

В.И. КИЧИГИН

доктор технических наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный архитектурно-строительный университет

Н.А. АТАНОВ

кандидат технических наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный архитектурно-строительный университет

Н.Е. ЧИСТЯКОВ

доцент кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный архитектурно-строительный университет

ПРИНЦИПЫ УСТРОЙСТВА ОБОРОТНЫХ И БЕССТОЧНЫХ СИСТЕМ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ (ПП)

PRINCIPLES OF CIRCULATING AND ZERO DISCHARGE WATER SUPPLY SYSTEMS IN INDUSTRIAL WATER SUPPLY FACILITIES

Показано, что в целях оптимизации водного хозяйства предприятий требуется создание на них замкнутых и бессточных систем с заменой прямоточного водоснабжения и сложных многостадийных схем очистки на локальное с утилизацией ценных веществ и доведением образующихся отходов до товарного продукта или до вторичного сырья при минимизации материальных и энергетических затрат. Технология обработки промстоков на локальных сооружениях (в зависимости от требований, предъявляемых к технической воде) в большинстве случаев должна основываться на различных комбинациях физико-химических методов очистки: тонкослойного отстаивания; электрофлотокоагуляции; коалесцирующего фильтрования; фильтрования через плавающие загрузки; сорбции; мембранного фильтрования (ультра-, нано- и гиперфильтрации); ионного обмена; корректирования pH; нейтрализации диоксидом углерода и др.

Ключевые слова: оптимизация, замкнутые и бессточные системы, тонкослойное отстаивание, электрофлотокоагуляция, коалесцирующее фильтрование; фильтрование через плавающие загрузки, сорбция, мембранное фильтрование, ионный обмен и др.

Стремление ученых и специалистов прошлого столетия достичь максимальных темпов роста производства за счет расширения использования природных ресурсов увенчалось образованием огромных объемов отходов, подавляющая часть которых – сточные воды (СВ).

До 50-х гг. XX в. большинство ПП имело прямоточную систему водного хозяйства. Со временем естественных водных источников стало не хватать, поэтому прямоточное производственное водоснабжение начали переводить на оборотное. В настоящее время комплексы очистных сооружений (ОС) крупных промпредприятий занимают до 20 % их территорий и составляют до 50 % основных фондов предприятий [7,10] (например, многоступенчатые очистные сооружения ЦБК г. Братска). Из всего многообразия функций применения воды на промпредприятиях наибольшее ее количество используется в качестве хладагента (в среднем до 70-80, в теплоэнергетике – до 90, а в нефтеперерабатывающей промышленности – до 95 %), экстрагента (17-20 %) и транспортирующего агента (10-15 %) [2, с.5; 4, с. 5; 18, с. 2].

It is argued that in order to optimize industrial water management circulating and zero discharge water supply systems ought to be introduced. In place of direct flow and complex multistage purification systems, it is suggested that local water supply be used, with ample opportunity to recycle waste into end product or secondary raw material, thus making it cost-effective by minimizing material and energy expenditures. It is also argued that industrial wastewater recycling at local facilities (depending on process water requirements) ought to be based on a combination of mechanic and chemical purification methods: thin-layer setting, electroflotocoagulation, coalescent filtering, moving bed filtering, sorptions, membrane filtering (ultra-, nano- or hyperfiltering), ion exchange, pH-correction, CO₂ neutralization etc.

Key words: optimization, circulation water supply systems and zero discharge water supply systems, thin-layer setting, electroflotocoagulation, coalescent filtering, moving bed filtering, sorptions, membrane filtering, ion exchange etc.

В наше время, в зависимости от существующих технологий основного производства, водопотребление и водоотведение на предприятиях достигает величин, рассчитанных по работам [7, 16] методами математической статистики при уровне значимости 0,05 (табл. 1).

Строительными нормами и правилами предусматривается проектирование систем водоснабжения промышленных предприятий с обязательным оборотом воды, общим для всего предприятия, или в виде замкнутых циклов для отдельных производств, цехов или установок [14, п. 11.1], чем и начали заниматься более 30 лет назад. Так, по данным А.П. Нечаева [12, с. 2], только в 1976-1980 гг. в промышленности были введены в действие системы оборотного и последовательного использования воды общей мощностью 121,7 км³ в год, что позволило сэкономить в расчете на 1981 г. более 40 км³ воды, забираемой из природных источников. Если бы эти оборотные системы не были внедрены, то на строительство сооружений транспортирования воды, ее подготовки и очистки до требований ПДС перед их сбросом в водные объекты потребовалось бы затратить средств в 9,2 раза больше.

