

Министерство образования и науки Российской Федерации
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина



ПРОМЫШЛЕННОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ

Учебное пособие

Научный редактор – лауреат Государственной премии СССР,
проф., канд. техн. наук В.И. Аксенов

Екатеринбург

УрФУ

2010

УДК 628.1.034.2(075.8)

ББК 38.761.1я73

П 81

Рецензенты: кафедра физической химии Уральского государственного лесотехнического университета (зав. кафедрой – проф., д-р хим. наук В.В. Свиридов);
директор ФГУП НПО «РосНИИВХ» проф., д-р экон. наук
Н.Б. Прохорова

Авторы: Аксенов В.И., Галкин Ю.А., Заслоновский В.Н., Ничкова И.И.

П 81 ПРОМЫШЛЕННОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ: учебное пособие /
В.И. Аксенов, Ю.А. Галкин, В.Н. Заслоновский, И.И. Ничкова.
Екатеринбург: УрФУ, 2010. 221 с.

ISBN 978 – 5 – 321 – 01818 – 7

Даются краткие сведения о качестве и свойствах природных вод, их использовании в промышленности. Рассмотрены балансы воды в системах водного хозяйства промышленных предприятий, приведена организация и эксплуатация оборотных циклов.

Рассмотрены процессы стабилизации оборотной воды, методы борьбы с отложениями, коррозией и биологическими обрастаниями. Рассмотрены процессы охлаждения оборотной воды в различных охладителях: водохранилищах, градирнях, брызгальных бассейнах, «сухих градирнях» и др.

Рассмотрены процессы водоподготовки для технологических нужд: обескремнивание, умягчение, обессоливание, удаление газов и др.

Весь представленный материал оценивался с позиций аналогичной практики развитых стран. Предназначается в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по специальности 270112 – Водоснабжение и водоотведение; может быть использовано студентами и аспирантами других специальностей, изучающими вопросы промышленного водоснабжения; специалистами, занимающимися проблемами водного хозяйства промышленных предприятий.

Библиогр.: 32 назв. Рис. 56. Табл. 25.

УДК 628.1.034.2(075.8)

ББК 38.761.1я73

ISBN 978 – 5 – 321 – 01818 – 7

©УрФУ, 2010

©Авторы, 2010

Оглавление

Предисловие.....	5
Глава 1	
КАЧЕСТВА И СВОЙСТВА ПРИРОДНОЙ ВОДЫ.....	6
Глава 2	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ РФ	22
2.1. Водопотребители на промышленном предприятии.....	22
2.2. Баланс воды на промышленном предприятии.....	23
2.3 Системы и схемы промышленного водоснабжения.....	30
2.4. Категории качества воды и эффективность ее использования на промышленном предприятии.....	37
Глава 3	
ОБОРОТНЫЕ ЦИКЛЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ.....	41
3.1. Оборотные циклы промышленного водоснабжения.....	41
3.2. Особенности производственного водоснабжения.....	42
Глава 4	
СТАБИЛЬНОСТЬ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ.....	55
4.1. Показатели стабильности.....	55
4.2. Методы предотвращения образования отложений.....	58
4.3. Коррозия и методы защиты металла от коррозии.....	71
4.3.1. Характер и причины коррозии в системах водного хозяйства.....	71
4.3.2. Методы защиты металла от коррозии в системах водного хозяйства.....	80
4.4. Биологические обрастания и методы борьбы с ними.....	90
4.4.1. Обеззараживание оборотной воды.....	96
Глава 5	
ОХЛАЖДЕНИЕ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ.....	98
5.1. Процессы охлаждения воды в охладителях.....	98
5.2. Водохранилища-охладители.....	103
5.3. Брызгальные устройства.....	112
5.4. Градирни.....	118
5.4.1. Башенные градирни.....	124
5.4.2. Вентиляторные градирни.....	127
5.5. Применение испарительного охлаждения.....	131
5.6. Применение воздушного охлаждения воды.....	135
5.7. Холодильные установки. Тепловые насосы.....	143

Глава 6	
РЕЗЕРВЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ	146
6.1. Использование доочищенных городских сточных вод в системах водного хозяйства промышленных предприятий	146
6.2. Использование поверхностного стока	157
Глава 7	
СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ВОДЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ	172
7.1. Обезжелезивание воды.....	172
7.2. Деманганация воды	175
7.3. Обескремнивание воды	176
7.4. Удаление из воды растворенных газов (дегазация воды)	181
7.5. Методы умягчения воды	186
7.6. Обессоливание воды и производственных стоков	199
7.6.1. Обратноосмотические установки.....	200
7.6.2. Электродиализные установки	203
7.6.3. Ионообменные технологии.....	205
7.6.4. Термодистилляционные технологии	207
7.6.5. Перспективы внедрения различных методов обессоливания	212
Заключение	217
Список литературы	218

Предисловие

Хорошо известно, что любые промышленные предприятия не могут обходиться без воды ни сегодня, ни в далеком будущем. Это в полной мере относится к России, в которой на промышленные нужды расходуется более 60 % от общего количества воды, потребляемой народным хозяйством страны. Отсюда и значимость предмета, называемого «Промышленное водоснабжение». Необходимо отметить, что уже в этом веке стоимость воды резко возрастет и обгонит стоимость бензина, молока и других «жидкостей». Это далеко не пустые фантазии. И скоро одна из основных проблем в мире будет звучать – «Экономьте воду!»

Конечно, проблема эта будет важнейшей и для промышленности России, несмотря на наши огромные «водные запасы». В чем будет заключаться стратегическая линия по «промышленной воде»? Прежде всего, в наведении порядка в расходовании воды (резкое сокращение непроизводительных потерь); ее технологии и минимальном загрязнении; внедрении в производство маловодных и безводных процессов; использование вместо природной воды очищенных и кондиционированных городских и поверхностных стоков; и, наконец, в действительно широком внедрении замкнутых бессточных систем водного хозяйства, начало которым было положено на Урале (Свердловск, Верх-Исетский металлургический завод, 1973 г.).

В этом веке началась интенсивная реконструкция действующего производства и строительство нового. Естественно, технические требования к качеству используемой воды этим обновленным производством становятся значительно более высокими, чем раньше. И им необходимо соответствовать.

КАЧЕСТВА И СВОЙСТВА ПРИРОДНОЙ ВОДЫ

В естественных условиях вода не встречается в химически чистом состоянии. В процессе круговорота в природе вода, соприкасаясь с воздухом, почвой, осадочными и изверженными породами, насыщается различными примесями, растворимыми и нерастворимыми веществами. Одновременно в ней могут появляться растительные и животные организмы, а также продукты их разложения.

Наличие определенных примесей в воде определяет ее качество. Обычно показатели качества делят на физические (температура, взвешенные вещества, цветность, электропроводность и др.), химические (жесткость, щелочность, общее солесодержание, рН и др.), биологические (гидробионты) и бактериологические (общее количество бактерий, патогенные примеси и др.).

Природные воды классифицируют по ряду признаков, простейший из них – *солесодержание* воды: пресная вода – солесодержание до 1 г/дм^3 ; соленоватая – $1 - 10 \text{ г/дм}^3$; соленая – более 10 г/дм^3 . У речных и подземных вод солесодержание изменяется от 50-200 до $1500 - 2000 \text{ мг/дм}^3$. Наибольшее количество растворенных примесей содержат воды океанов и морей, г/дм^3 : Балтийского моря – 11; Каспийского – 13; Черного – 19; Атлантического океана – 36.

Воды классифицируют также по преобладающему аниону на гидрокарбонатные, хлоридные и сульфатные. Пресные воды относятся обычно к гидрокарбонатному классу.

Состав и концентрация примесей в воде (поверхностной и подземной) в различных точках земной поверхности разнообразны. Можно считать, что воды, текущие по поверхности, в большинстве мало минерализованы, содержат незначительные количества взвешенных минеральных и органических примесей.

Поверхностные воды содержат 80 % карбонатов; 13 % сульфатов и 7 % хлоридов, а морские воды – 89 % хлоридов; 10 % сульфатов и 0,2 % карбонатов.

Подземные воды отличаются от поверхностных более высокой минерализацией, отсутствием взвешенных веществ (минеральных и органических), наличием (во многих случаях) газов, постоянной температурой (в пределах 5-12 °С).

Основной причиной обогащения речной воды растворенными неорганическими примесями является грунтовое питание рек подземными источниками. Грунтовое питание носит гораздо более устойчивый характер, чем поверхностный сток.

Плотность чистой воды при 35 °С и атмосферном давлении

999 кг/м³ С увеличением концентрации примесей плотность воды возрастает. Морская вода с концентрацией солей 35 кг/м³ имеет среднюю плотность 1028 кг/м³ при 0 °С.

Вязкость μ воды с повышением температуры t уменьшается следующим образом:

$t, ^\circ\text{C}$	0	5	10	15	20	25	30	35
$\mu - 10^{-3}, \text{Па}\cdot\text{с}$	1,797	1,523	1,301	1,138	1,007	0,895	0,800	0,723

С увеличением соледержания вязкость воды повышается. Поверхностное натяжение σ воды при 18 °С составляет 73, при 100 °С – 52,5 мН/м. Теплоемкость воды при 0 °С составляет 4180 Дж/(кг*°С), а при 35 °С достигает минимума. Теплота плавления при переходе льда в жидкое состояние составляет 330 кДж/кг, теплота парообразования равна 2250 кДж/кг при атмосферном давлении и температуре 100 °С.

Вода – слабый проводник электрического тока: удельная электрическая проводимость при 18 °С равна $4,9 \cdot 10^{-8}$ См/м ($4,41 \cdot 10^{-8}$ 1/Ом*см); диэлектрическая постоянная равна 80.

На рис. 1 приведена диаграмма состояний воды.

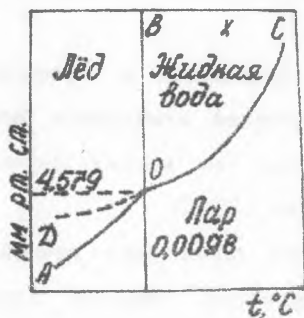


Рис. 1. Диаграмма состояний воды

При наличии лишь одной фазы (лед, вода или пар) $S=2$, так что можно произвольно менять как температуру, так и давление. Например, можно иметь пар при любой температуре и под любым давлением, если только не перейдена та граница, при которой наступает конденсация. На рис. 1 область пара соответствует ограниченному участку плоскости, в пределах которого состояние можно произвольно менять. Такая система с двумя степенями свободы называется дивариантной. То же можно повторить относительно воды и льда, каждому из которых соответствует на диаграмме свой участок плоскости.

Если состояние системы дошло до границы раздела между участками, то начинается образование второй фазы. Например, при охлаждении пара под давлением 1 ат. до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ начинается его конденсация, а при нагревании льда под давлением 1 ат. до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ — плавление. Появление второй фазы уменьшает число степеней свободы до единицы ($S=3-f=3-2$). Теперь уже давление и температура не могут быть одновременно произвольно выбраны. Если две фазы находятся друг с другом в равновесии, то каждой температуре соответствует свое давление, и наоборот. Состояния существования двух фаз обозначены на рис. 1 сплошными линиями; соответствующие им системы с одной степенью свободы называются моновариантными. Кривая OC называется кривой давления насыщенного

пара над жидкой водой, BO – кривой плавления и AO – кривой возгонки (сублимации) или кривой давления насыщенного пара над льдом.

Все три кривые сходятся в точке O , где три фазы сосуществуют в равновесии друг с другом. Появление третьей фазы уменьшает число степеней свободы до нуля ($S=3-f = 3-3$), т.е. трехфазная система может существовать лишь при одной определенной совокупности температуры и давления (для воды: $+0,0076$ °C и $0,457$ мм рт. ст.). Такая система называется инвариантной, а точка O – тройной точкой. Правило фаз доказывает: в однокомпонентной системе три кривые сходятся именно в одной точке, но не могут пересекаться, так как в точке пересечения существовало бы четыре фазы, что, как уже говорилось выше, невозможно.

Вода может существовать также в перегретом и переохлажденном состояниях; в последнем состоянии может существовать и пар. Этим термодинамическим неравновесным метастабильным (лабильным) состояниям, нарушаемым случайными внешними причинами, например размешиванием, соответствуют свои линии раздела фаз (на рис. 1 пунктир). К ним правило фаз неприменимо, так как оно относится лишь к равновесию.

Диаграмма состояния воды усложняется при переходе к высоким давлениям.

Для практических целей промышленного водоснабжения достаточным является лабораторный контроль за физическими, химическими и бактериологическими показателями воды.

Вода содержит целый ряд разнообразных примесей как органического, так и неорганического состава.

Если все примеси, загрязняющие воду, сформировать в группы по их физико-химическому состоянию и размеру (по дисперсности), то можно выделить четыре группы (табл. 1).

В первую подгруппу входят взвеси довольно крупных частиц. В состав крупных взвесей входят частицы плохо растворимых глин, песок, планктон, карбонатные породы, нерастворимые гидроксиды металлов и др. Такие взвеси неустойчивы и легко расслаиваются.

В состав второй подгруппы (тонкие взвеси) входят суспензии (например, суспензии глины в воде), эмульсии (нефть в воде), пены, а также бактерии (в том числе болезнетворные). Эти суспензии более устойчивы и трудноразделимы по сравнению с первой подгруппой.

Таблица 1

Классификация примесей природных вод

Фазовая характеристика	Гетерогенные системы (дисперсные системы)		Гомогенные системы (истинные растворы)		
	I		II	III	IV
Группы					
Формы нахождения веществ	Взвеси		Коллоиды (золи), ВМС	Молекулярные растворы	Ионные растворы
	крупные	тонкие			
1	2	3	4	5	6
Размеры, м	Более 10^{-5}	$10^{-5} - 10^{-7}$	$10^{-7} - 10^{-9}$	$10^{-8} - 10^{-10}$	Менее 10^{-10}
Примеси	Суспензии, планктон	Суспензии, эмульсии, пены, бактерии	Органо-минеральные комплексы, гумусовые вещества, электролитные растворы – белковтексы, бактерии, вирусы	Газы, летучие вещества, органические вещества	Соли, основания, кислоты

1	2	3	4	5	6
Устойчивость	Весьма неустойчивые	Неустойчивые	Довольно устойчивые	Устойчивые	Весьма устойчивые

В состав второй группы входят коллоидные и высокомолекулярные соединения (ВМС). К ним относятся минеральные частицы гумусовых веществ, которые придают воде окраску. К этой же группе могут быть отнесены различные микроорганизмы, в том числе вирусы.

В третью группу входят растворенные в воде газы и органические соединения как биологического происхождения, например гуминовые и вульвокислоты, так и промышленного происхождения (фенолы и др.). Эти вещества придают воде привкус и запахи, иногда окраску. Некоторые из них могут быть токсичны.

Четвертая группа объединяет вещества, диссоциирующие в воде на ионы. К ним относятся соли (в том числе соли жесткости), основания и кислоты, которые присутствуют во всех водах.

Представляет интерес проследить, какими механическими и обратноосмотическими методами эти загрязнители могут быть удалены из водных растворов (рис. 2).

Содержание взвешенных веществ. Мутность и прозрачность. Количественное содержание взвешенных веществ в воде может быть определено или непосредственно весовым способом, или косвенно путем определения мутности (или прозрачности) воды.

Мутность воды определяют специальными приборами – мутномерами. В настоящее время для определения мутности стали применять приборы, основанные на действии фотоэлементов – нефелометры.

Прозрачность воды измеряют в стеклянном цилиндре или стеклянной трубке с сантиметровой шкалой. При этом определяют толщину слоя воды

(в сантиметрах), через который еще виден нанесенный черной краской на белой пластинке условный знак в виде двух крестообразно расположенных линий толщиной 1 мм (крест), или специальный стандартный шрифт. Таким образом, прозрачность измеряется в сантиметрах водного столба.

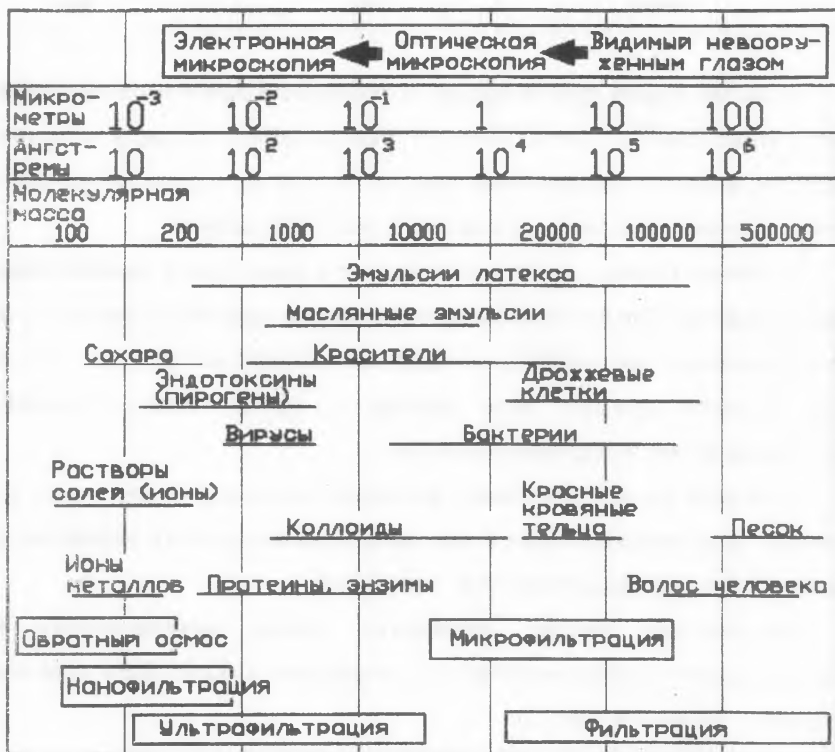


Рис. 2. Области применения методов очистки воды

Ниже приведены данные по соотношению мутности и прозрачности воды (по Н.А. Карамбирову):

Прозрачность (по кресту), см	4	5	10	20	30	50	100	200	300
Мутность, мг/дм ³	235	185	92	45	30	18,2	9,1	4,6	3,1

Содержание взвешенных веществ в речной воде (а следовательно, ее мутность и прозрачность) меняется в течение года, возрастая в период дождей и доходя до максимума в период паводков.

Использование мутной воды (без ее предварительного осветления) для некоторых категорий потребителей нежелательно или даже недопустимо.

Многие производственные потребители могут использовать воду с содержанием взвешенных веществ, более высоким по сравнению с допуском для питьевой воды. Однако для ряда производственных потребителей использование мутной воды нежелательно. Так, использование воды, содержащей механические примеси, для охлаждения влечет за собой в некоторых случаях быстрое засорение охлаждающей аппаратуры. Допускаемое содержание взвеси в охлаждающей воде зависит от типа этой аппаратуры.

Цветность. Желтоватый, коричневый или желто-зеленый оттенки воды природных источников объясняются главным образом присутствием в воде гумусовых и дубильных веществ, органических соединений, соединений железа, «цветением» водоемов.

Использование воды со значительной цветностью на тех предприятиях, где происходит непосредственное соприкосновение воды с фабрикатами в процессе их изготовления (например, в текстильной промышленности), может вызвать ухудшение качества продукции.

Запах и привкусы воды. Наличие запахов и привкусов у воды природных источников обуславливается присутствием в ней растворенных газов, различных минеральных солей, а также органических веществ и микроорганизмов. Запах и привкус имеют болотные и торфяные воды, а также воды, содержащие сероводород; в ряде случаев запах обуславливается присутствием в воде живых или гниющих после отмирания водорослей.

Для количественной оценки запаха и привкуса воды применяют обычно условную пятибалльную шкалу. Следует, однако, отметить, что эта оценка в значительной мере субъективна, так как зависит от индивидуальной восприимчивости исследователя.

В большинстве случаев при использовании воды для производственных целей запах и вкус воды сами по себе несущественны. Однако наличие их может указывать на присутствие в воде нежелательных примесей.

Температура воды. Температура воды поверхностных источников колеблется в течение года в весьма широких пределах (для территории РФ – от близкой к нулю до 25 °С, а иногда и выше). Воды подземные, в особенности артезианские, имеют почти постоянную температуру в течение года.

Для ряда производственных потребителей температура воды источника имеет большое значение. Так, низкая температура весьма желательна для воды, идущей на охлаждение или на конденсацию пара, поскольку она позволяет существенно уменьшить количество расходуемой воды.

Растворенные в воде газы – кислород, углекислота, сероводород, аммиак, метан и азот – имеют значение для оценки ее качества. Так, углекислота, сероводород, кислород при определенных условиях коррозионные свойства по отношению к металлам и бетонам. В табл. 2 показана растворимость газов в воде при парциальном давлении (та часть общего давления в газовой смеси, которая обусловлена данным газом или паром) 0,1016 МПа в зависимости от температуры.

Таблица 2

Растворимость газов в воде при различных температурах

Газ	Температура воды, °С								
	0	10	20	30	40	50	60	80	100
Растворимость, % по массе									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CO ₂	0,33	0,23	0,17	0,13	0,10	0,08	0,07	-	-
H ₂ S	0,66	0,54	0,44	0,35	0,28	-	-	-	-
SO ₂	-	13,3	9,4	7,2	5,5	4,3	3,1	2,1	0
Cl ₂	1,44	0,95	0,71	0,56	0,45	0,38	0,32	0,22	0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ClO ₂	2,70	6,01	8,70	-	-	-	-	-	-
HCl	45,7	43,4	41,9	40,2	38,7	37,3	35,9		-
NH ₃	40,7	40,5	34,5	28,7	23,5	18,6	-	-	--
O ₂	48,9	38,0	31,0	26,1	23,1	20,9	19,5	17,6	17,0
O ₃	17,4	14,0	9,2	4,7	2,0	0,5	-	-	-
CH ₄	55,0	41,8	33,1	27,6	23,7	21,3	19,5	17,7	17,0
N ₂	23,3	18,3	15,1	12,8	11,0	9,6	8,2	5,1	0

Гидробионты, населяющие природные воды, в процессе жизнедеятельности влияют не только на состав окружающей водной среды, но и на качество воды. Их подразделяют:

- на планктон – обитатели, пребывающие в толще воды от дна до поверхности; среди них различают плавающие, пассивно парящие и полуподводные (плейстон) организмы; взвешенные в воде остатки их органического и неорганического происхождения называют детритом;

- бентос – обитатели, находящиеся на дне водоема; среди них встречаются подвижно или неподвижно прикрепленные, свободно лежащие и ползающие по дну организмы, сверлящие дно, закапывающиеся;

- нейстон – организмы, населяющие поверхностную пленку воды и адаптировавшиеся к жизни в специфических условиях ее поверхностного натяжения;

- пагон – организмы (моллюски, ракообразные, коловратки и др.), пребывающие зимой в толще льда в состоянии анабиоза, оживающие весной и пребывающие среди бентоса или планктона.

Гидрофлора водоемов определяется макро- и микрофитами. К первым относится высшая водная растительность, ко вторым – водоросли (фитопланктон и фитобентос). В результате фотосинтеза увеличивается содержание растворенного в воде кислорода и снижается концентрация в ней свободной углекислоты, наблюдается снижение БПК и содержания аммонийных солей, одновременно наблюдается возрастание нитритов, нитратов и окисляемости.

Бактерии и вирусы из числа патогенных, т.е. паразитов, живущих на живом субстрате, развивающихся в воде, могут вызвать заболевания брюшным тифом, паратифом, дизентерией, бруцеллезом, инфекционным гепатитом, острым гастроэнтеритом, сибирской язвой, холерой, полиомиелитом, туляремией, конъюнктивитом и т.д.

Химические показатели качества воды характеризуются ионами, составляющими основную часть природных вод: катионы Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; K^+ ; Na^+ и в небольших количествах могут присутствовать Fe^{2+} ; Fe^{3+} ; Al^{2+} ; анионы HCO_3^- ; CO_3^{2-} ; Cl^- ; SO_4^{2-} ; кремниевая кислота. Кроме того, в природной воде присутствуют в том или ином количестве растворенные газы: O_2 ; CO_2 и иногда SO_2 . В загрязненных водах помимо перечисленных находятся ионы NO_3^- ; S^{2-} ; PO_4^{3-} , а также в тех или иных концентрациях Mn^{2+} ; Cu^{2+} ; Zn^{2+} и др.

Концентрации ионов в воде различных источников не одинаковы. Разнообразие химического состава и концентрации ионов в природных водах классифицируется у нас в стране по принципу деления их по преобладающим анионам и катионам.

Все природные воды делятся по преобладающему аниону (по эквивалентам на 3 класса: гидрокарбонатных (и карбонатных) ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$), сульфатных (SO_4^{2-}) и хлоридных (Cl^-) вод.

Поверхностные воды большей частью имеют гидрокарбонатно - кальциевый состав, т.е. среди анионов в них преобладает анион HCO_3^- , а среди катионов – Ca^{2+} . Появление иона HCO_3^- в воде прямо или косвенно связано с деятельностью организмов (растворение CO_2 атмосферы, дыхание водных

организмов, разложение мертвых остатков растений и животных, почвообразование на берегах и др.).

Следует иметь в виду, что химические элементы мигрируют в водах в виде ионов, недиссоциированных молекул или коллоидных частиц. По интенсивности миграции элементы делятся на очень подвижные (например, анионы серы, хлора и др.), подвижные и слабоподвижные катионы (Ca^{2+} ; Na^{2+} ; Mg^{2+} ; K^{+} ; P^{+} и др.).

Ниже приведены основные показатели качества воды.

Активная реакции (рН) или степень кислотности или щелочности, характеризуемая количественно концентрацией водородных ионов H^{+} или гидроксильных ионов OH^{-} .

Большинство природных вод имеет величину рН в пределах 6,5 - 8,5. Величина рН поверхностных вод в связи с меньшим содержанием в них CO_2 обычно больше, чем величина рН подземных вод.

Кроме CO_2 на величину рН природных вод может влиять наличие органических гуминов и таниновых кислот (в болотных водах), а также кислые и щелочные сточные воды.

Общая щелочность характеризуется наличием главным образом бикарбонатных ионов (HCO_3^{-}) и карбонатных ионов (CO_3^{2-}). В сточных водах она может зависеть, кроме того, от присутствия гидроксильных ионов OH^{-} . Общая щелочность воды обуславливается широким диапазоном составляющих:

$$\begin{aligned} \text{Щ}_0 = & [\text{CO}_3^{2-}] + \frac{1}{2}[\text{HCO}_3^{-}] + \frac{1}{2}[\text{HSiO}_3^{-}] + \frac{1}{2}[\text{H}_2\text{CO}_3] + [\text{HPO}_4^{2-}] + \frac{1}{2}[\text{H}_2\text{PO}_4^{-}] + \frac{1}{2}[\text{HS}^{-}] \\ & + \frac{1}{2}[\text{OH}^{-}] + \frac{1}{2}[\text{NH}_4^{+}]. \end{aligned}$$

Общая жесткость воды определяется как суммарная концентрация кальция и магния, мг - экв/дм³:

$$\text{Ж}_0 = \frac{\text{Ca}^{2+}}{20,04} + \frac{\text{Mg}^{2+}}{12,16}. \quad (1)$$

Карбонатная жесткость воды J_k зависит от совместного присутствия в воде кальция Ca^{2+} , магния Mg^{2+} и бикарбонатного иона HCO_3^- , т.е. бикарбонатов кальция $Ca(HCO_3)_2$ и бикарбонатов магния $Mg(HCO_3)_2$.

При $(Ca^{2+} + Mg^{2+}) > (HCO_3^-)$, мг-экв/дм³:

$$J_k = \frac{HCO_3^-}{61,02}, \quad (2)$$

где HCO_3^- – содержание бикарбонатного иона в воде, мг/дм³;

61,02 – эквивалентная масса бикарбонатного иона.

Некарбонатная жесткость воды $J_{нк}$ представляет собой разность между общей и карбонатной жесткостью, мг – экв/дм³:

$$J_{нк} = J_o - J_k. \quad (3)$$

Хлоридный ион (анион) Cl^- содержится почти во всех водах; отчасти это объясняется хорошей растворимостью хлористых солей. Содержание его изменяется в самых широких пределах.

Сульфатный ион SO_4^{2-} распространен, как и ион Cl^- , хотя бы в малых количествах повсеместно; в сильно минерализованных водах его меньше, чем Cl^- , в слабоминерализованных – обычно больше.

Железо $Fe_{общ}$ в природных и оборотных водах может быть в растворенном или нерастворенном состоянии.

$$Fe_{общ} = \underbrace{Fe^{2+} + Fe^{3+}}_{\text{растворенное}} + \underbrace{Fe^{связ}}_{\text{взвешенное}} + Fe_{\text{нерастворенное}} \quad (4)$$

Общее солесодержание представляет собой сумму всех растворенных в воде веществ, которые определяют выпариванием профильтрованной пробы, высушиванием при 105 °С полученного остатка (сухой остаток) до постоянного веса и его взвешиванием. Сухой остаток характеризует содержание минеральных и частично органических примесей (солей), температура кипения которых заметно превышает

105 °С, нелетучих с водяным паром и не разлагающихся при указанной температуре.

Величина сухого остатка лимитируется в воде, поступающей для питания паровых котлов и используемой в ряде производств (синтетического каучука, искусственного волокна, киноплёнки и др.).

Свойства воды характеризуются в значительной мере углекислотным равновесием. От наличия в воде углекислоты и концентрации ее форм зависит стабильность воды, т.е. склонность к образованию карбонатных отложений или коррозии металла в системах водоснабжения, особенно при использовании воды в обороте в качестве теплоносителя (охлаждителя).

В природных водах углекислота может присутствовать в трех видах: как «свободная» двуокись углерода CO_2 , находящаяся в виде растворенного в воде газа и недиссоциированных H_2CO_3 ; в виде полусвязанной углекислоты (бикарбонатные ионы HCO_3^-); в виде связанной углекислоты (карбонатные ионы CO_3^{2-}). Часто углекислые соли составляют более половины общего количества солей, растворенных в природных водах. Обогащение этих вод углекислотой происходит вследствие химических и биохимических процессов, протекающих в грунтах и в воде при соприкосновении.

Бикарбонатные и карбонатные ионы образуются при разложении двухосновной угольной кислоты, имеющей две ступени диссоциации:



Этими уравнениями определяются количественные соотношения между различными формами углекислых соединений, присутствующих в воде.

Количественные соотношения между различными формами углекислоты определяется уравнениями диссоциации первой и второй

ступеней. Константы диссоциации первой и второй степеней K_1 и K_2 зависят от концентрации водородных ионов, поэтому существование различных форм угольной кислоты определяется величиной рН (рис.3).

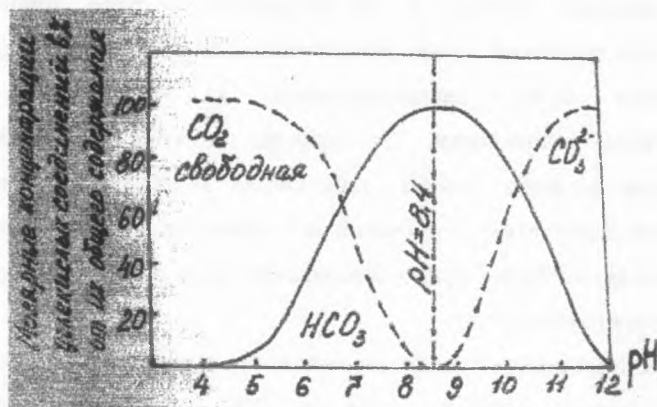


Рис. 3. Соотношение форм угольной кислоты в зависимости от рН раствора

Из рис. 3 следует, что при рН = 3,4 - 4,0 вся находящаяся в воде уголекислота представлена только уголекислым газом CO_2 .

По мере повышения значения рН доля CO_2 уменьшается, а следовательно, возрастает доля гидрокарбонатов. При рН= 8,3- 8,4 практически вся уголекислота находится в виде гидрокарбонатов (98 %), а на долю CO_2 и CO_3^{2-} приходится менее 2 %.

При дальнейшем повышении значения рН (более 8,3- 8,4) свободного уголекислого газа в воде нет, а в растворе находятся только гидрокарбонат и карбонат – ионы. При рН > 12 в растворе находятся только карбонаты. Экспериментально щелочность определяют титрованием соляной или серной кислотой последовательно с индикаторами фенолфталеином и метилоранжем.

Окисляемость воды. Количество кислорода в $[\text{мг}/\text{дм}^3]$, эквивалентное расходу окислителя, необходимого для окисления примесей в данном объеме, обуславливается присутствием органических и некоторых

легкоокисляющих неорганических примесей, таких как железо (II), сульфиты, сероводород и др. В зависимости от применяемого окислителя различают перманганатную и бихроматную окисляемость. При этом окисляемость в $1 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ соответствует окисляемости $0,253 \text{ KMnO}_4$.

Содержание азотистых соединений. Наличие азотсодержащих соединений – нитратов (NO_3^-), нитритов (NO_2^-) и аммонийных солей (NH_4^+) – в воде поверхностных источников или в подземных водах может быть следствием загрязнения этих вод сточными водами. При этом наличие аммонийных соединений указывает на свежее загрязнение, а наличие нитритов – на относительно недавнее загрязнение. Содержание в воде нитратов может указывать на давнее (уже ликвидированное) загрязнение источника сточными водами.

Однако нитраты, обнаруженные в водах источника, могут быть и неорганического происхождения и не свидетельствовать о загрязнении источника.

Глава 2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

В ПРОМЫШЛЕННОСТИ РФ

2.1. Водопотребители на промышленном предприятии

На промышленных предприятиях вода расходуется на хозяйственно-питьевые нужды, полив зеленых насаждений и территории промпредприятий, пожаротушение и, главное, на технологические нужды, при этом используют воду различного качества:

- питьевую, которая предназначена для хозяйственно-питьевых целей; техническую свежую, которая забирается из природного источника и подается для производственных целей (очищенная или неочищенная) непосредственно потребителям или на восполнение систем оборотного водоснабжения:

- технологическую, приготовленную из технической путем использования специальных технологических приемов (умягчения, обессоливания и т.п.) в зависимости от требований, предъявляемых производством;

- оборотную, применяемую в технологическом процессе и после очистки, охлаждения и кондиционирования снова подаваемую для тех же целей;

- последовательно используемую, которая расходуется поочередно в нескольких производственных процессах без промежуточной обработки и охлаждения;

- сточную, повторно используемую, которая после расходования в технологическом процессе, и соответствующей очистки частично или полностью повторно используется для тех или иных технологических целей.

На промышленных предприятиях вода используется для следующих технологических целей: охлаждения оборудования, сырья и продуктов

(вода нагревается через стенки теплообменников и практически не загрязняется); в качестве среды, транспортирующей механические или растворенные примеси, попадающие в воду при мойке, обогащении и очистке сырья или продукта (вода загрязняется, но обычно не нагревается); для растворения реагентов, используемых в производствах, для получения пара и т.д. (вода в основном входит в технологический продукт, и лишь часть ее направляется в сток с отходами производства); для комплексного использования в качестве охладителя продукта, транспортной среды и поглотителя примесей (вода нагревается и загрязняется).

В производственном водоснабжении вода в основном используется для охлаждения, промывки, замочки, увлажнения, парообразования, гидротранспорта, изготовления продукции и т.д. Использование воды для охлаждения по масштабам значительно превосходит все остальные виды потребления, причем удельный вес этой категории в общем объеме производственного водоснабжения продолжает расти. К этой категории относится расходование воды для конденсации пара, отходящего от паровых турбин электростанций, для охлаждения различных печей, машин и аппаратуры в металлургической, нефтеперерабатывающей, химической и других отраслях промышленности. Вода для промывки и замочки расходуется в больших количествах на нужды металлургической, целлюлозно-бумажной, шерстеобрабатывающей, текстильной промышленности, промышленности искусственного волокна и др. На гидротранспорт различных материалов вода расходуется в самых разнообразных отраслях промышленности (в том числе шлако- и золоудаление на теплосиловых станциях, транспортирование шлака в доменных цехах, отходов обогатительных фабрик и т.д.).

2.2. Баланс воды на промышленном предприятии

Для систем водообеспечения промышленных предприятий (оборотных циклов) рекомендуется составлять баланс воды, включающий

различные потери, сбросы («продувку») и необходимое добавление компенсирующих расходов воды в систему. Поступление воды в систему осуществляется не только от источников водоснабжения и после повторного ее использования, но также с исходным сырьем и полуфабрикатами, со вспомогательными веществами (топливом, реагентами и т.п.), с атмосферными осадками (дождем, растаявшим снегом), в виде шахтного или рудничного водоотлива, а также подземной (дренажной), инфильтрационной воды и др.

Общий дефицит воды в системах водообеспечения складывается из расходов на безвозвратное потребление (унос с продуктами и отходами); мойку полов; полив проездов и насаждений; испарения в охладителях оборотной воды; унос с воздухом в виде капель из охладителей оборотной воды; естественное испарение с водной поверхности; транспирацию растительностью в водоемах; фильтрацию из системы в почву; сброс оборотной воды в водоемы при ухудшении ее качества (основная потеря воды); сброс сточных вод в водоем.

Количество воды в системе оборотного водоснабжения поддерживается постоянным. Убыль воды из системы возмещается добавочной водой, т.е. в системе поддерживается баланс между убываемой и добавочной водой (табл. 3).

Таблица 3

Потери и восполнение воды в водном хозяйстве промышленного предприятия.

Восполнение воды		Потери воды	
1	2	3	4
1. С исходным сырьем и полуфабрикатами	$Q_{сыр}$	1. На сброс воды в водоем (продувка)	$Q_{сбр}$
2. С вспомогательными веществами (топливо, реагенты и т.п.)	$Q_{всп}$	2. На полив полов, проездов, насаждений	$Q_{полив}$

1	2	3	4
3. С атмосферными осадками (дождь, таяние снега)	$Q_{атм}$	3. На испарение в охладителе оборотной воды	$Q_{исп. ох}$
4. В виде шахтного или рудничного водоотлива, почвенная (дренажная), инфильтрационная и прочее.	$Q_{подз}$	4. На естественное испарение с водной поверхности	$Q_{исп. ест}$
5. Из источника водоснабжения	$Q_{источ}$	5. На каплеунос с воздухом из охладителя оборотной воды	$Q_{ун}$
6. Сточная вода, повторно используемая после очистки		6. Транспирацию растительностью водоема	$Q_{трансп}$
		7. На удаление с осадками из сооружений	$Q_{ос}$
		8. На эксфильтрацию и фильтрацию из системы водоснабжения в почву	$Q_{ф}$
		9. На унос с продуктом и отходами	$Q_{п.о}$
		10. На сброс собственно сточных вод в водоем	$Q_{сбр. сточ}$
$\Sigma Q_{поступл}$		$\Sigma Q_{убыль}$	

Безвозвратное потребление воды в производстве и потери в местах ее использования $Q_{п.л}$ [$м^3/ч$]. Величина этих потерь определяется

технологическим расчетом и может быть вычислена как разность количеств подаваемой Q_n и отводимой от производства Q_o воды.

Безвозвратные потери воды на полив полов в производственных помещениях, на полив проездов и насаждений на территории предприятия $Q_{\text{полив}}$ определяются расчетом

Потери воды на испарение при охлаждении $Q_{\text{исп.охл}}$, если циркулирующая вода используется в качестве теплоносителя (как среда для отвода тепла) Точная величина этой потери может быть определена из теплового расчета охладителя, а при отсутствии расчета – с достаточным приближением по формуле, м³/ч:

$$Q_{\text{исп.охл}} = K_1 \Delta t Q_o, \quad (7)$$

где Δt – температурный перепад охлаждения воды, °С. Вычисляется как разность температур отработавшей воды t_2 , поступающей на охладитель (пруд, брызгательный бассейн или градирню), и воды охлажденной t_1 ;

Q_o – количество воды, отводимой от производства на охлаждение, м³/ч.

При охлаждении закрытых теплообменных аппаратов можно считать $Q_o = Q_n \cdot K_1$ – коэффициент потери воды на испарение, принимаемый для брызгательных бассейнов и градирен в зависимости от температуры воздуха (по сухому термометру), а для прудов-охладителей и прудов-осветлителей оборотной воды – в зависимости от естественной температуры воды в водоеме.

Значения коэффициента K_1 при охлаждении воды в брызгальных бассейнах и градирнях можно принимать нижеследующие.

Температура воздуха

<i>по сухому термометру, °С</i>	0	10	20	30
<i>Коэффициент K_1</i>	0,001	0,0012	0,0014	0,0015

Значения коэффициента K_1 при охлаждении воды в прудах-охладителях и прудах-осветлителях можно принимать нижеследующие.

Естественная температура воды

в водоеме, °С	0	10	20	30
Коэффициент K_1	0,0007	0,0009	0,0011	0,0013

Для промежуточных значений температуры воздуха и естественной температуры воды значение коэффициента K_1 определяется интерполяцией.

При охлаждении продукта в открытых теплообменных аппаратах оросительного типа (встречающихся на ряде коксохимических заводов) потери воды на испарение увеличиваются примерно вдвое по сравнению с вычисленными по формуле.

Потери воды на испарение $Q_{\text{исп.ест}}$ имеют место и в пруду-осветлителе оборотной воды (в шламонакопителе), если вода используется как среда, поглощающая и транспортирующая механические примеси. Величина этих потерь может быть вычислена по формуле, причем в данном случае вода нагревается не более чем на 1 градус, т.е. $\Delta t=1$. Для определения $Q_{\text{исп.ест}}$ в пруду-охладителе Гидрометеоздатом выпущены «Указания по расчету испарения с водной поверхности водоемов» (М., 1974).

Потери воды на унос ее из системы ветром $Q_{\text{ун}}^I$ в виде капель, выбрасываемых вентилятором (если циркулирующая вода используется на охлаждение) Потери зависят от конструкции и размеров охладителя, а для открытых охладителей – и от скорости ветра.

Потери воды на унос $Q_{\text{ун}}^I$ из охладителя оборотной воды, м³/ч:

$$Q_{\text{ун}}^I = K_2 Q_0, \quad (8)$$

где K_2 – коэффициент потери воды на унос, для брызгальных бассейнов равный 0,015-0,02; для брызгальных градирен и открытых градирен с жалюзи – 0,01-0,015; для открытых капельных градирен с решетками и для башенных градирен – 0,005-0,01; для вентиляторных градирен с водоуловителями – 0,002-0,003 (меньшие значения для охладителей большей производительности).

Для открытых теплообменных аппаратов оросительного типа (оросительных холодильников) надлежит добавлять потери на унос воды ветром с этих теплообменных аппаратов. Величина потерь на унос воды $Q_{ун}^{II}$ из оросительных холодильников может быть определена приближенно по формуле с коэффициентом $K_3=0,005:0,01$.

Потери воды на транспирацию растительностью водоема $Q_{трансп}$ вычисляются по упомянутым выше «Указаниям».

Потери воды на водоочистных сооружениях (если вода используется как среда, поглощающая и транспортирующая механические примеси) с удаляемым осадком, задерживаемым этими сооружениями, $Q_{ос}$. Величина этих потерь определяется замером объема удаляемого осадка V (m^3) за время T с учетом его влажности Эти потери невелики и в большинстве случаев ими можно пренебречь.

Дополнительные потери воды на фильтрацию Q_f из таких сооружений, как пруд-охладитель или пруд-осветлитель (шламонакопитель), применяемые при охлаждении оборотной воды или при использовании воды на обогащение производства и т.п. Эти потери определяют расчетом и замером; они могут быть незначительны при водонепроницаемых основаниях и слабофильтрующих ограждениях (дамбах), и наоборот.

Все перечисленные потери воды из системы оборотного водоснабжения являются производственными и суммарно составляют, $m^3/ч$:

$$\Sigma Q_{пот} = Q_{пот} + Q_{полив} + Q_{исп.охл} + Q_{ун} + Q_{исп.ест} + Q_{трансп} + Q_f + Q_{ос}. \quad (9)$$

Для соблюдения водного баланса в цикле оборотного водоснабжения указанные потери воды должны восполняться количеством воды, добавляемой в систему, $m^3/ч$:

$$Q'_{доб} = \Sigma Q_{пост}. \quad (10)$$

Часть воды из системы может намеренно сбрасываться в количестве $Q_{сбр}$ [$m^3/ч$], с заменой ее свежей водой из источника в том же количестве

$Q_{\text{лоб}} = Q_{\text{сбр}}$ в целях освежения оборотной воды и для поддержания ее заданного качества.

Сброс сточных вод из системы в водоем в количестве $Q_{\text{сбр.сточ}}$ определяется технологическим расчетом. Тогда количество воды, добавляемой в систему, $\text{м}^3/\text{ч}$:

$$Q'_{\text{доб}} = \sum Q_{\text{потст}} + Q_{\text{сбр}} \quad (11)$$

На рис. 4 в качестве примера приведена принципиальная балансовая схема оборотного водоснабжения типичных металлургических цехов (доменного, конвертерного и др.).

Балансовую схему по воде рекомендуется заново составлять раз в пять лет и корректировать ее каждый год.

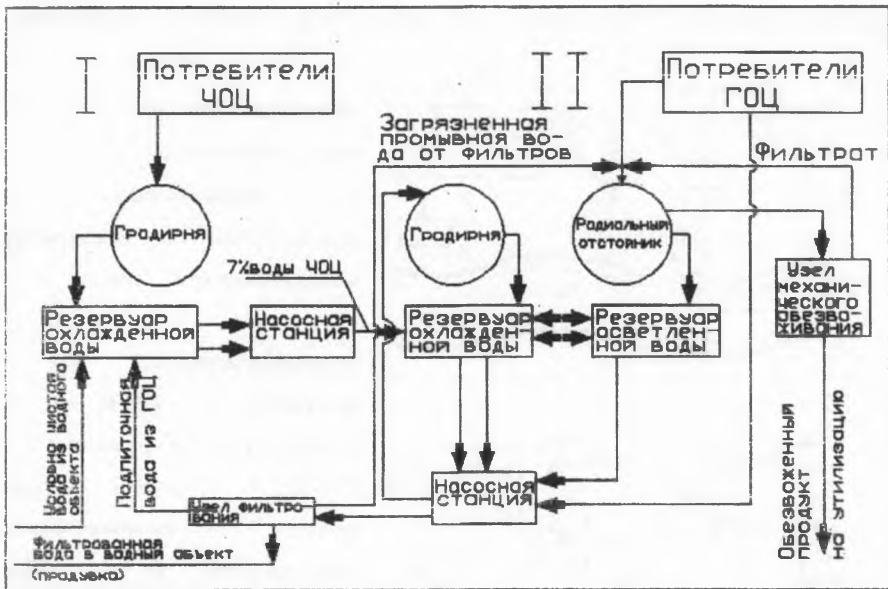


Рис. 4. Балансовая схема оборотного водоснабжения цехов металлургического завода: I – чистый оборотный цикл (ЧОЦ); II – грязный оборотный цикл (ГОЦ)

2.3 Системы и схемы промышленного водоснабжения

Система водного хозяйства – это сложное понятие, включающее в себя принцип построения всего хозяйства от водоподачи до водоотведения; иначе – это отношение предприятия к воде в принципе.

