин этого типа, холодильной мощностью от 350 до 6000 кВт.
 Основные показатели отечественных серийно выпускаемых машин приведены в табл.3.2.

Таблица 3.2 Основные показатели серийных бромисто-литиевых холодильных машин

Показатель	Тип машины			
	АБХА-1000	АБХА-2500	АБХМ-2500	АБХА-5000
Холодильная мощность, кВт				
Греющая среда: водяной пар на входе в генератор давлением, МПа	1160	2900	2900	5800
или горячая вода при температуре, °С	0,15-0,17	0,15-0,17	0,11	0,15-0,17
Расход воды, м ³ /ч охлаждаемой	90-120	90-120	80-110	90-120
охлаждающей горячей	200	500	500	860
пара	250	648	625	1245
Тепловой коэффициент	80	180	170	400
	2808	7020	6516	14004
	0,7	0,7	0,75	0,7

Цифры в обозначении типа машины указывают ее холодильную мощность в тыс.ккал/ч. Температура охлаждаемой воды на выходе из испарителя +7°С; на входе в абсорбер (последовательная подача через абсорбер и конденсатор) +26°С. Машина АБХМ-2500 является модернизированным вариантом машины АБХА-2500.
 Обычно машины изготавливают в виде двух блоков. В одном из них объединены генератор и конденсатор, в другом - испаритель и абсорбер (см. схему машины АБХА-250 на рис.3.5). В случае использования высокопотенциальных греющих сред с начальной температурой от 160 до 17С°С серийную машину АБХА-2500 снабжают дополнительными ступенями генератора высокого давления и высокотемпературного теплообменника растворов.