Таблица 1

Характеристика систем водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности [7,16]

Отрасль промышленности, вид и способ производства	Единица измерения, вид продукции или сырья	Среднегодовое водопотребление на единицу измерения, м ³ /% от всего, воды			Среднегодовой сброс сточков на единицу измерения воды			Безвозвратные потери	
		оборотной	свежей, подпиточной	всего	всего, м ³ /% от подпиточной	подлежащей очистке, м ³ /% от выпускаемой в водоем	м ³ /% от общего водопотребления	% от свежих, подпиточной	
1. Нефтеперерабатывающая промышленность (НПЗ топливного профиля с неглубокой и глубокой схемами переработки; с масляным производством; с крупнотоннажными нефтехимическими производствами - этилен и пропилен, полиэтилен, полипропилен)	1 т перерабатываемой нефти или продукта	40,0-56,0 89,5-96,3	1,54-6,6 3,7-10,5	41,54-62,6	0-2,73 0-41,4	0-1,48 0-54,2	0,3-6,6 0,7-10,5	19,5-100,0	
2. Нефтехимические производства бензола, изопрена, синтетических жирных кислот (СЖК)	1 т продукта	15,3-468 82,2-93,2	3,32-34,07 6,8-17,8	18,62-502,07	0,51-18,94 15,3-55,6	0,002-10,59 0,4-55,9	1,22-15,03 3,0-5,4	36,7-44,1	
3. Заводы синтетического каучука (производство изопрена и каучуков)	То же	620-2800 93,9-94,5	40,16-163,52 5,5-6,1	660,16-2963,52	33,96-104,12 63,7-84,6	4,2-27,6 12,4-26,5	12,47-59,4 1,9-2,0	31,0-36,3	
4. Производство основной химии (кальцинированной соды, хлористого кальция, серной кислоты)	-/-	72-120 90,0-95,9	3,08-13,3 4,1-10,0	75,08-133,3	1,18-10,25 38,3-77,1	0-9,95 0-97,1	1,9-3,05 2,3-2,5	22,9-61,7	
5. Металлургические цехи и заводы (перспективные и реконструированные)	-/-	117-381 90,4-91,4	11,0-40,4 8,6-9,6	128-421,4	2,30-5,0 12,4-29,9	0-0,2 0-4,0	8,7-35,4 6,8-8,4	79,1-87,6	
6. Целлюлозно-бумажная промышленность (производство товарной белой древесной массы, сульфатной белимой и небеленой целлюлозы)	-/-	215-1050 82,6-87,6	30,28-220,4 12,4-17,4	245,28-1270,4	28,28-217,9 93,4-98,9	6,5-145,5 23,0-66,8	2,0-2,5 0,2-0,8	1,1-6,6	
7. Машиностроительная промышленность:									
- заводы литейные, тяжелого станкостроения, нормального электрокорунда, металлургического оборудования и машин	1 т изделий	98,85-206 69,6-87,5	14,1-90,0 12,5-30,4	112,95-296	0,318-39,0 2,2-43,3	0,076-7,0 17,9-23,9	6,6-18,65 5,8-6,3	20,7-46,8	
- заводы химического и нефтехимического машиностроения I, II и III групп	1000 р.	30,1-36,8 49,6-52,1	30,6-33,7 47,9-50,4	60,7-70,7	27,1-30,9 88,6-91,7	14,0-19,1 51,7-61,8	2,8-4,3 4,6-6,1	9,2-12,8	
- заводы, выпускающие грузовые автомобили грузоподъемностью 0,9-1,0 т и средние автобусы	1 автомобиль	90-280 70,9-81,8	20,2-11,5 18,2-29,1	110,2-395	12,2-102 60,4-88,7	8,4-77,8 68,9-76,3	8,0-13,0 3,3-7,2	11,3-39,6	
- производство подшипников нормальной точности средней массой до 20 кг	1000 шт.	4150 85,0	732 15,0	4882	455 62,2	292,7 64,3	277 5,7	37,8	
- тракторные заводы, выпускающие средние гусеничные тракторы	1 трактор	414,31 87,2	60,63 12,8	474,94	43,36 71,5	35,19 81,2	17,27 3,6	28,5	
8. Газовая промышленность (добыча высокосернистого природного газа; установка сероочистки газа)	100 тыс. м ³ газа	520-2500 97,4-97,5	13,1-65,15 2,4-2,5	533,1-2565,15	1,11-4,15 6,4-8,5	0,91-2,4 8,2-57,8	0,3-61,0 0,1-2,4	2,3-93,6	