Системы водообеспечения промышленных предприятий классифицируют по способам использования воды: прямоточные, оборотные, с повторным использованием воды и замкнутые.

Отметим, что прямоточные системы в настоящее время используют достаточно редко. При них на промышленных предприятиях (рис. 5) вода обычно входит в состав выпускаемого фабриката или существенно изменяет свой состав, в связи с чем ее повторное использование нецелесообразно. В этом случае она передается на очистные сооружения.

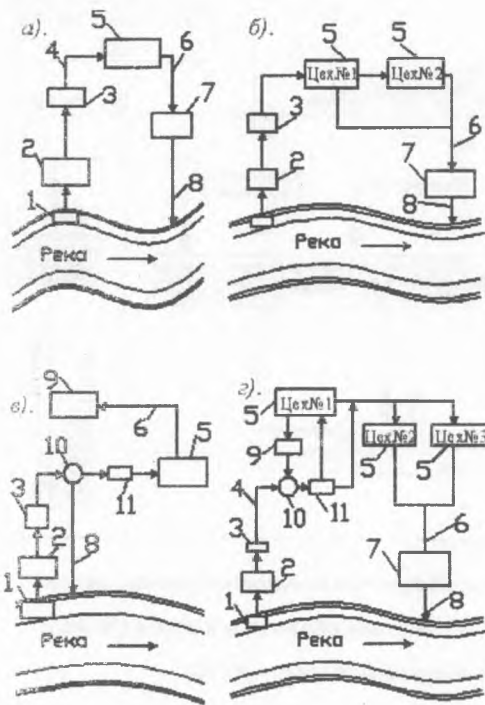


Рис. 5. Системы производственного водоснабжения:
а – прямоточная; *б* – прямоточная с повторным использованием воды; *в* – оборотная; *г* – комбинированная; 1 – водозабор с НС-I; 2 – водоочистные сооружения; 3 – НС-II; 4 – подача речной воды; 5 – промышленное предприятие; 6 – сброс отработавшей воды; 7 – станция очистки сточных вод; 8 – сброс воды в реку; 9 – водоохлаждающее устройство; 10 – сборная камера; 11 – НС оборотной воды.

В оборотных системах водоснабжения (см. рис. 5), когда вода применяется в основном для охлаждения, в целях ее экономии оказывается целесообразным сбрасываемую предприятием (или отдельным цехом) нагретую воду охлаждать и подавать для повторного использования.

При этом из водоисточника подается до 10 % общего количества используемой воды (подпитка) для восполнения потерь (продувка) при ее обороте. Обратную воду приходится охлаждать, подвергать некоторой очистке и кондиционировать.

В системах повторного использования вода, сбрасываемая одним из промышленных потребителей, может быть использована другим, что позволяет уменьшить количество воды, забираемой из водоисточника.

На промышленных предприятиях устраивают водопроводы следующего назначения: отдельные производственные и хозяйственно-противопожарные; отдельные производственно-противопожарный и хозяйственно-питьевой; отдельные производственный, противопожарный и хозяйственно-питьевой; объединенный производственно-противопожарно-хозяйственный.

Для водоемких промышленных предприятий, расположенных в черте города, которые могут использовать малоочищенную или неочищенную воду, обычно устраивают самостоятельные (отдельные от городского) производственные водопроводы. Подобные водопроводы сооружают для групп предприятий, размещенных в одном районе города.

Другим характерным типом объектов водоснабжения являются крупные водоемкие промышленные предприятия, расположенные за пределами города. При проектировании водопроводов подобного промышленного предприятия и жилого поселка при нем необходимо учитывать расходы воды на производственные нужды предприятия, хозяйственно-питьевые нужды населения жилого поселка и рабочих во время пребывания их на производстве, на поливку заводской территории

и зеленых насаждений, на тушение пожара на предприятии и в поселке. На промышленном предприятии в зависимости от качества используемой им воды можно устраивать как объединенные, так и отдельные системы подачи воды на нужды производства, хозяйственно-питьевые и противопожарные нужды.

Чаще всего противопожарные обязанности возлагают на систему хозяйственно-питьевого водопровода, имеющего обычно большую разветвленность на территории предприятия. Иногда для этого используют систему производственного водопровода, а на предприятиях с повышенной опасностью устраивают отдельные противопожарные водопроводы.

Иногда система производственного водоснабжения значительно усложняется тем, что отдельные производственные потребители, входящие в состав предприятия, предъявляют различные требования к качеству воды или к напору, под которым она поступает. Поэтому приходится сооружать несколько систем производственных водопроводов (табл. 4, 4а).

Таблица 4

Примерные общие требования к качеству пресных вод, используемых для охлаждения, очистки газов и обогащения полезных ископаемых

Показатели качества воды	Вода I категории, используемая для охлаждения оборудования и продукта в теплообменных аппаратах (без соприкосновения с ним), работающих при температурах охлаждения продукта или стенки		
	≤ 80 °C	80-400 °C* ²	≥400 °C (с огневым обогревом)
1	2	3	4
<i>Физические</i>			
Температура ¹ , °C	≤ 25-28	≤ 28 40	≤ 10 45

1	2	3	4
Взвешенные вещества, мг/дм ³ :			
в оборотной воде ⁴	≤ 20-50	≤ 20-30	≤ 20-30
в добавочной воде	10-20	10-20	5-10
Масла и смолообразующие продукты (эфирорастворимые) в оборотной воде	≤ 20	≤ 10-20	≤ 10
Запах, баллы	≤ 3	≤ 3	≤ 3
<i>Химические</i>			
Значение рН	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Жесткость общая, мг-экв/дм ³	Не нормируется	≤ 7	≤ 5
Жесткость карбонатная, мг-экв/дм ³ :			
добавочной воды	Не менее 1,5 и не более 2,5	1-2	0,5-2
оборотной воды	2-3,5	1,5-3	1,5-2,5
В оборотной воде, мг/дм ³ :			
общее солесодержание или сухой остаток	≤ 2000	≤ 1300	≤ 800
хлориды ⁵	≤ 350	≤ 350	≤ 150
сульфаты ⁵	≤ 500	≤ 600	≤ 250
железо общее ⁵ , не более	1-4	1-4	1,4
Окисляемость перманганатная, мг/дм ³	≤ 20	≤ 20	≤ 20
ХПК в добавочной воде, мг О ₂ /дм ³		Не нормируется	Не нормируется

1	2	3	4
<i>Биологические</i>			
БПК ₅ , мг О ₂ /дм ³	15-30	10-15	10-5
Биогенные элементы в добавочной воде, мг/дм ³ :			
азот общий	≤80	≤80	≤8
фосфаты (P ₂ O ₅ =1.5P ₂ O ₄)	2,5	2,5	-

Таблица 4а

Показатели качества воды	Вода I категории, используемая для охлаждения оборудования и продукта в теплообменных аппаратах (без соприкосновения с ним), работающих при температурах охлаждения продукта или стенки	
	без нагрева (обогащение полезных ископаемых, гидрозолоудаление и др.), вода II категории	с нагревом (улавливание и очистка газов, гашение кокса и др.), вода III категории
1	2	3
<i>Физические</i>		
Температура ¹ , °C	Не нормируются	≤25-30
Взвешенные вещества, мг/дм ³		
в оборотной воде ⁴	При гравитации – до 1000-10000, при флотации – до 200	150-200

Продолжение табл. 4а

1	2	3
в добавочной воде	Не нормируется	Не нормируется
Масла и смолообразующие продукты (эфирорастворимые) в оборотной воде	Не нормируется	— » —
Запах, баллы	≤ 3	≤ 4
<i>Химические</i>		
Значение pH	Не нормируется	6,5-9
Жесткость общая, мг- экв/дм ³	— » —	Не нормируется
Жесткость карбонатная, мг-экв/дм ³ :		
добавочной воды	— » —	Необходима обработка воды при очистке газов
оборотной воды	— » —	
В оборотной воле, мг/дм ³ :		
общее солесодержание или сухой остаток:	— » —	Не нормируется
хлориды ³	— » —	— » —
сульфаты ⁵	— » —	— » —
железо общее ⁵ , не более	При гравитации не нормируется, при флотации до 10	— » —
Окисляемость перманганатная, мг/дм ³	Не нормируется	— » —

1	2	3
ХПК в добавочной воде, мгО ₂ /дм ³	— » —	— » —
<i>Биологические</i>		
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	— » —	— » —
Биогенные элементы в добавочной воде, мг/дм ³ :		
азот общий	— » —	— » —
фосфаты (Р ₂ О = 1,5РО ₄)	— » —	— » —
¹ Уточняется в зависимости от технологического процесса по допустимой разности температуры. ² Водяное охлаждение может быть заменено воздушным. ³ На металлургических печах применяется испарительное охлаждение (кипящей водой). ⁴ Уточняется в зависимости от скорости движения охлаждающей воды в теплообменных аппаратах. ⁵ Величина желательная, уточняется в зависимости от других показателей. ⁶ Большее содержание допустимо при отсутствии карбонатных отложений и при скорости воды в аппаратах более 0,5 м/с.		

На каждом промышленном предприятии устанавливают нормы водопотребления и водоотведения. Необходимое для каждого производства количество воды, а также образующихся отработавших вод устанавливается технологическим расчетом или принимается на основании передового опыта. Они могут быть приняты по действующим ведомственным технологическим или укрупненным нормам (например: Укрупненные нормы расхода воды и количества сточных вод на единицу продукции для различных отраслей промышленности. М.: Стройиздат, 1988). Следует отметить, что предприятие постоянно ведет работу по совершенствованию этих норм в двух направлениях: замены части свежей на оборотную (правда, только до максимального значения

процента оборотного водоснабжения на данном производстве); уменьшение абсолютного количества потребляемой (прежде всего свежей) воды за счет ужесточения технологической дисциплины, внедрения маловодных и безводных процессов и др.

В качестве примеров для различных производств можно привести средние нормы удельных расходов воды, м³: на 1 т стали – 230; на 1 т труб – 125; на 1 т нефти – 20; на 1 т хлеба – 3; на 1 г сахара – 21 и т.д. Нормы водоотведения составляют 0,8 – 0,85 от норм водопотребления. Отметим также, что нормы водопотребления могут изменяться в весьма широких пределах (так, при переработке 1 т нефти эти пределы составляют 0,3-32 м³).

2.4. Категории качества воды и эффективность ее использования на промышленном предприятии

Соответственно назначению воду производственного водообеспечения можно разделить на четыре категории:

- вода I категории используется для охлаждения нагретых поверхностей (например, печей), жидких и конденсации газообразных продуктов (в теплообменных аппаратах и др.) без соприкосновения с продуктом; вода нагревается и практически не загрязняется, могут лишь присутствовать аварийные утечки жидких и газообразных продуктов в воду, загрязняющие ее;

- вода II категории служит в качестве среды, поглощающей различные нерастворимые (механические) и растворенные примеси; вода не нагревается (обогащение полезных ископаемых, гидротранспорт), но загрязняется в основном механическими и частично растворенными примесями;

- вода III категории используется так же, как и вода II категории, но подвергается нагреву (улавливание и очистка газов в скрубберах, тушение кокса и т.п.);

- воду IV категории используют в качестве экстрагента и растворителя реагентов (например, при флотационном обогащении природных ископаемых, промывке поверхностей и веществ и др.), и она загрязнена в основном растворимыми неорганическими и органическими веществами.

Эффективность использования воды на промышленных предприятиях оценивается тремя показателями.

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

$$P_{об} = \frac{Q_{об}}{(Q_{об} + Q_{ист} + Q_c)} * 100, \quad (12)$$

где $Q_{об}$, $Q_{ист}$, Q_c – количество воды, используемой соответственно в обороте, забираемой из источника и поступающей в систему водоснабжения с сырьем. Это основной показатель, который меняется в широких пределах на предприятиях различных отраслей.

2. Рациональность использования воды, забираемой из источника, оценивается коэффициентом использования $K_{ис}$:

$$K_{ис} = \frac{(Q_{ис} + Q_c + Q_{ср})}{Q_{ис} + Q_c} < 1. \quad (13)$$

3. Безвозвратные потери воды, %, определяются по формуле

$$P_{пот} = \frac{Q_{ист} + Q_c - Q_{ср}}{(Q_{ист} + Q_c + Q_{посл} + Q_{об})} * 100, \quad (14)$$

где $Q_{посл}$ – количество воды, используемой в производстве последовательно. Этот показатель важен при отсутствии мощного водоисточника.

Качество и свойства воды, подаваемой для производственных целей, устанавливаются в каждом конкретном случае в зависимости от роли воды и требований технологического процесса установок и производств с учетом используемого сырья.

Общими являются следующие требования к качеству и свойствам технической воды:

- она должна быть безвредной для здоровья обслуживающего персонала и не обладать отрицательными органолептическими свойствами (при открытой системе). В качестве нормы степень санитарной безопасности может быть охарактеризована для используемых в системах промышленного водоснабжения вод (природных, оборотных и очищенных сточных), не требующих дезинфекции или прошедших, например, дезинфекцию хлором, величиной (количество кишечных палочек в 1 л воды), которая не должна быть более 1000; в последнем случае содержание свободного хлора в этой воде после хлорирования и 30-минутного контакта ее с хлором должно быть не менее 1,5 мг/дм³;

- она должна быть стабильной, т.е. использоваться для охлаждения продукта или конструктивных элементов оборудования; она не должна выделять механических, карбонатных или других солевых отложений свыше допустимой величины.

Допустимая концентрация взвеси крупностью до 0,05 мм в охлаждающей оборотной воде дана в табл. 5.

Таблица 5

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

Скорость движения воды в теплообменных аппаратах, м/с	Допустимая концентрация взвеси в охлаждающей воде, мг/дм ³	
До 0,01	5	20
0,01-0,2	10-20	50
0,2-0,5	30-50	100
0,5- 1	50- 80	200

Допустимой величиной ориентировочно можно считать скорость отложения взвесей (механических и солевых) не более $0,25 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ или слой толщиной $0,08 \text{ мм}$ в месяц (при чистке аппаратов). При необходимости воду обрабатывают тем или иным способом;

- она не должна вызывать точечной и язвенной коррозии, а также равномерной коррозии металла со скоростью, превышающей $0,09 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ (или слой толщиной $0,1 \text{ мм}$ в год), и разрушения бетона; может быть допущена равномерная коррозия углеродистой стали со скоростью не более $0,45 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ (если слой до $0,5 \text{ мм}$ в год) при отсутствии признаков точечной или язвенной коррозии. При необходимости применяют более стойкие материалы или воду обрабатывают тем или иным способом;

- она не должна способствовать развитию биологических обрастаний теплообменных аппаратов и охладителей оборотной воды со скоростью, большей $0,07 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ (слой $0,05 \text{ мм}$ в месяц) по воздушно – сухой массе.

ОБОРОТНЫЕ ЦИКЛЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

3.1. Оборотные циклы промышленного водоснабжения

Вода, удовлетворяющая всем вышеперечисленным требованиям, называется стабильной и не требует дополнительной обработки. Но это идеальный случай, не встречающийся на практике. На деле бывает так. Охлажденная вода, циркулирующая в системе оборотного водоснабжения, обычно многократно нагревается и охлаждается; часть ее при этом испаряется, в результате чего повышается концентрация растворенных солей. Такая вода склонна к накипеобразованию, отложению продуктов кислородной коррозии и механических взвесей; в ней могут появиться микроорганизмы, обуславливающие цветение водоемов и биологическое обрастание поверхностей производственных сооружений и аппаратуры.

Следует обратить внимание еще на один источник загрязнения.

Оборотная вода при прохождении через градирни может загрязняться взвешенными веществами из атмосферного воздуха. На 1 м^3 оборотной воды подается 1000 м^3 воздуха и более. Если запыленность воздуха достигает 5 мг/м^3 и практически он полностью отмывается в градирне (80 % и выше), то при добавлении воды в систему, например, в размере 2 % расхода оборотной воды концентрация загрязнений в расчете на добавочную воду будет составлять 200 мг/дм^3 . Конечно, не все загрязнения в виде взвешенных веществ перейдут в оборотную воду, некоторая часть их выпадет в осадок в резервуаре градирни. Если предположить, что 80 % этих загрязнений перейдет в оборотную воду в виде взвешенных веществ, то концентрация загрязнений за счет пыли, вымываемой из воздуха, в расчете на добавочную воду будет составлять около 160 мг/дм^3 . В этом случае потребуется осветление оборотной воды.

Проектирование систем оборотного водоснабжения выполняют с учетом анализов природной воды, принятой в качестве добавки в систему, характера загрязнений отработавшей воды, возможных методов очистки и регулирования ее состава и свойств, а также опыта эксплуатации действующих установок в аналогичных условиях.

Состав и производительность технологических сооружений для очистки, обработки и охлаждения оборотной воды подбирают из условий максимальной нагрузки на них (в летнее или зимнее время) и с учетом их периодических ремонтов.

Для принятой схемы оборотного водоснабжения, как уже было указано выше, составляется баланс воды в замкнутом цикле, включающий безвозвратные потребления и потери ее, необходимый сброс и добавление воды в систему для компенсации убыли из нее. Баланс воды в системе оборотного водоснабжения следует составлять на летний и зимний периоды. Требования к качеству воды, подаваемой на производственные нужды, в каждом конкретном случае устанавливают в зависимости от назначения воды и характеристики установленного технологического оборудования.

3.2. Особенности производственного водоснабжения

Следует отметить, что характерной особенностью производственного водоснабжения являются те требования, которые предъявляются к потребляемой воде. Если коротко – сколько производств, столько и требований. Поэтому качество используемой воды может меняться от «весьма загрязненной» до «сверхчистой» в зависимости от вида производства. Около трех четвертей от всей потребляемой свежей воды приходится на так называемую техническую воду, т.е. воду из водоисточника, прошедшую только грубую механическую очистку. Так, техническая вода, используемая для охлаждения на предприятиях различных отраслей, не должна иметь повышенные содержания загрязнителей, делающих ее нестабильной, взвесей, солей жесткости, CO_2

и O_2 , биогенных веществ и др. Важны некоторые физические характеристики и прежде всего температура, которая в значительной степени определяет количество подпиточной воды. Зимой она холодная и ее потребляется значительно меньше, чем летом.

Различны и требования к свободным напорам на вводах, которые определяются типом используемого оборудования и установок, высотой производственных зданий и др.

Большое значение имеет надежность водоподачи, особенно для непрерывных производств, например доменного процесса.

Расход воды напрямую связан с организацией производственного процесса – непрерывного или периодического. В первом случае изменения расхода воды в течение суток невелики, и все водное хозяйство работает ритмично и стабильно (в том числе водоотведение и очистка стоков). При периодической работе производства водоподача и водоотведение осуществляются рывками, что значительно усложняет работу водного хозяйства в целом (особенно комплексов очистных сооружений, которые лучше всего переводить на непрерывный круглосуточный режим).

В практике оборотные циклы условно делят на чистые и грязные. В чистых оборотных циклах обрабатывается вода I категории, применяемая для охлаждения через стенку (так называемая условно чистая). Обработка заключается в охлаждении оборотной воды до исходных температур, продувке части воды для поддержания необходимых параметров по загрязняющим компонентам (прежде всего по растворимым солям), восполнению потерь воды и ее стабилизационной обработки. Отметим, что в промышленности более 60 % всей потребляемой воды обрабатывается в чистых оборотных циклах.

В грязных оборотных циклах обрабатывается вода II и III категорий. Здесь первоначально вода подвергается механической очистке для удаления взвешенных веществ (иногда с предварительной реагентной

обработкой) и уже после этого при необходимости охлаждается. Так же осуществляется продувка оборотной воды, восполнение потерь воды в цикле (подпитка) и ее стабилизация. Механическая очистка производится в отстойниках (обычно радиальных), доочистка, при необходимости, – на зернистых фильтрах. Возвращаемая в производство вода содержит значительные количества взвешенных веществ (до $150-200 \text{ мг/дм}^3$), что вполне допустимо по условиям производства. В табл. 6 приведены примерные требования к качеству очищенной воды грязных оборотных циклов. Для очистки оборотных вод в одноступенчатых схемах хорошие результаты получены при использовании отстойников - флокуляторов (ОФ) системы «ЭКО-Проект» (г. Екатеринбург). Общий вид ОФ и принципиальная технологическая схема представлены на рис. 6. Важной особенностью отстойников - флокуляторов является стабильность процесса очистки воды при значительных колебаниях температуры (до $\pm 8 \text{ }^\circ\text{C}$ в час) и расхода (до $\pm 30 \%$ в час). Благодаря компактности и относительной герметичности, в условиях холодного климата научились размещать аппараты в отапливаемых зданиях. В таком варианте стоимость узла отстаивания ниже затрат на сооружение обычных отстойников вне здания, а тепло, излучаемое стенками и перекрытием аппарата, используется для отопления.

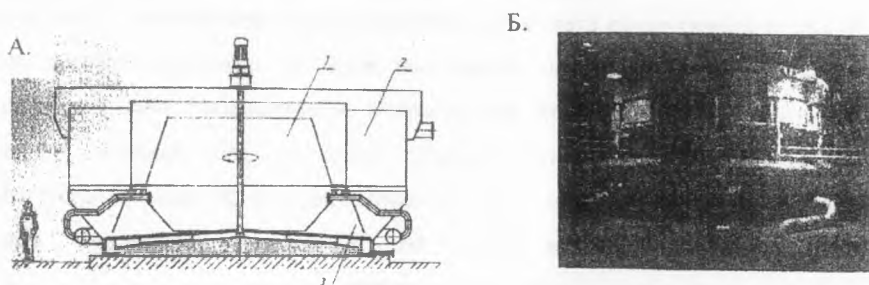


Рис. 6. Технологическая схема отстойника – флокулятора (А); 1 – камера флокуляции; 2 – камера отстаивания; 3 – камера накопления и первичного уплотнения осадка; общий вид отстойника – флокулятора (Б)

Таблица 6

Примерные требования к воде грязных оборотных циклов

№ п/п	Водопотреб- ляющий агрегат	По нормативному документу [1] и литературе [2]		По техническим требованиям разных фирм	
		Взвешенные вещества (ВВ), мг/дм ³	Нефтепро- дукты (НП), мг/дм ³	Взвешен- ные вещества (ВВ), мг/дм ³	Нефтепро- дукты (НП), мг/дм ³
1	Газоочистки доменных печей	300	-	≤100; ≤150	-
2	Газоочистки конвертеров	300	-	≤150; ≤50	-
3	Вторичное охлаждение МНЛЗ	30-40	10-20	≤20	≤1; ≤1,5; ≤5
4	Станы горячей прокатки	50-150	35-60	≤10; ≤20 ≤30; ≤50	≤1,5; ≤5 ≤8; ≤10
5	Установки гидросбива окалины	20-50	50-60	≤10; ≤30	≤5; ≤8
6	Термоотделы	50-60	10	≤10; ≤20	≤1; ≤2

В грязных оборотных циклах образуется значительное количество осадков. Иногда их сразу же направляют в различного рода накопители, что в настоящее время трудно осуществимо по разным причинам. Чаще всего осадки обрабатывают по схеме: сгущение – механическое

обезвоживание – дополнительное обезвоживание (например, сушка), после чего подготовленные осадки направляют на утилизацию. В грязных оборотных циклах обрабатывают около 20 % всей потребляемой промышленностью воды.

По отношению к потребляемой воде все промышленные предприятия условно можно разделить на три группы: весьма зависимые от наличия водных ресурсов; зависимые в такой же степени, как и от других ресурсов; мало зависимые от воды. В первую группу входят предприятия электроэнергетические, и прежде всего – теплотехнические. На них приходится более 70 % от всей воды, потребляемой промышленностью страны. Большая часть этой воды относится к первой категории.

Ко второй группе относятся предприятия химической и нефтехимической, металлургической, нефтеперерабатывающей, топливной, горнодобывающей, лесоперерабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности и др. Здесь водные ресурсы имеют такое же значение, как сырье, трудовые ресурсы и др.

К третьей группе относятся самые многочисленные заводы машиностроения и металлообработки. С точки зрения водников – это предприятия – паразиты, практически полностью интегрированные в водное хозяйство того города, в котором они расположены. Например, около 40 % потребляемой ими на технологические нужды воды приходится на питьевую.

Также следует остановиться на особенностях водного хозяйства предприятий основных водопотребляющих отраслей. Предприятия электроэнергетики (теплотехнические и атомные станции и гидроэнергетика) – основные водопотребители, используют практически всю воду на охлаждение и получение очищенной воды для котлов. Количество стоков составляет около 3,5 % от общего водопотребления, однако их абсолютная величина весьма значительна. Предприятия химической и нефтехимической промышленности загрязняют воду самыми сложными, токсичными и трудно перерабатываемыми

веществами. Metallургические предприятия “поставляют” в сточные воды наибольшее (по массе) количество загрязнений. Машиностроительные и металлообрабатывающие предприятия, являясь в отдельности малыми водопотребителями, за счет своей “многочисленности” вышли на второе место в промышленном водоснабжении и постоянно его увеличивают. Крупные водопотребители – лесоперерабатывающая (целлюлозно-бумажная и гидролизная) промышленность, сельское хозяйство (включая переработку сельхозпродукции) и коммунальное хозяйство – основные поставщики органических загрязнений.

Распределение забираемой из водоисточников воды в народном хозяйстве на основании статотчетности 2ТП-водхоз представлено на рис. 7.

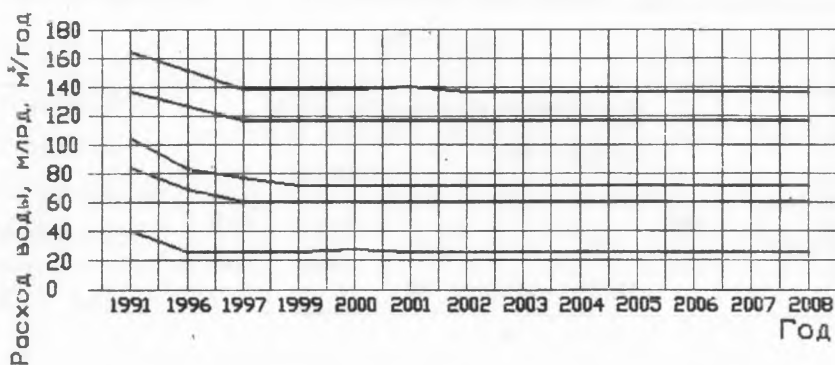


Рис. 7. Распределение забираемой из водоисточников воды в народном хозяйстве на основании статотчетности 2ТП-водхоз

Следует отметить, что в действительности на нужды промышленности расходуется воды значительно больше. Во-первых, постоянно уменьшается количество отчитывающихся по 2ТП-водхоз предприятий, в основном промышленных. Например, в 2004 году по сравнению с 2003 годом таких «скрывающихся» предприятий было 1586. Во-вторых, на каждом предприятии были (и есть) скважины,

потребляемая из которых вода обычно нигде не учитывается. В-третьих, как уже говорилось, в производстве (особенно в машиностроении) для технологических нужд используется питьевая вода, часто не учитываемая как производственная. Поэтому реальное потребление на промышленные нужды составляет не 59, а 63-64 % от общего количества воды, используемой в народном хозяйстве.

Использование воды по федеральным округам за 2004 год представлено в табл. 7. Следует отметить невысокий уровень оборотного водоснабжения в некоторых округах (южный – 30 %; северо-западный – 48 % и др.). В целом эти данные едва ли следует считать объективными.

Таблица 7

Использование воды, забранной из природных объектов, по федеральным округам РФ

Федеральный округ	Использовано свежей воды, млн. м ³						Оборотное и повторно-последовательное водоснабжение	
	Все-го	Хозяй-ствен-но-питье-вые	Про-из-вод-ствен-ные	Оро-ше-ния	Сельхоз-водо-снаб-жение	Про-чие		
							млн. м ³	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9
В целом по Российской Федерации	61537	12785	36344	7673	798	3937	134954	77
Центральный	10898	3998	6179	42	192	488	35244	85
Северо-Западный	11381	1363	9738	2	29	249	10712	48
Южный	14956	1500	4106	7210	221	1918	6437	30

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Приволжский	10201	2515	6950	166	149	423	29925	81
Уральский	3678	1253	1934	10	37	444	30105	94
Сибирский	8660	1607	6291	220	131	413	16287	72
Дальневосточный	1760	548	1146	23	38	4	6244	84

Распределение воды по предприятиям различных отраслей представлено в табл. 8. Эта картина по годам меняется незначительно, и она не полностью отражает истинное положение дел. Действительно, имевшийся в середине 90-х годов существенный спад промышленного производства практически не повлиял на «статистику по воде», что разумному объяснению не поддается, и это особенно хорошо видно на рис. 8.

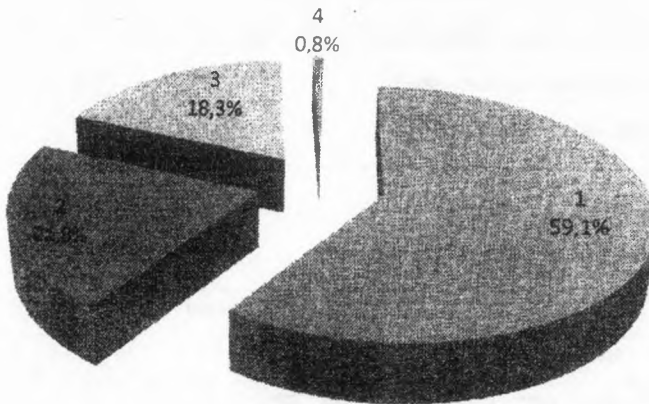


Рис. 8. Структура использования свежей воды в 2004 году по отраслям экономики: 1 – промышленность (59,1 %); 2 – ЖКХ (21,8 %); 3 – сельское хозяйство (18,3 %); 4 – прочие отрасли (0,8 %)

Использование водных ресурсов в основных отраслях народного хозяйства

Показатели	2004 год, млн. м ³
1	2
<i>Использовано свежей воды на нужды производства</i>	33876,18
<i>1. В энергетике</i>	
<i>Использовано свежей воды, всего</i>	28314
<i>использовано свежей воды на нужды:</i>	
<i>хозяйственно-питьевые</i>	517
<i>производственные</i>	27495
<i>орошения</i>	0,06
<i>сельхозводоснабжения</i>	0,20
<i>на прочие нужды</i>	300,84
<i>2. В топливной промышленности</i>	
<i>Использовано свежей воды, всего</i>	962,3
<i>Использовано свежей воды на нужды:</i>	
<i>хозяйственно-питьевые</i>	72,2
<i>производственные</i>	329,5
<i>орошения</i>	0,46
<i>сельхозводоснабжения</i>	0,14
<i>на прочие нужды</i>	560,3
<i>3. В черной металлургии</i>	
<i>Использовано свежей воды, всего</i>	979,0
<i>Использовано свежей воды на нужды:</i>	
<i>хозяйственно-питьевые</i>	146,05
<i>производственные</i>	816,2
<i>орошения</i>	1,22
<i>сельхозводоснабжения</i>	0,25
<i>на прочие нужды</i>	15,28

Продолжение табл. 8

1	2
<i>4. В цветной металлургии</i>	
<i>Использовано свежей воды, всего</i>	947,0
<i>Использовано свежей воды на нужды:</i>	
<i>хозяйственно-питьевые</i>	117,5
<i>производственные</i>	793,25
<i>орошения</i>	0,04
<i>сельхозводоснабжения</i>	0,99
<i>на прочие нужды</i>	35,22
<i>5. В химической и нефтехимической промышленности</i>	
<i>Использовано свежей воды, всего</i>	1629,4
<i>Использовано свежей воды на нужды:</i>	
<i>хозяйственно-питьевые</i>	118,2
<i>производственные</i>	1498,0
<i>орошения</i>	0,65
<i>сельхозводоснабжения</i>	0,27
<i>на прочие нужды</i>	12,28
<i>6. В лесной, деревоперерабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности</i>	
<i>Использовано свежей воды, всего</i>	1456,3
<i>Использовано свежей воды на нужды:</i>	
<i>хозяйственно-питьевые</i>	46,05
<i>производственные</i>	1392,45
<i>орошения</i>	0,05
<i>сельхозводоснабжения</i>	0,22
<i>на прочие нужды</i>	17,53
<i>7. В машиностроении и металлообработке</i>	
<i>Использовано свежей воды, всего</i>	1050,1

1	2
<i>Использовано свежей воды на нужды:</i>	
<i>хозяйственно-питьевые</i>	297,7
<i>производственные</i>	715,7
<i>орошения</i>	2,55
<i>сельхозводоснабжения</i>	0,69
<i>на прочие нужды</i>	33,46
8. В промышленности стройматериалов	
<i>Использовано свежей воды, всего</i>	167,6
<i>Использовано свежей воды на нужды:</i>	
<i>хозяйственно-питьевые</i>	35,7
<i>производственные</i>	128,0
<i>орошения</i>	0,04
<i>сельхозводоснабжения</i>	0,07
<i>на прочие нужды</i>	3,79
9. В пищевой промышленности	
<i>Использовано свежей воды, всего</i>	541,0
<i>Использовано свежей воды на нужды:</i>	
<i>хозяйственно-питьевые</i>	52,6
<i>производственные</i>	471,2
<i>орошения</i>	2,8
<i>сельхозводоснабжения</i>	2,4
<i>на прочие нужды</i>	12,0
10. В легкой промышленности	
<i>Использовано свежей воды, всего</i>	103,6
<i>Использовано свежей воды на нужды:</i>	
<i>хозяйственно-питьевые</i>	19,3
<i>производственные</i>	83,0
<i>орошения</i>	0,02
<i>сельхозводоснабжения</i>	0,01
<i>на прочие нужды</i>	1,27

1	2
<i>11. В жилищно-коммунальном хозяйстве</i>	
<i>Использовано свежей воды, всего</i>	13396,1
<i>Использовано свежей воды на нужды:</i>	
<i>хозяйственно-питьевые</i>	10737,6
<i>производственные</i>	1982,4
<i>орошения</i>	133,4
<i>сельхозводоснабжения</i>	23,7
<i>на прочие нужды</i>	519,0
<i>12. В сельском хозяйстве</i>	
<i>Использовано свежей воды, всего</i>	11288,2
<i>Использовано свежей воды на нужды:</i>	
<i>хозяйственно-питьевые</i>	400,1
<i>производственные</i>	277,5
<i>орошения</i>	7447,5
<i>сельхозводоснабжения</i>	768,3
<i>на прочие нужды</i>	2394,8

В последние годы во всем мире резко возросло потребление сверхчистой воды (солесодержание от 0,2 до 10 мг/дм³) на различные промышленные нужды. Раньше сверхчистая (деионизованная, высокоомная и др.) вода использовалась в небольших количествах в производстве изделий микроэлектроники, получения особо чистых веществ и др. Теперь ее широко применяют в металлургии (смазка и охлаждение трущихся поверхностей), в машиностроении (обработка очищенных поверхностей перед покрытием) и др. Часто результаты бывают непредсказуемы. Так, межремонтные периоды в прокатных цехах могут значительно увеличиваться, что поднимает производительность

этих цехов. Можно различать две стороны положительного влияния использования сверхчистой воды:

1) технологическую, когда существенно улучшаются производственные показатели (например, качество поверхности при промывке сверхчистой водой);

2) экологическую, когда количество используемой сверхчистой воды много меньше обычно применяемой воды; образующиеся стоки на основе сверхчистой можно очистить и кондиционировать до первоначального состояния.

Естественно, в этом случае встает вопрос об экономически приемлемых способах получения сверхчистой воды, которых несколько. По нашему мнению, некоторые преимущества имеют термодистилляционные методы.

СТАБИЛЬНОСТЬ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ

4.1. Показатели стабильности

Итак, вода, циркулирующая в оборотных системах, обычно нестабильна и должна проходить определенную обработку. Остановимся на некоторых способах оценки качества оборотной воды, прежде всего в лабораторных условиях.

В оборотной и сточной воде каждой концентрации ионов HCO_3^- и Ca^{2+} соответствует определенная концентрация растворенной CO_2 , которая зависит от констант равновесия первой K_1 и второй K_2 ступеней диссоциации угольной кислоты, а также от константы произведения активностей (CaCO_3). Эта величина растворенной CO_2 называется «равновесной» углекислотой.

При недостатке CO_2 по сравнению с равновесной концентрацией будет существовать тенденция к распаду части бикарбонатных ионов, что приведет к дополнительному образованию карбонатных ионов и выделению из раствора осадка в виде карбоната кальция.

В том случае, если содержание в воде свободной углекислоты совпадает с необходимой равновесной концентрацией, из воды не выделяется осадок карбоната кальция, и она будет стабильной. Избыток CO_2 в воде может растворять CaCO_3 .

Воду, содержащую свободную углекислоту в концентрации, превышающей равновесную, называют агрессивной.

Для теоретической оценки стабильности воды J_1 применяется метод В.Ф. Ланжелъе, по которому устанавливается степень отклонения данной исследуемой воды от равновесного состояния по величине концентрации водородных ионов – действительной величине рН и вычисленной рН по данным химического анализа (концентрации солей или сухому остатку P

щелочности $Щ$ и содержанию кальция Ca^{2+}) при температуре, с которой она будет использоваться: при $pH = pN_s$ вода стабильна; при $pH > pN_s$ вода дает отложения; при $pH < pN_s$ вода коррозионна.

Этот метод может служить лишь качественным показателем «склонности» природной воды к тому или иному процессу, так как соотношением pH и pN_s определяются не все свойства воды в отношении отложений или коррозии металлов и бетона, а только те, которые зависят от наличия в воде углекислоты при использовании этой воды в системах прямоточной или с повторным использованием (без промежуточного охлаждения). Для систем обратного водоснабжения этот метод слабо применим.

Метод, основанный на непосредственном испытании воды, дает более точные результаты, чем расчетный. В колбу с определенным количеством испытуемой оборотной воды помещается навеска высушенного $CaCO_3$. Проба подвергается тщательному перемешиванию в течение определенного времени (1-2 ч), после чего осадок $CaCO_3$ отфильтровывается и высушивается. Если его масса увеличилась – вода дает отложения, если уменьшилась – вода коррозионна. Однако и этот метод для оборотных и сточных вод бывает недостаточно надежным.

Кроме того, рекомендуется оценку вероятности образования отложений в системе обратного водоснабжения без применения обработки воды производить по величине допустимой предельной щелочности оборотной воды $Щ_{об.дон}$, вычисляемой исходя только из концентрации растворенных солей в оборотной воде P , содержания CO_2 и Ca^{2+} в добавочной воде и температуры охлажденной воды $t_{охл}$.

Однако данные химического анализа воды и величина коэффициента концентрирования не дают еще представления о ее термостабильности. Целесообразно вести контроль за скоростью отложений. Ввиду трудности его осуществления непосредственно на теплопередающей поверхности для практических целей приходится ограничиваться установлением

относительной скорости отложений на индикаторных пластинках (стеклянных «ловчих» или стальных).

По разнице в весе пластинок (при условии, что одновременно не происходит коррозии металла), экспонируемых в исследуемой воде (с отложениями и без них) и высушенных до воздушно-сухого состояния в течение примерно 48 ч, определяется общая скорость отложений (аналогично биологическим обрастаниям). После химического анализа этих отложений и определения содержания в них кальция вычисляется скорость собственно карбонатных отложений.

Скорость отложений:

- весовая, $\text{г/м}^2 \cdot \text{ч}$:

$$C_o = \frac{M_2 - M_1}{FT}, \quad (15)$$

- линейная, мм/мес :

$$h_o = 0,73 \frac{C_o}{\rho_o}, \quad (16)$$

где M_1 и M_2 – вес пластинки до и после экспозиции (с отложениями), г;

F – площадь поверхности пластинки (со всех сторон), м^2 ;

T – продолжительность экспозиции пластинки, ч; 0,73 – коэффициент пересчета; ρ_o – плотность (объемный вес) карбонатных отложений, г/см^3 .

При отсутствии данных исследования можно принимать ρ_o равным, г/см^3 : для рыхлых карбонатных отложений с биологическими обрастаниями – 1,4-2,55 (среднее 1,5); для плотных карбонатных отложений – 2,12-2,54 (среднее 2,28); для железистых карбонатных отложений – 3.

Результаты вычислений заносятся в журнал, затем находится среднее значение скорости отложений C_o и h_o для всех пластинок. Сравнение полученных результатов со скоростью отложений (табл. 9), составленных многочисленными опытами, позволяет отнести исследуемую воду к той или иной группе термостабильности и решить вопрос о целесообразности освежения оборотной воды или ее обработки тем или иным методом.

Шкала термостабильности оборотной воды

Группа термостабильности воды	Скорость карбонатных отложений		Балл термостабильности воды
	г/(м ³ *ч)	мм/мес	
1. Совершенно термостабильная (возможно, коррозионная)	0	0	1
2. Термостабильная	< 0,1	0,033	2
	0,1 -0,25	0,033-0,08	3
3. Ограниченно термостабильная	0,25- 0,5	0,08- 0,16	4
	0,5-1	0,16-0,33	5
4. Не термостабильная	> 1	>0,33	6

При исследовании скорости отложений в натуральных условиях индикаторные пластинки, собранные в кассету, устанавливаются в поток воды за теплообменным аппаратом (в конце его или в трубопроводе). При исследовании на модели пластинки устанавливаются в закрытой специальной кассете.

4.2. Методы предотвращения образования отложений

Необходимость обработки воды для предотвращения образования карбонатных и иных отложений в проектах систем оборотного водоснабжения надлежит устанавливать на основе опыта эксплуатации аналогичных систем на воде данного источника водоснабжения или предварительных исследований на модели системы оборотного водоснабжения с учетом конкретных условий.

При отсутствии опыта эксплуатации и данных экспериментальных исследований обработку охлаждающей воды следует предусматривать

при восполнении систем водой: из подземных источников при её карбонатной жесткости (щелочности) свыше $1,5 \text{ мг-экв/дм}^3$; из поверхностных источников рек и водохранилищ средней полосы или очищенными сточными водами – свыше $2,5 \text{ мг-экв/дм}^3$; из рек и водохранилищ северных районов, а также горноледниковым питанием – свыше $3,5 \text{ мг-экв/дм}^3$. При карбонатной жесткости добавочной воды менее указанных значений можно предусматривать только освежение оборотной воды (продувку системы) путем непрерывного сброса части её и замены водой из источника с использованием продувочных вод в циклах, не предъявляющих особых требований к качеству воды.

В состав отложений минеральных солей входят CaCO_3 ; MgCO_3 ; MgSiO_3 ; BaSO_4 ; Mg(OH)_2 ; Fe(OH)_2 ; Fe(OH)_3 ; CaF_2 ; SiO_2 ; FeS , а также гидроксиды и сульфиды тяжелых металлов, органические вещества (рис. 9).

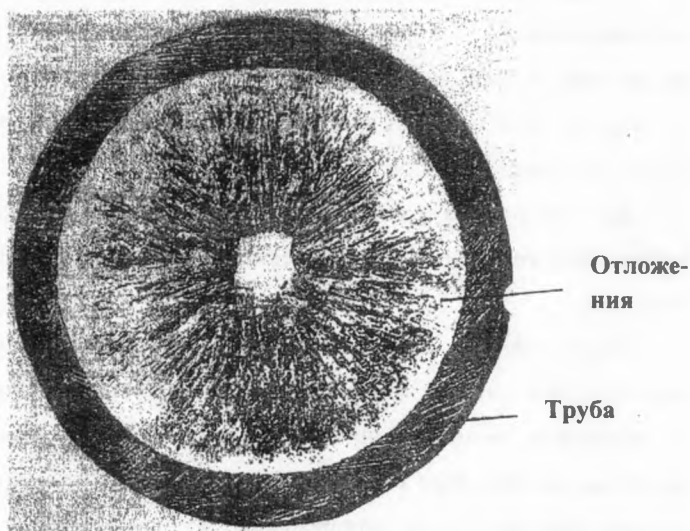


Рис. 9. Общий вид карбонатных отложений

Борьбу с отложениями карбоната кальция и других осадков в теплообменных аппаратах и трубопроводах систем оборотного водоснабжения можно вести следующими традиционными способами:

- непрерывным добавлением в систему оборотного водоснабжения вод с меньшей карбонатной жесткостью при сбросе части отработавшей (оборотной) воды из системы (продувкой);

- подкислением;

- добавлением в оборотную воду веществ, тормозящих процесс кристаллизации карбоната кальция (фосфатирование);

- совместной обработкой воды подкислением и фосфатированием;

- возмещением потерь равновесной углекислоты в системе оборотного водоснабжения путем добавки в воду углекислоты, например дымовых газов (рекарбонизация);

- умягчением добавочной воды известью с осветлением натрий-катионированием или водород-катионированием с голодной регенерацией. Применение этих методов дано в табл. 10.

Кроме того, используют обработку оборотной воды магнитным полем, ультразвуком и др.

Для разрушения и удаления уже образовавшихся отложений широко используют различные механические, химические и физические методы (табл. 11).

Перечисленные методы и результаты их использования давно и подробно описаны, поэтому можно на них не останавливаться.

Широкое использование в практике нашли органофосфонаты – вещества, содержащие одну или несколько фосфоновых групп, – PO_3H_2 . Эти ингибиторы отложений применяются:

- в чистых оборотных циклах (энергетика, металлургия, машиностроение, химическая и нефтехимическая промышленность и др.);

- в системах нагрева воды для централизованного теплоснабжения и горячего водоснабжения;

- в выпарных аппаратах для обессоливания морских и сточных вод;

- в паровых котлах низкого давления.