В 80-х гг. прошлого столетия на передовых предприятиях ряда отраслей промышленности воду стали рассматривать как *один из сырьевых ресурсов* и начали создавать единые системы водного хозяйства, включающие в себя водоснабжение, водоотведение, очистку сточных вод и их подготовку для промышленного водоснабжения, исключающие сброс сточных вод в водоем.

Например, по данным ВНИИ ВОДГЕО [17], подобные системы, разработанные ВНИПИчермет-энергоочисткой и внедренные на предприятиях своей отрасли (Азовсталь, Криворожсталь, Череповецком, Новополоцком заводах и Магнитогорском металлургическом комбинате), позволили сократить расход свежей воды на 500 млн. м³/год. В цехе холодного проката Верх-Исетского металлургического завода регенерация отработанных травильных растворов, каскадная водовоздушная промывка сократили расходы воды: после травления изделий - в *пять*, на промывку металла после его обезжиривания - в *четыре*, а на промывку магнитных сепараторов - в 25 раз.

Известно, что оборотное водоснабжение не уменьшает общей потребности предприятия в воде, однако его применение позволяет сократить забор свежей воды в десятки раз. При этом уменьшается и количество сбрасываемых стоков в водоем, но существенно увеличивается концентрация загрязнений в них. Переход на нормы ПДК и ПДС потребовал строительства сооружений с недорогой многоступенчатой очисткой.

Например, практически на всех НПЗ существует трехступенчатая механическая и двухступенчатая биологическая очистка. Но многоступенчатая очистка далеко не всегда обеспечивает требования нормам существующих ПДС. Установлено, что сейчас качество поступающего в водоем очищенного промышленного стока превышает нормы ПДК, например, на НПЗ - в 60 раз, ЦБК - в 40 раз, заводах синтетического волокна - в 15 раз, заводах синтетического каучука - в 2000 раз.

Вот почему кардинальным решением проблемы охраны источников от загрязнения их ПСВ является создание замкнутых систем водного хозяйства ПП, которые практически, а не формально исключают сброс этих стоков в водоем. Однако без коренного изменения технологий основных производств ПП повсеместное создание замкнутых систем невозможно [4, 7].

Для оценки системы использования воды в производстве целесообразно применять два показателя:

- коэффициент использования оборотной воды

$$K_{об} = \frac{Q_{об}}{Q_{об} + Q_{св}}$$

- коэффициент использования свежей воды

$$K_{св} = \frac{Q_{св} - Q_{сб}}{Q_{св}}$$

где $Q_{об}$ - количество оборотной воды, м³/ч; $Q_{св}$ - количество свежей воды, забираемой из источника, м³/ч; $Q_{сб}$ - количество сточных вод, сбрасываемых в водоем, м³/ч; $Q_{сб} + Q_{св}$ - общее количество используемой воды, м³/ч.

Проведенные по табл. 1 расчеты даны в табл. 2.

Замкнутые системы следует рассматривать как системы, исключающие сброс СВ в водоем, в которых коэффициент использования свежей воды равен 1.0, и как оборотные системы с указанием коэффициентов использования воды в обороте. Однако из приведенных в табл. 2 данных следует, что только на передовых нефтеперерабатывающих и машиностроительных предприятиях $K_{св} \rightarrow$ к 100 %, хотя $K_{об}$ близок 100 % на НПЗ, в нефтехимической промышленности, производствах синтетического каучука и основной химии.

Таблица 2

Обобщенная характеристика степени использования воды в оборотных системах предприятий

Отрасль промышленности	Значения показателей		
	расход воды, м ³ на 1 т продукции	коэффициент использования оборотной воды, %	коэффициент использования свежей воды, %
НПП	40,0-56,0	89,4-96,3	58,6-100,0
Нефтехимическая	15,0-468,0	82,2-93,2	44,4-84,6
Синтетического каучука	620-2800	93,9-94,5	15,4-36,3
Производства основной химии	72-120	90,0-95,9	22,9-61,7
Черной металлургии	117-381	90,4-91,4	79,1-87,6
Целлюлозно-бумажной	215-1050	82,6-87,6	1,1-6,6
Машиностроительной	98,9-206,0	49,6-87,5	56,7-97,7
Газовой	520-2500*)	99,8	91,5-93,7

*) На 100 тыс. м³ газа

До недавнего времени для прямоточного технического водоснабжения в основном использовалась вода питьевого качества, а все образующиеся сточные воды единым потоком проходили общие внеплощадочные очистные сооружения (например, как это было на АвтоВАЗе до 1979 г.). Для получения технической воды с повышенным качеством применяли различные способы ее доочистки: фильтрацию, сорбцию, корректировку ионного состава и др. Существующие в настоящее время способы очистки позволяют получить *воду любого качества* (например, «особо высокой чистоты», применяемой в электронной промышленности, на ГРЭС - в котлах высокого давления, для заводнения первого и второго контуров атомных реакторов). Однако получение воды такого качества связано с большими капитальными и эксплуатационными затратами.

Таким образом, преимущественное (и повсеместное) создание замкнутых систем водного хозяйства возможно только при совершенствовании технологий основных производств промышленных

предприятий, направленных прежде всего на сокращение необоснованного водопотребления (например, переводом этих технологий с водяного охлаждения на испарительное или аппараты воздушного охлаждения АВО). В этом направлении необходима последовательная проработка на ПП следующих трех этапов:

1. Рекуперация теплоты горячих технологических потоков холодными потоками, что позволяет сократить расход оборотной воды до трех раз.
2. Разделение производственного водоснабжения на локальные оборотные системы в зависимости от вида охлаждаемого продукта (охлаждение газов, конденсация водяного пара, охлаждение сжатого воздуха, бензина и т.п.), что локализует утечки продукта в одной системе.
3. Разделение продуктов и аппаратов по температуре продукта охлаждения на низкотемпературные (до 100 °С) и высокотемпературные (свыше 150 °С).

Таблица 3

Рекомендуемые системы охлаждения воды [4, с. 5]

Требуемая температура охлаждения продукта, °С	Рекомендуемая система или аппарат
≤ 20	Двухконтурная оборотная система с аммиачным или пропановым холодильником первого контура
≤ 45	Оборотная система с вентиляторной градирней
> 50	Аппарат воздушного охлаждения (АВО) или оборотная система с использованием АВО
> 150	Испарительное охлаждение с получением пара

На современных технологических установках нефтехимии широко применяется двухступенчатое охлаждение нефтепродукта: на первой ступени – АВО, который охлаждает продукт до 45 °С (летом), и на второй ступени - водяной холодильник, он охлаждает продукт до 40 °С. (В зимний период АВО охлаждает продукт сразу до 40 °С, поэтому водяное охлаждение отключается). Применение АВО позволяет сократить расход оборотной воды в три раза.

Наиболее существенная экономия достигается при замене водяного охлаждения воздушным.

На современных НПЗ внедрение воздушного охлаждения позволяет сократить производительность оборотных систем на 60-70 %, что обеспечивает снижение расхода потребляемой воды в 3-4 раза, а сточной - на 25-30 %. Расход оборотной воды за счет применения воздушного охлаждения на нужды заводов азотной промышленности сокращается на 40-45 %; заводов хлорорганической промышленности – на 65-70 % [18, с.2].

Комбинирование аппаратов воздушного охлаждения с внедрением энерготехнологических комплексов с использованием теплоты химических реакций дает возможность сократить водопотребление, например, на получение 1 т аммиака с 32 до 8 м³, на 1 т слабой азотной кислоты – с 10 до 0,3 м³, на 1 т серной кислоты - с 5,3 до 3,1 м³, на 1 т экстракционной фосфорной кислоты - с 20-40 до 3-4 м³.

Создание бессточных систем водного хозяйства ПП, вероятно, возможно только при использовании

испарительного охлаждения. Еще в работе [2, с.11] было убедительно показано, что этот метод охлаждения позволяет сократить расход воды в 40-200 раз, забор чистой воды из источников водоснабжения – в 5-25 раз и сброс сточных вод в него – в 4-21 раз. При этом достигается увеличение межремонтного цикла футеровки печей в 5-20 раз.