Характеристика некоторых органофосфонатов (ОФ), выпускаемых ОАО «Химпром» (г. Новочебоксарск), представлены в табл. 12.

Использование ОФ позволяет во многих случаях обходиться без традиционной водоподготовки, что дает значительный экономический эффект. Однако всегда следует проводить предварительные исследования на натурной воде, уделяя особое внимание выбору типа реагента (марки) и необходимой дозе. Такую работу должны проводить специализированные организации.

Таблица 10

Методы обработки оборотной воды для предотвращения отложений

Методы обработки	Уравнение реакции	Область применения	Сущность
1	2	3	4
Реагентный с добавлением: соляной или серной кислоты; фосфатных реагентов: гексаметафосфат, триполифосфат	$\begin{aligned} & \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \\ & + \text{H}_2\text{SO}_4 / 2\text{HCl} = \\ & = \text{CaSO}_4 / \text{CaCl}_2 + \\ & + 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \\ & \\ & \text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18} + \\ & + 2\text{CaCO}_3 = \\ & = \text{Na}_2\text{Ca}_2\text{P}_6\text{O}_{18} + \\ & + 2\text{Na}_2\text{CO}_3 \end{aligned}$	<p>В системе обратного водоснабжения</p> <p>$J_{\kappa} < 5,5 - 6,0$ мг-экв/дм³</p>	<p>При добавлении кислоты происходит снижение в воде гидрокарбоната и освобождение части CO₂.</p> <p>Гексаметафосфат адсорбируется на поверхности кристаллов CaCO₃ в виде пленки, препятствующей росту микрокристаллов CaCO₃.</p> <p>Полифосфат натрия переводит накипь в рыхлый, легко удаляемый шлам путем изменений в форме кристалла</p>

1	2	3	4
Наложение магнитного поля и акустическая обработка		В промышленном водоснабжении для обработки охлаждающей воды	Образование рыхлой структуры отложений солей
Комплексоны		В теплоэнергетике, в нефтедобыче	Ингибирование отложений минеральных солей

Омагничивание оборотной воды для борьбы с отложениями используется в практике достаточно давно. Метод прост в техническом исполнении и сравнительно дешев. Общей теории магнитной обработки воды пока нет. Вероятно, магнитное поле как-то действует на растворенные в воде соли и коллоидные частицы, на молекулы воды, что и приводит к кристаллизации твердой фазы в объеме воды, а не на поверхности.

Выпускают два типа аппаратов для магнитной обработки воды – с постоянными магнитами и электромагнитами. Аппараты с постоянными магнитами удобны и дешевы, но напряженность поля в них невелика. Более широкие возможности имеют аппараты с электромагнитами, позволяющими создавать магнитное поле напряженностью до 400 кА/м. Обрабатываемая вода проходит через кольцевое сечение между корпусом и внутренним источником магнитного поля. Время пребывания воды в аппарате определяется ее скоростью, которая составляет 1,15 - 1,3 м/с.

Эффект магнитной обработки воды зависит от ее температуры, наличия в ней ферромагнитных оксидов железа, условий нахождения воды после обработки, интервала с момента обработки до ее использования.

Магнитную обработку воды приходится использовать только тогда, когда проведены прямые испытания (на существующем оборудовании) с натурной водой. Например, для воды с временной жесткостью рекомендуют устройство МПВ МWS (ООО «Магнитные водные системы»).

Существует метод обработки охлаждающей воды акустическим полем. Для этой цели применяют генераторы с ультразвуковой частотой (10 - 120 кГц колебаний). *Механизм действия акустического поля заключается в создании кавитации,* которая способствует, с одной стороны, нарушению процесса кристаллизации, а с другой – разрушению ультразвуковыми волнами уже образовавшихся отложений на поверхностях нагрева. Обычно акустические аппараты состоят из импульсного генератора, источника ультразвуковых колебаний и преобразователя, который крепится к объекту и преобразует акустические колебания генератора в механические. К достоинствам акустических аппаратов следует отнести компактность и малую потребляемую мощность.

Таблица 11

**Методы обработки охлаждающей воды (ориентировочно)
для предотвращения образования карбонатных отложений в системах
оборотного водоснабжения при нагреве воды до 40-65 °С и охлаждения
на градирнях или брызгальных бассейнах**

Карбонатная жесткость (щелочность) природной воды, мг-экв/дм ³		Методы обработки воды	Условие
реки, водо- хранилища средней по- лосы	подземные источники		
1	2	3	4
<2,5	< 1,5	Освежение оборотной воды (продувка системы)	

1	2	3	4
2,5-4	1,5-3	<p>Подкисление добавочной воды.</p> <p>Допустимо фосфатирование добавочной и освежение оборотной воды при обязательном хлорировании последней</p>	
		<p>Возможна и рекарбонизация оборотной воды</p>	<p>При наличии дымовых газов, содержащих CO_2, и невысоком концентрировании (упаривании)</p>
2,5-5	1,5-5	<p>Подкисление добавочной воды</p>	<p>При условии ограничения концентрации SO_4</p>
		<p>Рекарбонизация оборотной воды</p>	<p>При наличии дымовых газов и невысоком концентрировании</p>

1	2	3	4
4-6	3-5	Подкисление добавочной воды и фосфатирование оборотной воды (совместная обработка)	
> 4-5	-	Умягчение добавочной воды известью с осветлением	Если вода и без того нуждается в осветлении
	>4-5	Умягчение части или всей добавочной воды Na- или H-катионированием с голодной регенерацией	Если вода не нуждается в предварительном осветлении

Примечания

1. Для воды рек и водохранилищ северных районов, а также с горно-ледниковым питанием указанную в таблице карбонатную жесткость (щелочность) следует повысить на 1 мг-экв/дм³.
2. При нагреве воды в производстве ниже 40 °С с температурным перепадом $\Delta t < 5^\circ$ рекомендуемая в таблице величина карбонатной жесткости может быть увеличена на 0,5-1 мг-экв/дм³.
3. При подкислении добавочной воды необходимо считаться с тем, что в оборотной воде содержание ионов Cl^- и SO_4^{2-} было не более соответственно 350 и 600 мг/дм³, а общая щелочность ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$) этой воды была не менее 2 мг-экв/дм³ во избежание развития коррозионных процессов. (На снижение карбонатной жесткости воды на 1 мг-экв/дм³ расходуется 49 мг/дм³ 100%-ной серной кислоты, при этом в воду поступают ионы SO_4^{2-} в количестве 49 мг/дм³).

**Характеристика органофосфатов,
выпускаемых ОАО «Химпром» (г. Новочебоксарск)**

Торговая марка реагента. Химическое наименование. Номер технических условий	Вид товарного продукта	Содержание фосфоната в продукте, %	Плотность, г/см ³	рН	ПДК в питьевой воде, мг/дм ³
1	2	3	4	5	6
ОЭДФК Оксизтилидендифосфоновая кислота ТУ 2439-363-05763441 -2002	Порошок	>94	-	2 (5 %-ный раствор)	0,6
АФОН 200-60А Оксизтилидендифосфоновая кислота ТУ 2439-318-05763441-2001	Водный раствор	58-62	1,44-1,47	2	0,6
Цинк-ОЭДФК Этилидендифосфонато/4/цинкдиНасоль	Водный раствор	17-22	1,1-1,3	7,0-8,0	5,0
НТФ Нитрилотриметилфосфоновая кислота ТУ 2439-246-05763441-99	Порошок	≥92	-	2 (5 %-ный раствор)	1,0

1	2	3	4	5	6
АФОН 300-50А Нитрилотриметил- фосфоновая кислота ТУ 2439-246- 05763441-99	Водный раствор	49-51	1,30- 1,36	2	1,0
Реагент ПАФ-13А Полиаминометилен- фосфонаты ГУ 2439- 360-05763441-2001	Водный раствор	≥ 28	1,3	4-6	5
Ингибитор солесодержания ИОМС-1. Натриевые соли нитриломети- ленфосфоновых новых кислот ТУ 2439-369-0576344 1 - 2003	Водный раствор	≥ 25	1,3-1,41	5,5-7,5	4

Для получения ультразвуковых колебаний используют разнообразные устройства, которые можно классифицировать на две основные группы: механические, в которых источником ультразвука является механическая энергия потока жидкости (газа), и *электро*механические, в которых ультразвуковая энергия получается преобразованием электрической.

Основные факторы, влияющие на выбор акустических устройств:
частота и интенсивность колебаний, продолжительность

экспонирования, производительность, условия работы (температура и давление).

Интересные результаты были получены по предупреждению образования отложений солей жесткости на поверхностях нагрева теплообменного оборудования с использованием антинакипина СК-110, который выпускается по ТУ-245830-33912561-97, не содержит вредных примесей, ПДК в воде 3,5 мг/дм³ согласно ГН 2.1.15.963а-00. Внедряется в соответствии с «Технологическим регламентом на технологию применения реагента СК-110 в системах теплоснабжения и горячего водоснабжения населенных мест и промышленных предприятий». Реагент СК-110 – неопасная жидкость, являющаяся композицией фосфонатов, диспергаторов и специальных присадок. Рекомендуется вводить в обрабатываемую воду в количестве 1- 3,5 мг/дм³.

В настоящее время одной из новых и интенсивно развивающихся технологий водоподготовки является энергоинформационная обработка воды на основе комплекса физических воздействий (гидравлического удара, кавитации, резонансных молекулярных и ультразвуковых колебаний, импульсных электрических разрядов, электромагнитных излучений и др.).

Как следует из ряда докладов, опубликованных в трудах международных конгрессов «Вода. Экология. Технология ЭКВАТЭК», подобная обработка, изменяя некоторые физические свойства воды (поверхностное натяжение, электропроводность, вязкость, рН, молекулярную структуру), придавая молекулам воды строго определенные молекулярные колебания, которые передаются потоком воды на дальние расстояния и сохраняются длительное время, интерферируя с колебаниями молекул и атомов загрязняющих веществ, приводит к возникновению в водных растворах как окислительно-восстановительных реакций с участием соединений металлов и органических соединений, так и солюбилизации (переводу в коллоидную

форму) труднорастворимых карбонатных, сульфатных, фосфатных отложений кальция, магния и оксидов железа.

Учитывая данные физико-химические механизмы, можно полагать, что энергоинформационная водообработка является весьма перспективным, безреагентным, малоэнергоемким и эффективным методом очистки, обеззараживания, кондиционирования воды, а также борьбы с осадкообразованием, коррозией и биообрастанием контактирующих с водными растворами поверхностей.

Одним из примеров аппаратного оформления этого метода для индустриального применения является прибор – кольцо MERUS, производимый фирмой MERUS (Германия). Производительность прибора по обрабатываемой воде составляет от 10 до 33200 м³/сут. Прибор работает без контакта с водой, не требует дополнительных источников питания, компактен, легко монтируется и не нуждается в обслуживании. Внешний вид прибора и схема его установки на трубопроводе показаны на рис. 10.

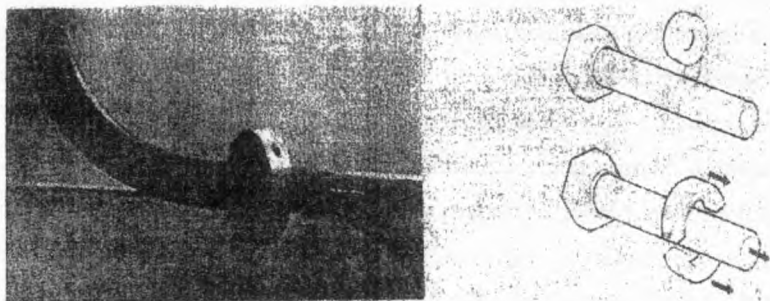


Рис. 10. Внешний вид кольца MERUS и схема его установки на трубопроводе

Еще один пример – использование аквадиска – прибора, не имеющего аналогов и выпускающегося в двух модификациях (500 и 2000).

В основе работы АКВАДИСКА лежит способ передачи и записи энергоинформационных потоков на вещество или комбинацию веществ

(патенты № 2192902, № 2182122). АКВАДИСК-2000 препятствует возникновению циан и сине-зеленых водорослей. Вода в водоемах дольше не зацветает и не загнивает. Он же не только останавливает отложение различных фракций на внутренних стенках емкостей, но и производит очистку от уже накопившихся (например, способствует отслоению ржавчины от внутренней поверхности емкости).

Описаны и другие физические методы удаления накипи и ржавчины. Так, выпускается серия установок «Медиагон» (Швейцария) производительностью от 5 до 110 м³/ч. Устройство эффективно концентрирует электростатические поля из окружающей среды и вместе со слабыми магнитными полями воздействует на растворенные в воде анионы гидрокарбоната, удерживая их в коллоидной форме. Это позволяет перевести процесс кристаллизации с поверхности в объем воды. Медиагон состоит из двух частей, которые закрепляются вокруг трубы на прямом участке. Источник питания для устройства не нужен.

Другая установка похожего действия – Гидрофлоу (Великобритания) – предотвращает возникновение и удаляет любые отложения в системах водоснабжения, охлаждения, в парогенераторах, градирнях, выпарных установках и др. Одновременно она защищает оборудование от внутренней коррозии. Принцип действия установки основан на применении генератора высокочастотных электромагнитных импульсов с переменной частотой. Работой генератора управляет микропроцессор. Потребляемый ток 0,1 А. Оборудование устанавливается поверх трубы. Модели подбирают по наружному диаметру трубы от 2,5 до 200 мм, место установки – перед узлом нагрева воды (котлом, теплообменником и др.).

Разработаны и применяются и другие «физические» установки, однако все они требуют тщательной и длительной проверки в производственных условиях.

4.3. Коррозия и методы защиты металла от коррозии

Коррозией называют самопроизвольное разрушение металлов вследствие физико-химического взаимодействия их с окружающей средой. В практике водоснабжения под материалами подразумеваются различные, обычно черные, металлы, а также оборудование и изделия, которые изготовлены из этих металлов. Средой, в которой происходит коррозия металлов, является вода, следовательно, процессы коррозии связаны с характерными особенностями воды и металла.

4.3.1. Характер и причины коррозии в системах водного хозяйства

Известно, что коррозионный процесс протекает на границе двух фаз: металл - окружающая среда, т.е. является гетерогенным (неоднородным) процессом взаимодействия жидкой или газообразной среды (или их окислительных компонентов) с металлом.

Причины и характеры коррозионных процессов весьма разнообразны: атмосферная и почвенная электрохимическая коррозия; электрохимическая коррозия при контакте металлов с разными значениями электрохимического потенциала; химическая коррозия в жидких (высокосернистые нефти) и газовых средах; электрокоррозия объектов, связанных с электроустановками большой мощности; электрохимическая коррозия в растворах кислот, щелочей, мицеллярных растворов; биокоррозия в присутствии продуктов жизнедеятельности сульфатовосстанавливающих бактерий.

В практике водоснабжения распространена электрохимическая коррозия, происходящая в присутствии электролитически проводящей среды, при которой ионизация атомов металла и восстановление окислительного компонента коррозионной среды протекают не в одном акте и их скорости зависят от электродного потенциала металла.

В практике водоснабжения наблюдается и электрокоррозия, или коррозия под действием так называемых блуждающих токов.

По условиям протекания коррозия в системах водоснабжения представляет в основном электрохимический окислительно-восстановительный процесс, возможность протекания которого определяется изменением свободной энергии системы. Анодный процесс связан с переходом ионов металла в раствор; при катодном процессе происходит ассимиляция электронов содержащимся в растворе деполяризатором (растворенный кислород – кислородная деполяризация, ионы водорода – водородная деполяризация). На одном и том же участке металлической поверхности могут происходить одновременно анодный и катодный процессы.

Нередким случаем в системах оборотного водоснабжения является биологическая коррозия при участии продуктов, выделяемых в процессе биологических обрастаний.

В отдельных случаях происходит коррозия при трении (коррозионная эрозия) – разрушение металла, вызываемое одновременным воздействием коррозионной среды и трением (например, разрушение шейки валков прокатных станков, охлаждаемых морской водой).

По характеру коррозионного разрушения различают следующие виды коррозии:

- сплошная, или общая коррозия, охватывающая всю поверхность металла, находящуюся под воздействием данной коррозионной среды (воды). Сплошная коррозия (рис. 11) бывает равномерной и неравномерной. Равномерная коррозия протекает примерно с одинаковой скоростью по всей поверхности металла, неравномерная – с неодинаковой скоростью на различных участках поверхности металла (что чаще наблюдается при использовании для водоснабжения морской воды);

- местная коррозия охватывает лишь некоторые участки в виде отдельных пятен и язв или отдельных точек диаметром 0,1 - 2 мм (что чаще наблюдается на хромоникелевой нержавеющей стали). Местная коррозия может быть также сквозной и подповерхностной.



Рис. 11. Равномерная коррозия на поверхности металла

Сущность электрохимической коррозии состоит в следующем. Если два разных металла поместить в электролит, то создается гальванический элемент. При этом один металл будет анодом, а другой – катодом. Анод будет посылать свои атомы в раствор и разрушаться, а на катоде будут выделяться атомы вытесняемого из раствора элемента.

То же будет происходить, если поместить железо в воду. Вода является электролитом, анодом же и катодом будет само железо; вернее, на железе одни участки станут анодом, а другие – катодом. Объясняется это тем, что в практике не существует однородных металлов. Некоторая разница в структуре отдельных участков металла за счет включений, наличия окалины, царапин, вмятин и т.д. приведут к тому, что часть одного и того же материала (например, трубы) станет анодной (соответственно тело металла), а другая – катодной (включения и др.) и образуется гальванический элемент.

Скорость коррозии пропорциональна силе тока, проходящего между анодным и катодным участками одного и того же металла, которая по закону Ома:

$$I = \frac{E}{R_A + R_B}, \quad (17)$$

где E – разность потенциалов катода E_k и анода E_a ; R_A – внутреннее сопротивление, т.е. сопротивление жидкой фазы (воды); R_B – внешнее сопротивление, т.е. сопротивление металла.

Посылая свои атомы в воду, железо вытесняет из нее водород, который выделяется на катоде, образуя оксидную пленку. Эта пленка тормозит реакцию. Наличие оксидной пленки на металле сдвигает его потенциал в положительную сторону, следовательно, металл, покрытый оксидной пленкой, будет мало разъедаться, пока эта пленка сохраняется, и тем меньше, чем оксидная пленка плотнее.

При этом анодный процесс заключается в растворении Fe:



а катодный – в разрядке ионов H^+ :



Диссоциация воды $\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$ приводит к постоянной поставке H^+ для катодного процесса, а наличие гидроксидных ионов приводит к образованию гидроксида Fe по реакции



Под воздействием окислителей, прежде всего кислорода, идет дальнейшее окисление железа:



Гидроксиды оксидного железа являются конечными продуктами процесса коррозии (т.ч. ржавчина).

При коррозии металлов в воде выделения водорода обычно не происходит: у менее активных участков металла ионы водорода присоединяют электроны и одновременно соединяются с кислородом, растворенным в воде:



Кислород сильно увеличивает коррозию металлов в воде. Особенно его присутствие опасно в воде систем обратного водоснабжения. Изменение разности потенциалов $E_k - E_a$ называется поляризацией

коррозионного элемента: смещение потенциала анода в положительную сторону при прохождении анодного тока – анодной поляризацией; смещение потенциала катода в отрицательную сторону при прохождении катодного тока – катодной поляризацией.

Вещества, препятствующие процессу поляризации, называются деполяризаторами.

Факторы, влияющие на скорость электрохимической коррозии стали
Существует ряд факторов, ускоряющих или замедляющих коррозию металлических труб и аппаратов.

Влияние величины pH общеизвестно: считается, что с увеличением pH – среды, при прочих равных условиях, коррозия уменьшается, и наоборот – с понижением pH она увеличивается. Значение pH минимальной коррозии будет характерной величиной для каждого металла:

металл	Al	Pb	Sn	Zn	Fe
pH	6,5	8	8,5	11,5	14

В зоне нейтральных значений pH (от 6 до 9) коррозия стали почти не зависит от ее величины, так как растворимость и скорость диффузии кислорода существенно изменяются с изменением величины pH. Снижение скорости коррозии стали при дальнейшем увеличении pH (от 10 до 14) объясняется главным образом уменьшением растворимости продуктов коррозии в щелочах (образование гидратов).

Практически отмечается, что коррозия происходит и при pH 7 - 7,2 с рыхлыми отложениями. При pH > 7,5 продукты коррозии становятся прочными, защищающими металл от разрушения.

Влияние температуры на скорость коррозии стали не одинаковое. В закрытой системе оборотного водоснабжения с увеличением температуры воды коррозия увеличивается. Это объясняется торможением свободного выделения кислорода из воды. Кривые, характеризующие зависимость коррозии от температуры, близки к прямой линии (рис. 12, кривая 1).

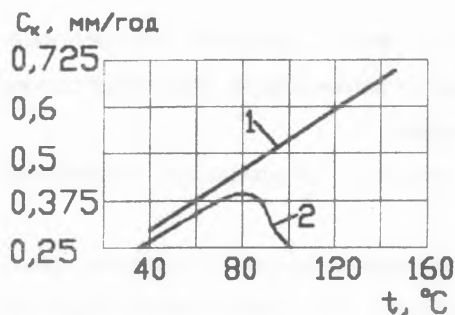


Рис. 12. Зависимость скорости коррозии (C_k , мм/год) стали в воде от температуры t , $^\circ\text{C}$:
 1 – закрытая система;
 2 – открытая система

В открытой системе обратного водоснабжения при температуре воды выше $80\text{ }^\circ\text{C}$ (кривая 2) происходит снижение коррозии вследствие сильного уменьшения растворимости кислорода с повышением температуры.

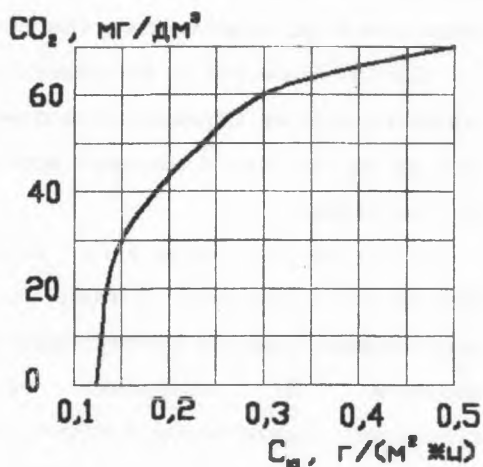
Кислород в отношении коррозии играет двоякую роль: он может быть и усилителем, и замедлителем. Коррозия увеличивается почти пропорционально изменению содержания кислорода в воде.

Кислород необходим для образования защитных пленок. Он в состоянии разрушать водородную пленку на катоде и образует в воде ионы OH^- . Эти ионы являются положительным электродом, который влечет к себе положительные заряды из металла. Указанная выше реакция называется процессом с кислородной деполяризацией.

Углекислота не вызывает сильной коррозии при щелочных и нейтральных водах; при концентрации в воде $\text{CO}_{2\text{своб}}$ в пределах до 30 мг/дм^3 скорость коррозии углеродистой стали остается почти такой же, что и в воде, не содержащей углекислоты (в примере, приведенном на рис. 13, равной $0,13\text{--}0,15\text{ г/(м}^2\cdot\text{ч)}$). Затем она возрастает и превосходит предел допустимости при концентрации $\text{CO}_{2\text{своб}}$ свыше 70 мг/дм^3 . Отрицательное влияние свободной углекислоты заключается в том, что она удерживает в растворе соли кальция и этим препятствует образованию защитной пленки.

Хлориды являются ускорителями коррозии по двум причинам: во-первых, вследствие увеличения кислотности воды; во-вторых, вследствие разрушающего действия, оказываемого хлорид-ионом на защитную пленку.

Рис. 13. Зависимость скорости коррозии углеродистой стали от концентрации свободной углекислоты в воде



Сульфаты влияют на коррозию металла при карбонатной жесткости более 2 мг-экв/дм³ незначительно, но оказывают агрессивное воздействие на бетон. При содержании сульфатов до 300 мг/дм³ вода считается слабоагрессивной, до 600 мг/дм³ — средней агрессивности и свыше 600 мг/дм³ — сильно агрессивной, а более 1200 – 1500 мг/дм³ — очень сильно агрессивной.

Нитраты уже при небольших концентрациях вызывают окисление металла, что способствует образованию на железе защитной пленки. С точки зрения коррозии содержание нитратов до 20 мг/дм³ неопасно.

Кислоты ускоряют процесс коррозии, так как являются деполяризаторами.

Сероводород усиливает коррозию. Он в состоянии вызывать коррозию даже в отсутствие кислорода, образуя элементарную серу и сульфид железа, которые будут катодом в отношении основного металла. В присутствии кислорода сероводород образует сернистую и серную кислоты, которые являются деполяризаторами.

Увеличение скорости движения воды ускоряет коррозию поверхности омываемого металла. При отсутствии движения воды коррозионный процесс происходит между поверхностью металла и прилегающими слоями воды, поэтому быстро наступает поляризация. При движении в реакцию вовлекаются новые слои воды, увеличивается приток кислорода, и коррозия усиливается.

Осадки независимо от их природы способствуют быстрому развитию локальной коррозии. Образовавшиеся из механических примесей, карбонатных или других, отложения вызывают местный перегрев металла и быстрое его разрушение.

Биологические обрастания всегда связаны с осаждением механических примесей, поэтому они также вызывают локальные коррозионные элементы и стимулируют развитие точечной (питтинговой) коррозии. В отдельных случаях могут развиваться сульфатовосстанавливающие бактерии, вырабатывающие H_2S , которыми вызывается также точечная коррозия. В отдельных случаях могут развиваться железобактерии (при содержании в воде железа не менее $0,2 \text{ мг/дм}^3$), которые переводят закисное железо $Fe(OH)_2$ в окисное $Fe(OH)_3$.

Степень коррозионной стойкости материала принято характеризовать скоростью его коррозии при действии агрессивной среды (воды). Коррозионная стойкость металлов при равномерной коррозии и стационарном процессе определяется скоростью коррозии в $[г/м^2 \cdot ч]$ или $[мм/год]$. Коррозионная стойкость неметаллических материалов оценивается качественно по изменению прочности, проницаемости и других свойств материалов.

Оценку степени агрессивного воздействия среды (воды) на незащищенные металлы и неметаллические материалы следует производить по данным испытаний их образцов и показателям, приведенным в табл. 13 и 14. Испытания образцов материала проводятся в лабораторных или натуральных условиях.

Отметим, что в настоящее время имеется значительное количество компактных приборов, которые практически мгновенно определяют степень агрессивности воды (США, Япония и др.). Ими следует пользоваться.

Таблица 13

Десятибалльная шкала коррозионной стойкости металлов в воде

Группа стойкости металла в воде	Скорость коррозии С, г/(м ² *ч)	Проницаемость коррозии Н, мм/год	Балл коррозионной стойкости
I. Совершенно стойкие	< 0,0009	<0,001	1
II. Весьма стойкие	0,0009-0,0045	0,001-0,005	2
	0,0045-0,009	0,005-0,01	3
III. Стойкие	0,009-0,045	0,01 -0,05	4
	0,045-0,09	0,05-0,1	5
IV. Относительно стойкие	0,09-0,45	0,1-0,5	6
	0,45-0,9	0,5-1	7
V. Малостойкие	0,9-4,5	1 -5	8
	4,5-9,1	5- 10	9
VI. Нестойкие	>9,1	> 10	10

Таблица 14

Оценка степени агрессивного воздействия воды на неметаллические материалы по внешним признакам

Степень агрессивного воздействия воды	Характер коррозионного разрушения незащищенного материала после годичной эксплуатации
1	2
Слабая	Слабое шелушение материала (бетон и др.), изменение цвета или вида (древесины, пластика)

1	2
Средняя	Повреждение углов и граней, волосяные трещины в бетоне. Растрескивание и расщепление древесины
Сильная	Ярко выраженное разрушение материала (сильное растрескивание, выпадение отдельных кусков) со снижением прочности

4.3.2. Методы защиты металла от коррозии в системах водного хозяйства

При проектировании систем оборотного водоснабжения с вынужденным применением агрессивной (по отношению к металлу и бетону) воды следует прежде всего выбирать стойкие материалы для оборудования, трубопроводов и сооружений, предусматривать их защиту покрытиями или соответствующую обработку воды. Обеспечение коррозионной стойкости производственных аппаратов и другого оборудования должно предусматриваться в технологических проектах производства с учетом степени агрессивности воды.

Защита металла от коррозии может быть осуществлена многими способами. Выбор того или иного из них в каждом отдельном случае должен основываться прежде всего на знании причин возникновения коррозии, ее формы и т.д. При этом необходимо согласовать следующие требования:

- 1) эффективность защиты;
- 2) сохранение металлом всех требуемых от него механических свойств;
- 3) защита должна быть как можно более дешевой.

Основными традиционными методами защиты металлов от электрохимической коррозии в системах оборотного водоснабжения являются нижеследующие.

Обработка коррозионной среды, представляющая собой в основном нейтрализацию кислых сточных вод (например, в системах оборота промывных вод при травлении металла в кислоте).

Обработка воды замедлителями (ингибиторами) коррозии с образованием защитных оксидных и других неметаллических пленок:

а) к неорганическим замедлителям коррозии относятся нитрат натрия NaNO_3 , хромат калия K_2CrO_4 и бихромат калия $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, силикат натрия Na_2SiO_3 , фосфаты (гексаметафосфат натрия, триполифосфат натрия и динатрийфосфат), ИОМС и др;

б) к органическим замедлителям коррозии относятся глюкозаты хрома, сульфоглюкозаты хрома, сульфоглюкозаты натрия и др.

Защитные покрытия поверхности металлами, пластиком, лаками, красками, смолами, эмалями, эпоксидными составами используются повсеместно.

Электрохимическая протекторная защита металла. Применение того или иного метода должно основываться на исследованиях как скорости коррозии металла без применения его защиты, так и эффективности защиты.

Применение любого вида защиты осуществляется после проведения необходимых исследований, проводимых в лабораторных или натуральных (промышленных, природных) условиях. Методы исследований давно и хорошо известны.

Наиболее дешевой защитной пленкой является самостоятельно образовавшаяся так называемая карбонатная пленка, которая состоит преимущественно из оксидов железа (50 – 70 %) и карбоната кальция (10 – 20 %), остальное – главным образом кремниевая кислота. Такая тонкая пленка, плотно прилегающая к поверхности металла, хорошо его

защищает от коррозии. Однако толщина этой пленки не должна быть больше 0,5 мм во избежание уменьшения теплопередачи стенки аппарата от охлаждаемого продукта к воде.

Карбонатную пленку регулируемой толщины следует создавать путем выбора соответствующего размера освежения оборотной воды (продувки системы), обработки добавочной воды известью (известковым молоком) или известью и содой.

Выделение карбонатной пленки на чистую теплообменную поверхность и стенки трубопроводов с образованием плотной защитной пленки может происходить при карбонатной жесткости оборотной воды не менее 1,5 – 2 мг-экв/дм³, наличии в воде Ca²⁺ и содержании Cl не более 50 мг/дм³ при отсутствии или весьма малом сбросе воды из системы оборотного водоснабжения. При большей карбонатной жесткости воды содержание Cl⁻ в ней может быть допущено до 100 мг/дм³ и более.

Образуемая карбонатная пленка может и не обеспечивать надежную защиту металла от коррозии, однако ее присутствие сводит к минимуму потребное количество других ингибиторов (замедлителей коррозии).

Ингибиторами по своей природе бывают ионные или молекулярные соединения. Они адсорбируются на поверхности корродирующего металла электрохимически или химически; возможна также адсорбция их вследствие одновременного действия разных сил. Адсорбируясь на поверхности корродирующего металла, замедлители тормозят протекание анодного или катодного процесса электрохимической коррозии, или, образуя экранирующую пленку, изолируют металл от электролита, или имеют смешанный характер замедляющего действия.

К анодным замедлителям электрохимической коррозии металлов относятся кислород, нитриты, хроматы и др., которые, пассивируя

металл, затрудняют протекание анодного процесса, т.е. замедляют коррозию.

При недостаточной концентрации анодных замедлителей для наступления полной пассивации металла (особенно в присутствии депассивирующих ионов, например ионов Cl^-) они являются опасными, так как могут вызвать ускорение общей или местной коррозии, действуя как катодные деполяризаторы.

К катодным замедлителям электрохимической коррозии относятся вещества, повышающие перенапряжение катодного процесса при их адсорбции на катодных участках поверхности корродирующего металла: соли или оксиды мышьяка и висмута, желатина и другие органические вещества. При недостаточной концентрации в воде они не вызывают усиления коррозии.

К экранирующим замедлителям электрохимической коррозии металлов относятся вещества, адсорбирующиеся на металле и образующие хемосорбционный слой или чаще защитную пленку нерастворимых продуктов, взаимодействуя с первичными анодными продуктами коррозии ионами растворяющегося металла ($NaOH$ и Na_2CO_3 образуют гидроксиды черных металлов, фосфаты, полифосфаты и бензоаты фосфаты и бензоаты железа; Na_2SiO_3 – силикаты железа и алюминия) или с первичными катодными продуктами – гидроксильными ионами при кислородной деполяризации.

К смешанным замедлителям электрохимической коррозии металлов относятся вещества, тормозящие протекание обоих электродных процессов.

Эффект действия замедлителей коррозии металлов принято характеризовать величиной защитного действия:

$$ЗЭ = \frac{C_{к1} - C_{к2}}{C_{к1}}, \quad (23)$$

где $C_{к1}$ и $C_{к2}$ – скорость коррозии металла без замедлителя и с замедлителем, $г/(м^2 \cdot ч)$.

Методы антикоррозионной обработки оборотной воды рассмотрены в табл.15.

Все металлические элементы систем промышленного водоснабжения и прежде всего трубопроводы нуждаются в защите от коррозии. Эта защита кроме обработки оборотной воды осуществляется и нанесением антикоррозионных покрытий различными способами. Каждое из применяемых покрытий должно отвечать следующим требованиям: создавать барьер проницаемости по отношению к воде, кислороду, агрессивным хлор-ионам; тормозить протекание коррозионного процесса; обеспечивать длительный срок службы; быть достаточно дешевыми.

Для получения «долговечных» покрытий и экономии основного материала защищаемую поверхность предварительно тщательно очищают от продуктов коррозии, пленок, загрязнений и другими механическими (песко- и дробеструйная обработка и др.), химическими (травление, декапир, обезжиривание и др.) и комбинированными способами. При необходимости очищенную поверхность грунтуют (например, фосфатированием) для улучшения качества покрытия и сцепления (адгезии) его с поверхностью металлоизделий.

Таблица 15

Методы стабилизационной обработки коррозионно-активной воды

Методы обработки	Уравнения реакции	Область применения	Сущность метода
1	2	3	4
Реагентный с добавлением: извести едкого натрия сода	$\text{CaO} + 2\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ $\text{NaOH} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaHCO}_3$ $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaHCO}_3$	Сода применяется чаще как дополнительный реагент к первым двум (реже самостоятельно)	При добавлении щелочного реагента происходит связывание агрессивной CO_2 с образованием бикарбонатов

1	2	3	4
Фильтрационный с использованием: мраморной крошки магномассы (полуобожженный доломит CaCO ₃ MgO, обожженный магнезит MgO)	CaCO ₃ +CO ₂ +H ₂ O →Ca(HCO ₃) ₂ 2CO ₂ +MgO+H ₂ O →Mg(HCO ₃) ₂ CO ₂ + +CaCO ₃ +H ₂ O → Ca(HCO ₃) ₂	Ж _к < 2,3- 3 мг-экв/дм ³ Fe < 0,3 мг/ дм ³ t > 3°С и при t < 3°С не более 5 мес/год	При фильтровании воды через загрузку из мраморной крошки или магномассы агрессивная СО ₂ связывается с образованием в большей степени бикарбонатов Mg и в меньшей – Ca
Удаление агрессивных газов СО ₂ , О ₂ , Н ₂ S		Этот метод применяется в сочетании с умягчением, обессоливанием и обезжелезиванием воды	Удаление агрессивных газов происходит за счет их отдувки или взаимодействия с химическими реагентами
Замедлители коррозии		Замедлители коррозии применяются индивидуально или в виде комбинации реагентов	При добавлении замедлителей коррозии происходит образование защитных пленок, уменьшающих скорость растворения металла

Антикоррозийные покрытия, применяемые в системах оборотного водоснабжения, условно можно разделить на три группы: лакокрасочные, пластмассовые и металлические. Наиболее многочисленная группа лакокрасочных покрытий состоит из красок, лаков, смол, эмалей, эпоксидных компаундов, включающих различные наполнители.

Различают обработку внешней и внутренней поверхности. Обработка внешней поверхности, например, черных труб часто

осуществляется нанесением различных битумных покрытий, что удовлетворительно предохраняет их от разрушения почвенной коррозией и коррозией блуждающими токами. Иногда применяют асбоцементные и железобетонные трубы, однако в промышленном водоснабжении их применение ограничено из-за быстрого разрушения.

В качестве примера можно привести современные экономичные покрытия для металлоемких и крупногабаритных (магистральные водоводы, металлические емкости и др.) сооружений водохозяйственного назначения на основе лакокрасочных материалов (ЛКМ), разработанных и внедренных сотрудниками Северо-Казахстанского госуниверситета (г. Петропавловск, Республика Казахстан). Лучшие результаты при работе в слабоагрессивной (оборотная вода) среде показали два вида ЛКМ на основе олифы и битума (растворитель – уайт-спирит) с наполнителями (пигментами) – алюминиевой пудрой или свинцовым суриком – в присутствии диспергирующей и смачивающей добавки ПАВ АС-1 в количестве от 2 до 5% по массе. Для агрессивных сред (производственные стоки) предложена каучуко-смоляная композиция на основе битумных и алкилфенолформальдегидных пленкообразующих, порошковых органических (каучук) и неорганических (пигмент - алюминиевая пудра) наполнителей с добавкой ПАВ АС-1 в тех же количествах. При этом значительно улучшаются (на 3-4 балла) показатели антикоррозийной защиты, уменьшается в 2,5 раза водопоглощение покрытий и повышается их солейстойкость, сокращается (до 40 %) расход пигментов, в 2 раза улучшается укрывистость, повышается на 40 % твердость и на 30 % адгезия.

Защита внутренней поверхности металлических трубопроводов – одна из самых актуальных и трудных проблем. Традиционный метод защиты – гуммирование, т.е. обклеивание поверхности сырой резиной или

эбонитом с последующей вулканизацией. Получаемое покрытие долговечное и химически стойкое.

Достаточно широко используют нанесение цветных металлов, особенно цинка. Перспективное направление – нанесение на внутреннюю поверхность «черной» трубы тонкого слоя легированной стали (плакировка). Практически такая труба может использоваться как нержавеющая, хотя стоимость ее много меньше. Применение титановых, нержавеющих, латунных и других металлических «не черных» труб, баков, реакторов, запорной арматуры и др., к огромному сожалению, ограничено их высокой стоимостью, хотя в практике такие изделия (особенно нержавеющие трубы) имеют огромное преимущество и надо всегда стараться их ставить. В настоящее время общепринятым методом защиты внутренней поверхности (т.е. поверхности, контактирующей с водой) является нанесение различных покрытий из пластмасс – полиэтилена, винипласта, поливинилхлорида и других либо использование метода «труба в трубе», где наружной, несущей является черная труба, а внутренней – пластмассовая. Такая «рабочая поверхность» обладает химической стойкостью, работает в «удобном» диапазоне температур (от 5 до 95 °С), практически не имеет отложений, а главное – дешевле других материалов. Используют и многослойные армированные пластиковые покрытия и трубы-вставки, что еще больше увеличивает срок службы трубопроводов. В химической, а теперь и в других отраслях промышленности используют трубы и другие изделия с эмаль-покрытиями различного состава. Иногда используют стеклянные трубы. Весьма значительное применение в системах водного хозяйства промышленных предприятий нашли трубы из различных пластмасс: полиэтилена низкого и высокого давления, винипласта, фторопласта и др. Такие трубы, кроме упомянутых достоинств, обладают при монтаже высокой технологичностью. Такую трубу (особенно небольшого диаметра) можно «пробросить» на большое расстояние (включая разные

этажи) с минимальным количеством соединений (сварка встык, соединительная муфта, разбортовка конца трубы и фланцевое соединение). Удобны эксплуатация и ремонт такого трубопровода.

На промышленном предприятии различают три вида трубопроводов: внеплощадочные, внутриплощадочные, внутрицеховые. Внеплощадочные трубопроводы (сети) служат для подачи воды на промышленное предприятие для технологических, коммунальных и противопожарных целей. Основное количество воды приходится на технологические процессы. Эту воду условно можно разделить на две части: техническую воду из водоисточника; обратную (возвратную) воду из различного рода накопителей. Возможность забора воды из водоисточника определяется ее качеством, наличием во все периоды года при различной обеспеченности ее необходимого количества, расстоянием до потребителя и другими факторами. В комплекс водоподачи входят заборные сооружения и насосные станции (эти сооружения подробно описаны в соответствующих учебниках, поэтому мы на них не останавливаемся). Подающая воду внеплощадочная сеть может быть проложена как на поверхности земли, так и в траншеях.

Внутриплощадочные сети сооружаются исходя из принципов построения водного хозяйства промышленного предприятия, которое состоит из отдельных самостоятельных схем. Такие локальные схемы (например, чистые и грязные обратные циклы) строятся непосредственно около каждого крупного цеха или группы цехов, что делает «пробег» воды максимально коротким. Таких схем на крупном предприятии может быть несколько десятков. Сложно представить какую-либо объединенную схему с большим расходом обратной воды, которая в случае аварии может остановить все производство. Внутриплощадочные сети могут прокладываться разными способами, однако они должны не мешать работе: проезду транспорта, строительным работам и др. В настоящее время наибольшее распространение получила

прокладка трубопроводов на эстакадах, что экономически выгодно. Авария на трубопроводе видна и может быть быстро ликвидирована. Понятно, что зимой работа ремонтников «не комфортна».

Более дешевые, так называемые подземные, методы прокладки – в траншеях и коробах. Именно поэтому ими достаточно широко пользуются, хотя обнаружить неисправность (течь) в таком трубопроводе достаточно сложно.

Нам наиболее перспективной представляется прокладка трубопроводов в проходных тоннелях. Преимущества очевидны: удобная эксплуатация (светло, вентиляция, нормальная температура), ликвидация аварий в наиболее благоприятных условиях (все всегда видно), любое увеличение пропускной способности (прокладка дополнительной трубы). Тоннели – многоцелевые сооружения – по ним можно комплексно прокладывать любые сети, использовать как пешеходные пути и др. Единственный недостаток – они дороже других способов прокладки (примерно в два раза).

Для трубопроводов, проложенных подземными способами, характерна коррозия блуждающими токами и почвенная, защита от которой осуществляется электрохимическими методами.

В практике используют две разновидности электрохимической защиты: с помощью специального источника постоянного тока (катодная защита) или без него – соединением защищаемого аппарата с металлом, обладающим более отрицательным потенциалом (протекторная защита).

При методе катодной защиты защищаемый объект присоединяют к отрицательному полюсу источника постоянного тока, к положительному полюсу которого подсоединен нерастворимый анод, помещенный в тот же электролит. При этом защищаемый объект является катодом, не подвергающимся коррозионному разрушению. Отрицательный полюс источника тока катодно поляризует весь защищаемый объект и превращает анодные участки коррозионных пар на его поверхности в

катодные. При правильном выборе параметров катодной защиты – защитного потенциала и тока – достигается почти полное предотвращение коррозионного процесса.

При применении метода катодной защиты на защищаемой поверхности образуется нерастворимая в воде пленка, состоящая в основном из карбоната кальция и гидрата окиси магния, которая защищает металл от коррозии в течение длительного времени, даже при отключении источника тока. Недостатком катодной защиты является опасность взрывов вследствие образования искр при подъеме и отключении анодов.

Сущность метода протекторной защиты, так же как и метода катодной защиты, состоит в том, что защищаемый объект подвергают катодной поляризации. В данном случае это достигается введением анодного протектора в ту же агрессивную среду, которая находится в контакте с защищаемым объектом. Протектор изготавливается из металла (алюминия, магния), имеющего малую анодную поляризуемость и значительно более низкий (отрицательный) электродный потенциал по сравнению с потенциалом защищаемого объекта. Между анодным протектором и защищаемым объектом вследствие разности потенциалов протекает электрический ток и происходит катодная поляризация всей поверхности защищаемой конструкции.

Существенным преимуществом протекторной защиты по сравнению с катодной является то, что она не требует специального источника тока и исключает опасность взрыва.

4.4. Биологические обрастания и методы борьбы с ними

В воде открытых водоемов находятся самые различные живые существа (от бактерий до оболочников), которые поселяются на любой твердой поверхности, соприкасающейся с водой. Многие из них (зрелые растения, животные или их личинки) проникают в трубопроводы,

резервуары, теплообменные аппараты и т.п., где и развиваются. Такие поселения называют обрастаниями, а организмы – биогентами.

Физические особенности, химический состав и биологические свойства этих организмов бывают самыми разнообразными и во многом зависят от условий среды. Средства борьбы с обрастаниями могут быть также различными.

В системах оборотного водоснабжения биологические обрастания представляют собой совокупность микроорганизмов, поселившихся и развивающихся на теплообменной поверхности аппаратов, в трубопроводах и на конструкциях охладителей оборотной воды. Эти обрастания образуются вследствие заноса микроорганизмов с водой из источника и наличия благоприятных условий для их размножения в системе оборотного водоснабжения: повышение температуры до 15 – 40 °С, присутствие в воде питательных веществ и растворенного кислорода.

При температуре свыше 42 °С большинство организмов обрастаний развиваться не может.