Испарительное охлаждение нашло наиболее широкое применение на металлургических предприятиях с 60-х гг. прошлого века. Например, перевод мартеновских печей завода в г. Северске позволил обеспечить теплоснабжением и горячим водоснабжением рабочий поселок, при этом отопительная котельная находилась в резервном режиме. Аналогичная схема была применена и на силикатном заводе в г. Чапаевске Самарской области в конце 70-х гг. XX в.

В 70–80-х гг. прошлого столетия в нашей стране было проведено качественное сокращение промышленного водопотребления. Однако с того времени используемое технологическое оборудование основного производства существенно устарело и эксплуатируется с коэффициентом концентрирования (упаривания) $K_x = 1,2-1,5$, что соответствует оборотным системам со сбросом стоков. Известно [3, с. 34], что K_x не зависит от процента водооборота, а только от доли процента испарения от общих потерь. Кроме того, максимальный процент водооборота имеет место при отсутствии продувки системы, т.е. без сброса сточных вод [3, с. 32]. Установлено [3, с. 34], что для данных систем $K_x = 9-13$. При этом сокращается потребление свежей воды в 2-3 раза.

Однако перевод работы оборотных систем на более высокие коэффициенты концентрирования требует стабилизационной обработки воды, способной предотвратить солевые отложения, коррозию оборудования и трубопроводов, биологические образования и т.п. [3, с. 210-380].

Установки испарительного охлаждения могут работать только на химически очищенной воде. В этом случае до 80 % сбрасываемых стоков (остальное – «продувка») представлены минерализованными водами после регенерации сооружений химводоочистки (в основном ионообменных фильтров). Отсутствие или недостаток химически чистой воды на многих ПП в настоящее время ограничивает ис-

пользование системы испарительного охлаждения. По нашим расчетам, применение безреагентных способов подготовки воды для этой системы (например, основанных на преимуществах мембранных технологий – см. табл. 4,5) позволит сократить сброс еще на 70 %.

На предприятиях, построенных до 50-х гг. прошлого века, как правило, проектировалась общесплавная канализация. Стремление очищать все образующиеся стоки ПП централизованно на одних ОС приводит не только к убыточности применяемых технологий очистки, но и к непоправимым, безвозвратным потерям ценных материалов и ресурсов.

Таблица 4

Сводная характеристика очистки воды мембранными методами [20,21, 22, 23]

Наименование мембранного процесса	Характеристика процессов						Границы применимости
	размер удаляемых частиц, мкм	рабочее давление, кПа	энергозатраты, Вт/м ³	Мембранные элементы		Степень извлечения продукта, %	
				Материал *)	Конфигурация **)		
Микрофилтрация	0,08-2,0	7-100	0,4	ПП; АКН; Н; ФП; К	Р; ПЛВ; ПЛП; Пт; Тр	94-98	Бактерии, коллоиды, взвеси
Ультрафилтрация	0,002-0,2	30-700	3,0	АЦ; АП	Р; ПЛВ; ПЛП	70-80	Коллоиды, бактерии, вирусы, молекулы больших соединений. Регенерация отработ. р-в электролитов (травление, обезжиривание); обезжелезивание; оч-ка дизельн. топлива; гальванич. стоки; пр-ва печатн. плат; оч-ка и рег.СОЖ, моющ. р-в, моторн., индустр. и трансформ. масел; получение микробиологич. препаратов с улучш. св-ми; отделение от р-в бактерий и вирусов
Нанофилтрация	0,001-0,01	500-1000	5,3	АЦ; АП	Р; ПЛВ	80-85	Многочаargedные ионы, молекулы, вирусы. Удаляются в-ва крупнее NaCl, исп. для полн. обессоливания. Химич. промышленность, пищевая, в котельных и сист. отопления, фармацевтич. компаниях, мед. учрежд., нефтепер. промышленности (удаляет молекулы и многозарядные ионы + органич. молекулы с молек. массой >300 дальтон и все вирусы + 99,99% микробиологич. загрязнений)
Гиперфилтрация (обратный осмос)	0,0001-0,001	850-7000	10,2-18,2	АЦ; АП	Р; ПЛВ	70-85	Ионы. Предназначены для повторного использования ст. вод после очистки. Задерживают все бактерии и вирусы, большую часть растворенных солей, органических и патогенных микроорганизмов (в том числе железо и гумусовые соединения, придающие воде цветность; 97-99% всех растворен. веществ)
Электродиализ	-	-	9,5			75-85	Ионы. Предназначен для повторного использования ст. вод после очистки