Основные организмы обрастаний в теплообменных аппаратах (I), градирнях и брызгальных бассейнах (II) представлены ниже

Бактерии	I	II
Зооглейные – <i>Zooglea ramigera</i> , <i>Zooglea uva</i> и др.	+	+
Нитчатые – <i>Sphaerotilus dichotomus</i>	+	+
Железобактерии – <i>Leptothrix ochracea</i> , <i>Crenothrix polyspora</i> , <i>Gallionella ferriqunea</i>	+	-
Серные – <i>Beggiatoa alba</i>	+	-
Водоросли		
Диатомовые (<i>Diatomca</i>) – <i>Cyclotella</i> , <i>Melosira</i> , <i>Navicula</i> , <i>Nitscia</i> и др.	-	+
Зеленые (<i>Chlorophyceae</i>) – <i>Cladophora</i> , <i>Stigeoclonium</i> , <i>Scenedesmus</i> , <i>Pediastrum</i> и др.	-	+

Сине – зеленые (Cyanophyceae) – <i>Osceillatoria</i> , <i>Phormidium</i> , <i>Microcystis</i>	-	+
Простейшие		
Инфузории (Infusoria) – <i>Paramecium cadatum</i> , <i>Vorticella</i> , <i>Carchesium</i> и др.	+	+
Корненожки (Rhizopodia) – <i>Arcella vulgaris</i> , <i>Diffugia pyriformis</i>	+	+
Черви – <i>Nematodes</i> , <i>Oligocheta</i>	+	+
Коловратки – <i>Philodina</i> , <i>Rotaria</i> и др.	+	+
Грибы	+	+
Детрит	+	+
<i>Примечание.</i> Знак (+) показывает наличие этих организмов, а (-) отсутствие.		

В закрытых теплообменных аппаратах неогневого нагрева и в трубопроводах преобладающими формами биологических обрастаний являются главным образом зооглейные, а часто (когда вода загрязнена фекалиями) и нитчатые бактерии. Среди них имеются инфузории, а также другие простейшие и черви; обрастания иногда могут состоять из водных грибков. Попадающие в охлажденную воду (через возможные неплотности в аппаратах) с продуктом или со стоками биогенные элементы (углерод, азот, сера, железо, фосфор и др.) усиливают процесс развития микроорганизмов в теплообменных аппаратах. Например, при более высокой концентрации в воде серы или железа интенсивнее развиваются серобактерии или железобактерии.

В отдельных случаях в теплообменных аппаратах наблюдаются поселения мшанки, для которых температура 45–50 °С не оказывает губительного влияния. Мшанки служат убежищем для всякого рода симбионтов (сожителей), домом для развития бактерий. Иногда

встречаются также грибные обрастания, состоящие из сплетения ветвящихся нитей (гифов) и образующие мицелии.

В холодильниках огневого нагрева (например, фурмы доменных печей, кессоны и пятовые балки мартеновских печей, глассажные трубы нагревательных печей прокатных станков), где вода кипит непосредственно у стенки холодильника, гидробиологические обрастания отсутствуют.

На градирнях и в брызгальных бассейнах, а также в оросительных холодильниках биологические обрастания состоят как из бактерий, так и из водорослей. Водоросли развиваются на освещенных, омываемых водой поверхностях: сине-зеленые и зеленые – в теплое время года; диатомовые – весной и осенью, а иногда и зимой. В составе обрастаний на градирнях и в аппаратах встречаются также инфузории, черви, моллюски и др.

В закрытых теплообменных аппаратах и трубах в составе обрастаний могут быть занесенные водой с градирен водоросли, а также механические минеральные примеси (осадок) и гидрат оксида железа. Механические минеральные примеси и железо обнаруживаются и в обрастаниях градирен, брызгальных бассейнов, оросительных холодильников и резервуаров. Если в охлажденной оборотной воде содержатся нефтепродукты, то и они прилипают к последним по мере их образования.

Качественный и количественный состав и интенсивность биологических обрастаний зависят от физических и химических свойств воды, а также от условия ее использования.

Для развития микроорганизмов необходимы следующие девять элементов: органогены – углерод, водород, кислород, азот; элементы золы – фосфор, калий, сера, магний, железо. Каждый из этих элементов должен находиться в удобоусвояемом для данного микроорганизма соединении.

Бактерии являются основным компонентом обрастаний. Процесс обрастания начинается с бактериальной пленки; первыми появляются студенистые массы зооглейных бактерий, в последующем – простейшие нитчатые бактерии и др. Вслед за ними в обрастании развиваются инфузории одноклеточные и колониальные, а на открытых поверхностях – и водоросли, затем черви и др.

Методы борьбы с биологическими обрастаниями обычно предусматривают использование ядовитых для них веществ, не влияющих на здоровье обслуживающего персонала, безвредных для оборудования и сооружений систем водного хозяйства. В практике достаточно давно для этих целей используют хлор и медный купорос.

Известно, что губительно на микроорганизмы действует свободная углекислота, вводимая в воду в дозах 30-50 мг/дм³ при рекарбонизации ее в целях предотвращения карбонатных отложений, а также магнитная, ультразвуковая и акустическая обработка.

Хлорирование охлаждающей воды. Охлаждающую воду периодически хлорируют, при этом интервалы между подачей хлора в воду и продолжительность каждого периода хлорирования зависят от степени загрязненности воды органическими веществами, микроорганизмами и интенсивности их развития. Режим хлорирования в каждом отдельном случае подбирается опытным путем.

Дозу хлора выбирают таким образом, чтобы в воде, прошедшей через наиболее удаленный от места ввода хлора теплообменный аппарат, концентрация активного хлора в воде в течение 30 - 40 мин была бы около 1 мг/дм³.

В качестве критерия для определения периодичности хлорирования можно принимать время, в течение которого на оmyаемых водой стенках труб образуется слой обрастаний толщиной около 0,5 мм. В связи с тем, что во многих случаях измерение слоя обрастаний в трубах и аппаратах

затруднительно, часто применяют «ловчие» – стеклянные пластинки (индикаторы), устанавливаемые в потоке воды.

Необходимый расход хлора, килограммов в сутки, может быть определен по формуле

$$G_x = \frac{Q D_x t_n}{60 \cdot 1000}, \quad (24)$$

где Q – расход охлаждающей воды, м³; D_x – дозы хлора, г/м³; t_n – продолжительность каждого периода введения хлора, определяемая в процессе эксплуатации в минутах (ориентировочно можно принимать $t = 40 - 60$ мин с тем, чтобы концентрация остаточного хлора в выходящей из теплообменника воде была бы в течение 30-40 мин около 1 мг/дм³); n – число периодов введения хлора в течение суток.

Вводить хлор в обрабатываемую воду следует с помощью хлораторов.

Обработка воды медным купоросом направлена главным образом на борьбу с водорослями, развивающимися в градирнях (водораспределительные лотки, ороситель, стойки, каркас, обшивка и резервуар), а также в брызгальных бассейнах и прудах-охладителях оборотной воды. Для устранения развития водорослей в градирнях и брызгальных бассейнах применяют периодическую обработку воды медным купоросом дозой 12 мг/дм³ в пересчете на Cu (или 4-8 мг/дм³ CuSO₄·5H₂O). Периодичность обработки зависит от интенсивности развития водорослей, она может колебаться от недели (летом) до месяца (в прохладное время года). Продолжительность подачи раствора медного купороса может быть в течение одного часа; при этом желательно подавать этот раствор в воду непосредственно перед градирней.

При обрастании градирен и оросительных холодильников колониями бактерий рекомендуется воду после обработки купоросом обрабатывать в течение 1 ч хлором 7-10 мг/дм³ непосредственно перед охладителями.

Устройство для растворения и дозирования медного купороса показано на рис. 14.

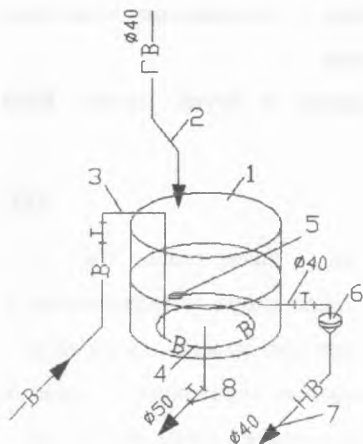


Рис. 14. Устройство для растворения и дозирования медного купороса: 1 – бак растворный; 2 – подвод горячей воды; 3 – подвод воздуха; 4 – перфорированная воздушная труба; 5 – поплавковый дозатор; 6 – воронка; 7 – трубопровод к камере нагретой воды; 8 – промканализация

При использовании для целей водоснабжения вод из озер и водохранилищ нередко возникают существенные затруднения из-за обильного развития в них в определенные периоды года планктона – так называемого «цветения» воды. Для борьбы с его развитием также применяют купоросование воды дозой от 0,1 до 0,5 мг/дм³ Cu.

Расход купороса для обработки воды в водоеме рассчитывается на создание необходимой концентрации в верхнем слое воды толщиной 1-2 м. Купоросование производится с лодок, а также самолетами санитарной службы.

4.4.1. Обеззараживание оборотной воды

Обеззараживание давно и в больших масштабах применяется на практике для питьевой воды, обработанных (очищенных) стоков и осадков, в том числе и для оборотной воды. Процесс обеззараживания (дезинфекции) сводится к уничтожению болезнетворных (патогенных) сред (например, микробиологических, вирусных) и получению эпидемиологически безопасных водных систем. В настоящее время используется 15 промышленных методов обеззараживания воды, которые можно условно разделить на химические (окислительные) и физические. Выбор метода зависит от многих факторов: качества исходной воды, технико-экономических, гигиенических показателей процесса

обеззараживания, конкретной ситуации на месте. Если оборотная вода загрязнена бактериально, она может влиять на окружающую среду (в том числе на человека) за счет попадания капель в атмосферу (каплеунос) и за счет сброса продувочных вод. Здесь обеззараживание необходимо. Перечислим различные методы обеззараживания. Химические: хлорирование (в том числе с аммонизацией), использование гипохлорита натрия, диоксида хлора, смесей хлорпроизводных; озонирование; ПГМГ; обработка перекисью водорода; олигодинамические методы (обработка серебром). Физические: термический; ультрафиолетовое и ультразвуковое; электроразрядное и ионизирующее облучение. Практическое использование их различно. Для оборотной воды применение химических методов, видимо, не рационально, поскольку будет происходить накопление в воде растворимых примесей, да и рабочая атмосфера в производственных условиях будет ухудшаться. Пока наиболее широко применяют ультрафиолетовую обработку воды, иногда дополняя ее химической (гипохлорит натрия) или физической (ультразвук). Однако следует отметить, что применять повсеместно обеззараживание оборотной воды едва ли нужно. Трудно представить, как оборотная вода, например теплоэнергетических производств, может загрязниться патогенными примесями.

ОХЛАЖДЕНИЕ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ

5.1. Процессы охлаждения воды в охладителях

В промышленной практике более 80 % всей циркулирующей воды нагревается и далее подвергается охлаждению до первоначальных температур перед повторным использованием, что и обеспечивает работу любого промышленного предприятия.

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

Поскольку теплоемкость и влагоемкость воздуха относительно невелики, для охлаждения воды требуется интенсивный воздухообмен. Например, для понижения температуры воды с 40 до 30 °С при температуре воздуха 25 °С на 1 м³ охлаждаемой воды к испарительному охладителю должно быть подведено около 1000 м³ воздуха, а к радиаторному охладителю, в котором воздух только нагревается, но не увлажняется, – около 5000 м³ воздуха.

Испарительные охладители по способу подвода к ним воздуха разделяются на открытые, башенные и вентиляторные. К открытым охладителям относятся водохранилища-охладители (или пруды-охладители), брызгальные бассейны, открытые градирни. В них движение воздуха относительно поверхности охлаждаемой воды обуславливается

ветром и естественной конвекцией. В башенных охладителях – башенных градирнях – движение воздуха происходит в результате естественной тяги, создаваемой высокой вытяжной башней. В вентиляторных охладителях – вентиляторных градирнях осуществляется принудительная подача воздуха с помощью нагнетательных или отсасывающих вентиляторов.

Радиаторные охладители, которые называют также сухими градирнями, по способу подвода к ним воздуха могут быть башенными или вентиляторными.

Для охлаждения циркуляционной воды до достаточно низких температур требуется большая площадь контакта ее с воздухом – около 30 м^2 на $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ охлаждаемой воды. Соответственно этому принимается площадь зеркала воды водохранилищ – охладителей. В градирнях необходимая площадь контакта создается путем распределения воды над оросительными устройствами, по которым она стекает под действием силы тяжести в виде тонких пленок или капель, разбивающихся при попадании на рейки на мельчайшие брызги. В брызгальных бассейнах для создания необходимой площади контакта с воздухом вода разбрызгивается специальными соплами на мельчайшие капли, суммарная поверхность которых должна быть достаточной для испарительного охлаждения.

При охлаждении воды в испарительных охладителях понижение ее температуры определяется совместным действием различных по физической природе процессов: теплоотдачи соприкосновением (переноса теплоты путем теплопроводности и конвекции) и поверхностного испарения воды (превращения части ее в пар и переноса пара путем диффузии и конвекции).

В результате теплоотдачи соприкосновением вода отдает теплоту, если ее температура выше температуры воздуха, и получает теплоту, если ее температура ниже температуры воздуха.

Удельное количество теплоты, переданной при теплоотдаче соприкосновением, определяется по формуле

$$q_c = \alpha(t - \theta), \quad (25)$$

где q_c – удельное количество теплоты, кДж/(м²*ч); α – коэффициент теплоотдачи соприкосновением, кДж/(м²*ч*°С); t – температура поверхности воды, °С; θ – температура воздуха, °С.

Поверхностное испарение жидкости происходит, когда парциальное давление пара, содержащегося в воздухе, меньше давления насыщения пара при температуре поверхности жидкости.

Удельное количество теплоты, теряемой водой в результате испарения, определяется по формуле

$$q_u = \beta(e_m - e), \quad (26)$$

где q_u – удельное количество теплоты, кДж/(м²*ч); β – коэффициент теплоотдачи испарением, кДж/(м²*ч*Па); e_m – давление насыщения пара при температуре поверхности воды, Па; e – парциальное давление водяного пара в воздухе (абсолютная влажность воздуха), Па.

Сумма удельных количеств теплоты, передаваемой через водную поверхность в результате совместного действия теплоотдачи соприкосновением и поверхностного испарения:

$$q_0 = q_c + q_u = \alpha(t - \theta) + \beta(e_m - e). \quad (27)$$

Когда $t > \theta$, оба процесса действуют в одном направлении, вызывая охлаждение воды. При $t = \theta$ теплоотдача соприкосновением прекращается, и охлаждение воды происходит только благодаря поверхностному испарению. Вода будет продолжать охлаждаться и при $t < \theta$ до тех пор, пока количество теплоты, передаваемой воздухом воде соприкосновением, не сравняется с количеством теплоты, теряемой водой в результате испарения, т.е. пока не будет соблюдаться равенство $q_c + q_u = 0$. Температура воды в этот момент достигнет того же значения, которое имеет температура охлаждающего воздуха τ , измеренная смоченным термометром. Это значение температуры является

теоретическим пределом охлаждения воды воздухом. Отметим, что хотя охлаждение воды при температуре ее, равной t , прекратится, испарение ее и приток к ней теплоты будут продолжаться.

Фактически вода в охладителях не охлаждается до теоретического предела. Например, температура воды, охлажденной на градирнях, обычно на 8 – 14 °С превышает температуру воздуха по смоченному термометру, но может оказаться ниже температуры воздуха, измеренной обычным (сухим) термометром.

Таким образом, при испарительном охлаждении может быть достигнута температура воды, более низкая, чем температура воздуха.

При охлаждении воды в открытых водоемах с большим зеркалом воды кроме теплоотдачи соприкосновением и испарением происходит также теплообмен излучением. Последний процесс протекает путем проникания солнечной лучевой энергии (радиации) через открытую поверхность воды. При этом часть солнечной радиации отражается от поверхности воды. В то же время происходит излучение теплоты водной поверхностью как всяким нагретым телом или средой (эффективное излучение).

Удельное количество теплоты, переданной воде излучением, определяется радиационным балансом:

$$R=(Q+q)n(l-a)-I, \quad (28)$$

где R – радиационный баланс, МДж/(м²*сут); Q – прямая солнечная радиация, МДж/(м²*сут); q – рассеянная солнечная радиация, МДж/(м²*сут); n – общая облачность в долях единицы; $(Q+q)n$ – суммарная солнечная радиация при общей облачности, МДж/(м²*сут); a – характеристика отражательной способности воды или альbedo в долях единицы; $(Q+q)n(l-a)$ – поглощенная водой суммарная радиация, МДж/(м²*сут); I – эффективное излучение водной поверхностью, зависящее от температуры воды и общей облачности, а также от температуры и влажности воздуха, МДж/(м²*сут).

Сумма удельных количеств теплоты, передаваемой через водную поверхность открытого водоема:

$$q_a = q_c + q_u - R. \quad (29)$$

Солнечная радиация может заметно снижать охлаждающий эффект испарительного охлаждения. Поэтому температура воды, охлаждаемой в открытом водоеме, не может достичь температуры, измеренной смоченным термометром. Теоретическим пределом охлаждения в этом случае является естественная температура воды на поверхности водоема при установившихся метеорологических условиях, удовлетворяющая равенству

$$q_c + q_u - R = 0. \quad (30)$$

Теплообмен в радиаторных охладителях. Теплота от воды к воздуху в радиаторных охладителях передается через стенки трубчатых радиаторов, в которых циркулирует охлаждаемая вода.

Удельное количество теплоты, переданной через стенку радиатора, определяется по формуле

$$q_p = \alpha_p(t - \theta), \quad (31)$$

где q_p – удельное количество теплоты, кДж/(м²*ч); α_p – общий коэффициент теплопередачи от воды к воздуху через стенку радиатора, кДж/(м²*ч*°С); t – температура воды, проходящей через радиатор, °С; θ – температура обтекающего радиатор, °С.

Общий коэффициент теплопередачи α_p зависит от теплопроводности материала, из которого выполнен радиатор, толщины стенки его трубок, а также от интенсивности теплоотдачи от воды к внутренней поверхности трубки и от наружной поверхности трубки к воздуху. Он определяется по формуле

$$1/\alpha_p = 1/\alpha_1 + s/\lambda + 1/\alpha_2, \quad (32)$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от воды к внутренней поверхности трубки радиатора, кДж/(м²*ч*°С); s – толщина стенки радиатора, м; λ –

теплопроводность материала радиатора, $\text{кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{С})$; α_2 – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности трубки радиатора к воздуху, $\text{кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{С})$.

Коэффициент α_2 имеет весьма низкие значения даже при больших скоростях воздуха, обтекающего радиаторы. Для компенсации плохой теплоотдачи к воздуху необходимо увеличить поверхность радиаторов. Поэтому они выполняются с ребрами на наружной поверхности трубок.

5.2. Водохранилища-охладители

По назначению, расположению и условиям питания водохранилища-охладители разделяются на следующие группы:

- регулирующие водохранилища на водотоках, используемые не только для охлаждения циркуляционной воды, но и для сезонного или многолетнего регулирования стока;
- водохранилища-охладители на водотоках без регулирования стока, сооружаемые для создания поверхности, достаточной для охлаждения циркуляционной воды;
- водохранилища-охладители на естественных озерах и прудах;
- наливные водохранилища, сооружаемые вне водотока, с подпиткой из ближайших рек.

Схемы циркуляции воды в водохранилищах-охладителях. Свободная поверхность водохранилища-охладителя не вся одинаково эффективно участвует в отдаче теплоты, поступающей с нагретой циркуляционной водой. Количество теплоты, отводимой с единицы площади того или иного участка поверхности водохранилища, зависит от температуры воды на этом участке. Поэтому при теплотехническом расчете водохранилища-охладителя необходимо представить картину распределения температур по его поверхности; следовательно, необходимо составить схему распределения потока теплой воды от точки ее сброса до места ее приема.

Схема циркуляции в водохранилище-охладителе определяется его формой, взаимным расположением водосбросных и водоприемных

сооружений, а также струераспределительными и струенаправляющими сооружениями.

При проектировании современных мощных электростанций крупных водохранилищ-охладителей с глубинами, достигающими десятков метров, и с объемами воды в сотни миллионов кубических метров следует учитывать, что кроме градиентных течений, вызываемых сбросом циркуляционного расхода и поступлением речной воды, в водохранилищах возникают также ветровые, плотностные и компенсационные течения.

Ветровые течения приводят к сгону воды от подветренной стороны водоема и к нагону ее у наветренной стороны. Возникающий при этом горизонтальный градиент давления, направленный в сторону, противоположную ветру, вызывает один из видов глубинных компенсационных течений.

Известно, что вода имеет максимальную плотность при температуре 4 °С, а при нагревании ее плотность уменьшается. Передача теплоты в водную толщу вследствие молекулярной диффузии и теплопроводности весьма слаба. Поэтому при прогреве верхних слоев воды возникает температурная стратификация: температура воды на поверхности оказывается выше, чем в глубинных слоях, и эта разница достигает иногда 10 °С и более. При выпуске теплой воды на поверхность водохранилища может возникнуть устойчивая разница температур воды в верхних и нижних слоях и произойти расслоение потоков, имеющих различную плотность. В этом случае возникают верхнее теплое и глубинное холодное течения, которые могут быть разнонаправленными. Такие течения называются плотностными.

При сбросе нагретой воды в водохранилище у сбросных сооружений часто наблюдается понижение температуры воды на несколько градусов. Это объясняется тем, что нагретая вода, если она выходит в водохранилище со значительными скоростями, эжектирует массы

холодной воды из придонных слоев и вовлекает их в циркуляционный поток. Этот смешанный поток, имея меньшую плотность, чем придонные слои, выходит на поверхность, а по направлению к сбросным сооружениям возникает глубинный ток холодной воды, являющийся вторым видом компенсационных течений.

Из-за отсутствия надежных методов не представляется возможным установить расчетным путем действительную сложную картину распределения течений и температур воды на поверхности и в глубине водохранилища – охладителя; при решении практических инженерных задач приходится принимать весьма упрощенную схему течений.

Считается, что с поверхности водоворотов теплоотдача происходит с меньшей интенсивностью, чем с поверхности транзитного потока. Площадь действительной поверхности водохранилища заменяется, согласно предложению Н.М. Вернадского, «площадью активной зоны», которая учитывает теплоотдачу транзитного потока и смежных с ним водоворотов. Отношение площади активной зоны $\omega_{\text{акт}}$ к площади действительной поверхности водохранилища $\omega_{\text{в}}$ называется коэффициентом использования площади водохранилища:

$$K = \omega_{\text{акт}} / \omega_{\text{в}}. \quad (33)$$

Этот коэффициент в зависимости от формы водохранилища, схемы расположения водосбросных и водозаборных сооружений и условий растекания циркуляционного потока имеет значение от 0,5 до 0,95.

Более надежные данные для проектирования, в частности значения коэффициента использования площади водохранилища-охладителя, могут быть получены по результатам гидротермического моделирования на крупномасштабной модели водохранилища, которое проводится по методикам, разработанным ВНИИГ им. Б.Н. Веденеева и другими институтами.

Для того чтобы распределить транзитный поток циркуляционной воды по возможно большей части поверхности водохранилища и создать

площадь активной зоны, достаточную для охлаждения расчетного расхода, воду, нагретую на промышленном предприятии, сбрасывают на значительном расстоянии от водозаборных сооружений, а также используют струенаправляющие и струераспределительные сооружения.

Установлено, что в больших и глубоких водохранилищах-охладителях, которые сооружаются, например, для современных мощных теплоэлектростанций, возможно создание объемной циркуляции воды. Для этого необходимо осуществить забор воды только из глубинных слоев водохранилища, а нагретую воду сбрасывать на поверхность водохранилища с малыми скоростями. Тогда можно располагать сбросные сооружения вблизи водозаборных и даже совмещать их в одном сооружении. При этом нагретая вода, имеющая меньшую плотность, чем холодная, растекается по поверхности водохранилища и, охлаждаясь, переходит в глубинные слои, которые движутся к водозаборным сооружениям. Такая схема циркуляции позволяет отказаться от длинных отводящих каналов и струенаправляющих сооружений при высоком коэффициенте использования площади водохранилища.

Некоторые решения организации водохранилищ-охладителей и схем расположения сооружений, предназначенных для обеспечения наиболее полного использования их поверхности для охлаждения воды, приведены на рис. 15.

Здесь представлены:

- водохранилище вытянутой формы на водотоке (рис. 15, а); циркуляция обеспечивается отводящим каналом и струенаправляющей дамбой перед водозаборным сооружением;

- водохранилище сложной формы на водотоке (рис. 15, б); циркуляция обеспечивается перегораживающей дамбой и искусственной прорезью;

- широкое водохранилище на водотоке (рис. 15, в); циркуляция обеспечивается струенаправляющей дамбой;

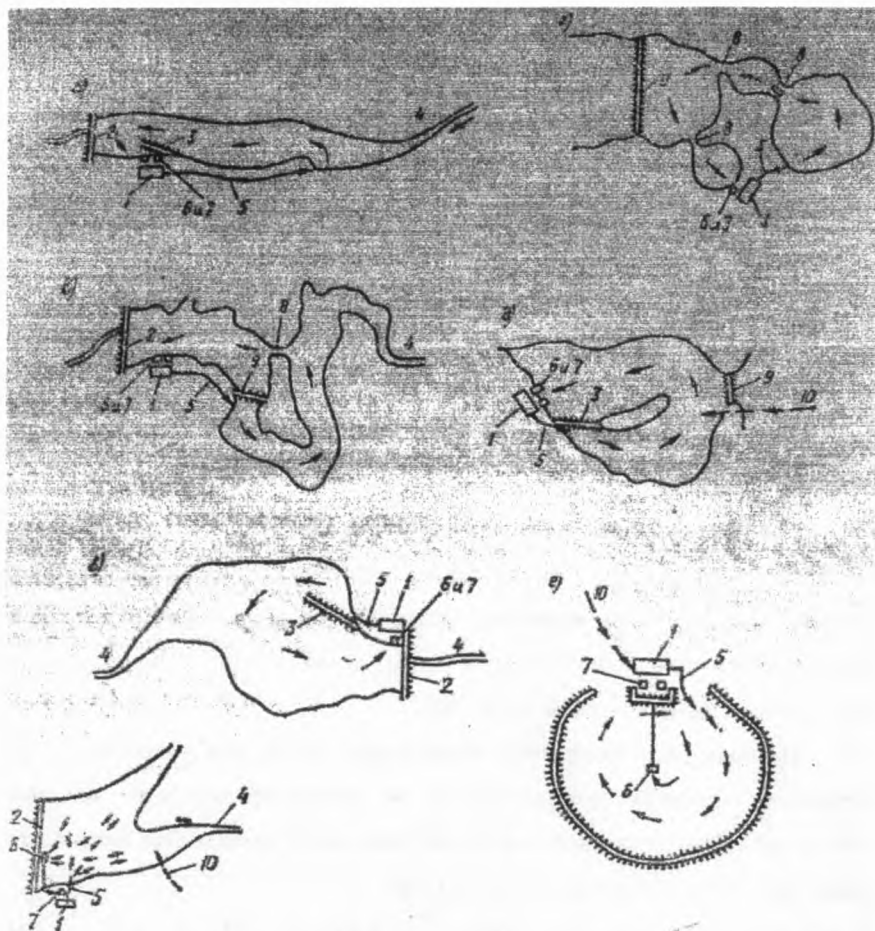


Рис. 15. Конфигурация и устройство водохранилищ – охладителей:
 1 – промышленное предприятие; 2 – плотина; 3 – струенаправляющая
 дамба; 4 – река; 5 – отводящий канал; 6 – водозаборное сооружение;
 7 – насосная станция; 8 – прорезь; 9 – перегораживающая дамба;
 10 – подача воды из соседней реки

- система естественных озер, используемая для охлаждения воды (рис.15, з);

- наливное водохранилище, для сооружения которого удачно использован рельеф местности (рис. 15, д);

- наливное водохранилище с круговой циркуляцией воды и водозаборным сооружением в центре (рис.15, е);

- глубокое водохранилище на малом водотоке с выпуском нагретой воды на поверхность и глубинным водозаборным сооружением, расположенным вблизи выпуска (рис. 15, ж);

- циркуляция воды объемная с разнонаправленными поверхностными и глубинным потоками.

Тепловой расчет водохранилища–охлаждителя. Тепловой расчет производится для определения температуры охлажденной воды у места ее забора при заданной площади активной зоны или для определения необходимой площади активной зоны водохранилища при заданных тепловой и гидравлической нагрузках.

Температура охлажденной воды определяется для установившегося теплового режима применительно к метеорологическим условиям наиболее неблагоприятной для охлаждения воды декады. Это достигается решением уравнения теплового баланса:

$$Q_1 t_1 + Q_p t_p - Q_2 t_2 - Q_{сбр} t_{сбр} = [A(e_m - e) + B(k_1 t_{ср} - \theta) - R + \Delta I] \omega_{акт}, \quad (34)$$

где $Q_1 t_1$ – количество теплоты, сбрасываемой в водохранилище с нагретой водой, МДж/сут; $Q_p t_p$ – количество теплоты, приносимой с речной водой, МДж/сут; $Q_2 t_2$ – количество теплоты, забираемой с водой из водохранилища, МДж/сут; $Q_{сбр} t_{сбр}$ – количество теплоты, сбрасываемой из водохранилища, МДж/сут; $A(e_m - e)$ – удельное количество теплоты, отдаваемой поверхностью водохранилища путем испарения, МДж/(м²*сут); e_m – давление насыщения пара при температуре поверхности воды, Па; e – парциальное давление водяного пара в воздухе (абсолютная влажность воздуха), Па; $B(k_1 t_{ср} - \theta)$ – удельное количество

теплоты, отдаваемой поверхностью водохранилища путем конвекции (соприкосновением), $\text{МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$; k_1 – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения температур воды по глубине водохранилища; t_{cp} – средняя температура активной зоны водохранилища–охладителя, $^{\circ}\text{C}$; R – радиационный баланс непогреваемого водоема, $\text{МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$; Δl – дополнительное эффективное излучение водной поверхностью, $\text{МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$.

Коэффициенты теплоотдачи принимаются равными:

• коэффициент теплоотдачи испарением,
 $\text{МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут} \cdot \text{Па})$,

$$A = 0,0314 - 0,231(1 + 0,135 \omega_{200}); \quad (35)$$

• коэффициент теплоотдачи конвекцией, $\text{МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут} \cdot ^{\circ}\text{C})$,

$$B = 0,314 * 0,11(1 + 0,135 \omega_{200}), \quad (36)$$

где ω_{200} – скорость ветра на высоте 2 м над поверхностью воды, м/с.

Из уравнения теплового баланса определяется средняя температура воды в пределах активной зоны водохранилища–охладителя t_{cp} . Температура охлажденной воды t_2 , поступающей в водозаборное сооружение, определяется из следующего уравнения:

$$t_{cp} = t + \frac{t_1 - t_2}{\ln \frac{t_1 - t}{t_2 - t}}, \quad (37)$$

где t – естественная температура воды в водохранилище без учета подогрева ее теплотой, отводимой от промышленного объекта;

t_1 – температура нагретой циркуляционной воды, сбрасываемой в водохранилище от промышленного предприятия.

Естественная температура воды для проектируемого водохранилища–охладителя может быть принята равной температуре воды в водоемах, расположенных в том же районе, или определена по уравнению теплового баланса

$$A(e_m - e) + B(k_1 t_e - \theta) - R = 0, \quad (38)$$

которое решается подбором относительно t_e .

Для облегчения практических расчетов можно пользоваться номограммой на рис. 16; при этом следует подсчитать удельную площадь активной зоны $\omega_{ул}$, приходящуюся на единицу расхода охлаждаемой воды, $\text{м}^2/(\text{м}^3 \cdot \text{сут})$. По номограмме определяется перегрев охлажденной в водохранилище циркуляционной воды, поступающей к месту ее забора, по сравнению с естественной температурой воды ($t_2 - t_e$) в зависимости от величины нагрева воды на электростанции (перепада температур $\Delta t = (t_2 - t_e)$).

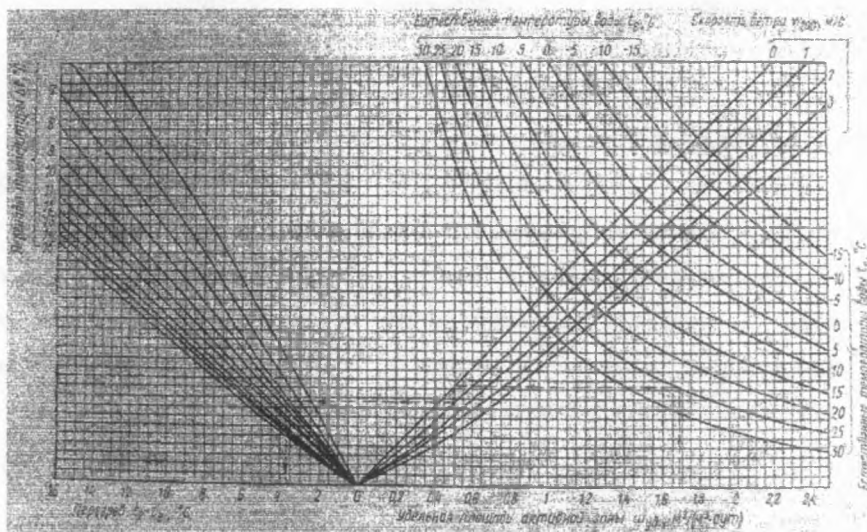


Рис. 16. Номограмма для расчета теплового баланса водохранилища – охладителя

Для ориентировочных расчетов можно принимать необходимую площадь водохранилища-охладителя от 30 до 50 м^2 для охлаждения 1 $\text{м}^3/\text{ч}$ воды на 8 - 10 $^{\circ}\text{C}$.

Основные сооружения водохранилищ-охладителей
 Проектирование платин, дамб, водосбросов и каналов для водохранилищ-охладителей производят по соответствующим нормам проектирования гидротехнических сооружений.

Место расположения водосбросных и водозаборных сооружений, а также сооружений, увеличивающих активную зону водохранилища (струераспределительных и струенаправляющих сооружений), выбирают исходя из условий получения необходимой площади активной зоны на основе технико-экономических расчетов.

Струенаправляющие и струераспределительные сооружения выполняют в виде водосливов, лотков, труб, консольных водосбросов. Струераспределительные сооружения наиболее целесообразно выполнять в виде затопленных водосливов распластанного профиля либо в виде фильтрующих дамб из каменной наброски. Такие сооружения обеспечивают выпуск теплой воды на поверхность водохранилища с малыми скоростями, что предотвращает появление глубинного течения к водосбросу.

Наиболее рациональным типом сооружения для забора воды из водохранилища-охладителя глубиной не менее 4-5 м является глубинный водозабор, обеспечивающий получение воды из придонных слоев. При этом достигается наиболее низкая температура охлаждаемой воды, предотвращается или резко уменьшается захват биологических загрязнений (микроорганизмов, низшей водной растительности, личинок моллюсков), достигается наиболее рациональная продувка водохранилища, резко уменьшается захват рыбы и, что особенно важно, мальков, которые обитают обычно на небольших глубинах. Глубинный водозабор обеспечивает также бесперебойную подачу воды к потребителям при шуговых явлениях без принятия мер по обогреву водозабора. Во избежание подсосывания воды из верхних слоев входные окна глубинного водозабора должны быть расположены на достаточной глубине, а входные скорости воды должны быть минимальными. В зависимости от глубины расположения верхней кромки входного окна водозабора входные скорости принимаются от 0,1 до 0,3 м/с.

Глубинные водозаборы выполнялись ранее в виде забральных стенок, погруженных на определенную глубину и образующих входные проемы между дном водохранилища и нижней кромкой стенки. В последние годы широкое применение получили водозаборные сооружения в виде подводной галереи со щелью переменного сечения во фронтальной стенке и козырьком над щелью (рис. 17). Такое водозаборное сооружение не подвергается воздействию волновых и ледовых нагрузок и обеспечивает равномерное поступление воды по всему водозаборному фронту.

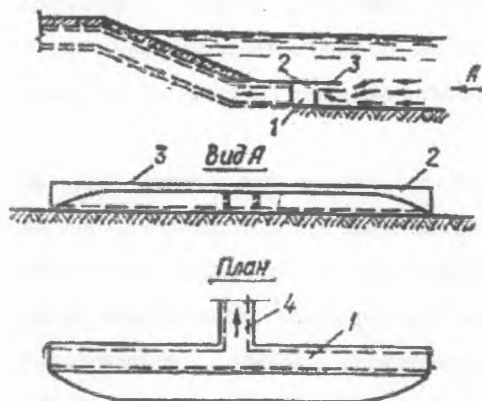


Рис. 17. Водозаборное сооружение в виде подводной галереи: 1 – подводная галерея; 2 – щель переменного сечения; 3 – козырек; 4 – самотечный водовод к насосной станции

5.3. Брызгальные устройства

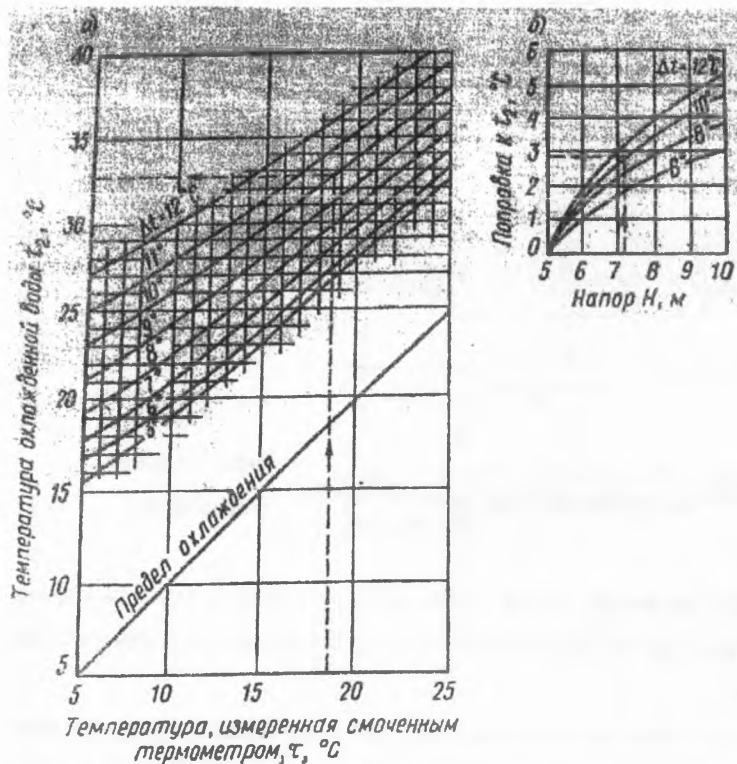
Брызгальные устройства представляют собой систему сопел, разбрызгивающих подводимую к ним под напором воду, подлежащую охлаждению.

Суммарная поверхность капель должна быть достаточной для охлаждения воды, которое происходит в результате ее испарения при контакте с воздухом, поступающим к брызгальному устройству.

Сложность механизма процесса охлаждения воды, происходящего в брызгальных устройствах, затрудняет разработку теоретических методов их теплового расчета. Поэтому для определения температуры

охлажденной в них воды пользуются эмпирическими зависимостями, полученными на основе опытных данных.

На рис. 18 а приведен график зависимости температуры охлажденной воды от температуры воздуха, измеренной смоченным термометром, при напоре перед соплами $H=5$ м и скорости ветра $w = 2$ м/с. При большем напоре из температуры охлажденной воды, полученной по основному графику, вычитается поправка, определяемая по дополнительному графику (рис. 18, б).



Брызгальные устройства могут размещаться либо над искусственным бассейном, служащим для сбора охлажденной воды (рис. 19), либо над естественным водоемом (например, в качестве дополнительных охладителей при ограниченных размерах водохранилищ-охладителей).

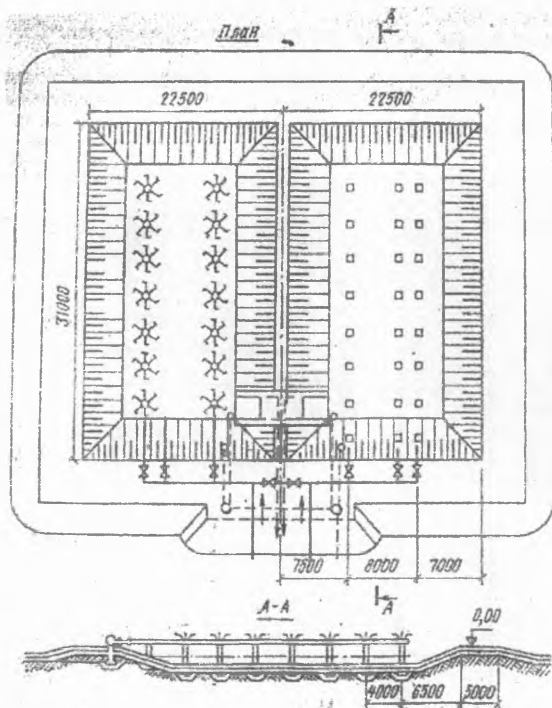


Рис. 19.
Брызгальное устройство

Разбрызгивающие сопла. Применяемые в брызгальных бассейнах и устройствах сопла можно разделить на два основных типа: центробежные и щелевые.

В соплах первого типа вода проходит по спирали, и разбрызгивание ее происходит под действием центробежной силы. К таким соплам относятся сопло с винтовым вкладышем (рис. 20, а), эвольвентные сопла (рис. 20, б) и др. Материалом для таких сопел служат ковкий чугун или пластмассы. Наиболее рациональны сопла без вкладышей, требующие меньшего напора и в меньшей степени подверженные засорению.

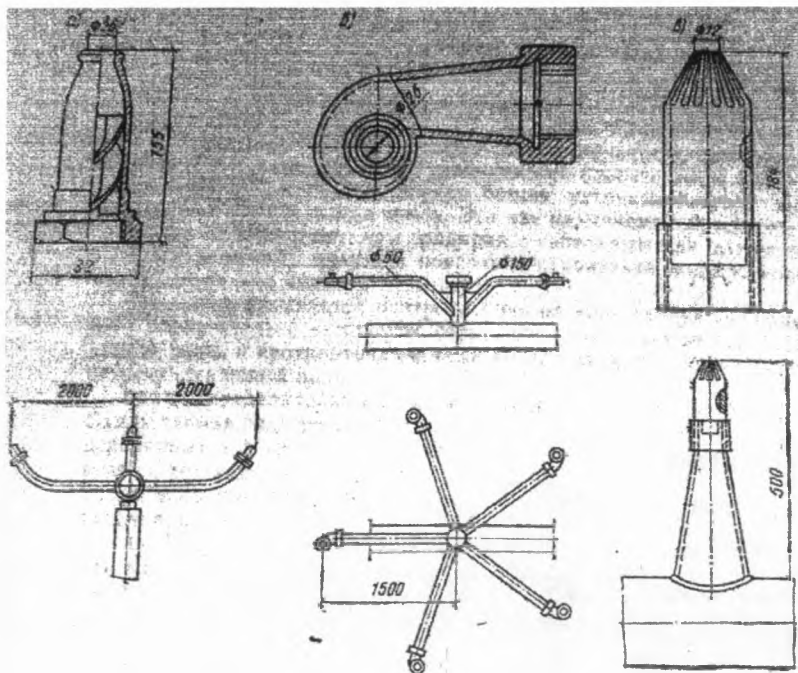


Рис. 20. Разбрызгивающие сопла

Щелевые сопла (например, П-16 на рис. 20, *в*) изготавливают из отрезков газовых труб, на конце которых делают прорезы в виде щелей. Образующиеся при этом зубцы отгибают к оси таким образом, чтобы получился конус, в вершине которого оставляется небольшое отверстие.

Конструкция сопла и величина напора воды перед ним определяют поверхность охлаждения водяного факела. При повышении напора она увеличивается вследствие удлинения траекторий полета капель и уменьшения их диаметра. Однако повышение напора связано с увеличением затрат электроэнергии, расходуемой циркуляционными насосами, а также с увеличением уноса мелких капель ветром за пределы бассейна.

Сопла располагают на высоте 1,2 - 1,5 м над уровнем воды по одному или пучками по три - пять.

Технические данные сопел некоторых марок указаны в табл. 16.

Таблица 16

Марка сопла	Подача при напоре 6 м, м ³ /ч	Площадь суммарной поверхности капель, м ²	Число сопел в пучке	Расстояние, м		
				между соплами	между пучками сопел	между распределительными линиями
МОТЭП диаметром 50/25 мм	20,9	41,25	3	1,2-1,5	3,3	12
«Юни-спрей»	19	35,2	3	1,2-1,5	3,3	12
Эвольвентные диаметром, мм:						
100/50	34,5	-	1	-	4	8-10
50/25	9,1	-	5	1,2-1,5	4	8,5
П-16	46	80	1	-	4,5	9-10

Распределительные линии присоединяют к коллектору, который прокладывают вдоль одного из бортов бассейна.

Трубопроводы брызгальных устройств изготовляют обычно из стали и прокладывают над или под уровнем воды. В последнем случае упрощается конструкция опор, устраняется опасность обледенения труб в зимнее время, но ремонт трубопроводов и надзор за ними усложняется. Прокладку труб осуществляют на катковых опорах, которые устанавливают на опорных колоннах из железобетона.

При расположении брызгальных устройств над водоемами трубопроводы прокладывают на сваях или поплавках.

Размеры и расположение брызгальных устройств. Размеры брызгального устройства определяются расходом охлаждаемой воды и плотностью орошения, т.е. расходом воды, приходящейся на 1 м^2 площади брызгального устройства. В зависимости от климатических условий плотность орошения принимают от 0,8 до $1,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 .

В целях эффективного продувания ветром брызгальных устройств их распределительные линии должны размещаться параллельно направлению господствующих ветров, причем расстояние между крайними соплами, размещенными на распределительной линии, не должно превышать 45 м. При размещении брызгальных устройств следует учитывать возможность образования тумана и обледенения соседних сооружений и дорог. Расстояния от брызгальных устройств до зданий и дорог регламентированы СНиПом.

В бассейне, как правило, должно быть не менее двух секций. Каждая секция должна иметь переливную трубу для предотвращения переполнения бассейна и выпуск для его опорожнения.

Глубину воды в брызгальном бассейне обычно принимают равной 1,5 м. Бровка бассейна должна возвышаться над уровнем воды не менее чем на 0,3 м.

Одежда откосов и дна бассейнов должна предотвращать фильтрацию через них воды. При слабоводопроницаемых грунтах применяют облицовку из железобетонных плит или слоя асфальтобетона. При сильноводопроницаемых грунтах по подготовке из бетона укладывают слой гидроизоляции из асфальтовой мастики, или слой гидроизола на клебемассе, или слой битумных магов. Гидроизоляцию защищают сверху бетонными или железобетонными плитами. Вокруг бассейна устраивают асфальтированную площадку шириной 3 - 5 м с уклоном в сторону бассейна.

При размещении брызгального устройства над водоемом вблизи берега береговой откос во избежание его размыва следует планировать и укреплять.

5.4. Градирни

Наиболее распространенные водяные охладители в промышленности – градирни. Необходимая для охлаждения воды площадь поверхности ее соприкосновения с воздухом создается в градирнях на оросительных устройствах (оросителях), которые могут быть капельными, пленочными или комбинированными. Имеются градирни без оросителей, в которых над водосборными бассейнами внутри башни устанавливаются высоконапорные разбрызгивающие сопла. Эти так называемые брызгальные градирни менее эффективны, чем градирни с капельным или пленочным оросителем, поскольку площадь поверхности контакта воды с воздухом в них относительно меньше.

Ороситель называется поперечноточным, если воздух проходит через него горизонтально – поперек стекающих вниз пленок или падающих капель воды, и противоточным, если воздух движется в нем вверх – навстречу стекающей воде.

Водораспределительные и оросительные устройства градирен
Охлаждаемая вода распределяется над оросителем градирни по системе деревянных или железобетонных лотков, в дне которых имеются отверстия со вставленными в них трубочками – гидравлическими насадками. Струи воды, вытекающие из насадков, падают на разбрызгивающие тарелочки, образуя фонтаны брызг, орошающие расположенный ниже ороситель. Гидравлические насадки и тарелочки изготовляют из фарфора или пластмассы. Их располагают над оросителем с таким расчетом, чтобы факелы брызг, создаваемых соседними тарелочками, перекрывали друг друга, что достигается при расстоянии между ними 1-1,25 м. Применяют также напорное водораспределительное устройство из нержавеющей труб и иногда – асбестоцементных. В этом

случае вода разбрызгивается над оросителем с помощью специальных низконапорных сопл.

Капельный ороситель состоит из большого числа деревянных реек треугольного или прямоугольного сечения, расположенных горизонтальными ярусами (рис. 21, а). При падении капель воды с верхних реек на нижние образуются факелы мелких брызг, создающие большую поверхность соприкосновения с воздухом.

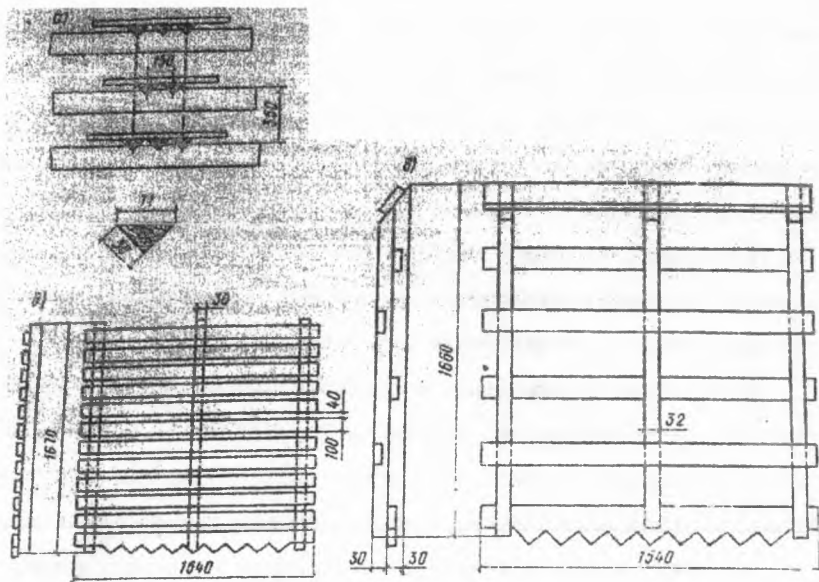


Рис. 21. Водораспределительные устройства

Пленочный ороситель состоит из щитов, устанавливаемых вертикально (рис. 21, б) или под небольшим углом к вертикали. По поверхности щитов стекает вода, образуя пленку толщиной 0,3 - 0,5 мм. Щиты выполняют из отдельных досок, располагаемых горизонтально на некотором расстоянии друг от друга. Применяют и сплошные щиты из хорошо смачивающихся материалов, например из асбестоцементных прессованных листов толщиной 6 - 8 мм. Для создания сплошной пленки на нижней кромке щита делают треугольные вырезы (фестоны),

сосредоточивающие стекающую воду в отдельные струйки, которые как бы растягивают пленку по поверхности щита. При стекании пленки со щитов отдельными струйками уменьшается сопротивление проходу воздуха под ороситель.

Применяют также оросители комбинированные капельно-пленочные (рис. 21, в).

При конструировании оросителя следует стремиться к уменьшению сопротивления движению воздуха, так как это дает возможность увеличить расход воздуха через градирию и, следовательно, интенсифицировать охлаждение в ней воды. В этом отношении пленочный ороситель предпочтительнее капельного, поскольку он оказывает меньшее сопротивление движению воздуха, однако для его изготовления требуется больший расход материалов.

Постоянный контакт с текущей теплой водой и влажным воздухом приводит к быстрому износу деревянных конструкций оросителей, поэтому срок их службы невелик и требуются частые ремонты.

В настоящее время широкое распространение получили оросители градирен, выполняемые из плоских или волнистых асбестоцементных листов с несущим каркасом из сборных железобетонных конструкций. Изыскиваются и испытываются новые материалы, особенно пластмассы.

При эксплуатации градирен в зимнее время возникают трудности в связи с обледенением участков оросителей, расположенных вблизи воздухоходных окон градирен. Обледенение может привести к обрушению оросителя из-за дополнительных нагрузок от образовавшегося льда. Во избежание обледенения уменьшают поступление воздуха в градирию в зимнее время, для чего перед воздухоходными окнами устанавливают навесные или поворотные щиты. Применяют также обливание расположенных вблизи воздухоходных окон участков оросителя теплой водой, которая

подводится по специальному трубопроводу, оборудованному разбрызгивающими соплами.

Тепловой и аэродинамический расчет градирен. Вода охлаждается в градирне, отдавая тепло воздуху за счет теплопередачи и испарения. Коэффициенты теплоотдачи определяются на основании исследований, проводимых на опытных установках, и для удобства расчетов условно относятся к единице объема оросителя. Эти объемные коэффициенты теплоотдачи зависят от скорости движения воздуха в оросителе и конструкции оросителя. При расчете оросительное устройство разбивается на участки сечениями, перпендикулярными направлению движения воздуха. Для каждого участка, начиная с нижнего, определяется изменение температуры воды и состояния воздуха (его температуры и влажности) путем подсчета соприкосновений и за счет испарения.

Если расход воздуха через градирню неизвестен, то расчет проводится для нескольких значений скорости движения воздуха в оросителе. Действительную скорость движения воздуха в этом случае находят путем доставления аэродинамического сопоставления сопротивления градирни и тяги воздуха.

Общее сопротивление движению воздуха в градирне (аэродинамическое сопротивление) складывается из сопротивления в воздухоподводящих окнах, в оросительном и водораспределительном устройствах и на выходе из градирни. Оно может быть определено по формуле

$$h = \xi \frac{v_{cp}^2 \gamma_{cp}}{2g}, \quad (39)$$

где h – аэродинамическое сопротивление градирни, Па; ξ – коэффициент общего аэродинамического сопротивления градирни, отнесенный к скорости движения воздуха в среднем сечении оросителя (брутто);

v_{cp} – скорость движения воздуха в среднем сечении оросителя (брутто, без учета стеснения сечения конструкциями), м/с; γ_{cp} – средний удельный вес воздуха в оросителе, Н/м³.

Величина тяги в вентиляторных градирнях определяется характеристикой вентиляторов. Для башенных градирен она вычисляется по формуле

$$z = (H_6 + 0,5H_{op})(\gamma_1 - \gamma_2) \quad (40)$$

где z – сила тяги, Па; H_6 – высота вытяжной башни над оросителем, м; H_{op} – высота оросителя, м; γ_1 – удельный вес наружного воздуха, Н/м³; γ_2 – удельный вес воздуха, выходящего из градирни, Н/м³.

На основе подобных расчетов составляют графики зависимости температуры охлажденной на градирнях воды от тепловой и гидравлической нагрузок и различных метеорологических условий. Эти графики, уточненные затем путем проведения натуральных наблюдений, используют при практических расчетах. В качестве примера на рис. 22, а дан график для определения температуры охлажденной воды на гиперболической градирне с комбинированным оросителем при температуре воздуха 25 °С и его относительной влажности 54 %, а на рис. 22, б – вспомогательный график для внесения поправок к температуре охлажденной воды при других параметрах воздуха.

Открытые градирни. Открытые градирни бывают двух типов: брызгальные и с капельным оросителем.

Первые (рис. 23) представляют собой небольшой брызгальный бассейн, огражденный со всех сторон жалюзийными решетками, препятствующими большому выносу брызг воды за пределы градирни. Разбрызгивающие сопла небольшой пропускной способности располагаются на высоте 4 - 5 м над уровнем воды в резервуаре и направлены вниз. Плотность орошения для таких градирен принимают от 1,5 до 3 м³/ч на 1 м³.

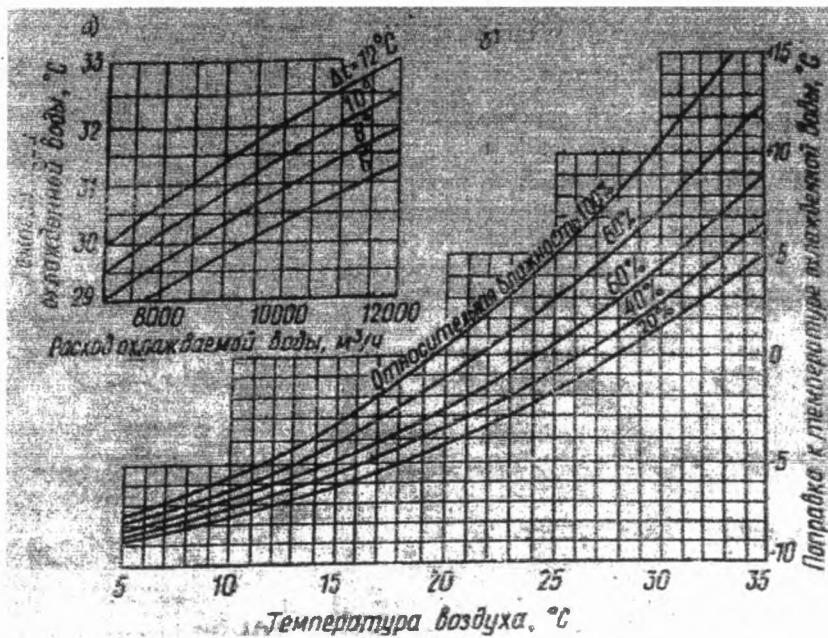


Рис. 22. Определение температур охлажденной воды

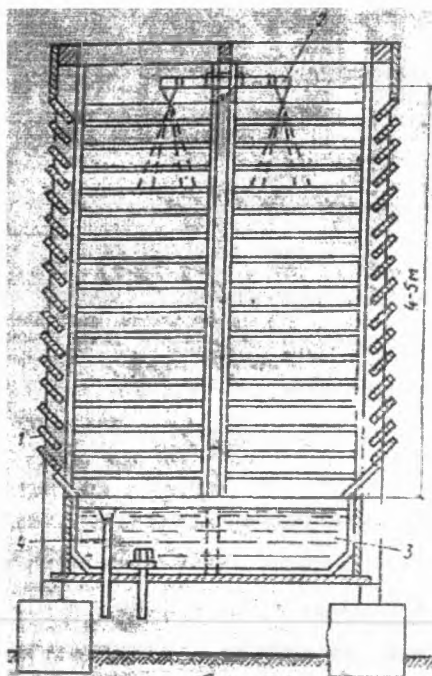


Рис. 23. Открытая градирня с брызгальным оросителем:

- 1 – жалюзийная решетка;
- 2 – разбрызгивающие сопла;
- 3 – бассейн;
- 4 – переливная труба

Открытые градирни капельного типа имеют ороситель из деревянных брусков, заключенный в жалюзийные стенки, которые выполняются из щитов, устанавливаемых под углом 45° к вертикали. Водораспределительное устройство выполняется в виде системы труб с соплами. Плотность орошения в таких градирнях принимается от 2 до 4 м³/ч на 1 м².

5.4.1. Башенные градирни

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

При противоточных оросителях вытяжные башни сооружаются над ними. Поперечноточные оросители располагаются кольцом вокруг башни. Площадь сечения башни должна составлять не менее 30 – 40 % площади оросителя.

Башни градирен малой и средней производительности могут быть цилиндрическими или иметь форму усеченного конуса либо усеченной многогранной пирамиды.

Башни крупных градирен выполняют, как правило, в виде оболочек гиперболической формы (рис. 24), которая наиболее рациональна по условиям устойчивости и внутренней аэродинамики.

В зимнее время башни градирен находятся в тяжелых условиях воздействия влажного теплого воздуха на внутреннюю поверхность оболочки и морозного воздуха с наружной стороны. Поэтому к материалам, из которых сооружают башни и их конструкции, предъявляют высокие требования.

В настоящее время применяют два основных технических решения: каркасно-обшивные и железобетонные монолитные башни.

В первом случае каркас выполняют из стальных элементов на сварке, а обшивку – из деревянных щитов, асбестоцементных волнистых листов или коррозионно – устойчивого листового алюминия. Деревянные щиты

пропитывают антисептиками и антипиренами. Асбестоцементные листы пропитывают парафино-стеариновой эмульсией, а стыки между ними уплотняют битумной мастикой. Листовой алюминий крепится к каркасу на болтах.

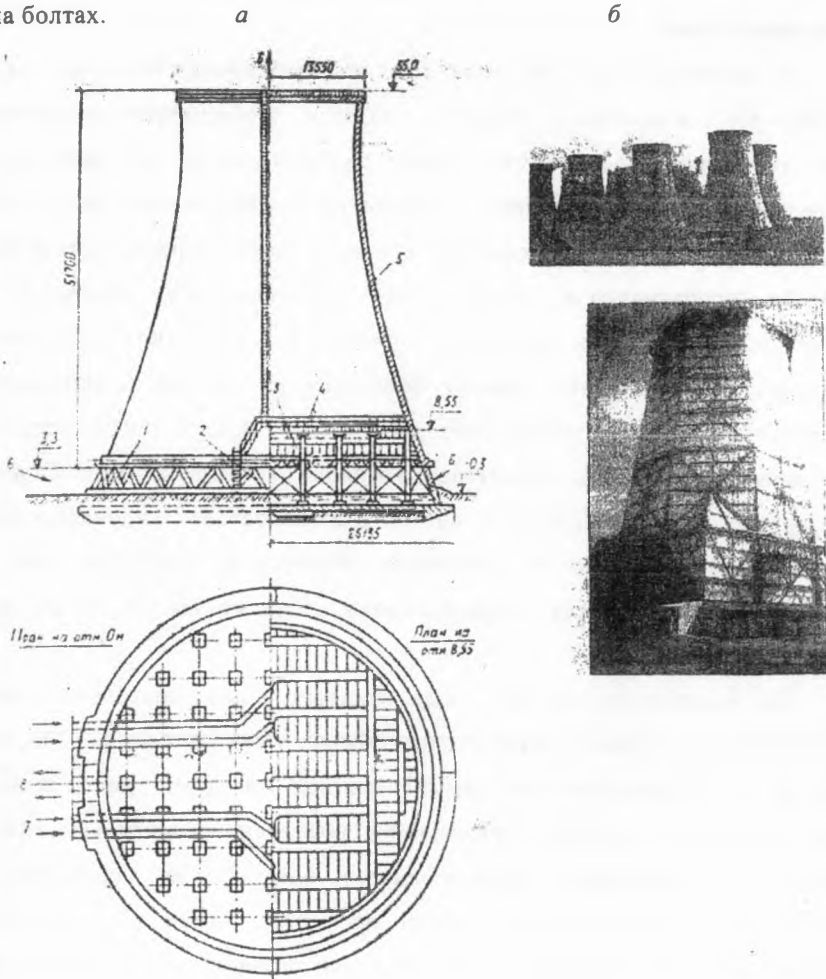


Рис. 24. Башенная гиперболическая градирня: а – устройство; б – общие виды башенных градирен; 1 – железобетонная коллонада; 2 – резервуар; 3 – пленочный ороситель; 4 – водораспределительное устройство; 5 – вытяжная железобетонная башня; 6 – направление потока воздуха; 7 – подвод теплой воды по стальным трубам; 8 – отвод охлажденной воды по железобетонным каналам

Тонкостенные оболочки железобетонных башен возводят с применением переставной опалубки, которую перемещают с одного яруса бетонирования на другой с помощью специальных подъемных приспособлений.

В последние годы для возведения железобетонных оболочек стали применять скользящую опалубку, которая обеспечивает скоростное строительство башен. Бетон подают бетононасосами или шахтными подъемниками и укладывают в оболочку с переставных подмостей, устраиваемых по окружности башни с внутренней стороны. К качеству бетона предъявляются повышенные требования по плотности и морозостойкости. Внутреннюю поверхность оболочки покрывают гидроизоляцией. Башня обычно опирается на рамную конструкцию (колоннаду), между стойками которой проходит воздух, поступающий в градирню. Внизу под оросителем градирни устраивают водосборный резервуар, выполняемый из монолитного железобетона с гидроизоляцией внутренней поверхности. Резервуар оборудуют трубопроводом с воронкой для перелива излишков воды, а также выпуском для его опорожнения.

Подлежащая охлаждению вода подается в водораспределительное устройство по стоякам, размещаемым обычно в центре градирни. Часто в связи с неравномерным распределением воздуха по площади противоточного оросителя применяют и дифференцированную плотность орошения, увеличивая гидравлическую нагрузку на периферии и уменьшая ее в центральной части оросителя. Зимой при снижении гидравлической нагрузки орошение центральной части полностью исключают.

Широко применяют противоточные градирни производительностью до $100000 \text{ м}^3/\text{ч}$ с гиперболическими башнями высотой 150 и более метров, выполняемыми из железобетона или металлического каркаса, обшитого алюминием. Оросители площадью до 10000 м^2 , как правило, монтируют

из асбестоцементных листов, устанавливаемых на каркасе из сборных железобетонных конструкций.

5.4.2. Вентиляторные градирни

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

Для уменьшения уноса капель воды за пределы градирни, связанного с повышенными скоростями движения воздуха в ее оросителе, применяют водоуловительные жалюзийные решетки.

В горловине башни одновентиляторных градирен (рис. 25) над оросителем устанавливают большие вентиляторы с диаметром лопастей от 10 до 18 м. Вентилятор приводится в действие электродвигателем через редуктор и гидромуфту, служащую для изменения частоты вращения вентилятора. Снижением частоты вращения при благоприятных метеорологических условиях достигается сокращение расхода электроэнергии на привод вентиляторов.

Технологические процессы некоторых предприятий, например химических цехов, требуют стабильной температуры охлаждающей воды. В этих случаях на трубопроводах охлаждающей воды устанавливают термодатчики, воздействующие через специальное реле на масляный насос, подающий масло в гидромуфту. Это дает возможность автоматически регулировать частоту вращения вентиляторов и, следовательно, расход воздуха через градирню, поддерживая, таким образом, температуру охлаждающей воды на заданном уровне.

Секционные вентиляторные градирни состоят из нескольких прямоугольных стандартных секций, в которые воздух входит с одной стороны или с двух сторон. Каждая секция оборудуется отсасывающим или нагнетательным вентилятором с лопастями диаметром до 10 м и

электроприводом. Вентиляторы отсасывающего типа, которые устанавливают над оросителем, обеспечивают более равномерное распределение воздуха в оросителе и, находясь в зоне теплого воздуха, не обмерзают в зимнее время. Нагнетательные вентиляторы устанавливают на входном отверстии градирни, у ее основания.

а

б

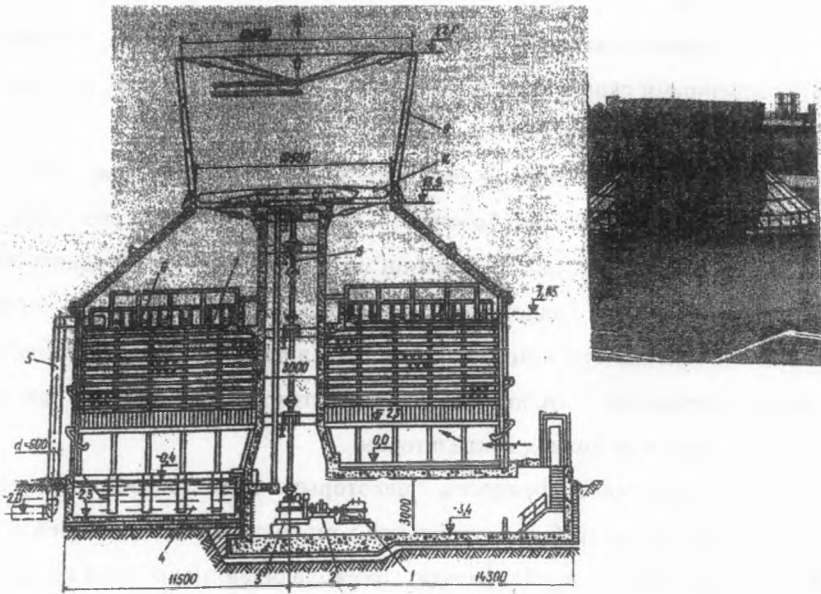


Рис. 25. Вентиляторная градирня первого вида: *а* – устройство; *б* – общий вид (ЗАО «Агростройсервис»); 1 – электродвигатель вентилятора; 2 – гидромуфта; 3 – редуктор; 4 – водосборный бассейн; 5 – водоподводящая труба; 6 – водораспределительное устройство; 7 – капельно-пленочный ороситель; 8 – вертикальный вал вентилятора; 9 – вытяжная башня; 10 – лопасти вентилятора

На рис. 26 показана вентиляторная шестисекционная градирня с капельным оросителем, оборудованная отсасывающими вентиляторами с диаметром лопастей 7 м. Размер каждой секции в плане 12*12.

Производительность градирни 12000 м³/ч охлаждаемой воды. Смазка вентиляторов осуществляется смазочным агрегатом, установленным в специальном помещении вблизи градирни.

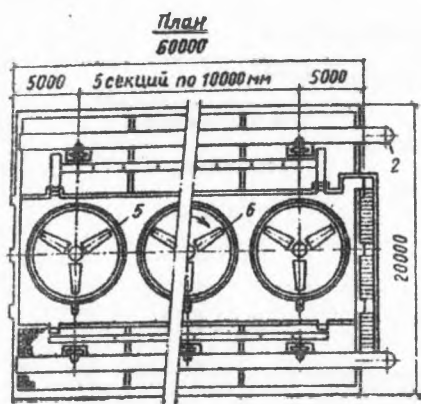
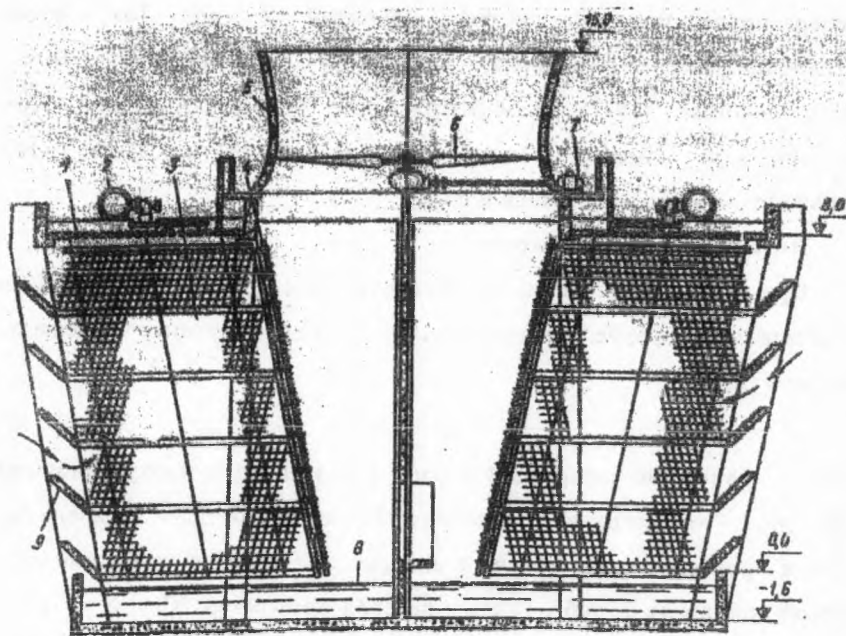


Рис. 26. Вентиляторная градирня секционная: 1 – водораспределительное устройство; 2 – водоподводящая труба; 3 – капельный ороситель; 4 – водоулавливающие жалюзи; 5 – вытяжной диффузор; 6 – вентилятор; 7 – электродвигатель; 8 – водосборный резервуар; 9 – воздухонаправляющие козырьки (стрелками показано направление потока воздуха)

Современные градирни претерпели некоторые конструктивные изменения, «выросли» в размерах, но, главное, стали широко использовать изделия из полимерных материалов для водораспределительных систем, покрытий и др. Так, фирма «Техводполимер» (Башкирия) предлагает блок-ороситель БО-65, каплеуловитель КУ-75, разбрызгивающие устройства (сопла) трех модификаций. Имеется много предложений других фирм («Эко-сервис К», «Агростройсервис» и др.).

Потери воды в охладителях

При охлаждении воды в испарительных охладителях часть ее теряется на испарение. Величина потерь воды на испарение определяется по формуле

$$q = k\Delta t, \quad (41)$$

где q – количество испарившейся воды в процентах от циркуляционного расхода; k – коэффициент, учитывающий долю теплоотдачи испарением в общем процессе теплопередачи в охладителе (значения коэффициента k можно принимать по табл. 17); Δt – перепад температур, °С.

Таблица 17

Значение коэффициента k

Сезон года	Коэффициент k	
	для водохранилищ-охладителей	для брызгальных бассейнов и градирен
Лето	0,1-0,13	0,13-0,15
Весна и осень	0,08-0,09	0,11-0,12
Зима	0,06-0,07	0,09-0,1

Кроме потерь циркуляционной воды испарением, некоторое ее количество уносится вместе с воздухом за пределы охладителя. Потери на унос в процентах от циркуляционного расхода приведены в табл. 18.

Таблица 18

Величины уноса воды, %

Тип охладителей	Потери воды, %
Брызгальные бассейны пропускной способностью, м³/ч:	
до 500	2-3
более 500	1,5-2
Градири:	
открытые и брызгальные.	0,5-1,5
башенные	0,5-1
вентиляторные (при наличии водоуловителей)	0,3-5

Следует помнить, что, несмотря на огромную “историю” применения водоохладителей и их сравнительную дешевизну, имеется два принципиальных недостатка: теплота выбрасывается в атмосферу; при испарении пары воды действуют, как углекислый газ, метан и другие, приводя к “перегреву” Земли.

5.5. Применение испарительного охлаждения

При испарительном охлаждении (по С.М. Андоньеву) металлургических печей используется в основном скрытая теплота парообразования для отвода тепла от охлаждаемых деталей. Холодная охлаждающая вода заменена кипящей. Отвод тепла осуществляется за счет образования и отвода пара.

Тепло, отбираемое охлаждающей водой, затрачивается на ее испарение. Поскольку скрытая теплота парообразования составляет

~ 540 ккал/кг при атмосферном давлении, то каждый килограмм воды, испаряясь, отбирает от стенки охлаждаемой детали 540 ккал. Кроме того, 1 кг воды, поступающая в систему с температурой ~ 30°C и нагреваясь до кипения, отбирает еще ~ 70 ккал.

Таким образом, при испарительном охлаждении 1 кг охлаждающей воды отводится 600 ккал вместо 10 ккал при водяном охлаждении, что позволяет сократить расход воды (при полном переводе печи на испарительное охлаждение) примерно в 60 раз, а иногда и более.

Во избежание трудностей, связанных с применением прямоточной схемы испарения воды при переменных тепловых нагрузках, для всех металлургических печей принята система испарительного охлаждения с многократной циркуляцией.

Установка испарительного охлаждения работает на химически очищенной воде.

Принципиальные схемы испарительного охлаждения представлены на рис. 27.

Охлаждаемые детали присоединены двумя трубами к барабану - сепаратору. По опускной трубе вода из барабана-сепаратора подводится к детали; по подъемной трубе пароводяная смесь отводится в барабан-сепаратор, где пар отделяется от воды и отводится.

Вода в системе циркулирует непрерывно. При этом возможно применение естественной циркуляции, основанной на разности удельных весов воды в опускной трубе и пароводяной смеси в подъемной трубе, и принудительной, осуществляемой циркуляционными насосами. Вода, отводимая в виде пара, восполняется питательной водой, подаваемой в барабан-сепаратор. Когда используется пар, потери воды в общем балансе завода составляют 10 % от обычных для водяного охлаждения.

Испарительное охлаждение в отличие от водяного обеспечивает полную увязку охлаждения с технологией работы металлургической печи.

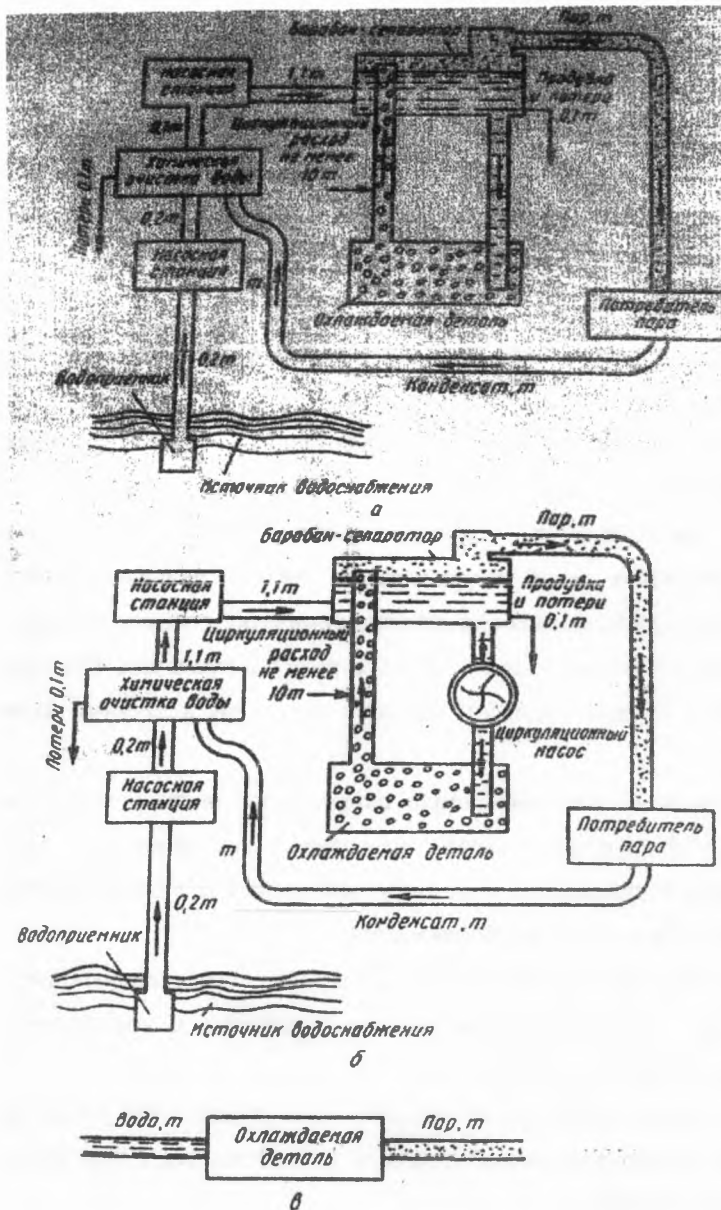


Рис. 27. Принципиальные схемы испарительного охлаждения:
 а – с естественной циркуляцией; б – с принудительной
 циркуляцией; в – принцип охлаждения

Действительно, при водяном охлаждении для надежности работы печи требуется подавать количество воды, соответствующее максимально возможным тепловым нагрузкам, так как вследствие повышения температуры воды происходит выпадение накипи. При испарительном охлаждении движение охлаждающего потока пароводяной смеси делается более турбулентным при увеличении тепловой нагрузки, и надежность охлаждения сохраняется.

Таким образом, при испарительном охлаждении достигается саморегулирование процесса охлаждения.

Система испарительного охлаждения имеет следующие преимущества:

а) увеличивается срок службы охлаждаемых деталей металлургических печей и исключаются горячие ремонты печей из-за прогара деталей благодаря применению химически очищенной воды;

б) исключаются охладительные устройства (градирни, брызгальные бассейны и пруды), водоводы больших диаметров и мощные насосные станции;

в) можно использовать тепло охлаждающей воды без осложнения условий эксплуатации печи благодаря независимости системы охлаждения от потребителей тепла (возможность удаления излишков пара или всего пара в случае необходимости);

г) уменьшаются капиталовложения и упрощается эксплуатация;

д) при естественной циркуляции допускаются кратковременные отключения электроэнергии.

В комплекс установок охлаждения металлургических печей входит установка испарительного охлаждения и относящееся к ней цеховое и внецеховое хозяйство.

Цеховое хозяйство включает коммуникации питательных водоводов, насосные станции и цеховые паропроводы.

Внецеховое хозяйство, специально сооружаемое или развиваемое для нужд испарительного охлаждения, включает химическую очистку воды, деаэрационные установки, запасные емкости для химически очищенной воды и т.п.

Установка испарительного охлаждения состоит из охлаждаемых деталей, коммуникаций, циркуляционных насосов (при принудительной циркуляции), барабанов-сепараторов, контрольно-измерительной аппаратуры (КИП), автоматики и ЭВМ.

Принципиальная схема установки испарительного охлаждения представлена на рис. 28.

Ввиду того, что испарительное охлаждение – это теплотехническая задача, мы адресуем читателей к работам С.М. Андоньева и его последователей.

5.6. Применение воздушного охлаждения воды

Если испарительное охлаждение в металлургии применяется широко (хотя далеко не в оптимальных вариантах), то воздушное – совершенно недостаточно. Давно и хорошо известна система «Геллер» с воздушным конденсатором, сухой градирней и теплообменниками «Форго» (Венгрия).

В ней охлаждаемая вода не имеет непосредственного контакта с воздухом, поэтому не происходит ее потерь на испарение и на унос капель воздушным потоком.

Конструкция радиаторов в виде охлаждающих колонн, состоящих из алюминиевых трубок диаметром 15 мм с насаженными на них общими штампованным алюминиевыми ребрами толщиной 0,3 мм, разработана доктором Форго (Венгрия). Эти радиаторы изготовляют стандартных размеров (0,3*2,5*5 м) и собирают в колонны высотой 10 или 15 м, которые устанавливают в воздухопроводных окнах сухой градирни. Передача тепла от воды к воздуху происходит через стенку трубок и насаженные на трубки ребра при относительно низком коэффициенте

теплопередачи, поэтому требуется большая поверхность теплопередачи.
 В связи с малой теплоемкостью воздуха требуется большой его расход.

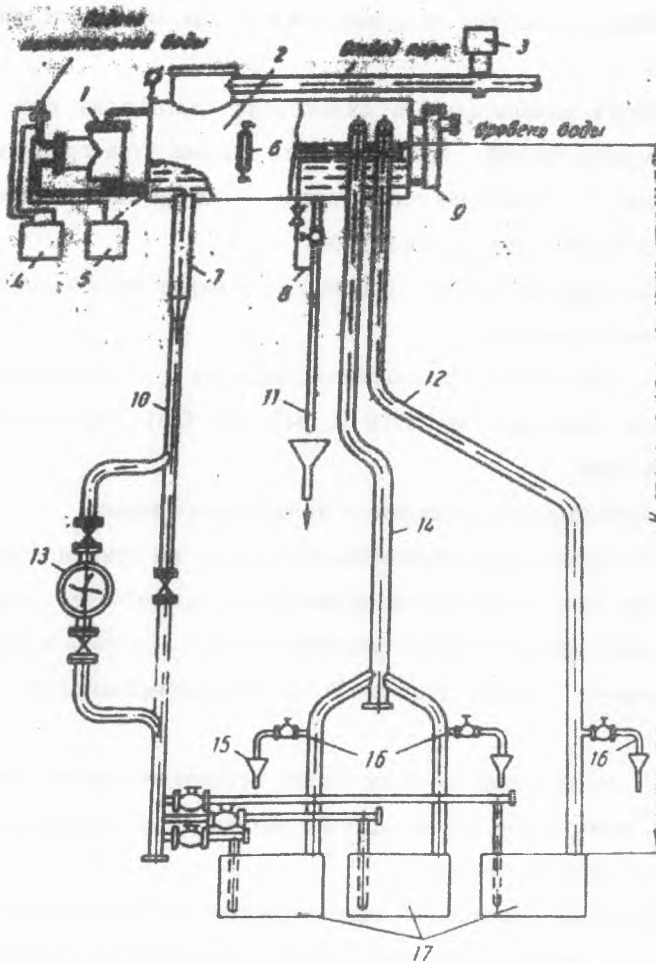


Рис. 28. Принципиальная схема установки испарительного охлаждения: 1 – регулятор уровня; 2 – барабан-сепаратор; 3 – расходомер для пара; 4 – расходомер для питательной воды; 5 – регистратор давления питьевой воды; 6 – водомерное стекло; 7 – противокавитационная вставка; 8 – непрерывная продувка; 9 – сигнализатор уровня; 10 – опускной коллектор; 11 – трубопровод периодической продувки; 12 – индивидуальная подъемная труба; 13 – циркуляционный насос; 14 – коллектор подъемных труб; 15 – сливная воронка; 16 – сливные трубы; 17 – охлаждаемые детали

Площадь общей поверхности радиаторов (трубок и ребер) F_p , m^2 , необходимой для охлаждения заданного расхода воды, определяется по формуле

$$F_p = \frac{Q(t_1 - t_2)}{\alpha_p(t_{cp} - \theta_{cp})}, \quad (42)$$

где Q – расход охлаждаемой воды, $m^3/ч$; t_1 – температура воды на входе в радиаторный охладитель, $^{\circ}C$; t_2 – температура охлажденной воды, $^{\circ}C$; α_p – коэффициент теплопередачи через стенки трубок и ребра радиаторов, отнесенный к общей площади трубок и ребер, $кДж/(m^2 \cdot ч \cdot ^{\circ}C)$; $t_{cp} = (t_1 + t_2)/2$ – средняя температура воды в охладителе, $^{\circ}C$; $\theta_{cp} = (\theta_1 + \theta_2)/2$ – средняя температура воздуха в охладителе (здесь θ_1 – температура атмосферного воздуха на входе в охладитель, $^{\circ}C$; θ_2 – температура воздуха, выходящего из охладителя, $^{\circ}C$).

Коэффициент теплопередачи α_p зависит от материала и конструкции радиаторов, а также от скорости движения воды в трубках и скорости движения воздуха, омывающего радиатор. Он определяется опытным путем.

Расход воздуха определяется по формуле

$$L = \frac{Q(t_1 - t_2)}{c(\theta_2 - \theta_1)}, \quad (43)$$

где L – расход воздуха, $кг/ч$; c – теплоемкость воздуха, которая может быть принята постоянной и равной $0,25 \cdot 4,19$ $кДж/(кг \cdot ^{\circ}C)$.

Охлаждение воды в радиаторных охладителях может быть интенсифицировано путем орошения водой наружной поверхности радиаторов. В целях экономии воды орошение производится только в наиболее жаркие периоды летних дней.

Разработаны и выпускаются и другие системы воздушного охлаждения. При использовании их вместо испарительных градирен значительно уменьшается потребление воды на подпитку оборотных систем из внешних источников, исключается загрязнение и упаривание

оборотной воды, причем для циркуляции оборотной воды достаточно только одной группы насосов.

Отсутствие ограничений в расстоянии между установками охлаждения и зданиями, сооружениями и дорогами позволяет сократить длину водоводов и энергетических коммуникаций. Во многих случаях при создании закрытых систем имеется возможность повысить температуру охлаждающей воды и температурный перепад, что сокращает расход циркулирующей воды и создает возможность эффективной утилизации тепла, отводимого от охлаждаемого оборудования. Как показывают расчеты, оптимальный (по приведенным затратам) перепад температур в закрытом водооборотном контуре лежит в диапазоне 40-100 °С. Все изложенное приводит к повышению надежности, экономической и экологической эффективности систем оборотного водоснабжения.

Примером реализации закрытого водооборотного контура является оборотный цикл охлаждения компрессоров К-250-62 компрессорной станции Синарского трубного завода. В качестве охладителя оборотной воды здесь используют два аппарата воздушного охлаждения разного типа.

Аппарат типа ЛВЗ-Д (рис. 29) Бугульминского машиностроительного завода имеет 6 теплообменных станций с трубами длиной 8 м и коэффициентом оребрения 9, установленных горизонтально по зигзагообразной схеме. Общая поверхность охлаждения составляет 7500 м². Охлаждающий воздух подается от двух вентиляторов диаметром 2,8 м. Аппарат типа АБОВ Галлинского машиностроительного завода первоначально имел шатровую компоновку из 16 зигзагообразно расположенных секций с трубами длиной 8 м и коэффициентом оребрения 14,6. Общая поверхность охлаждения составляла 12800 м². Синарским трубным заводом была выполнена реконструкция аппарата с

заменой его теплообменных секций на 8 секций общей площадью 10200 м² от аппарата типа АВЗ-Д Бугульминского завода (рис. 29).

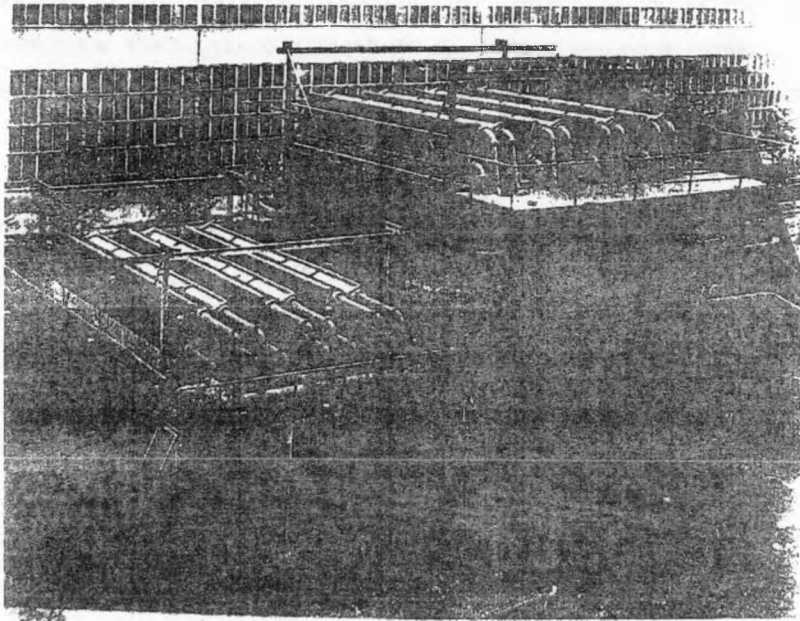


Рис. 29. Аппараты воздушного охлаждения воды (в оборотном цикле водоснабжения компрессорной станции Синарского трубного завода)

Расход воды в оборотном цикле составляет 600 – 700 м³/ч; аппараты потребляют 3,5-4,5 МВт. В летнее время работают одновременно два аппарата; при этом температурный перепад составляет 5-6 °С, температура охлажденной воды выше температуры по смоченному термометру (17 °С) на 12 - 15 °С. В зимний период из-за снижения температуры охлаждаемой воды до 5-8 °С и возникновения опасности промерзания трубок один из аппаратов отключают. Оставшийся в работе охладитель обеспечивает температурный перепад оборотной воды 10 - 12 °С при температуре нагретой воды 20 - 25 °С.

Другим примером может служить использование аппаратов воздушного охлаждения (АВО) для фенольных вод коксохимического производства. В аппаратах АВО высокая эффективность теплообмена определяется большой разностью температур охлаждаемой жидкости и охлаждающего воздуха. В связи с этим АВО целесообразно использовать для начального охлаждения надсмольных вод от температуры 95 до 60 °С.

Общий вид АВО с горизонтальным расположением охлаждающих секций показан на рис. 30. Аппарат состоит из прямоугольного металлического каркаса с встроенным диффузором, в верхней части которого расположены охлаждающие секции из оребренных теплообменных труб, по которым протекает охлаждающая жидкость. В нижней части диффузора расположен вентилятор нагнетательного действия. Съем тепла с поверхности теплообменных труб, соединенных в охладительные секции, происходит нагнетаемым в диффузор воздухом при прохождении его через охлаждающие секции. Существенным преимуществом АВО перед трубчатыми теплообменниками является отсутствие потребности в охлаждающей воде. Вода используется только для увлажнения атмосферного воздуха в целях повышения охлаждающей способности аппаратов в периоды низкой влажности. Расход умягченной воды для этой цели составляет 1 - 2 м³/ч на один аппарат. Техническая характеристика АВО небольшой производительности (до 50 м³/ч), изготавливаемых по ОСТ 26-02-2018-77, приведена в табл. 19.

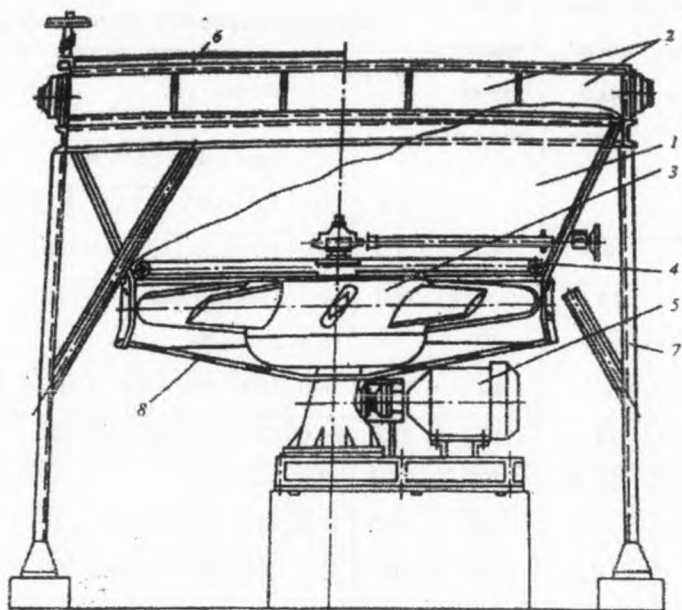


Рис. 30. Схема аппарата воздушного охлаждения (АВО) для фенольных вод коксохимического производства: 1 – диффузор; 2 – охлаждающие секции; 3 – вентилятор; 4 – увлажняющее устройство; 5 – привод вентилятора; 6 – жалюзи; 7 – каркас; 8 – предохранительная сетка

Техническая характеристика аппаратов воздушного охлаждения АВО

Количество рядов труб	Коэффициент обребрения	Количество труб аппарата	Трубы биметаллические				Трубы монометаллические			
			Площадь поверхности теплообмена, м ²							
			внутренняя		полная		внутренняя		полная	
			при длине труб, м							
			1,5	3,0	1,5	3,0	1,5	3,0	1,5	3,0
4	9,0	94	9,0	18,0	105	220	10,0	19,5	105	220
	14,6	82	8,0	16,0	150	310	8,5	17,0	150	310
	22,0	82	7,8	15,5	210	420	-	-	-	-
6	9,0	141	14,0	28,0	160	325	14,5	18,5	160	325
	14,6	123	12,0	24,0	225	465	13,0	25,5	225	465
	22,0	123	11,5	23,0	315	630	-	-	-	-
8	9,0	188	19,0	37,0	210	440	19,5	39,0	210	440
	14,6	164	16,0	32,5	300	660	17,0	34,0	300	660
	22,0	164	15,5	31,0	420	840	-	-	-	-

Расчет АВО заключается в определении необходимой площади теплообмена и количества аппаратов. Расчет проводится по количеству охлаждаемой жидкости q , кг/ч; температурам начала и конца охлаждаемой жидкости t_1 и t_2 , °С; количеству передаваемого тепла w , кДж/ч; температурам охлаждаемого и нагретого воздуха T_1 и T_2 , °С, и удельной теплоемкости воздуха c_{ω} кДж/(кг*°С). Площадь теплообмена АВО, м², рассчитывается по формуле

$$F' = \frac{\omega}{k} \epsilon \Delta t \Delta t'_{cp}, \quad (44)$$

где ω – тепловая нагрузка (определяется по аналогии с трубчатыми теплообменными аппаратами), $\text{кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$, находится опытным путем: при охлаждении надсмольной воды с температурным перепадом

$\Delta t = t_1 - t_2 = 95 - 60 = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$ следует принимать $42 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$;

$\epsilon \Delta t$ – коэффициент непроточности, зависящий от температурных параметров охлажденной жидкости и конструкции аппарата (при начальном охлаждении надсмольной воды с $\Delta t = 95 - 60 = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$ в горизонтальных аппаратах равен 1,0); $\Delta t'_{\text{ср}}$ – средняя разность температур охлаждаемой воды и охлаждающего воздуха, определяемая аналогично трубчатым теплообменникам.

Температура нагретого воздуха T_2 определяется по формуле

$$T_2 = \frac{\omega}{k} \epsilon \Delta t \Delta t'_{\text{ср}}. \quad (45)$$

При расчете АВО температура нагретого воздуха T_2 определяется по формуле

$$T_2 = T_1 + \frac{W}{C_B \cdot C_P},$$

C_B – массовый расход подаваемого вентилятором воздуха, $\text{кг}/\text{ч}$;

C_P – удельная теплоемкость воздуха, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;

T_1 – температура охлаждаемого воздуха.

Скорость охлаждаемой жидкости в теплообменных трубах v , $\text{м}/\text{с}$, находится по формуле

$$v = \frac{q}{3,6f}, \quad (46)$$

где f – площадь сечения охлаждающей секции.

5.7. Холодильные установки. Тепловые насосы

В ряде производственных процессов (например, при ректификации жидких газов, депарафинизации масел и др.) возникает необходимость в охлаждении воды и продукта до таких низких температур, которые не могут быть получены естественным охлаждением. В таких случаях стараются использовать для охлаждения подземные воды, обладающие в течение круглого года значительно более низкой температурой. Если нельзя использовать подземные воды или лёд (водяной или «сухой») для такого охлаждения производственной воды, прибегают к специальным холодильным установкам.

Холодильная установка – это совокупность холодильной машины с охлаждаемым объектом (например, холодильным технологическим аппаратом). По типу холодильной машины холодильные установки делятся на наиболее распространенные паровые компрессионные, а также на паровые абсорбционные, парожетторные, воздушные, термоэлектрические и др.

В холодильной установке с компрессором используют холодильные агенты: аммиак, пропан и другие. В свою очередь, для охлаждения холодильных агентов до необходимых низких температур применяют холодильный цикл с компрессором, осуществляющим известный в термодинамике процесс переноса тепла от более холодного тела к более нагретому путем затраты энергии. Вакуумная холодильная установка работает без компрессора, используя для охлаждения непосредственно тепловую энергию.

В качестве примера для получения захлажденной технологической воды можно привести герметичные пластинчатые охладители (рис. 31).

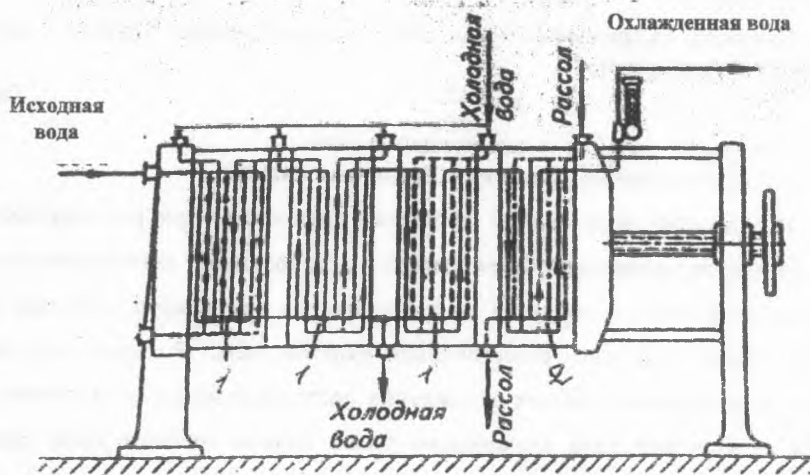
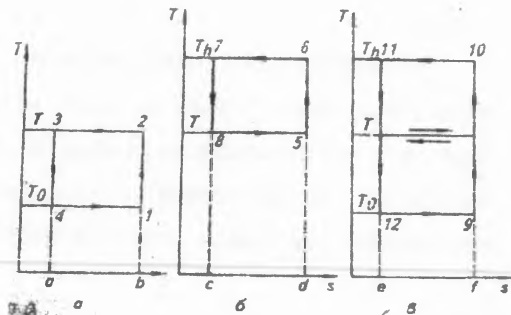


Рис. 31. Схема пластинчатого холодильного аппарата: 1 – отсек водяного охлаждения; 2 – отсек рассольного охлаждения

Рассмотренные нами системы охлаждения нагретой технологической воды (I и III категорий) имеют принципиальные недостатки: теплота выбрасывается в окружающую среду; туда же поступает значительное количество водяных паров. Все это способствует увеличению парникового эффекта («перегреву» Земли) с вытекающими отсюда отрицательными последствиями. Однако низкопотенциальное тепло оборотных вод может быть утилизировано с помощью тепловых насосов. В тепловых насосах рабочее вещество, совершая обратный цикл, переносит теплоту от источника низкого потенциала на более высокий температурный уровень. Тепловой насос по характеру работы не отличается от холодильной машины, только уровень температур в цикле теплового насоса выше, чем в цикле холодильной машины (рис. 32). Эффективность цикла теплового насоса характеризуется коэффициентом преобразования, который представляет собой отношение теплоты, полученной при температуре объекта (например, оборотной воды), к тепловому эквиваленту затраченной механической работы.

Из многочисленных преимуществ теплового насоса выделим только одно – он полностью экологически безопасен. Распространенность тепловых насосов в мире огромна, правда, пока в основном для целей отопления различных зданий. Так, Япония в настоящее время выпускает ежегодно около трех миллионов тепловых насосов. Однако широкое использование их в производстве уже началось, и нам здесь желательно не опоздать.

Рис. 32. Сравнительное расположение обратных циклов на s - T диаграмме (энтродпия-температура): a – холодильный цикл; b – цикл теплового насоса; $в$ – комбинированный цикл



РЕЗЕРВЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

6.1. Использование доочищенных городских сточных вод в системах водного хозяйства промышленных предприятий

Для восполнения потерь воды из охлаждающих систем оборотного водоснабжения используются доочищенные городские стоки (ДГС). По-видимому, это прежде всего связано с тем, что эти стоки более доступны, имеются в достаточных количествах, существуют методы их обработки, тогда как производственных стоков бывает недостаточно и, кроме того, остаточные загрязнения в них часто содержат вредные вещества.

Отметим, что в порядке эксперимента в 80-е годы было предусмотрено использование ДГС в восьми крупных промышленных узлах (Москве, Челябинске, Липецке, Харькове и др.). Применение в отечественной промышленности ДГС требует решения сложных проблем, которые условно можно разделить на социальные, технико-экономические и санитарно-эпидемиологические.

К социальным проблемам относится «синдром недоверия» у администрации промышленных предприятий, проявляющийся при практической реализации проектов использования в техническом водоснабжении ДГС. Не считается с таким психологическим барьером невозможно, однако чем быстрее будет накоплен промышленный опыт, тем быстрее путем широкого обмена информацией такой барьер будет сломан.

Технологические схемы третичной очистки (доочистки) разработаны достаточно полно. Однако на практике приходится обрабатывать смесь городских и промышленных стоков, что значительно сложнее вследствие наличия в промышленных стоках таких трудно перерабатываемых соединений, как нефть, нефтепродукты, фенолы и др. Поэтому при

получении ДГС необходимо максимально освобождать городскую канализацию от поступления промышленных стоков.

При третичной очистке предполагается снизить содержание взвешенных веществ и ВПК до $5 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ и на 50 – 90 % содержание биогенных веществ; надежное обеззараживание сточных вод лучше всего осуществляется озоном. Такая очистка производится либо на одноступенчатых сооружениях (фильтрах с зернистой загрузкой, сорбционных фильтрах, в биологических прудах и др.), либо с использованием сложных технологических схем на основе физико-химических методов.

Разработаны и применяются на практике научнообоснованные условия использования доочищенных городских стоков в системах производственного водоснабжения, регламентируемые Методическими указаниями по гигиенической оценке использования доочищенных городских сточных вод в промышленном водоснабжении (№ 3224-85, утвержденные Минздравом СССР 14 марта 1985г.).

При использовании городских сточных вод в закрытых системах технического водоснабжения достаточно обеспечения эпидемической безопасности, что достигается обеззараживанием воды и соответствующими санитарно-техническими мероприятиями (цветовая маркировка распределительной сети технического водопровода, исключение возможности соединения технического водопровода с хозяйственно-питьевым и т.д.).

При использовании сточных вод в открытых системах технического водоснабжения, помимо необходимости обеспечения эпидемической безопасности как важнейшего критерия их качества, оценка должна включать и критерии, гарантирующие безвредность для человека химического состава технической воды, а также ее благоприятные органолептические свойства. Органолептические исследования натуральных сточных вод производятся общепризнанными методами. При этом предусматривается сравнительное изучение характера и степени изменения при доочистке запаха, окраски,

способности к пенообразованию, включая исследования по определению пороговых разведений сточных вод. Особое внимание обращается на исчезновение, появление или усиление запахов, окраски, способности к пенообразованию в результате применения для доочистки и обеззараживания сточных вод сильных окислителей (хлора, озона и т.д.).

Санитарно-химические анализы должны обеспечить необходимую информацию о качестве сточных вод. При изучении свойств сточных вод особое внимание следует обращать на характерные загрязнения, которые определяют специфику возможного неблагоприятного влияния таких вод. Исследования по токсикологической оценке сточных вод проводятся специализированными НИИ гигиенического профиля и гигиеническими кафедрами медвузов на стадии выполнения научно-исследовательских работ в случаях использования сточных вод в открытых системах технического водоснабжения.

При использовании сточных вод в открытых системах технического водоснабжения, несмотря на относительно небольшую площадь контакта тела работающих с технической водой (5-10 %), систематическое воздействие остаточных количеств химических соединений, содержащихся в ней, может оказаться небезразличным для здоровья человека. Поэтому при проведении исследований по оценке кожного действия сточных вод руководствуются основными положениями Методических рекомендаций по изучению кожно-резорбтивного действия химических соединений при гигиеническом регламентировании их содержания в воде Минздрава РФ.

При использовании сточных вод в закрытых системах технического водоснабжения необходимая степень обеззараживания доочищенных сточных вод достигается при соответствии их качества нижеследующим требованиям.

Взвешенные вещества, мг/дм³ – 3,0.

БПК, мгО₂/дм³ – 5,0.

ХПК, мгО₂/дм³ – 50,0.

Колииндекс – 1000.

При использовании городских сточных вод в открытых системах технического водоснабжения необходимая степень обеззараживания доочищенных сточных вод достигается при соответствии их качества нижеследующим требованиям.

Запах, баллы – 2,0.

Окраска, отсутствие в столбике воды, см, не менее – 10,0.

Взвешенные вещества, мг/дм³ – 3,0.

БПК, мгО₂/дм³ – 3,0.

ХПК, мгО₂/дм³ – 30,0.

Специфические ингриденты, мг/дм³ – ПДК.

Колииндекс – 100.

Известно, что именно гигиенические требования, исключаящие неблагоприятное воздействие на здоровье человека и окружающую среду, являются главным сдерживающим фактором практического использования ДГС в техническом водоснабжении. При этом необходимо решить следующие гигиенические задачи:

- оценить эффективность методов очистки, доочистки и обеззараживания сточных вод, предназначенных для подпитки оборотных систем;

- произвести гигиеническую оценку продувочных сточных вод как возможного источника загрязнения водоемов;

- исследовать токсичность гидроаэрозоля оборотной воды, поступающего в атмосферный воздух в результате выноса капельной влаги из охлаждающих градирен;

- изучить распространение гидроаэрозоля оборотной воды и аэрозоля некоторых ее компонентов в натуральных условиях.

Современные методы подготовки сточных вод для подпитки оборотных систем должны обеспечивать безопасность использования их в эпидемическом отношении. Разработаны оптимальные параметры обеззараживания доочищенных сточных вод озоном в зависимости от

степени подготовки воды по санитарно-химическим и санитарно-микробиологическим показателям (взвешенные вещества, ХПК, БПК, исходный уровень микробного загрязнения). Обеззараженная вода считается эпидемически безопасной при уровне содержания санитарно-показательных микроорганизмов колииндекс и индекс фага не более 1000; патогенные микроорганизмы и вирусы должны отсутствовать.

Разработаны гигиенические требования к повторному использованию очищенных сточных вод, которые вошли во Временные методические рекомендации к использованию доочищенных городских сточных вод в техническом водоснабжении. Строительство и эксплуатация сооружений третичной очистки (главным образом одноступенчатых) показали, что при этом общая стоимость сооружений и обработки стоков (очистки и доочистки) увеличивается вдвое, но в то же время достигается экономия свежей воды и обеспечивается охрана водных ресурсов от загрязнения.

В черной металлургии проектами было предусмотрено использование ДГС для технического водоснабжения крупнейших металлургических заводов и комбинатов: ММК, НЛМК, КарМК, ЗапСиб, Кузнецкого МК и др., а также ряда других промышленных предприятий (Западно-Сибирской ТЭЦ и др.). Планы эти практически не были реализованы.

Опыт эксплуатации системы с применением ДГС имеется на промышленных предприятиях юго-восточной зоны г. Москвы, использующих сточные воды Курьяновской станции аэрации, однако он оценивается неоднозначно (рис. 33).

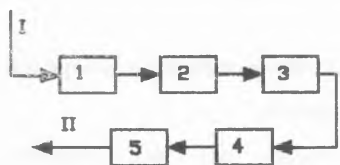


Рис. 33. Технологическая схема подготовки сточных вод г. Москвы к повторному использованию в промводоснабжении: 1 – механическая очистка (решетки, песколовки, отстойники); 2 – биологическая очистка (аэротенки); 3 – доочистка (скорые фильтры с зернистой загрузкой); 4 – дезинфекция (хлорирование в контактных резервуарах); 5 – кондиционирование;

I – общий городской сток; II – очищенная вода в промводоснабжении

ВНИИ ВОДГЕО и трестом «Мосводопровод» разработаны условия использования очищенных сточных вод Курьяновской станции аэрации на промышленных предприятиях юго-восточной зоны столицы. Установлено, что биологически очищенные сточные воды, доочищенные на песчаных фильтрах, могут использоваться в системах прямоточного и оборотного охлаждающего водоснабжения. Высокая степень доочистки городских сточных вод (по взвешенным веществам – до 2 мг/дм^3 , по биохимическому потреблению кислорода – до 10 мг/дм^3) предопределяет высокую степень обеззараживания хлорированием, надежность которого гарантируется продолжительностью контакта воды с хлором (60 мин), концентрацией остаточного хлора (не менее 1 мг/дм^3), величиной коли-индекса (до 1000). Первая очередь системы производительностью 190 тыс. м^3 воды в сутки снабжает технической водой более 60 промышленных предприятий, в том числе АЗЛК. Следует отметить, что часть очищенных промышленных стоков используется в технологических операциях цехов гальванопокрытий, окраски, испытаний как промывочная вода. К сожалению, и этот московский эксперимент потихоньку «умирает».

В качестве другого примера на рис. 34 приведена технологическая схема доочистки городских сточных вод на станции в районе залива г. Сан-Франциско. После очистки городские сточные воды направляются для использования в системах водоснабжения бумагоизготовительных, нефтеперерабатывающих, нефтехимических, сталеплавильных и других предприятий. Пропускная способность станции около 114 тыс. м^3 воды в сутки, из них 80 % воды потребляется для охлаждения.

Применение извести на первичной стадии очистки по этой схеме позволяет снять большую часть нагрузки по удалению органического углерода. Добавка извести ($\text{pH} = 11$) в начале процесса приводит также к удалению фосфора, тяжелых металлов, которые создают токсичную среду для нитрифицирующих бактерий и вирусов. Дозирование хлорного

железа в количестве 12 мг/дм^3 в известковый реактор улучшает действие извести при флокулировании части фосфора, находящейся в сточных водах в коллоидной форме. Эта схема уже на первой стадии позволяет удалить фосфор до 1 мг/дм^3 и меньше и практически полностью уничтожить вирусы.



Рис. 34. Схема сооружений доочистки городских сточных вод в районе залива г. Сан-Франциско (США):

- 1 – сточные воды после биологической очистки;
- 2 – известь; 3 – полимер или хлорное железо; 4 – ил на дальнейшую обработку;
- 5 – CO_2 ; 6 – воздух; 7 – возвратный ил; 8 – избыточный ил в голову сооружений;
- 9 – метанол; 10 – хлор;
- 11 – дочищенные сточные воды на производство; 12 – азот

После первичных отстойников сточная вода направляется в окислитель-нитрификатор. В нем обеспечивается стабильное окисление аммония до нитратов. Стоки подвергаются рекарбонизации за счет окисления соединений углерода и азота в самом окислителе-нитрификаторе, и добавление углекислоты производится лишь по мере необходимости (для этих процессов в большинстве случаев достаточно углекислоты, продуцируемой микроорганизмами). Расход воздуха в окислителе-нитрификаторе составляет 50 м^3 на 1 кг снятой БПК5 плюс потребность в кислороде для окисления органических соединений,

содержащих азот. Процесс с окислением (аэробная стабилизация) следует за денитрификацией с применением метанола, так как он осуществляется теми же микроорганизмами. Аэробная стабилизация формирует также условия для окисления избытка метанолов.

По этой схеме очень эффективно удаляются из сточных вод питательные вещества. Количество общего азота в денитрифицированном стоке в среднем меньше 2 мг на 1 л, причем более половины его – органический азот, значительная часть которого удаляется на последней стадии очистки при фильтрации через песчаную загрузку. Данные о работе этой станции очистки показали, что схема обеспечивает удаление загрязнений до таких значений, при которых сточные воды могут беспрепятственно использоваться в системах оборотного водоснабжения. Отмечается, что при использовании сточных вод, прошедших полную биологическую очистку, а также доочистку на фильтрах, всегда имеется тенденция к увеличению биологических обрастаний, отложений фосфата кальция, пенообразования. Однако эти потенциальные проблемы могут быть всегда эффективно решены обычными методами обработки воды, включающими применение биоцидов, реагентов по предотвращению накипи и пенообразования, а также регулирование pH.

Считается, что использование городских сточных вод для охлаждения выдвигает в качестве основной проблемы контроль pH, щелочности и соотношение *азот: фосфор*. При высоком pH возникает опасность отложения фосфатной накипи на стенках трубок теплообменных аппаратов. При низком pH, наличии свободной углекислоты, нитратов и растворенного кислорода, небольшой карбонатной жесткости и высокой температуре воды возможна коррозия металла.

Как показали опыты, если удовлетворительно предотвращаются биологические обрастания, то зачастую одновременно решается и проблема борьбы с коррозией. Большинство городских сточных вод после

полной биологической очистки менее коррозионно-активно, чем свежая вода из источников. Подобная технология использовалась на станции доочистки в г. Тахо (Калифорния, США).

Несмотря на принципиальное значение использования ДГС в отечественном промышленном водоснабжении, необходимо отметить, что полученные практические результаты пока весьма незначительны. Причин тому несколько: недостаточные исследования и разработки по экономической технологии и техническому оснащению процессов обработки и повторного использования ДГС, чрезвычайно высокие требования Минздрава к таким системам, отрицательное общественное мнение на всех уровнях, включая руководство предприятий, о возможности повторного использования ДГС. Это прискорбно, поскольку такую работу все равно в будущем придется осуществлять.

За рубежом накоплен достаточно большой опыт использования ДГС в промышленном водоснабжении. В США ДГС применяют в нефтеперерабатывающей и металлургической промышленности, энергетике и др. Так, в Балтиморе ДГС в количестве 570 тыс. м³/сут используют для охлаждения прокатных станов, печей, гашения кокса и других операций на металлургических заводах. Сточные воды Токио, Осаки, Кавасаки и других городов (несколько миллионов кубометров в сутки) после станции биологической очистки доочищают и используют на металлургических заводах, бумажных фабриках и сотнях мелких предприятий для охлаждения технического оборудования и ведения ряда технологических процессов. В отдельных случаях эти воды предварительно направляются на станции аэрации, но обычно доочистка осуществляется процеживанием либо фильтрацией через зернистую загрузку или же коагуляцией, отстаиванием и фильтрацией.

Рассмотрим подробнее работу центра защиты окружающей среды (считающегося и сегодня образцово-показательным природоохранным объектом) г. Яманаси (Япония). В полном объеме с переработкой всех

жидких и твердых отходов центр функционирует с 1985 г. Принципиальная технологическая схема очистки жидких отходов приведена на рис. 35, а.

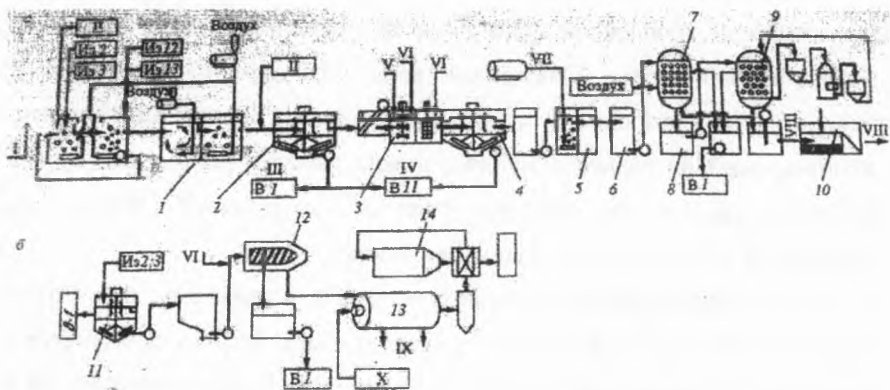


Рис. 35. Схема переработки органосодержащих сточных вод центра охраны природы в г. Яманаси (Япония): а – технологическая схема обработки стоков; б – технологическая схема обработки отходов

Сточные воды из выгребов ($45 \text{ м}^3/\text{сут}$) автоцистернами доставляют в центр и сливают в приемную емкость, откуда перекачивают на коммутатор для измельчения. Измельченный осадок шнековым питателем подается в печь сжигания, а стоки – в приемную емкость. Из нее стоки I насосами равномерно подаются в двухступенчатые аэротенки-смесители 1. Туда же подается чистая вода II для пятикратного разбавления. После прохождения второй ступени аэрации стоки дополнительно разбавляются чистой водой в 3 раза и поступают в первичные отстойники 2. Активный ил III направляется в аэротенки 1, избыточный ил IV – в сгуститель 2. Осветленная вода поступает в промежуточную емкость 3. В нее подаются коагулянт V и флокулянт VI. Вода отстаивается во вторичном отстойнике 4 и далее подается в окислитель 5, где обрабатывается озоном VII (расход озона 1 кг/ч) и емкость-деозонатор 6. Из него насосом вода подается для доочистки на

песчаный фильтр 7, из которого поступает в приемный резервуар 8. В целях удаления органических примесей отфильтрованная вода подается на сорбционные фильтры 9, загруженные активированным углем, после чего качество очищенной воды по всем показателям выше городской водопроводной воды. Очищенная вода VIII поступает в пруд с декоративными рыбками 10, откуда сбрасывается в водоем. Такой прием, используемый не только в Японии, можно рассматривать и как способ биоиндикации, и как рекламу очистных сооружений. Кстати, на очищенной воде нам тут же приготовили кофе.

Схема обезвоживания и сжигания осадка показана на рис. 35, б. Осадок и избыточный активный ил из вторичного отстойника подаются в сгуститель 11 (время пребывания 4 ч), осветленная вода возвращается в начало процесса очистки, а в сгущенный осадок дозируется флокулянт VI, который подается на центрифугу 12; затем осадок подается в барабанную печь 13 для сжигания. Получаемая зола IX удаляется и используется как удобрение.

На очистных сооружениях в некоторых местах происходит выделение газов X: при сливе привезенной хозяйственно-фекальной жидкости, работе аэротенков, в печи сжигания осадков, при регенерации угля. Газы от слива хозяйственно-фекальной жидкости и аэротенков подаются на печь дожигания, после чего – на газоочистку 14 и на выброс. Газы от печи сжигания и установки регенерации подаются на скруббер доочистки, где предусмотрена их промывка растворами, содержащими NaOCl и NaOH. Эти схемы взаимозаменяемые.

В Мексике в целях промышленного водоснабжения построено 14 станций по доочистке биологически очищенных городских сточных вод (324 тыс. м³/сут). Вода используется для пополнения системы оборотного водоснабжения ТЭЦ, предприятий по производству чугуна и стали, бумаги и картона, машиностроительных предприятий, химических заводов.

В Великобритании большинство городских станций аэрации имеют в своем составе сооружения третичной очистки (песчаные скорые фильтры). Доочищенные городские сточные воды идут на пополнение охлаждающих систем оборотного водоснабжения сталеплавильных цехов, для гашения кокса, пылеудаления и закалки стали без ее обработки. Перед подачей в конденсаторы турбин ТЭЦ воду предварительно умягчают известью.

Создание ЗСВ промузлов является наиболее перспективным направлением при использовании ДГС прежде всего для промузлов, в которых развиты наиболее водоемкие отрасли промышленности (металлургия, теплоэнергетика, химия, нефтехимия, машиностроение). Большие капитальные и эксплуатационные затраты на строительство и эксплуатацию водооборотных циклов, а также требования наиболее полного осуществления водоохранных мероприятий обуславливают необходимость проведения расчетов с использованием имитационных и экономико-математических моделей для определения оптимального варианта замкнутой или оборотной системы технического водоснабжения промузла. Модели взаимоувязывают затраты на освоение и расширение природных водоисточников; транспортные расходы на подачу воды к потребителям и от них; затраты на водоподготовку, очистку стоков, воспроизводство технологической воды внутри предприятий за счет водооборотных систем; затраты на восстановление качества воды и ее передачу после использования одним предприятием другому.

6.2. Использование поверхностного стока

В замкнутых системах водоснабжения очистка и использование поверхностного стока (дождевого, талого, дренажного и поливомоечного) могут производиться на самостоятельных очистных сооружениях, а также на сооружениях, обеспечивающих их совместную очистку с хозяйственно-бытовыми или производственными сточными водами.

Поверхностный сток с площадок промышленных предприятий имеет сложный состав, поскольку на его качество существенно влияют культура производства на предприятии, характер технологических процессов, организация складского хозяйства. Во многих случаях именно эти факторы определяют состав и концентрации примесей стока.

Систематические многолетние наблюдения за качеством поверхностного стока на промышленных площадках многих предприятий Москвы, Новосибирска, Перми, Екатеринбурга и некоторых других городов позволяют сделать вывод о том, что концентрация загрязнений в стоке промышленных территорий гораздо выше, чем в городских сточных водах. Увеличение концентрации загрязнений на водосборных площадках и площадках открытого складирования материалов может быть результатом интенсивного грузового движения (в том числе и железнодорожного транспорта). Наибольшее загрязнение вод характерно для металлургических заводов, горно-обогатительных комбинатов, предприятий строительной индустрии. Для ориентировочных подсчетов можно принять, что эти воды по количеству грубодисперсных примесей соответствуют городскому поверхностному стоку со строительных площадок (4-6 г/дм³). Характерная особенность стока с большинства промышленных площадок, а также грузовых железнодорожных станций – повышенное содержание в них нефтепродуктов. Концентрация эфирорастворимых примесей составляет 100-150 мг/дм³, а на автотранспортных предприятиях – 300 мг/дм³ и более.

Биохимическая потребность в кислороде имеет широкий диапазон колебаний в зависимости от отраслевой принадлежности объекта. Для большинства предприятий значение БПК мало отличается от городского стока. В зависимости от благоустройства и качества уборки территории среднее содержание органических веществ по ВПК может составлять от 40-50 до 100-150 мг/дм³. При наличии на водосборе зеленых насаждений и открытых грунтовых поверхностей следует принимать большие

величины загрязненности. Если газоны отсутствуют или доля их площади по отношению ко всей площадке незначительна, то при качественной и регулярной уборке площадки загрязненность стока будет минимальна. На увеличение БПК влияют технологические выбросы ТЭЦ, оседающие на кровле цехов, и продукты неполного сгорания топлива.

Необходимость на некоторых предприятиях открытого хранения и складирования производственного сырья, промежуточных продуктов и отходов производства также приводит к увеличению загрязненности поверхностного стока, в который попадают значительные количества органических и токсичных веществ. Так, в стоке, поступающем с золоотвалов ТЭЦ, содержание летучих фенолов, по некоторым данным, составляет 25-45, нелетучих – 250 – 300 мг/дм³. На крупных деревообрабатывающих, бумагоделательных и целлюлозных комбинатах, где открыто хранятся древесина и корье, в поверхностных водах фенолы, как правило, содержатся также в больших концентрациях.

Во многих отечественных и зарубежных исследованиях отмечается высокая степень бактериальной загрязненности поверхностного стока. По числу бактерий кишечной группы в единице объема отдельные пробы дождевых и талых вод соответствуют бытовым сточным водам, в среднем же этот показатель в поверхностном стоке в 10 - 100 раз ниже, чем в бытовом. Большая часть бактерий содержится в твердой фазе стока. Это свидетельствует о том, что поверхностный сток и осадок, образующийся при его отстаивании, опасен в санитарно-эпидемиологическом отношении. Колититр атмосферных вод, стекающих с застроенных территорий, обычно составляет $10^{-1} - 10^{-6}$ мл. Отмечены колебания колититра по сезонам года и часам суток.

Талый сток в большей степени загрязнен кишечными палочками; в дождевом максимальное количество микроорганизмов наблюдается в пробах после летних дождей, выпадающих в дневное время. Основные источники бактериальной загрязненности: территории

неблагоустроенных дворов и пониженные участки населенных мест, периодически подвергающиеся затоплению дождевыми и талыми водами, а кроме того, – загрязненный грунт. Судя по анализам, сток атмосферных вод имеет состав микрофлоры, присущий среднезагрязненной почве.

До недавнего времени поверхностные сточные воды с застроенных территорий относили к категории так называемых условно чистых вод, их влияние на качество поверхностных водоисточников практически не учитывали. Выпуск поверхностного стока запрещали лишь на участках водоемов, отведенных для купания. Наблюдения последних лет показали, что атмосферные воды, стекающие с населенных мест и промышленных площадок, – значительные источники загрязнения водных объектов. Зачастую даже при полной биологической очистке всех производственных и бытовых сточных вод загрязненность некоторых водоисточников продолжает возрастать в основном в результате сброса в них поверхностного стока.

При залповых сбросах большого количества грубодисперсных примесей, что обычно наблюдается при выпадении дождей, происходит частичное их осаждение в створе ливневыпуска и ниже по течению. Это приводит к постепенному заиливанию водоема, препятствует нормальному протеканию процессов на дне водоприемника. Как известно, не допускается сброс со сточными водами частиц с гидравлической крупностью более 0,4 мм/с для проточных водоемов и 0,2 мм/с – для непроточных. В поверхностном стоке содержание твердых примесей с такой гидравлической крупностью доходит до 30 – 40 %. Приблизительно 1/4 осадка из поверхностного стока – органического происхождения. Попадая в водоем, эта часть донных наносов окисляется кислородом, растворенным в воде. В толщине наносов происходят анаэробные процессы разложения (гниения) органических веществ, сопровождающиеся выделением дурно пахнущих газов: метана, сероводорода.

Схему воздействия поверхностного стока на водоемы упрощенно можно представить следующим образом. Твердые частицы, поступающие в водоем, частично выносятся потоком воды, увеличивая при этом ее мутность в створе выпуска и ниже по течению. Некоторое количество взвешенных веществ оседает у ливневыпуска, образуя донные отложения. Органические вещества, находящиеся в атмосферных водах в растворенном состоянии и в виде коллоидов, попадая в водоем, сносятся по течению и в процессе смешения с водой водотока потребляют растворенный кислород. В водоеме создается некоторый дефицит кислорода, постепенно уменьшающийся при прекращении поступления в сток.

Всплывающие на поверхность пузырьки газов, образующихся при анаэробном разложении органических веществ донных отложений, ухудшают органолептические свойства воды. Она приобретает неприятный запах и привкус. Вместе с пузырьками газов на поверхность выносятся частицы наносов, что увеличивает мутность воды в водоеме.

Поверхностный сток с застроенных территорий смывает значительное количество плавающих загрязнений (обрывки бумаги, окурки, мусор, листья, нефтепродукты и др.), которые также ухудшают органолептические свойства воды и портят внешний вид водоисточников. Нефтепродукты, поступающие с поверхностными сточными водами, могут существенно влиять на кислородный режим водоемов. Во-первых, окисляясь, они потребляют растворенный в воде кислород, и, во-вторых, нефтяная пленка, образующаяся на поверхности, в значительной степени препятствует процессу реэрации водных объектов.

Для уменьшения выноса в водные объекты загрязненных веществ с поверхностным стоком на промышленных предприятиях должны быть предусмотрены следующие первоочередные мероприятия:

• исключение сброса в дождевую канализацию отходов производства, в том числе и отработанных нефтепродуктов;

- организация регулярной уборки территории с максимальной механизацией уборочных работ;

- проведение своевременного ремонта дождевых покрытий; ограждение зон озеленения бордюрами, исключающими смыв грунта во время ливневых дождей на дорожные покрытия;

- максимальная очистка на пыле- и газоочистных установках выбросов в атмосферу и предотвращение попадания в поверхностный сток, формирующийся на территории предприятия, специфических загрязнителей;

- повышение технического уровня эксплуатации железнодорожного, авиационного и автомобильного транспорта;

- ограждение строительных площадок, упорядочение отвода поверхностного стока по временной системе открытых канав, освещение его на 50-70 % в земляных отстойниках и последующее отведение в дождевую сеть канализации;

- локализация участков территории, где неизбежны просыпи и проливы сырья и промежуточных продуктов, отведение поверхностного стока в систему производственной канализации для совместной очистки;

- упорядочение складирования и транспортирования сыпучих и жидких материалов.

При проектировании систем дождевой канализации промышленных предприятий необходимо рассматривать возможность ликвидации выноса вредных веществ поверхностным стоком с территории предприятия; целесообразность очистки поверхностного стока совместно с производственными и городскими сточными водами: условия использования поверхностного стока в системах промышленного водоснабжения. На крупных предприятиях, где применяются различные технологические процессы, поверхностный сток с отдельных участков водосборной площадки может заметно отличаться по составу примесей от

стока с других участков и общего стока, что должно учитываться при разработке схемы его отведения и очистки.

Концентрация основных примесей в дождевом стоке зависит от гидрометеорологических параметров выпадающих осадков (величины слоя дождя, в зависимости от его продолжительности и интенсивности) и продолжительности предшествующих периодов сухой погоды. Содержание примесей тем выше, чем меньше слой осадков и продолжительнее период сухой погоды, причем в процессе стекания дождевых вод оно изменяется. В талых водах концентрация примесей зависит главным образом от количества осадков, выпадающих в холодное время года, и от доли грунтовой поверхности в балансе площади водосбора.

Сток поливочных вод отличается стабильным составом и высокими концентрациями примесей.

При разработке на предприятии проекта очистки сточных вод состав поверхностного стока следует принимать по результатам химических анализов или использовать данные аналогичных производств. Ливневыпуски заводов чаще всего расположены непосредственно в городской черте, поэтому требования контролирующих органов к качеству сбрасываемого в водоемы стока очень жесткие. В большинстве случаев к очищенным сточным водам предъявляются те же требования, что и к составу и свойствам воды водоприемника. Для обеспечения столь глубокой степени очистки необходим сложный и дорогостоящий комплекс очистных сооружений.

В этих условиях один из рациональных путей исключения загрязнения водных объектов поверхностным стоком с заводской территории – использование его после аккумуляции и соответствующей очистки для технического водоснабжения, например для подпитки оборотных циклов водоснабжения или ряда производств с прямоточным водоснабжением и последующим отведением сточных вод в систему

производственно-бытовой канализации. При содержании взвешенных и эфирорастворимых веществ соответственно не более 30 мг/дм³ поверхностный сток может быть использован почти во всех технологических процессах. Если поверхностный сток и часть производственных сточных вод отводятся по одной канализационной сети, необходимо предусматривать использование в техническом водоснабжении смеси этих сточных вод.

Отведение поверхностного стока с территории промышленных предприятий в водные объекты допускается в тех случаях, когда его использование в промводоснабжении оказывается технически невозможным или экономически нецелесообразным. При этом должны соблюдаться нормативы и требования Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами, учитываться особенности химического состава стока и условия его формирования. Места выпуска поверхностного стока в водный объект следует согласовывать с органами по регулированию, использованию и охране вод, санитарно-эпидемиологической службы и рыбоохраны. При проектировании выпусков очищенных поверхностных вод в рыбохозяйственные водоемы место сброса должно выбираться с учетом рыбохозяйственного значения данного участка водоема.

При самостоятельном отведении стока по сет и дождевой канализации и отсутствии в нем специфических примесей допускается ограничиться очисткой основного количества годового объема стока (не менее 70 %). На очистку следует подавать наиболее концентрированную его часть. Эти условия выполняются при расчете очистных сооружений на прием стока от малоинтенсивных, часто повторяющихся дождей с периодом однократного превышения расчетной интенсивности 0,05 - 0,1 года или на аккумуляцию и последующую очистку стока, образующегося при выпадении дождя слоем 10-15 мм. Приведенные расчетные величины

интенсивности и слоя дождя в каждом конкретном случае могут быть уточнены на основе обработки данных об осадках за многолетний период.

Степень очистки стока, не содержащего специфических примесей, устанавливается из условия предотвращения заилиения и засорения водного объекта, поддержания нормативного количества в воде растворенного кислорода. Перед выпуском в водный объект поверхностный сток во всех случаях должен подвергаться очистке от всплывающих примесей и песка. В случаях поступления в дождевую канализацию производственных сточных вод или наличия в поверхностном стоке специфических примесей к выпуску его в водный объект предъявляются такие же требования, как и к выпуску производственных сточных вод. Степень очистки поверхностного стока при этом определяется из условия соблюдения в расчетном створе водоприемника (с учетом разбавления и самоочищения) нормативных требований, предъявляемых к качеству воды в водных объектах, используемых для хозяйственно-питьевых, культурно-оздоровительных нужд населения и рыбохозяйственных целей. Очистные сооружения, как правило, должны рассчитываться на прием всего объема сточных вод, поступающих по сети дождевой канализации.

При определении условий смешения поверхностного стока с водой водного объекта расчетный расход его Q_p ($\text{м}^3/\text{с}$) принимается равным зарегулированному расходу стока после очистки, а при отсутствии регулирования рассчитывается по формуле

$$Q_p = \frac{2,8 \cdot 10^{-8} h_{\text{см}} F \varphi_d}{(T_d + t)}, \quad (47)$$

где F – площадь бассейна водосбора, га; φ_d – общий коэффициент дождевых вод (принимается в пределах 0,5 - 0,7); $h_{\text{см}}$ – среднесуточный максимум атмосферных осадков, мм (принимается по книге:

Справочник по климату / под редакцией Е.И. Ильиных. М.,

1966); T_d – средняя продолжительность дождя в данной

местности, ч (справочный материал); t – время добегания стока от

крайней точки водосборного бассейна до места выпуска в водный объект, ч.

Условия отведения поверхностного стока в водные объекты расчетным путем можно определить в соответствии с Методическими указаниями по применению Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами.

При наличии большого числа выпусков дождевой канализации в пределах городской территории или производственно-территориального комплекса требуемая степень очистки поверхностного стока и допустимое к сбросу количество примесей для предприятия должны устанавливаться соответствующими научно-исследовательскими и проектными организациями с учетом оптимального распределения затрат на очистку. Выбор схемы отведения и очистки поверхностного стока с промышленных площадок должен осуществляться на основе оценки технической возможности и экономической целесообразности следующих мер:

- локализации отдельных участков производственной территории, где возможно попадание на поверхность специфических загрязнений с отводом стока в производственную канализацию или после предварительной очистки – в дождевую;

- раздельного отведения стока с водосборных площадей, отличающихся по характеру и количеству загрязнения территории;

- самостоятельной очистки поверхностного стока;

- подачи поверхностного стока на общезаводские очистные сооружения для совместной очистки с производственными сточными водами.

В схемах отведения следует предусматривать по возможности самотечную подачу стока на очистные сооружения. Степень очистки поверхностного стока в зависимости от схемы отведения определяется требованиями к качеству воды, используемой для производственных

целей, или условиями отведения в водные объекты хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и рыбохозяйственного назначения. Условия сброса в водный объект очищенного поверхностного стока с территории промышленных предприятий должны отвечать Правилам охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами. При использовании в промводоснабжении качество стока должно соответствовать требованиям, предъявляемым потребителями.

Состав очистных сооружений определяют в зависимости от качественной характеристики и требуемой степени очистки поверхностного стока, его расчетного расхода или количества, направляемого на очистку, с учетом возможности очистки или доочистки совместно с производственными, производственно-бытовыми стоками или природными водами на канализационной станции очистки вод. Для очистки поверхностного стока с территории промышленных предприятий, не содержащего специфических примесей с токсическими свойствами, можно использовать самостоятельные сооружения, а также отводить его на городские или заводские сооружения, очищая вместе с бытовыми или производственными сточными водами.

Регулирование расхода поверхностного стока для использования его в системе производственного водоснабжения и исключения частичного или полного сброса в водный объект может осуществляться при помощи регулирующих емкостей, рассчитанных на прием пиковых расходов стока и последующее опорожнение после уменьшения или прекращения потока, либо аккумулирующих емкостей, рассчитанных на регулирование стока в течение определенного периода (года, теплого периода, месяца).

При расчете сооружений для регулирования и очистки поверхностного стока с территории промышленных предприятий требуются следующие исходные данные: величина площади бассейна канализования; баланс канализуемой территории по роду поверхности; режим атмосферных осадков в данной местности; схема дождевой или

производственно-дождевой канализационной сети (существующей или на перспективу); гидравлический расчет коллекторов дождевой канализации; расчетные концентрации загрязняющих примесей в поверхностном стоке, а в случае устройства производственно-дождевой канализации – и состав производственных сточных вод; требуемая степень очистки сточных вод.

Представляет интерес новая технология очистки сточных вод дождевой и промышленно-дождевой канализации (рис. 36), разработанная НПФ «ЭКО - Проект» и НИП «ЭКО - Плюс» (Екатеринбург).

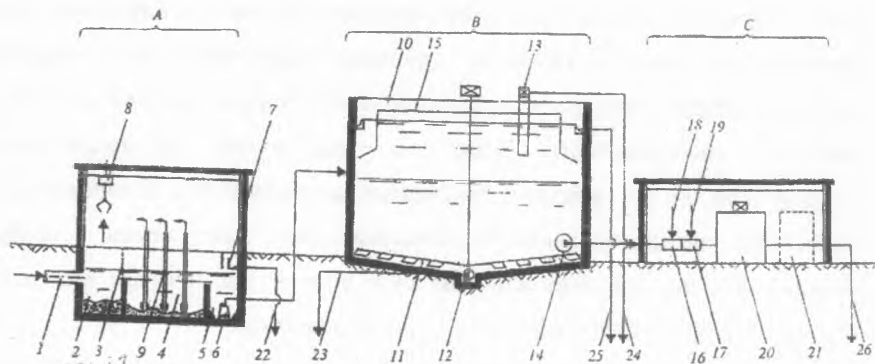


Рис. 36. Принципиальная технологическая схема очистки сточных вод дождевой и промышленно-дождевой канализации:

- 1 – коллектор дождевой канализации; блок А: 2 – входная секция;
- 3 – решетка с крупноячеистой сеткой; 4 – секция пескоулавливания;
- 5 – приемный резервуар; 6 – насосы подачи воды в блок В; блок В:
- 7 – аварийный перелив; 8 – грейфер; 9 – устройство очистки секции пескоулавливания; 10 – корпус; 11 – скребковый механизм;
- 12 – устройство для удаления осадка; 13 – устройство для удаления нефтепродуктов; 14 – насосы подачи воды в блок С; 15 – рабочий перелив; блок С: 16, 17 – смесители; 18 – трубопровод реагента «Экозоль-401»;
- 19 – трубопровод флокулянта ВПК-402;
- 20 – отстойники-флокуляторы; 21 – скорые фильтры; 22 – аварийный отвод воды из блока А; 23 – трубопровод осадка; 24 – трубопровод отвода нефтепродуктов; 25 – отвод очищенной воды из блока В;
- 26 – отвод очищенной воды из блока С

Сооружения очистки состоят из трех функциональных блоков А, В, С. Заглубленный коллектор сточной воды подключается к блоку А.

Блок А, предназначенный для первичной грубой очистки и перекачки сточной воды, состоит из секции для отделения осаждающих и плавающих предметов, песка размером более 1,5 -2,0 мм, решетки с крупноячеистой сеткой, секции для улавливания частиц размером более 0,5 мм и приемного резервуара с погружными насосами, подающими воду в блок В. Производительность этой группы насосов равна максимальному расходу подводящего коллектора. В блоке А предусматривается аварийный перелив, сбрасывающий воду только при выходе из строя насосов, поскольку при осадках любой интенсивности приток воды ограничен пропускной способностью подводящего коллектора.

Блок В предназначен для аккумуляирования пиковых объемов поверхностного стока определенной повторяемости, а также для отстаивания грубодисперсных твердых частиц и нефтепродуктов. Корпус блока имеет цилиндрикоконическую форму, проектируется по типу радиального отстойника и размещается обычно наземно без обваловки. Он оборудуется вращающимся скребковым механизмом для сгребания осадка в приямок, устройством для откачки осадка, механизмом для удаления всплывающих нефтепродуктов при переменном уровне воды, насосами для дозированной подачи воды в блок С, который предназначен для окончательной глубокой очистки сточных вод. Рабочий перелив блока В предназначен для сброса в водный объект отстоянной сточной воды при сверхрасчетных объемах поверхностного стока, которые не могут быть приняты блоком С. В блоке сеточные воды подвергаются физико-химической обработке реагентами «Экозоль 401» и ВПК-402.

Дождевой сток, прошедший полную очистку (А, В, С), содержит взвешенных веществ 0,4 – 1,0 мг/дм³; нефтепродуктов – 0,03-0,07 мг/дм³; ХПК 10 – 15 мг О₂/дм³.

Разработанная и проверенная в течение ряда лет в условиях ОАО «Уралмаш» схема сооружений имеет, в сравнении с традиционными решениями, ряд технико-экономических преимуществ и позволяет:

- осуществлять глубокую очистку 70 – 90 % объема поверхностного стока и механическую очистку остального его количества (10 – 30 %) при любом периоде повторяемости;
- утилизировать отходы очистки воды, что реализовано для осадков очистных сооружений и других промышленных отходов Екатеринбурга в производстве клинкера на одном из цементных заводов;
- работать с минимальным штатом обслуживающего персонала за счет простых технических решений по технологии очистки и схеме автоматического управления;
- использовать очищенные сточные воды в системах оборотного водоснабжения предприятий за счет применения реагентов, практически не изменяющих солевой состав воды;
- снизить стоимость строительства до 1,5 раза, размер территории – до 2,5 раз, существенно уменьшить эксплуатационные затраты.

На рис. 37 представлен один из вариантов компоновки очистных сооружений ливневой канализации г. Екатеринбурга; такое расположение сооружений позволяет наиболее экономно использовать площадь, что чрезвычайно важно в условиях большого города.

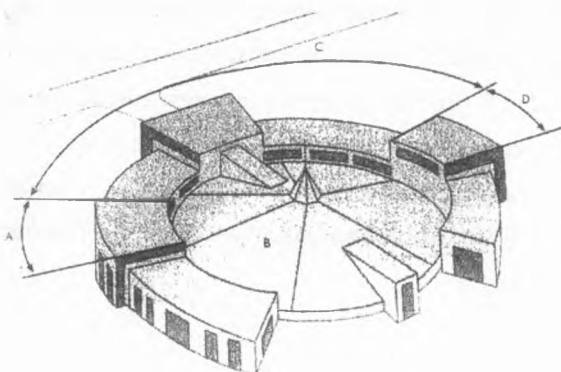


Рис. 37. Вариант компоновки очистных сооружений ливневой канализации г. Екатеринбурга: А,В,С – технологические блоки; D – блок вспомогательных помещений

Ливневые стоки при сбросе в водоприемник должны быть обеззаражены, но выбор метода обеззараживания – сложная проблема. Наибольшее возражение вызывает попадание в водоприемник любых сильных окислителей, чаще всего и применяемых при обеззараживании. Во многих случаях здесь может быть использовано обеззараживание воды ультрафиолетовым облучением (УФ) либо комбинация УФ с ультразвуковой обработкой.

К положительным сторонам этого метода относят технологическую простоту схемы облучения, отсутствие химикатов и практически полное обеззараживание воды (включая уничтожение цист). При этом химический состав воды не изменяется.

При обработке ливневых стоков образуются осадки, которые необходимо обезвоживать и утилизировать, однако в данной работе этот раздел не рассматривается.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ВОДЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

7.1. Обезжелезивание воды

В поверхностных водах железо обычно встречается в виде органических и минеральных комплексных соединений либо коллоидных или тонкодисперсных взвесей. Преобладающей формой существования железа в подземных водах является бикарбонат железа (II), который устойчив только при наличии значительных количеств уголекислоты и при отсутствии растворенного кислорода. Наряду с этим железо встречается в виде сульфида, карбоната и сульфата железа (II), комплексных соединений с гумматами и фульвокислотами.

При $pH < 4,5$ железо находится в воде в виде ионов Fe^{3+} , Fe^{2+} и $Fe(OH)_2$. Повышение значения pH приводит к окислению железа (II) в железо (III), которое выпадает в осадок. В этих условиях при $E_h < 0,2$ и наличии в воде сульфидов может выделяться черный осадок FeS . В восстановительной среде в присутствии карбонатов и при $pH > 8,4$ возможно выделение карбоната, а при $pH > 10,3$ – гидроксида железа (II).

Оксидные соединения железа, находящиеся в виде коллоидно- и тонкодисперсных взвесей, хорошо удаляются при обычной коагуляции примесей. Поэтому обезжелезивание поверхностных вод производят одновременно с их осветлением и обесцвечиванием коагулянтами. В тех случаях, когда в воде открытых источников водоснабжения содержится железо (II), проводят аэрирование воды или хлорирование повышенными дозами. Для обезжелезивания подземных вод применяют аэрирование, обработку воды перманганатом или хлором в сочетании с аэрированием или без него. После осуществления каждого из этих процессов, обеспечивающих окисление соединений железа (II) с выделением водного оксида железа (III), предусматривается фильтрование воды. Железо

удаляют из воды катионированием, если одновременно необходимо ее умягчение. При этом полностью исключают контакт обрабатываемой воды с воздухом для предупреждения окисления ионов железа (II). Возможно также обезжелезивание воды при фильтровании ее через слой пиролюзита, «черного песка», или песка, покрытого оксидами железа, являющимися катализаторами окисления железа (II).

Хлорирование воды обуславливает переход соединений железа (II) в соединения железа (III), которые в присутствии гидрокарбонатов природных вод полностью гидролизуются по реакции

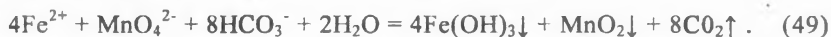


На окисление 1 мг железа (II) расходуется 0,64 мг хлора, щелочность воды при этом снижается на 0,054 мг-экв/дм³. Дозу хлора $D_{\text{хл}}$, мг/дм³, рассчитывают по формуле

$$D_{\text{хл}} = 0,7(\text{Fe}^{2+}),$$

где (Fe^{2+}) – содержание железа (II) в исходной воде, мг/дм³.

При обработке воды перманганатом калия реакция окисления и последующего гидролиза протекает по уравнению



На окисление 1 мг железа (II) расходуется 0,71 мг перманганата калия, и щелочность воды уменьшается при этом на 0,036 мг-экв/дм³. Дозу перманганата калия $D_{\text{п}}$, мг/дм³, предусматривающую некоторый его избыток, определяют по формуле

$$D_{\text{п}} = (\text{Fe}^{2+}). \quad (50)$$

Окисление железа (II) кислородом воздуха, наблюдаемое при аэрировании воды, происходит по реакции



На окисление 1 мг железа (II) расходуется 0,143 мг кислорода. Процесс замедляется при наличии в растворе уголекислоты, заметно понижающей рН воды, поэтому для быстрого завершения окисления и гидролиза необходимо удалить ее аэрированием или связывать известью.

Повышение рН воды благоприятствует протеканию процесса обезжелезивания. рН воды в заданных границах поддерживают, добавляя в нее известь или соду.

Схема установки для обезжелезивания подземных вод упрощенной аэрацией с введением воздуха центробежным или вихревым насосом показана на рис. 38.

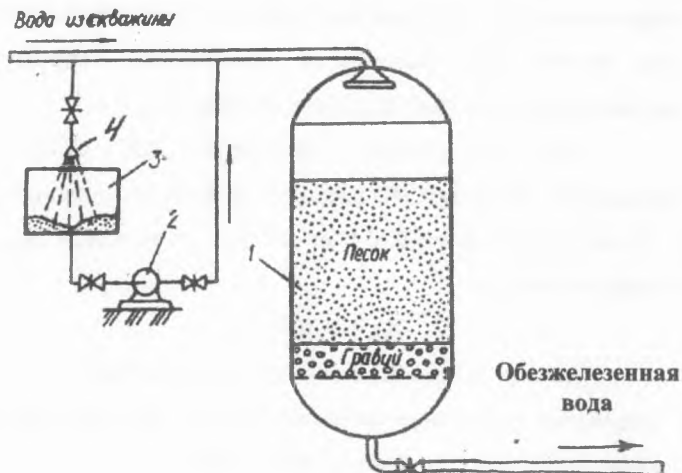


Рис. 38. Схема установки для обезжелезивания подземных вод упрощенной аэрацией: 1 – напорный фильтр; 2 – насос; 3 – бачок; 4 – душевая насадка

При засасывании насосом исходной воды из бачка, в который она поступает через душевую насадку, образуется водовоздушная эмульсия. Количество воздуха, подаваемого насосом, должно составлять около 2 м^3 на каждый килограмм удаляемого из воды железа (II).

Избыток растворенного кислорода при насыщении воды воздухом в целях ее обезжелезивания не должен превышать $0,6 \text{ мг/дм}^3 \text{ O}_2$ на 1 мг Fe^{2+} с тем, чтобы часть железа окислялась в толще фильтрующей загрузки.

При обезжелезивании всегда нужно решать проблему с осадком ($\text{Fe}(\text{OH})_3$). При небольших расходах воды его можно складировать на

специальных площадках; при больших – обезвреживать и направлять на утилизацию.

7.2. Деманганация воды

Для удаления из воды марганца используют те же методы, что и при обезжелезивании воды. Обычно соединения марганца выделяют из воды одновременно с соединениями железа. Деманганация воды может быть достигнута аэрированием, иногда совмещенным с известкованием воды, обработкой воды сильными окислителями – хлором, озоном и др., коагуляцией примесей воды сульфатом железа (III), фильтрованием воды через Na-катионит либо пропусканьем воды через катионитовые фильтры с марганцевым катализатором. Во всех этих методах обработки воды, кроме катионирования, предусматривается фильтрование ее на напорных или самотечных фильтрах.

При аэрировании воды ионы марганца (II) окисляются в ионы марганца (III) и (IV), которые, гидролизуясь, выделяются в осадок в виде гидроксидов. Для обеспечения полноты удаления марганца воду необходимо подщелачивать до $\text{pH} > 9,5 - 10,0$ или фильтровать ее через контактный фильтр, загруженный дробленым пиролюзитом или «черным песком».

Хлором ионы марганца (II) окисляются достаточно быстро только при $\text{pH} > 4$. При наличии в воде аммиака и аммонийных солей доза хлора должна обеспечивать окисление хлораминов и марганца. Для полного разрушения хлораминов необходимо вводить около 6 мг хлора на 1 мг содержащегося в воде аммиака и, кроме того, 1,3 мг хлора на окисление 1 мг Mn^{2+} в Mn^{3+} .

Диоксид хлора и озон окисляют ионы марганца (II) при pH воды 6,5 - 7,0 в течение 10 - 15 мин; расход диоксида хлора составляет 1,35 мг, озона – 1,45 мг на 1 мг Mn^{2+} .

Наиболее полно удаляются ионы марганца при озонировании воды; образующийся под действием этого сильного окислителя нерастворимый

водный оксид марганца (IV) выделяется из воды при фильтровании ее через зернистые загрузки скорых фильтров.

Из поверхностных вод марганец может быть удален коагулированием сульфатом железа (II) $FeSO_4$ с подщелачиванием воды до pH 9,5-10,5. При этом значительная часть выделяющихся гидроксидов железа и марганца задерживается обычно в отстойниках или осветлителях со взвешенным осадком, а остальная часть – на скорых осветлительных фильтрах.

Ионы марганца (II) могут быть удалены из воды на Na-катионитовых фильтрах. Как и в случае обезжелезивания воды, установка должна быть хорошо герметизирована для предупреждения попадания кислорода воздуха и образования при этом гидроксидов, загрязняющих катионит.

Марганец удаляют из воды также биохимическим методом, пропуская ее через напорные фильтры с грубозернистым песком ($d_{cp} = 3$ мм) со слоем высотой 1,5 м, засеянным небольшим количеством марганецпотребляющих бактерий, со скоростью до 30 м/ч. Отмирающие бактерии образуют на поверхности зерен песка биомассу, содержащую оксиды марганца, катализирующие окисление.

7.3. Обескремнивание воды

Воду, содержащую кремниевую кислоту, нельзя использовать для питания котлов высокого и сверхвысокого давления, в химико-фармацевтической промышленности, на производстве капрона и текстиля, при переработке цветных металлов. Она является основным компонентом сложных силикатных накипей (до 50 % кремниевой кислоты, до 30 % оксидов железа, меди и алюминия и до 10 % оксида натрия), которые способны отлагаться на стенках котлов и теплообменных аппаратов. Кремниевая кислота образует накипь с катионами кальция, магния, натрия, железа, аммония. Вода, содержащая кремниевую кислоту, осложняет работу котлов, турбин, а также различных теплообменных аппаратов, снижает качество продукции ряда производств, поэтому необходимо производить предварительное

обескремнивание воды. Глубина обескремнивания питательной воды для котлов зависит от их рабочего давления, температуры и конструкции. Содержание кремниевой кислоты в добавочной воде обычно до 0,05 – 0,1 мг/дм³ (считая по SiO₃²⁻).

Обескремнивание воды достигается осаждением известью; сорбцией гидроксидами железа, алюминия, оксидом или гидроксидом магния; фильтрованием через магнезиальный сорбент; ионным обменом и электрокоагулированием. Выбор метода обескремнивания воды зависит от предъявляемых к ней требований и экономических показателей.

При обескремнивании воды с температурой 98 °С осаждением известью и при значительном избытке осадителя содержание кремниевой кислоты может быть снижено до 0,4-0,5 мг/дм³, а сорбцией гидроксидами алюминия и железа – до 1,5-2,0 мг/дм³. При обескремнивании воды, нагретой до 40 °С, сорбцией гидроксидом магния или каустическим магнезитом достигается снижение соединений кремния в ней до 0,8 – 1,2 мг/дм³, а при подогреве воды до 120 °С – до 0,25 - 0,5 мг/дм³. При обескремнивании воды фильтрованием через магнезиальный сорбент остаточное содержание кремниевой кислоты снижается до 0,1-0,2 мг/дм³.

Наиболее глубокое обескремнивание воды достигается в цикле ее ионитового обессоливания – до 0,05-0,01 мг/дм³. Однако этот метод является наиболее дорогостоящим.

Обескремнивание воды известью основано на небольшой растворимости силиката кальция. При наличии в исходной воде 10 – 12 мг/дм³ кремниевой кислоты остаточное содержание ее в обработанной воде составляет 6 – 8 мг/дм³. С избытком извести и повышением температуры воды глубина обескремнивания возрастает. Так, если подлежащую обескремниванию воду нагреть в каскадном подогревателе до 80 – 90 °С и насытить известью в сатураторе (рис. 39), то при этом выпадают в осадок гидроксид магния, сорбирующий силикат и карбонат кальция. Вода обескремнивается и частично умягчается.

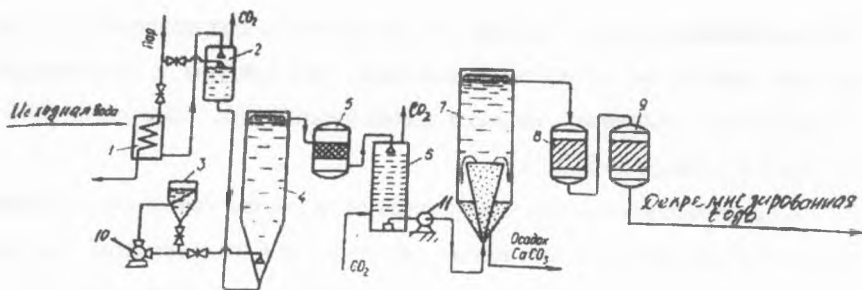


Рис. 39. Схема установки обескремнивания воды: 1 – каскадный подогреватель; 2 – дегазатор; 3 – бак известкового молока; 4 – сатуратор; 5 – фильтр с мраморной крошкой; 6 – скруббер; 7 – напорный осветлитель; 8 – фильтр с загрузкой; 9 – Na-катионитовый фильтр с термостойким ионитом; 10 – насос-дозатор; 11 – повысительный насос

Осветляют воду фильтрованием, избыток гидроксида кальция извлекают декарбонизацией в скрубберах продувкой очищенными дымовыми газами. Образующийся при этом осадок карбоната кальция удаляют в осветлителе, из которого вода для окончательного осветления поступает на антрацитовый фильтр и натрий-катионитовый фильтр, загруженный термостойким катионитом. В очищенной воде содержится $0,35-0,50 \text{ мг/дм}^3 \text{ SiO}_3^{2-}$; солей жесткости – не более $0,01 \text{ мг-экв/дм}^3$; щелочность не превышает $0,3 \text{ мг-экв/дм}^3$. Углекислота удаляется из воды, и происходит частичное разложение гидрокарбонатов.

Обескремнивание воды солями железа основано на способности хлопьев гидроксида железа (II), образующегося при введении в воду его солей, сорбировать молекулярно-дисперсную и коллоидную кремниевую кислоту. Установка, используемая для обескремнивания воды сульфатом железа (II) или хлоридом железа (III), состоит из вертикального смесителя, дозаторов реагента и известкового молока, осветлителя, фильтра и насоса для рециркуляции осадка. Благодаря рециркуляции осадка, значительно снижается расход коагулянта.

Для снижения содержания кремниевой кислоты с 12 - 14 до 2 мг/дм³ требуется 300-350 мг сульфата железа (II). Оптимальные значения pH (8,5-9,5) поддерживаются добавлением в воду извести.

Обескремнивание воды солями алюминия основано на их способности сорбировать кремниевую кислоту из раствора. В качестве реагентов применяют алюминат натрия и сульфат алюминия. Концентрация остаточной кремниевой кислоты при использовании алюмината натрия составляет 0,5 - 2 мг/дм³; расход алюмината – 150-200 мг/дм³. При замене алюмината натрия более дешевым сульфатом алюминия уменьшается глубина обескремнивания и увеличивается содержание сульфатов, что нежелательно для вод, направляемых на питание паровых котлов.

Схема сооружений для обескремнивания воды этим методом аналогична предыдущей. Если допускается содержание взвешенных веществ в воде до 15 мг/дм³, то вода из осветлителей может непосредственно подаваться потребителю; при необходимости более полного осветления воду пропускают через фильтры с антрацитовый крошкой. Для снижения дозы коагулянта, расход которого обычно составляет 200-400 мг/дм³, принимают рециркуляцию осадка в осветлителе.

Наиболее существенные недостатки этих методов обескремнивания: большой расход и высокая стоимость реагентов, а также увеличение количества сухого остатка декремнезированной воды.

При **фильтрационном методе обескремнивания** воды фильтры загружают магниезиальными сорбентами (полуобожженным доломитом, а также специальным сорбентом, получаемым обработкой измельченного магнезита соляной кислотой), активированным оксидом алюминия, бокситами. Сущность процесса обескремнивания воды фильтрованием через слой сорбента заключается в образовании малорастворимого в воде силиката магния. При высоте слоя сорбента в фильтре 3,4-4,0 м,

температуре воды до 40-50 °С и скорости фильтрования до 10 м/ч содержание кремниевой кислоты в воде снижается до 0,1 - 0,3 мг/дм³ (1 м³ сорбента поглощает до полного истощения 90 кг SiO₂).

Недостаток метода – замена загрузки фильтра через каждые 6 мес (при среднем содержании в исходной воде до 10 мг/дм³ SiO₂), поскольку сорбент не регенерируется.

Большой практический интерес представляет использование активированного оксида алюминия и бокситов в качестве загрузки обескремнивающего фильтра. При скорости фильтрования 5-6 м/ч слой сорбента толщиной 1,5 м снижает содержание кремниевой кислоты до 0,1 -0,5 мг/дм³. Фильтр регенерируется 0,1 %-ным раствором щелочи. За один цикл 1 м³ активированного оксида алюминия поглощает из воды 10 – 12 кг SiO₃²⁻. Достоинство фильтрационного метода – компактность установок и простота их обслуживания.

Анионитовый метод обескремнивания воды в цикле ионитового обессоливания с сильноосновными анионитами обеспечивает снижение концентрации SiO₃²⁻ до 0,03-0,05 мг/дм³. Сущность анионитового метода обескремнивания и одновременного обессоливания воды заключается в следующем: воду пропускают через Н-катионитовые фильтры, где из нее извлекаются катионы Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ и Na⁺. Затем вода проходит через фильтры со слабоосновным анионитом, где она избавляется от анионов сильных кислот (SO₄²⁻, Cl⁻, NO₃⁻). После дегазации воды для удаления из нее оксида углерода (IV) ее пропускают через фильтры с сильноосновным анионитом, где удаляется слабая кремниевая кислота. Для получения воды с общим содержанием соли менее 1 мг/дм³, в том числе с общим содержанием кремниевой кислоты менее 0,03 мг/дм³, применяют трехступенчатые схемы ионирования. Недостаток этого метода – сравнительно высокая стоимость, что обусловлено большим расходом едкого натра на регенерацию и быстрым уменьшением в процессе

эксплуатации кремнеемкости высокоосновных анионитов, в связи с чем требуется их замена через каждые 1,5-2 года.

7.4. Удаление из воды растворенных газов (дегазация воды)

Во многих случаях низкое качество продукции и износ оборудования связаны с наличием газов в воде, используемой в технологическом процессе (например, в теплоэнергетике, в водоснабжении горячей водой и т.д.).

Чаще всего приходится удалять из воды CO_2 , O_2 и H_2S . Эти газы относятся к агрессивным, они обуславливают либо усиливают коррозию металлов. Кроме того, CO_2 агрессивен по отношению к бетону и отрицательно влияет на эффективность работы анионитовых фильтров.

При пропускании обрабатываемой воды через Н-катионитовый фильтр вследствие разложения гидрокарбонатов в воде может образоваться большое количество свободного CO_2 . Между тем даже незначительное содержание его в умягченной воде, которая подается для питания паровых котлов, вызывает коррозию труб и оборудования. Удалять из воды свободный CO_2 приходится и при обезжелезивании воды. Довольно часто необходимо удалять из воды растворенный в ней O_2 .

Указанные свойства этих газов, а также способность H_2S придавать воде неприятный запах обуславливают необходимость возможно более полного удаления их из воды.

Комплекс мероприятий, связанных с удалением из воды растворенных в ней газов, называется *дегазацией* воды. Существуют физические и химические методы дегазации воды.

Химические методы основаны на применении реагентов, связывающих растворенные в воде газы. Например, обескислороживание воды может быть достигнуто путем введения в нее сульфита натрия, сернистого газа или гидразингидрата. Сульфит натрия при введении его в воду окисляется растворенным в воде кислородом до сульфата натрия:



При применении сернистого газа образуется сернистая кислота:



которая кислородом, растворенным в воде, окисляется до серной кислоты.

Реагентом, с помощью которого удается достичь практически полного обескислороживания воды, является гидразингидрат. При этом происходит связывание кислорода и выделение инертного азота:



Этот химический способ обескислороживания воды является наиболее совершенным, но вместе с тем и наиболее дорогим, поэтому он применяется в основном для целей дообескислороживания воды после физических методов ее дегазации.

К химическим методам относится получивший довольно широкое распространение метод обескислороживания воды с помощью сталестружечных фильтров. Обрабатываемая вода фильтруется через слой стальных стружек, при этом кислород связывается по следующей реакции:



Продолжительность контакта стружек и воды, требуемая для обескислороживания, составляет 1,5 - 2 мин. Стружки приходится заменять через 6 - 12 мес; на 1 кг задерживаемого кислорода необходимо 5 кг стружек. Учитывая, что насыпная масса стружек при их уплотнении близка к 1 т/м³, необходимый объем их, в кубических метрах, можно определить по формуле

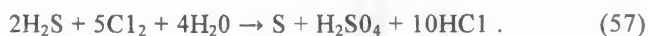
$$V = 5 \cdot 10^6 Q C t, \quad (56)$$

где Q – средний расход обескислороживаемой воды, м³/ч; C – концентрация кислорода в воде, г/м³; t – время работы фильтра за период между сменами стружек, ч.

Площадь поперечного сечения фильтра определяют по скорости фильтрования 25-100 м/ч так, чтобы при найденной высоте слоя стружек обеспечивалась продолжительность контакта воды с ними не менее 1,5 мин.

Связывание свободной углекислоты может быть достигнуто добавлением в воду извести или едкого натра; при этом свободная углекислота переходит последовательно в бикарбонат-ион и карбонат-ион.

Примером химического метода удаления из воды сероводорода может служить обработка воды хлором:



Для этой же цели можно рекомендовать озонирование воды.

Недостатки химических методов дегазации воды: применение реагентов, усложняющих и удорожающих процесс обработки воды; ухудшение качества воды при нарушении дозировки реагентов.

Сущность **физических методов** удаления из воды растворенных газов заключается в следующем: дегазируемая вода приводится в соприкосновение с воздухом, если парциальное давление удаляемого газа в воздухе близко к нулю; обеспечивают условия, при которых растворимость газа в воде становится близкой к нулю.

С помощью первого метода, т.е. аэрации воды, обычно удаляют свободную углекислоту, метан и сероводород, поскольку парциальное давление этих газов в атмосферном воздухе близко к нулю. Второй метод используют при обескислороживании воды, так как при значительном парциальном давлении кислорода в атмосферном воздухе аэрацией воды кислород из нее удалить нельзя. Для удаления кислорода из воды ее доводят до кипения, при котором растворимость всех газов в воде падает до нуля. Вода доводится до кипения либо с помощью ее нагрева (термическое деаэрирование), либо с помощью понижения давления (вакуумирование).

Дегазацию воды в процессе водоподготовки осуществляют на дегазаторах различных типов.

Пленочные дегазаторы (рис. 40) представляют собой колонны, загруженные насадкой (деревянными, керамическими или пластмассовыми кольцами и др.), по которой вода стекает тонкой пленкой. Насадка служит для создания развитой поверхности контакта воды и воздуха, нагнетаемого вентилятором навстречу потоку воды.

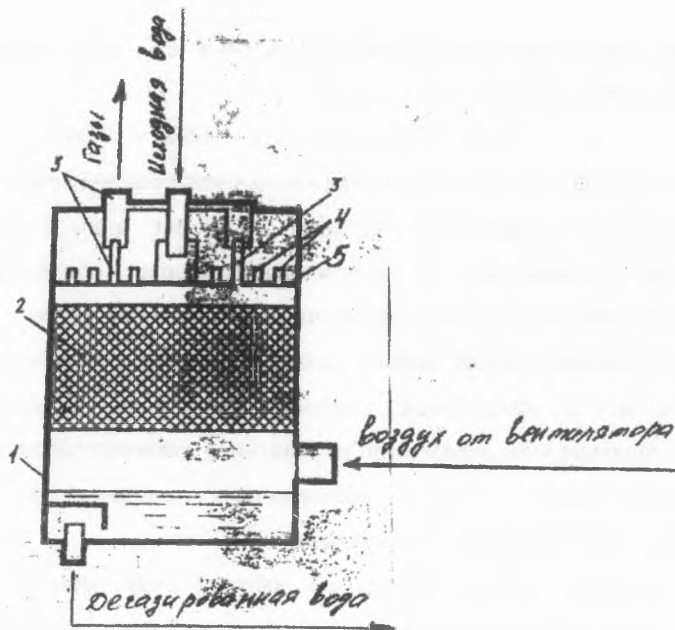


Рис. 40. Схема пленочного дегазатора: 1 – корпус; 2 – насадка из колец Рашига; 3 – газоотводный патрубок; 4 – оросительные патрубки; 5 – распределительная плита

Барботажные дегазаторы – это аппараты, в которых через пленочный слой медленно движущейся дегазируемой воды продувается сжатый воздух. Из-за сравнительно большого расхода электроэнергии на компрессию воздуха используются редко.

Вакуумные дегазаторы (рис. 41) представляют собой аппараты, в которых с помощью специальных устройств (вакуум-насосов, паро- или водоструйных эжекторов) создается пониженное давление, при котором вода кипит при данной температуре, чем обеспечивается ее дегазация.

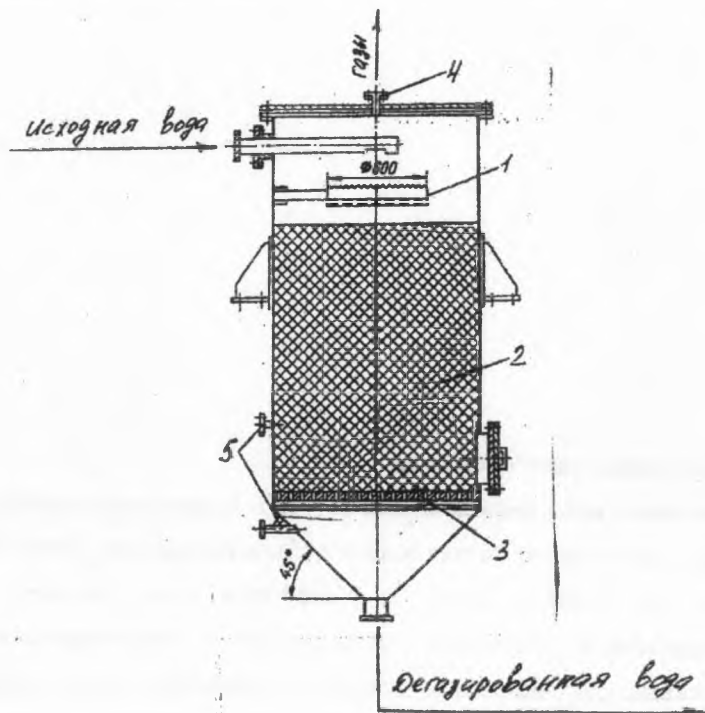


Рис. 41. Схема вакуумного дегазатора: 1 – водораспределительная тарелка; 2 – насадка из колец Рашига; 3 – дырчатое днище; 4 – патрубок для отсоса газов; 5 – места установки водомерных стекол

При водоподготовке обычно применяют пленочные дегазаторы, а для обескислороживания воды – вакуумные или термические. При проектировании пленочных дегазаторов определяют площадь поперечного сечения аппарата, расход воздуха, площадь поверхности насадки и необходимый напор, развиваемый вентилятором.

Для глубокого удаления из воды свободной углекислоты (до 3 – 5 мг/дм³) следует применять дегазаторы с насадкой из пластмассовых колец или из колец Рашига (керамических) либо вакуум-эжекционные аппараты.

7.5. Методы умягчения воды

Умягчение воды диализом. Диализ – метод разделения растворенных веществ, значительно отличающихся молекулярными массами. Он основан на разных скоростях диффузии этих веществ через полупроницаемую мембрану, разделяющую концентрированный и разбавленный растворы. Под действием градиента концентрации (по закону действующих масс) растворенные вещества с различными скоростями диффундируют через мембрану в сторону разбавленного раствора. Растворитель (вода) диффундирует в обратном направлении, снижая скорость переноса растворенных веществ. Диализ осуществляют в мембранных аппаратах с нитро- и ацетатцеллюлозными пленочными мембранами.

Эффективность полупроницаемой мембраны для умягчения воды определяется высокими значениями селективности и водопроницаемости, которые она должна сохранять в течение продолжительного времени работы.

Характеристика методов умягчения

Показатель	Характеристика показателя для метода умягчения			
	термического	реагентного	ионообменного	диализа
1	2	3	4	5
Суть процесса	Воду нагревают до температуры выше 100 °С. При этом удаляется карбонатная и некарбонатная жесткость (в виде карбоната кальция, гидроксида магния и гипса)	В воду добавляют известь, устраняющую карбонатную и магниевую жесткость, а также соду, устраняющую некарбонатную жесткость	Умягчаемая вода пропускается через катионитовые фильтры	Исходная вода фильтруется через полупроницаемую мембрану
Назначение метода	Устранение карбонатной жесткости из воды, употребляемой для питания котлов низкого и среднего давления	Неглубокое умягчение воды при одновременном осветлении воды от взвешенных веществ	Глубокое умягчение воды, содержащей незначительное количество взвешенных веществ	Глубокое умягчение воды
Расход воды на собственные нужды	-	Не более 10 %	До 30% и более пропорционально жесткости воды	До 10 %
Условия эффективного применения	-	-	-	-

1	2	3	4	5
Мутность исходной воды, мг/дм ³	До 50	До 500	Не более 8	До 2,0
Жесткость исходной воды, мг-экв/дм ³	Карбонатная жесткость с преобладанием Ca(HCO ₃) ₂ , некарбонатная жесткость в виде гипса	5-30	Не выше 15	До 10,0
Остаточная жесткость воды, мг-экв/дм ³	Карбонатная жесткость до 0,035; CaSO ₄ до 0,70	До 0,70	0,03-0,05 при одноступенчатом и до 0,01 при двухступенчатом катионировании	0,01 и ниже
Температура воды, °С	До 270	До 90	До 30 (глауконит) До 60 (сульфогли)	До 60

Для получения воды для хозяйственно-питьевых нужд обычно умягчалась лишь ее некоторая часть с последующим смешиванием с исходной водой, при этом количество умягчаемой воды Q_y определяют по формуле

$$Q_y = 100 \frac{Ж_{он} - Ж_{ос}}{Ж_{он} - Ж_y}, \quad (58)$$

где $Ж_{он}$, $Ж_{ос}$ и $Ж_y$ – общая жесткость, мг-экв/дм³, исходной воды, воды, поступающей в сеть, и умягченной воды.

Термический метод умягчения воды целесообразно применять при использовании карбонатных вод для питания котлов низкого давления, а также в сочетании с реагентными методами умягчения воды. Он основан на смещении углекислотного равновесия при ее нагревании в сторону образования карбоната кальция. Равновесие смещается за счет понижения растворимости оксида углерода (IV), вызываемого повышением температуры и давления. Кипячением можно полностью удалить оксид углерода (IV) и тем самым значительно снизить карбонатную кальциевую жесткость. Однако полностью устранить указанную жесткость не удастся, поскольку карбонат кальция хотя и незначительно (13 мг/дм³ при температуре 18 °С), но все же растворим в воде.

При наличии в воде гидрокарбоната магния процесс его осаждения происходит следующим образом: вначале образуется сравнительно хорошо растворимый (110 мг/дм³ при температуре 18 °С) карбонат магния, который при продолжительном кипячении гидролизуеться, в результате чего выпадает осадок малорастворимого (8,4 мг/дм³) гидроксида магния. Следовательно, при кипячении воды жесткость, обуславливаемая гидрокарбонатами кальция и магния, снижается. При кипячении воды снижается также жесткость, определяемая сульфатом кальция, растворимость которого падает до 0,65 г/дм³.

Известковый метод используют для частичного устранения из воды карбонатной жесткости (т.е. для снижения щелочности воды). Самостоятельного распространения он не получил; обычно его сочетают

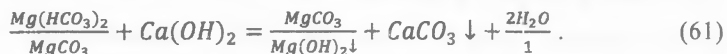
с содовым или катионитовым методом. Введение в воду гашеной извести в виде известкового молока или раствора в первую очередь вызывает нейтрализацию свободной углекислоты, растворенной в воде, с образованием малорастворимого карбоната кальция:



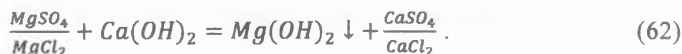
Добавление извести в количестве большем, чем необходимо для нейтрализации свободной углекислоты, вызывает распад бикарбонатов, в результате которого из воды выделяется карбонат кальция:



Дальнейшее введение в воду извести приводит к гидролизу магниевых солей и образованию малорастворимого гидроксида магния Mg(OH)_2 , который при $\text{pH} > 10,2 - 10,3$ выпадает в осадок:

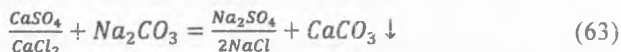


Известкованием устраняют из воды и некарбонатную магниевую жесткость при условии, что pH воды будет ниже 10,2:



Приведенные уравнения показывают, что магниевая жесткость устраняется, но значение общей жесткости остается неизменным, так как магниевая жесткость заменяется кальциевой, некарбонатной. Следовательно, известкованием воды может быть в той или иной мере (в зависимости от условия реакции) устранена карбонатная и магниевая жесткость воды, но не может быть снижена некарбонатная жесткость.

Известково-содовый метод умягчения воды применяют для устранения карбонатной и некарбонатной жесткости, вводя в воду известь и соду. Химизм процесса описывается реакцией

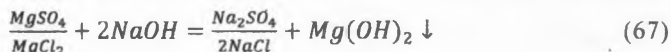
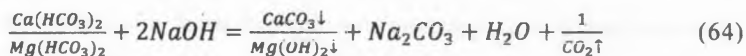


После добавления в воду щелочных реагентов происходит мгновенное образование коллоидных соединений CaCO_3 и Mg(OH)_2 , однако их переход от коллоидного состояния в грубодисперсное, т.е. в то

состояние, при котором они выпадают в осадок, занимает длительное время, измеряемое часами.

Снижение щелочности воды при известковании зависит главным образом от ее температуры при соблюдении оптимальных доз реагентов. Так, при известковании воды без подогрева остаточная щелочность ее составляет не менее 0,7 мг-экв/дм³, а при подогреве до 80 - 90 °С можно достичь снижения щелочности до 0,2 - 0,3 мг-экв/дм³. Глубина умягчения воды при известково - содовом методе соответственно равна: без подогрева воды 1-2 мг-экв/дм³, при подогреве воды до 80 - 90 °С - 0,2 - 0,4 мг-экв/дм³.

Едконатровый метод умягчения воды описывается следующими химическими реакциями:



Из приведенных реакций следует, что едкий натр в процессе умягчения воды расходуется на устранение карбонатной и магниевой жесткости и нейтрализацию свободной углекислоты, а сода, образуемая при распаде бикарбонатов и нейтрализации углекислоты, используется на удаление кальциевой некарбонатной жесткости. Следовательно, едконатровое умягчение воды целесообразно применять при наличии такого соотношения между карбонатной жесткостью, содержанием свободной углекислоты и кальциевой некарбонатной жесткостью, когда образующейся соды при распаде бикарбонатов и взаимодействии со свободной углекислотой достаточно для удаления кальциевой некарбонатной жесткости, т.е. справедливо равенство

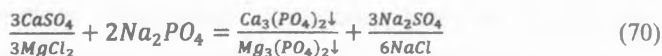
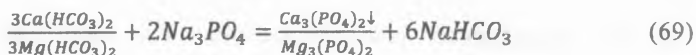
$$Ж_{Ca} + Щ = 2Ж_K + [CO_2], \quad (68)$$

где J_{Ca} – кальциевая некарбонатная жесткость исходной воды, мг-экв/дм³; Σ – щелочность умягченной воды, мг-экв/дм³; J_K – карбонатная жесткость исходной воды, мг-экв/дм³; $2J_K$ – количество соды, образующейся при взаимодействии едкого натра с карбонатной жесткостью, мг-экв/дм³; CO_2 – содержание свободной углекислоты в исходной воде, мг-экв/дм³.

При нарушении равенства едконатровый метод умягчения воды применять нельзя. При условии $(2J_K + CO_2) > (J_{Ca} + CO_2)$ в обрабатываемую воду необходимо вводить известь, а при $(2J_K + CO_2) < (J_{Ca} + \Sigma)$ – соду.

Глубина умягчения воды при едконатровом методе такая же, как и при известково-содовом, т.е. остаточная жесткость практически около 1 мг-экв/дм³, а при подогреве умягченной воды – 0,2-0,4 мг-экв/дм³.

Фосфатный метод умягчения воды при использовании тринатрийфосфата является наиболее эффективным реагентным методом. Химизм процесса умягчения воды тринатрийфосфатом описывается реакциями

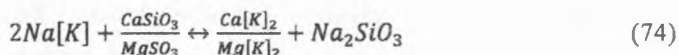
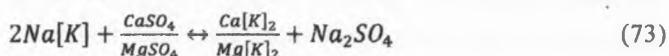
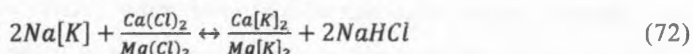
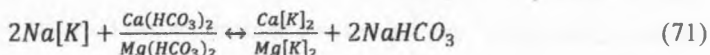


Как видно из приведенных реакций, сущность метода заключается в образовании кальциевых и магниевых солей фосфорной кислоты, которые обладают малой растворимостью в воде и поэтому достаточно полно выпадают в осадок.

Фосфатное умягчение обычно осуществляют при подогреве воды до 105 – 150 °С, достигая ее умягчения до 0,02–0,03 мг-экв/дм³. Из-за высокой стоимости тринатрийфосфата фосфатный метод обычно используют для доумягчения воды, предварительно умягченной известью и содой.

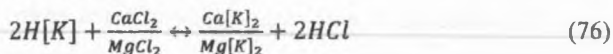
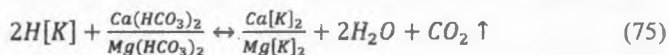
Катионитовый метод умягчения воды основан на способности катионитов обменивать содержащиеся в них активные группы катионов (натрия, водорода и др.) на катионы кальция или магния воды, определяющие ее жесткость. Умягчаемую воду фильтруют через слой катионита, при этом катионы кальция и магния из воды переходят в катиониты, а в воду переходят катионы натрия или водорода. Катионитовый метод позволяет достичь глубокого умягчения воды (0,01-0,02 мг-экв/дм³). Обменная способность катионита постепенно истощается. Ее можно восстановить, пропуская через катионит раствор поваренной соли, серной или соляной кислоты. В зависимости от того, каким реагентом отрегенирован катионит, различают Na-катионит (обменный катион натрия при регенерации поваренной солью) или H-катионит (обменный катион водорода при регенерации кислотой).

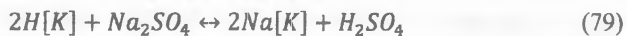
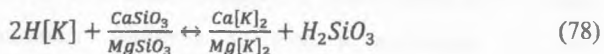
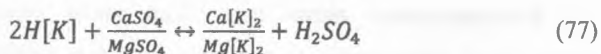
Химизм процесса Na-катионирования описывается реакциями



В приведенных реакциях символом [K] обозначен комплекс катионита, практически нерастворимый в воде. Из этих реакций видно, что жесткость профильтрованной через катионит воды устраняется, а щелочность ее остается эквивалентной карбонатной жесткости умягчаемой воды. Поэтому чем больше карбонатная жесткость умягчаемой воды, тем выше и щелочность умягченной.

Процесс H-катионирования описывается реакциями





Приведенные реакции показывают, что в результате Н-катионирования в умягченной воде образуются минеральные кислоты в количестве, эквивалентном содержанию сульфатов и хлоридов в исходной воде, а также свободная углекислота (за счет карбонатной жесткости исходной воды).

Таким образом, после натрий-катионирования получается щелочной фильтрат, а после водород-катионирования – кислый. Смешивая оба фильтрата в определенной пропорции, можно получить практически полностью умягченную воду с заданной величиной ее щелочности. В этом состоит сущность умягчения воды по схеме Н-Na-катионирования.

Выбор схемы катионитового умягчения воды зависит главным образом от тех требований, которые предъявляют к умягченной воде, а также от качества исходной воды. Наиболее простой является установка, состоящая из одной ступени Na-катионитовых фильтров. Сущность работы такой установки заключается в однократном (одноступенчатом) фильтровании воды через Na-катионит. Количество фильтров в установке принимают не менее двух, чтобы не прерывать полезной работы установки во время регенерации. Большим преимуществом такой схемы по сравнению с Н-катионитовыми фильтрами является то, что отсутствуют вода и растворы с кислой реакцией и, следовательно, нет необходимости в применении кислотостойкой арматуры, труб и защитных покрытий самих фильтров. Кроме того, от установки не поступают в канализацию кислые стоки, требующие нейтрализации.

Применение такой схемы может быть рекомендовано в следующих случаях: 1) когда не лимитируется щелочность умягченной воды или

когда предельно допускаемая щелочность ее не превышает карбонатной жесткости исходной воды; 2) при общей жесткости исходной воды не более 10 мг-экв/дм³ и при условии, что жесткость фильтрата допускается 0,1-0,2 мг-экв/дм³.

Схеме одноступенчатого Na-катионирования свойственны и серьезные недостатки, которые в ряде случаев ограничивают ее применение: практическая невозможность глубокого умягчения воды; относительно высокий удельный расход соли на регенерацию фильтров; неполное использование емкости поглощения фильтра.

Этих недостатков нет в схемах двухступенчатого Na-катионирования. При такой схеме фильтрование воды на фильтрах первой ступени производится не до проскока в фильтрат повышенной жесткости, а до тех пор, пока жесткость фильтрата не достигнет 25-30 % жесткости исходной воды. Следовательно, емкость поглощения фильтров 1-й ступени более высокая, чем при одноступенчатом умягчении, и приближается к полной. Ввиду того, что основная масса катионов жесткости задерживается в фильтре 1-й ступени, фильтры 2-й ступени несут незначительную нагрузку по жесткости и рабочий цикл на них обычно длится 150 - 200 ч. За весь этот период фильтры дают глубокоумягченную воду (0,01-0,02 мг-экв/дм³).

При двухступенчатом Na-катионировании удается снизить расход соли на регенерацию. Эта экономия достигается за счет снижения удельных расходов соли на регенерацию фильтров 1-й ступени – 120-150 г на 1 г-экв поглощенных катионов (вместо 200 - 225 при одноступенчатом катионировании).

Фильтры 2-й ступени, наоборот, регенерируют с применением повышенных удельных расходов соли (300-400 г на 1 г-экв поглощенных катионов), однако из-за того, что эти фильтры регенерируются сравнительно редко, общий расход соли уменьшается по сравнению с расходом ее на установках одноступенчатого Na-катионирования. Схема

двухступенчатого Na-катионирования особенно целесообразна при умягчении вод высокой жесткости (8-10 мг-экв/дм³).

Описанные выше схемы Na-катионирования становятся непригодными в тех случаях, когда карбонатная жесткость исходной воды превышает щелочность умягченной воды. В этих случаях необходимо принимать дополнительные меры по устранению щелочности воды или доведению ее до допустимых пределов.

Наиболее простым способом снижения щелочности воды, умягченной на Na-катионитовых фильтрах, является подкисление ее серной или соляной кислотой с последующим удалением выделяющейся при нейтрализации щелочности свободной углекислоты. Такой прием можно применять в тех случаях, когда увеличение солесодержания воды за счет ее подкисления не препятствует дальнейшему использованию этой воды. Чаще же снижение щелочности воды достигается применением H-Na-катионирования или смешанного способа умягчения – реагентно-катионитового. В последнем случае карбонатная жесткость исходной воды перед ее последующим Na-катионированием устраняется известкованием.

На рис. 42, а показана часто применяемая схема так называемого параллельного H-Na-катионирования. Оба фильтрата смешиваются в определенной пропорции и подаются в дегазатор для удаления из воды свободной углекислоты, которая образуется при распаде бикарбонатов в процессе H-катионирования и при смешивании H- и Na-катионированных вод. Для взрыхления используют обычно воду после отмывки катионита (за исключением первых ее порций, сбрасываемых в канализацию, так как они содержат большое количество катионов жесткости). Использование этой воды позволяет снижать расходы воды на нужды катионитовой установки.

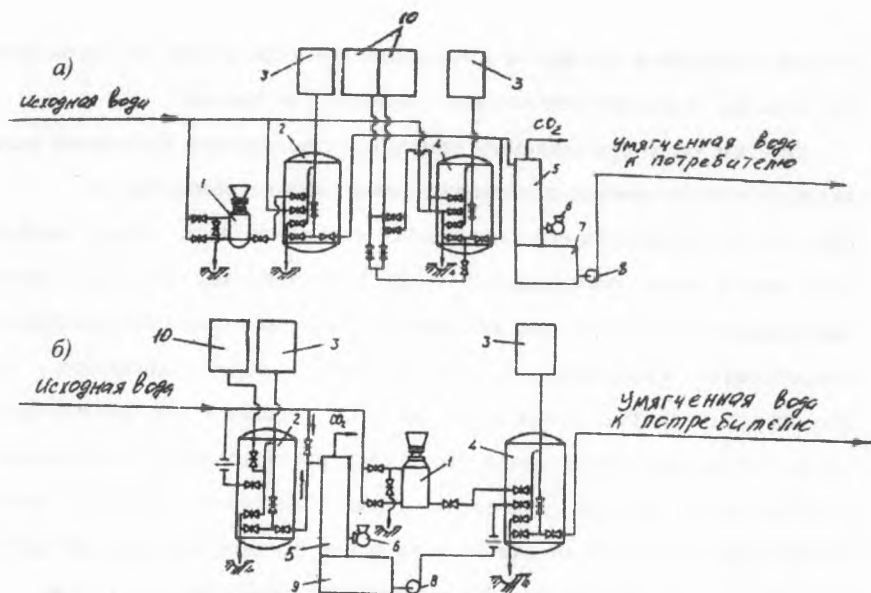


Рис. 42. Схемы установок для параллельного (а) и последовательного (б) H-Na-катионирования: 1 – солерастворитель; 2 – H-катионитовый фильтр; 3 – бак с водой для взрыхления загрузки фильтров; 4 – Na-катионитовый фильтр; 5 – дегазатор; 6 – вентилятор; 7 – сборный бак; 8 – насос; 9 – промежуточный бак; 10 – бак с кислотой

При необходимости постоянного и глубокого умягчения воды (до $0,03 \text{ мг-экв/дм}^3$) схему, приведенную на рис. 42, а, приходится дополнять Na-катионитовыми фильтрами 2-й ступени, так как при практически приемлемой системе контроля за работой катионитовых фильтров при одноступенчатом катионировании трудно уловить начало проскока жесткости в фильтрат и, следовательно, предотвратить периодическое ухудшение качества воды. Большим преимуществом схем параллельного H-Na-катионирования является возможность снижения щелочности воды до $0,3-0,4 \text{ мг-экв/дм}^3$, что обычно не достигается при иных схемах H-Na-катионирования. Такую схему умягчения воды рекомендуется применять,

если концентрация сульфатов и хлоридов в исходной воде не превышает 4 мг-экв/дм³, а содержание натрия – не более 2 мг-экв/дм³.

Другим часто применяемым приемом катионитового умягчения воды является так называемое последовательное H-Na-катионирование (рис. 42, б). Сущность его заключается в том, что часть общего потока умягчаемой воды пропускается через H-катионитовые фильтры, затем смешивается с остальной частью умягчаемой воды в целях нейтрализации кислотности фильтрата и пропускается через дегазатор. Из промежуточного бака вода прокачивается насосами для доумягчения через Na-катионитовые фильтры. Если предъявляются повышенные требования к глубине умягчения и если жесткость исходной воды значительна (свыше 8 мг-экв/дм³), то после Na-катионитовых фильтров вода прокачивается еще через Na-катионитовые фильтры 2-й ступени.

При работе по схеме последовательного H – Na – катионирования можно более полно использовать емкость поглощения H-катионитового фильтра, так как при последующем пропуске всей умягчаемой воды через Na- катионитовые фильтры отключение H-катионитовых фильтров на регенерацию производят не по проскоку катионов Ca²⁺ и Mg²⁺ в фильтрат, а при достижении определенной жесткости (~1 мг-экв/дм³). Остаточная щелочность умягченной воды, обработанной по такой схеме, составляет 0,7 мг-экв/дм³. Схему последовательного H-Na-катионирования рекомендуется применять при повышенных жесткости и солесодержании умягчаемой воды.

Простейшей схемой H-Na-катионирования является совместное H-Na-катионирование, которое осуществляется в одном и том же фильтре, одновременно снижая щелочность фильтрата (до 1 – 1,8 мг-экв/дм³) и достаточно глубоко его умягчая. Возможность такой работы фильтров обуславливается тем, что верхний слой катионита в фильтре подготовлен для работы по циклу H-катионирования, а нижний слой – по циклу Na-катионитового умягчения.

Преимуществом метода является отсутствие кислых сбросных вод, в связи с чем не требуется их нейтрализация, а недостатком – сравнительная сложность проведения регенерации.

Совместное H-Na-катионирование может применяться, когда требования к умягченной воде не слишком высоки (жесткость до 0,1 – 0,3 мг-экв/дм³ и щелочность не ниже 1 мг-экв/дм³). При этом жесткость исходной воды должна быть не более 6 мг-экв/дм³, а содержание натрия – не более 1 мг-экв/дм³.

7.6. Обессоливание воды и производственных стоков

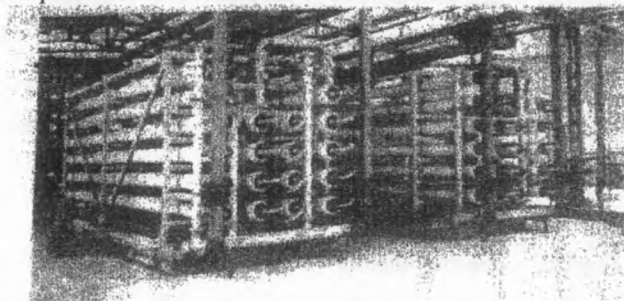
Выше мы останавливались на весьма актуальной проблеме использования в промышленности сверхчистой воды, которую получают путем обессоливания (деминерализации, десольюзации). Пожалуй, еще более важно обессоливать продувочные стоки при создании замкнутых систем водоснабжения (ЗСВ), в этом случае не только значительно уменьшается потребление свежей воды, но и происходит весьма полное выделение загрязнителей и их утилизация.

Процессы обессоливания осуществляются либо выделением растворимых веществ, либо воды из исходной системы (природной или сточной воды, раствора и др.). При этом вода может менять свое агрегатное состояние. Все методы обессоливания можно условно разделить на безреагентные (физические и биотехнологические) и реагентные (химические). К безреагентным мы относим мембранные обратноосмотические и электродиализные; термодистилляционные, включая гелиоопреснение, вымораживание; с использованием водной растительности – эйхорнии, тростника, рогоза узколистного и др.; некоторых видов губок. К реагентным мы относим ионообменные, химические, гальванокоагуляционные, газогидратные. Отметим, что различные методы дают обессоленную воду с разным солесодержанием, и себестоимость этой воды также разная. Мы остановимся только на наиболее используемых методах.

7.6.1. Обратноосмотические установки

Достаточно широко, особенно в зарубежной практике, используются установки обратного осмоса. Процесс обратного осмоса заключается в фильтровании под давлением минерализованной воды через полупроницаемую мембрану, пропускающую воду и задерживающую основную долю солей.

Вспомним, что для частичного удаления некоторых растворенных веществ и коллоидов используют ультрафильтрационные установки, для полного обессоливания – нано- и гиперфильтрационные (рис. 43). Общий вид модулей одной из обратноосмотических установок (ООУ) представлен на рис. 43.



ООУ

Рис. 43. Модули ООУ

В качестве примера можно привести ООУ производства ассоциации «Воронеж-Аква», работающую на Воронежской ТЭЦ-1. Исходная вода из Воронежского водохранилища подвергается тщательной предварительной очистке от взвесей, после чего подается на установку производительностью 50 м³/ч. Сравнительные показатели работы этой установки приведены в табл. 21; результаты сравнения экономических показателей ионообменной и обратноосмотической технологий – в табл. 22.

**Сравнительные показатели исходной (ХОВ), обессоленной,
аминированной (по традиционной схеме), питательной воды и фильтрата
обратного осмоса**

№ п/п	Показатели	Единицы измерения	Исходная предварительно обработанная вода	Обессоленная аминированная (традиционная схема)	Фильтрат обратного осмоса	Питательная вода
1	2	3	4	5	6	7
1	Величина pH	ед. pH	10,5	9,6	10,1	9,6
2	Температура	°С	38	38	38	Не измер.
3	Жесткость	мг-экв/дм ³	0,005	0,002	0,001	0,003
4	Содержание:					
	железа	мг/ дм ³	0,04	0,01	Не обнар.	0,03
	натрия	мг/ дм ³	59,2	0,3	3,0	7,2
	аммиака	мг/ дм ³	Не измер.	1,2	0,0	0,77
	хлоридов	м г/дм ³	28,0	0,35	0,5	5,56
	кремниевой кислоты	мг/дм ³	3,16	0,02	0,15	0,86
5	Общее солесодержание	мг/дм ³	185	5,64	6,9	23,32
6	Проводимость, приведенная к 25 °С	μS/см	185	5,64	6,9	23,32

1	2	3	4	5	6	7
7	Окисляемость перманганатная	мгО ₂ /дм ³	3,2	3,1	0,4	4,2
8	Взвешенные вещества	мг/дм ³	2,5	0,4	0,0	1,0

Таблица 22

Результаты сравнения ионообменного и обратноосмотического способов обессоливания воды (данные ассоциации «Воронеж-Аква», долл. США)

№ п/п	Показатели	Ионо-обменная технология	Обратноосмотическая технология
1	2	3	4
1	Затраты на содержание обслуживающего персонала	30000	14200
2	Затраты на содержание производственных и складских площадей	14400	3720
3	Затраты на приобретение и транспортировку расходных материалов	129732	27540
4	Затраты на очистку, утилизацию сточных вод и плата за их сброс	21536	2208
5	Себестоимость 1 м ³ обессоленной воды	0,49	0,12
6	Годовой экономический эффект от удешевления производства обессоленной воды	-	123000

1	2	3	4
7	Годовой экономический эффект от снижения затрат на топливо	-	25000
8	Суммарный годовой экономический эффект	-	148000
9	Капитальные затраты на нововведение	-	280000
10	Срок окупаемости капитальных затрат	-	1,98

7.6.2. Электродиализные установки

Значительное распространение, особенно в теплоэнергетике, получили электродиализные установки.

В основе электродиализного обессоливания воды лежит способность ионообменных мембран, имеющих определенный заряд, пропускать через себя под действием электрического поля, созданного внешним источником, между катодом и анодом, погруженными в воду, только катионы и только анионы солей, растворенных в воде. Общий вид электродиализной установки представлен на рис. 44, а схема аппарата для осуществления электродиализного обессоливания воды – на рис. 45.



Рис. 44. Электролизная установка

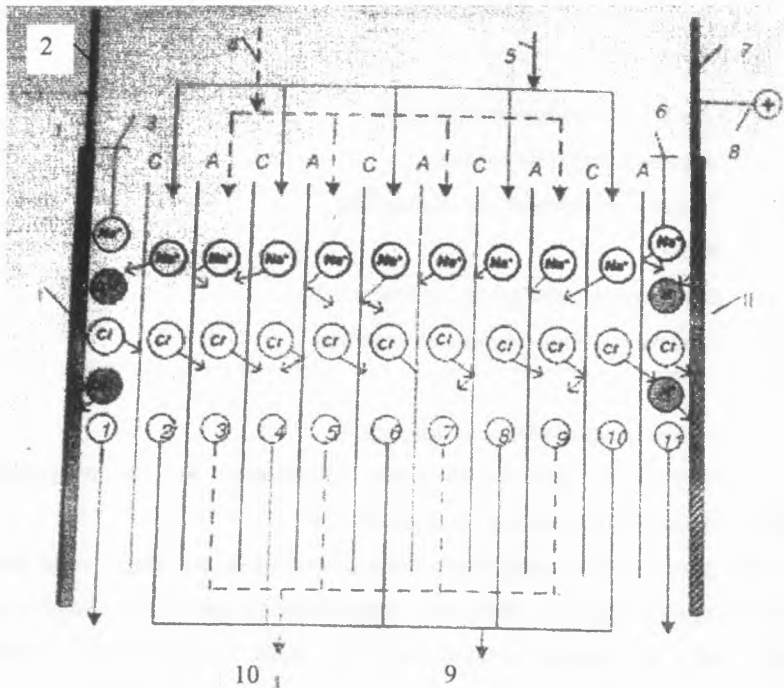


Рис. 45. Схема электродиализного аппарата: I –катод; II –анод; C – катионитовые мембраны; A – анионитовые мембраны; 1 – присоединение к отрицательному полюсу выпрямителя; 2 – выход газообразного водорода; 3 – подача воды на промывку катодной камеры; 4 – подача солоноватой воды в рассольные камеры; 5 – то же в опреснительные камеры; 6 – подача воды на промывку анодной камеры; 7 – выход газообразных кислорода и хлора; 8 – присоединение к положительному полюсу выпрямителя; 9 – отвод опресненной воды; 10 – отвод концентрированного рассола

Электродиализные установки следует, вероятно, использовать:

- для паровых котельных в качестве предвключенной установки к ионообменным фильтрам; при этом предполагается снижение эксплуатационных расходов на 35 % и увеличение длительности фильтроциклов в 10 раз;

- для водогрейных котлов (при температурном графике 120-170 °С) с введением комплексонов;

- для бессточного умягчения воды в различных производствах.

К недостаткам относится то, что в процессе эксплуатации электродиализаторов в помещении выделяются продукты реакции, такие как водород, кислород и азот; установки весьма энергоемки; нет возможности создать установки большой единичной мощности.

7.6.3. Ионнообменные технологии

Пока наиболее широко в отечественной практике для получения обессоленной воды используется ионнообменный метод. Так, подпиточная вода на ТЭС обрабатывается чаще всего по морально устаревшим прямоточным схемам ионообмена. Из десяти видов сточных вод, образующихся на ТЭС, стоки ионнообменных ВПУ являются основными источниками сброса минеральных солей, так как на регенерацию ионитных фильтров электростанциями страны расходуется ежегодно 0,5 – 0,6 млн. т серной кислоты и 0,4 – 0,5 млн. т едкого натра. Объем отводимых сточных вод составляет 25 – 30 % от объема обессоленной воды. Сбросы солей со сточными водами ионнообменных ВПУ ТЭС превышают 2 млн. т в год.

Применяемые ионнообменные технологии давно и подробно описаны, в том числе и в этой книге.

В мировой практике все в большей степени находят применение более прогрессивные, так называемые противоточные технологии ионообмена (UP.CO.RE, Schwebbett, Амберпак и т.д.) с зажатым или поджатым слоем ионнообменных смол в фильтрах, работающих с новым классом смол, таких, например, как «Амберлайт» и «Амберджет» компании Rohm & Haas (США).

В России освоение технологии «Амберпак» в сочетании со смолами компании Rohm & Haas было предпринято в энергосистеме «Челябэнерго» на реконструируемой ионнообменной ВПУ Южно-

Уральской ГРЭС с получением положительного эффекта по себестоимости химочищенной воды, экологическим и технологическим показателям.

Качество обессоленной ионным обменом воды представлено в табл. 23 (по В.А. Клячко и И.Э. Апельцину).

Таблица 23

Качество обессоленной воды

Вода	Остаточное солесодержание, мг/дм ³	Удельное сопротивление, Ом/см
Теоретически чистая	0,0	26-10 ⁶
Перегнанная 28 раз в кварцевой посуде	0,0001	23-10 ⁶
Обессоленная ионитовым методом на установках:		
одноступенчатой	2-10	(0,5-0,8)10 ⁶
двухступенчатой	1-3	(1-5)10 ⁶
трехступенчатой	0,05-0,1	(6-10)10 ⁶
Дистиллированная в испарителях	1-3	(0,1-0,5)10 ⁶
Обессоленная электродиализом (с заполнением камер смесью ионитов)	0,01-0,05	(12-15)10 ⁶

Но один коренной недостаток ионообменных технологий – использование значительного количества химических реагентов для приготовления регенерационных растворов – останется навсегда. Даже при самой прогрессивной технологии потребуется расходование, как минимум, такого же количества солей для регенерации смол, какое

содержится в исходной воде (навряд ли такое революционное сокращение химических реагентов достижимо), и поэтому в природу (или на переработку) будет поступать с жидкими отработанными регенерационными растворами повышенное, как минимум вдвое, количество солей. Не забудем и об огромном количестве стоков.

По этим причинам ионообменные технологии не позволяют и не позволяют создавать ТЭС, соответствующие современным экологическим требованиям, так как эти технологии экономичны лишь для вод с низкой минерализацией, да и то только в том случае, когда не учитываются затраты на сооружение специальных установок по ликвидации отработанных регенерационных растворов и промывочных вод.

7.6.4. Термодистилляционные технологии

Дистилляция основана на способности воды при нагревании испаряться и распадаться на пресный пар и рассол. Пар конденсируется с получением дистиллята.

Метод термического обессоливания применяется уже более 150 лет и испытал за это время взлеты и падения. В настоящее время идет бурный рост выпарной техники. Остановимся на наиболее «презентабельных» решениях.

Выпарные установки можно разделить на однокорпусные, многокорпусные и мгновенного вскипания. В промышленной практике наиболее часто используют многокорпусные установки. Основной частью выпарных установок являются испарители. Условно испарители можно разделить на вертикально- и горизонтально – трубные. На рис. 46 представлен испаритель с принудительной циркуляцией раствора и вынесенной зоной кипения. На рис. 47 – испаритель с восходящей пленкой жидкости, на рис. 48 – испаритель с падающей пленкой жидкости.

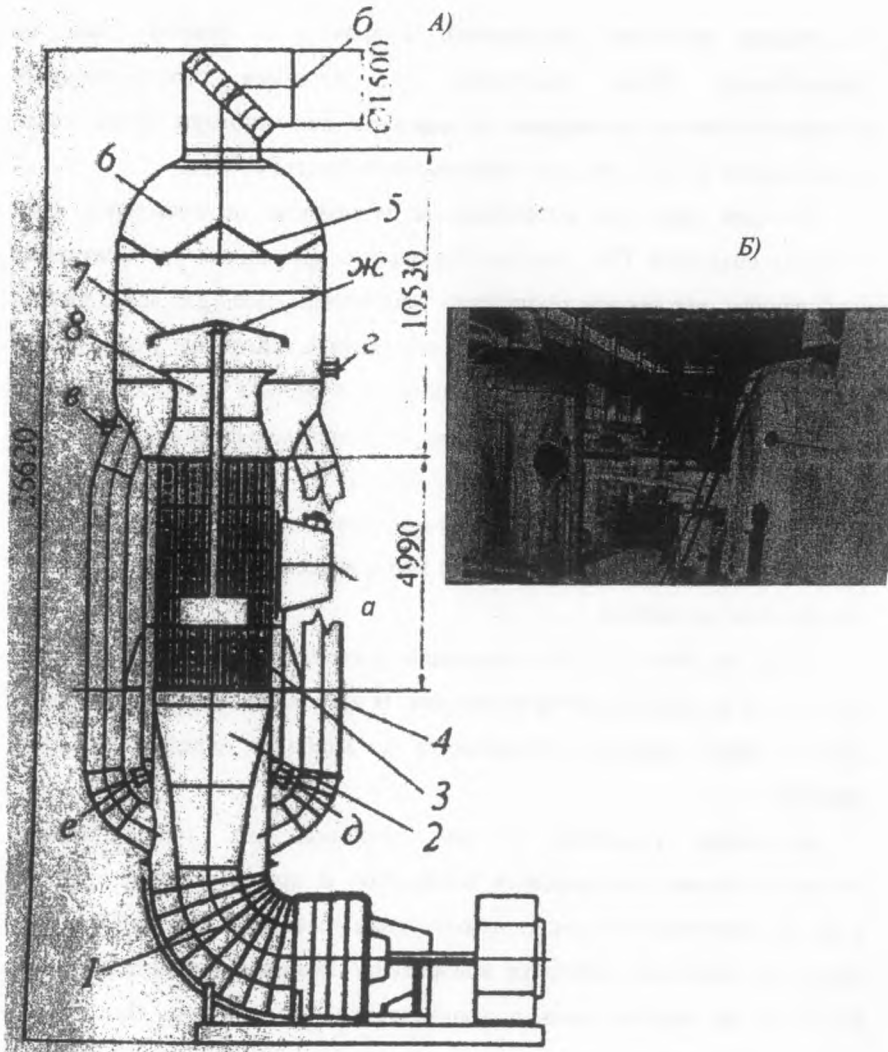


Рис. 46. Испаритель с принудительной циркуляцией раствора и вынесенной зоной кипения (А): 1 – насос; 2 – нижняя растворная камера; 3 – греющая камера; 4 – циркуляционная труба; 5 – брызгоотделитель; 6 – сепаратор; 7 – отбойник; 8 – подъемная труба; а – вход пара; б – выход вторичного пара; в – вход упариваемого раствора; г – выход упаренного раствора; д – вход дистиллята; е – выход дистиллята; ж – газооттяжка; Б – общий вид выпарной установки ВИЗа

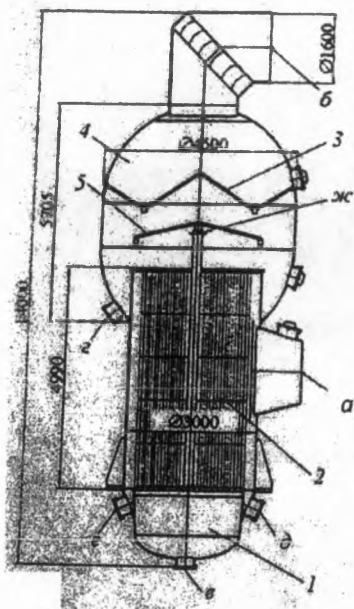


Рис. 47. Испаритель с восходящей пленкой жидкости: 1 – нижняя растворная камера; 2 – греющая камера; 3 – брызго-отделитель; 4 – сепаратор; 5 – отбойник; а – вход пара; б – выход вторичного пара; в – вход упариваемого раствора; г – выход упаренного раствора; д – вход дистиллята; е – выход дистиллята; ж – газооттяжка

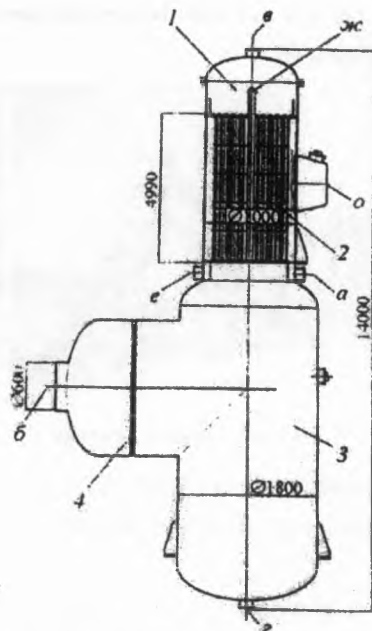


Рис. 48. Испаритель с падающей пленкой жидкости: 1 – верхняя растворная камера; 2 – греющая камера; 3 – сепаратор; 4 – брызгоотделитель; 5 – отбойник; а – вход пара; б – выход вторичного пара; в – вход упариваемого раствора; г – выход упаренного раствора; д – вход дистиллята; е – выход дистиллята; ж – газооттяжка

В качестве примера приведем оснащение Тобольской ТЭЦ тремя десятикорпусными установками на испарителях с восходящей пленкой жидкости общей производительностью около $150 \text{ м}^3/\text{ч}$. Себестоимость получаемой на этих установках подпиточной воды оценивается примерно вдвое ниже, чем если бы ее производили на ионообменных установках.

Общий вид некоторых выпарных установок представлен на рис. 49 и 50.

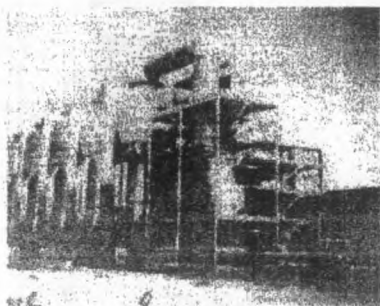


Рис. 49. 10-ступенчатая выпарная установка производительностью $600 \text{ м}^3/\text{ч}$

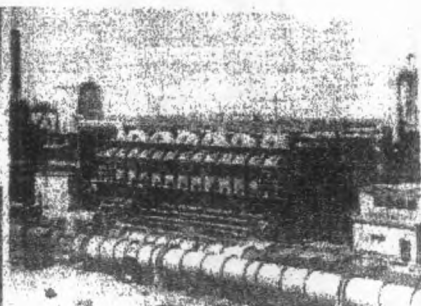


Рис. 50. 34-ступенчатая установка мгновенного вскипания

Представителем нового поколения испарительной техники в настоящее время является горизонтально – трубный пленочный испаритель (ГТПИ), принципиальная конструктивная схема которого представлена на рис. 51.

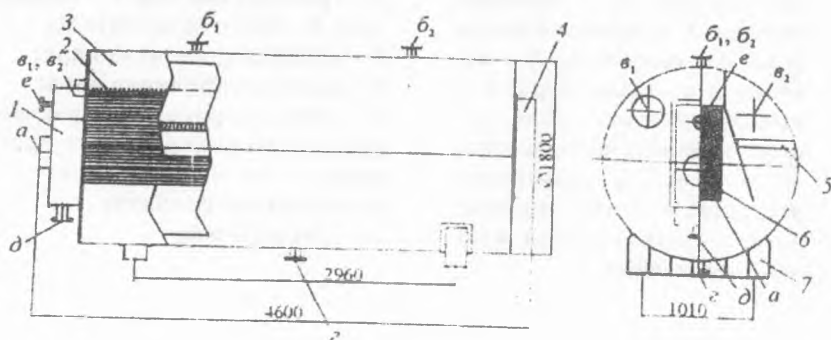


Рис. 51. Конструктивная схема горизонтально – трубного пленочного испарителя: 1 – большая паровая камера; 2 – распределительные устройства; 3 – корпус; 4 – малая паровая камера; 5 – теплообменный пучок; 6 – брызгоотделитель; 7 – опоры; а – вход пара; б₁, б₂ – вход раствора; с₁, с₂ – выход вторичного пара; с – выход упаренного раствора; d – выход дистиллята; e – выход парогазовой смеси

Интересна история этого «омоложенного», как говорят иностранные специалисты, испарителя. Ведь еще в 1888 году французский инженер Lillie запатентовал ГТПИ с пленочным орошением наружной поверхности горизонтальных теплообменных труб (рис. 52) слову сказать, это был один из первых патентов в мире на конструкцию испарителя выпарного аппарата. Установки опреснения морской воды, оснащенные испарителями этого типа, получили в те годы широкое применение. Затем по каким-то причинам этот тип аппарата был предан забвению. И только с разворачиванием в 1952 году многими странами земного шара интенсивных работ по созданию дешевого метода опреснения воды ГТПИ был «изобретен» во второй раз.

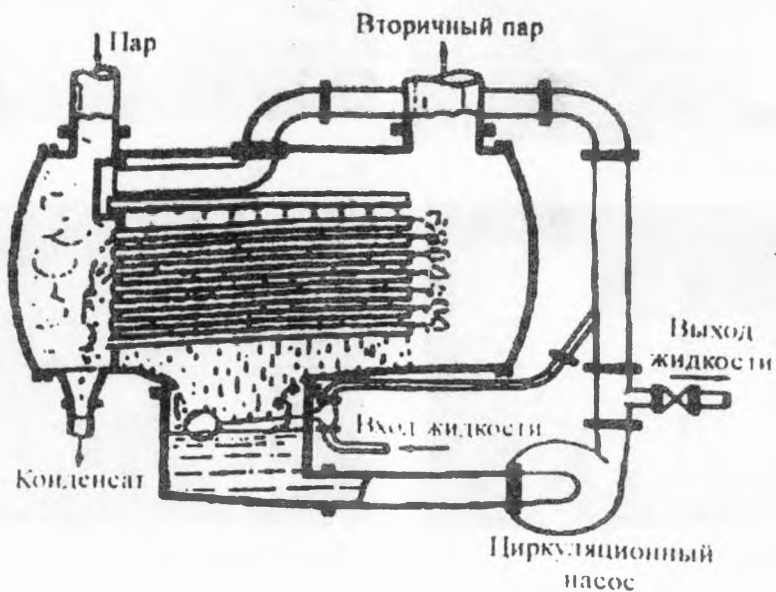


Рис. 52. Пленочный аппарат Lillie

Обессоливающие установки этого типа компактны, имеют значительно меньшую металлоемкость, обеспечивают существенное энергосбережение, повышенную надежность в работе, удобнее в

управлении, обслуживании и ремонте и, что весьма важно, могут перерабатывать большинство стоков.

В последнее время специалистами России разработан ряд ДОУ с ГТПИ производительностью 0,1; 0,25; 0,3; 0,625; 1,0; 1,5; 3; 10; 25; 50; 60; 160; 400; 700 и 840 м³/ч дистиллята. Некоторые установки (общий вид) приведены на рис. 53-56.

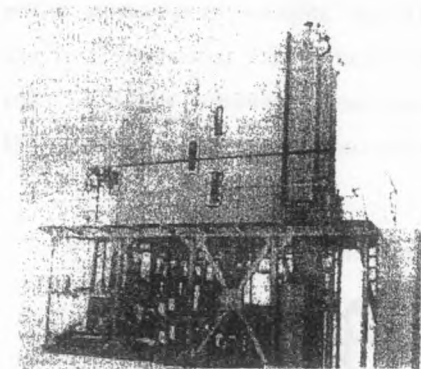


Рис. 53. ДОУ – 10

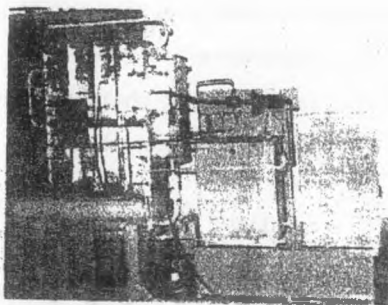


Рис. 54. ДОУ – 0,3

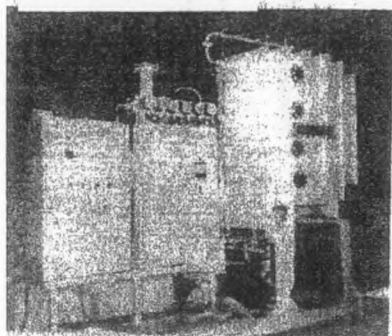


Рис. 55. ДОУ – 0,25

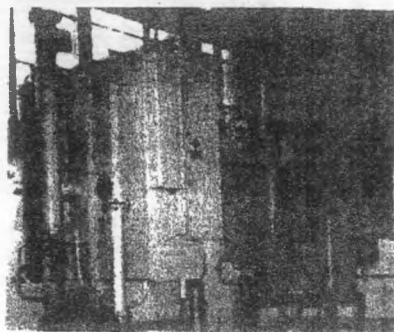


Рис. 56. ДОУ – 1,5

7.6.5. Перспективы внедрения различных методов обессоливания

У всех выпарных установок есть два принципиальных недостатка: отложения различных осадков и коррозия, с которыми всегда необходимо бороться различными методами. Часто выдвигаются обвинения по поводу технико-экономических показателей («дорогое оборудование и высокие энергозатраты»), однако практика не дает однозначного подтверждения

этим обвинениям. Приведем мнения экспертов МАГАТЭ (табл. 24 и 25). Для условий России, по нашему мнению, ни один из приведенных четырех методов не имеет решающего преимущества, и их применение зависит от конкретных условий: качество исходной воды, требования к получаемым продуктам (конденсату, концентрату, сухим солям), наличие дешевой энергии и др. В перспективе, видимо, предпочтительны будут обратноосмотический и термодистилляционный методы, а также их комбинации.

Таблица 24

Потребность в энергии и возможности дешевого опреснения воды для различных процессов опреснения (по данным МАГАТЭ)

Название процесса	Тип процесса	Фазовое изменение	Подвод вторичной энергии, кВтч/м ³	Стоимость строительства, долл/(м ³ ·сут)	Возможность дешевого опреснения воды
1	2	3	4	5	6
1. Обратный осмос	Мембранный	Нет	Электричество 5,5-5,7 (с регенерацией энергии)	1000-1200	Высокая
2. Электролиз	Мембранный	Нет	Электричество 6,5-12,5 (с регенерацией энергии)	1500	Низкая
3. Многоступенчатое однопроходное мгновенное вскипание	Испарение	Жидкость/пар	Электричество 3,0-4,5 + тепло 50-300 ккал/кг	1200-1800	Низкая, средняя

1	2	3	4	5	6
4. Многоступенчатое мгновенное вскипание с рециркуляцией раствора	Испарение	Жидкость/пар	Электричество 3,0-5,0 + тепло 50-300 ккал/кг	1400-2000	Низкая
5. Многоступенчатая дистилляция (вертикаль – но – трубная)	Испарение	Жидкость/пар	Электричество 1,5-4,5 + тепло 30-300 ккал/кг	1200-1500	Средняя, высокая
6. Многоступенчатая дистилляция ITU A	Испарение	Жидкость/пар	Электричество 1,5-3,5 + тепло 30-300 ккал/кг	1500-2000	Средняя, высокая
7. Комбинация процессов 5 и 6 с термической или механической компрессией пара	Испарение	Жидкость/пар	Электричество 6,5-18,0 (усовершенствованные системы)	1500-2000	Высокая
8. Гелиодистилляция	Испарение	Жидкость/пар	Солнечная радиация 0,8-1,5 кВт/м ² энергии солнечных лучей на м ²	4000	Низкая

1	2	3	4	5	6
9. Вымораживание	Замораживание	Жидкость/ твердое	Электричество 10,0 Демонстрационная установка	2500 оценка	Высокая (если НИ-ОКР будут успешными)
10. Гидратация	Кристаллизация	Жидкость/ твердое	Электричество 12,0	2500 оценка	Низкая

Условная оценка стоимости основных фондов

Процесс	Чистота продукта	Состояние раз-работки	Чувствительность к твердым в питании	Требования к подготовке	Необходимая квалификация для обслуживания	Требования к обслуживанию	Стабильность работы при проектных условиях	Гибкость (приспособляемость)	Надежность	Сумма оценок
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ММВ (только МВ)	3	3	3	2	2	1	3	1	2	20
МДВ (только МВ, высокая температура)	3	2	3	1	2	1	3	3	2	20
МДГ (только МВ, низкая температура)	3	2	3	3	3	2	3	3	2	24
ПДК	3	3	2	2	2	2	3	2	3	22
ОО (МВ, ДСВ, ПисВ)	2	2	2	2	2	3	3	3	2	21
	2	3	1	2	2	3	3	3	3	22
	2	2	1	1	1	1	3	3	1	15
ОВ	1	0	3	3	0	0	0	0	0	7
	2	3	2	2	3	2	3	3	3	23
ЭД (МВ, солоноватая вода)	Нет спроектированных для опреснения морской воды установок с производительностью более 1000 м ³ /сутки									

Примечание. ММВ – многоступенчатое мгновенное вскипание; МДВ – многоступенчатая дистилляция вертикальнотрубная; МДГ – многоступенчатая дистилляция горизонтальнотрубная; ПДК – парокompрессионная дистилляция; ОО – обратный осмос; ОВ – опреснение вымораживанием; ЭД – электродиализ; МВ – морская вода; ДСВ – артезианская соленая вода; ПисВ – поверхностная или сточная вода.

Заключение

В предлагаемом учебном пособии из-за ограниченности объема не удалось рассмотреть все направления в специальности “Промышленное водоснабжение”, что естественно. Остановились на тех, которые, на наш взгляд, наиболее важны сегодня и в будущем. По этой причине (объем!) в пособие не включены примеры расчета и проектирования различных вариантов водоснабжения промышленных предприятий (цехов, установок и др.), которые рассмотрены достаточно подробно в уже имеющейся литературе и в наших методических указаниях. Некоторые разделы, весьма актуальные – использование непрерывно действующих самопромывающихся фильтров, обработка осадков и промывных вод систем промышленной водоподготовки и др., которыми мы занимаемся, тоже не “поместились” в пособие.

Упор сделан на создание различных оборотных систем, и особенно замкнутых, наиболее близких нам как авторам (Свердловск, Верх-Исетский металлургический завод, 1973 г.), которые сегодня общепризнанны и стали практически единственным направлением реконструкции водного хозяйства любых промышленных предприятий. Отметим, что именно создание замкнутых систем приводит к максимальной экономии свежей воды.

Список литературы

1. *Абрамов Н.Н.* Водоснабжение/ *Н.Н. Абрамов.* – М.: Стройиздат, 1982. – 480 с.
2. *Николадзе Г.И.* Водоснабжение/ *Г.И. Николадзе.* – М.: Стройиздат, 1995. – 503 с.
3. *Львович М.И.* Вода и жизнь/ *М.И. Львович.* – М.: Мысль, 1986. – 256 с.
4. *Фрог Б.П.* Водоподготовка/ *Б.П. Фрог, А.Л. Левченко.* – М.: МГУ, 2007. – 656 с.
5. *Гусаковский В.Б./* Водоснабжение промышленных предприятий/*В.Б. Гусаковский, Н.Э. Вугминская.* – СПб.: ГАСУ, 2003. – 157 с.
6. *Иванов В.Г.* Водоснабжение промышленных предприятий/ *В.Г. Иванов.* – СПб.: ПГУПС, 2003. – 537 с.
7. *Кожин В.Ф.* Очистка питьевой и технической воды/ *В.Ф. Кожин.* – М.: Стройиздат, 1974. – 302 с.
8. *Вахлер Б.Л.* Водоснабжение и водоотведение на металлургических предприятиях: справочник / *Б.Л. Вахлер.* – М.: Металлургия, 1977. – 320 с.
9. *Шабалин А.Ф.* Обратное водоснабжение промышленных предприятий/*А.Ф. Шабалин.* – М.: Стройиздат, 1972. – 296 с.
10. *Назаров В.Д.* Водоснабжение в нефтедобыче/ *В.Д. Назаров, Л.М. Гурвич, А.А. Русакович.* – Уфа: Виртуал, 2003. – 501 с.
11. *Кульский А.А.* Справочник по свойствам, методам анализа и очистки воды: в 2 ч./ *А.А. Кульский.* – Киев: Наукова думка, 1980. – 1206 с.
12. *Дрикер Б.И.* О механизме ингибирования минеральных отложений органическими фосфонатами/ *Б.И. Дрикер, С.В. Смирнов//* Энергосбережение и водоподготовка. – 2003. – № 1. – С. 39-41.
13. *Дрикер Б.И.* Использование органофосфонатов и композиций на их основе для предотвращения отложений, коррозии и биообрастаний в обратных циклах водоснабжения промпредприятий и на энергетических

объектах/ *Б.И. Дрикер, С.В. Смирнов*// Энергосбережение и водоподготовка. – 2004. – № 3. – С. 16-18.

14. *Дятлова Н.М.* Комплексоны и комплексонаты металлов/ *Н.М. Дятлова, В.Л. Темкина, К.И. Ионов.*– М.: Химия, 1988.

15. К вопросу о методике выбора марки и дозы антинакипина для систем теплоснабжения/ *К.В. Балабан [и др.]*// Энергосбережение и водоподготовка. – 2005. – № 3. – С. 5 – 7.

16. *Балабан-Ирменин Ю.В.* Некоторые проблемы внедрения фосфонатов-антинакипинов/ *Ю.В. Балабан-Ирменин, А.М. Рубашов, С.Г. Тарасов*// Промышленная энергетика. – 2004. – № 1. – С. 29-34.

17. *Андоньев С.М.* Испарительное охлаждение металлургических печей/ *С.М. Андоньев.*– М.: Металлургия, 1970. – 420 с.

18. *Рябчиков Б.Б.* Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования/ *Б.Б. Рябчиков.*– М.: Де Ли принт, 2004. – 304 с.

19. *Копылов А.С.* Водоподготовка в энергетике/ *А.С. Копылов, В.М. Лавыгин, В.Ф. Очков.*– М.: МЭИ, 2003. – 310 с.

20. *Оболенский И.В.* Холодильные и вентиляционные оборудования/ *И.В. Оболенский, Е.А. Денисюк.* – М.: Колос С, 2004. – 248 с.

21. *Белан А.Е.* Технология водоснабжения/ *А.Е. Белан.* – Киев: Наукова думка, 1985. 264 с.

22. Водное хозяйство промышленных предприятий: справочные материалы / под ред. *В.И. Аксенова.* – М.: Теплотехник, 2005. – Кн. 1. – 630 с.; Кн. 4. – 2007. – 239 с.; Кн. 6. – 2010. – 257 с.

23. *Яндыганов Я.Я.* Экономическая эффективность оборотных и бессточных систем водоснабжения/ *Я.Я. Яндыганов, А.М. Черняев, В.И. Аксенов.*– Свердловск: УГКС, 1986. – 36 с.

24. *Кучеренко Д.И.* Обратное водоснабжение/ *Д.И. Кучеренко, В.А. Гладков.*– М.: Стройиздат, 1980. – 170 с.

25. Совершенствование водного хозяйства промышленных предприятий/ *В.И. Аксенов [и др.]*// Водоснабжение и санитарная техника. – 2007. – № 12. – С. 25 - 28.
26. *Галкин Ю.Л.* Концепция очистки сточных вод дождевой канализации Екатеринбурга/ *Ю.Л. Галкин*// Водоснабжение и санитарная техника. – 2008. – № 5. – С. 57-61.
27. Выбор метода обеззараживания воды/ *В.И. Аксенов [и др.]*// Экология производства. – 2009. – № 2. – С. 55-61; № 3. – С. 55-62.
28. Труды X Международной научно-практической конференции. Кемерово: КЕМ ТИПП: СибГИУ: НГАСУ: ЗАО КВК “Экспо-Сибирь”, 2007. – С. 73-75.
29. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определения условий выпуска его в водные объекты. – М.: Федеральное агентство РФ по строительству и ЖКХ (Росстрой); НИИ ВОДГЕО, 2006. – 52 с.
30. Сравнение коагулирующей активности алюмо- и железосодержащих реагентов/ *О.Д. Линников [и др.]*// Водоснабжение и санитарная техника. – 2009. – №12. – С. 38-42.
31. *Галкин Ю.А.* Разработка и результаты применения отстойников-флокуляторов для очистки оборотной воды металлургических заводов России и Украины/ *Ю.А. Галкин*// Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. – №2. – С. 5-11.
32. СНиП 2.04.02-84*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения России. – М.: Госстрой, 2001. – 128 с.

Учебное издание

Аксенов Валентин Иванович
Галкин Юрий Анатольевич
Заслоновский Валерий Николаевич
Ничкова Ирина Ивановна

ПРОМЫШЛЕННОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ

Редактор *Л.Ю. Козыичева*

Подписано в печать 21. 10. 2010

Бумага писчая
Уч. – изд. л. 9,5

Плоская печать
Тираж 400 экз.

Формат 60x84 1/16

Усл. печ. л.12,85
Заказ 413

Редакционно – издательский отдел УрФУ
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19
rio@mail.ustu.ru

Ризография НИЧ УрФУ
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