*) ПП – полипропилен; АКН – акрилонитрил; Н – нейлон; ФП – фторопласт; К – керамика; АЦ – ацетатцеллюлоза; АП – ароматические полиамиды
 **) Р – рулонные; ПЛВ – поливолоконные; ПЛП – плоскопараллельные; Пт – патронные; Тр – трубчатые

Между тем практически любые очистные сооружения ПП можно сделать *рентабельными*, если ценные продукты (вещества, соединения) извлекать из стоков на локальных очистных сооруже-

ниях в местах их образования и возвращать в производство или утилизировать. На это указывает как наш многолетний опыт [3,6,7,9,10], так и опыт других [1,2,12,17,18,20].

Таблица 5

Сравнительные данные по снижению концентрации веществ в сточной воде ультрафильтрацией (УФ) и гиперфильтрацией (ГФ) [21-24]

Наименование вещества	Концентрация веществ, мг/л, в воде:		
	исходной	после УФ очистки	после ГФ очистки
Cu^{2+}	5-30	0,1	< 0,04
Ni^{2+}	5-30	< 0,04	< 0,01
Zn^{2+}	5-30	< 0,04	< 0,01
Cr^{3+}	5-30	0,1	< 0,01
Fe^{3+}	5-30	0,01	< 0,01
Al^{3+}	5-30	< 0,04	< 0,01
Pb^{2+}	5-30	< 0,04	< 0,01
Cd^{2+}	5-30	0,1	< 0,04
SO_4^{2-}	800-1000	800-1000	< 30
Cl^-	100-200	100-200	< 4,0
ПАВ	1-5	0,1-0,5	< 0,01
Нефтепродукты	5-30	< 0,05	< 0,01

Эффективность работы установки ультрафильтрации по отдельным загрязнениям составляет:

Параметр:	Значения, %:
Тяжелые металлы	95-99
Нефтепродукты (масла)	85-99
Мехпримеси	94-99
ПАВ (анионные и неионогенные)	50-75

Например, внедрение установок по очистке локальных потоков сточных вод позволило в Клинском объединении «Химволокно» вернуть в производство в течение года 16 тыс. т серной кислоты, 17 тыс. т сульфата цинка, 39 тыс. т сульфата натрия. На Волгодонском химзаводе была создана рациональная система использования воды при производстве синтетических жирных кислот с объединением всех стоков в три потока и их повторным использованием. При локальной очистке кислых стоков был получен концентрат монокарбоновых кислот, используемый для консервации зеленых кормов. Система регенерации отработанных солевых растворов в производстве катионных красителей позволила исключить сброс высокоминерализованных сточных вод в водоем, сократить потребление свежей воды и вернуть в производство 0,17 т/сут хлористого цинка, 0,2 т/сут фанилгидразина, 7,5 т/сут сульфата натрия и 14 т/сут хлористого натрия. Создание замкнутой системы водного хозяйства Первомайского промузла (включающего в себя завод по производству хлора, каустической соды, пластмасс, средств химзащиты растений, синтетических моющих средств, ТЭЦ, город и локальные системы водного хозяйства) позволило сократить суточное потребление свежей воды химзаводом со 150,7 до 4,5 тыс. м³ и получить из отходов производства: минеральных удобрений – 20; сульфата натрия – 3,1; хлорвиниловых плиток – 5,0; органических удобрений – 1,0; кормового концентрата – 1.0 тыс. т/год [17].

В настоящее время чаще всего применяют раздельную систему водоотведения, по которой по

отдельным сетям отводятся стоки: *бытовые; поверхностные; условно чистые; минерализованные; химически загрязненные*. Однако практика работы предприятий показывает, что такого деления при создании замкнутой системы водного хозяйства ПП недостаточно, так как химически загрязненные сточные воды часто содержат в себе минеральных солей больше, чем минерализованных. Вот почему система водного хозяйства предприятия должна учитывать специфику не только производства, но и возможность использования доочищенных сточных вод для подпитки оборотных систем.

Эксплуатация показывает, что в большинстве случаев целесообразно выделить в отдельную систему обычно слабоминерализованные сточные воды (например, продувочные воды оборотных систем) и ливневые, которые обычно имеют минерализацию до 1000 мг/л. Этот совместный сток после очистки может быть использован для подпитки оборотной системы (например, как на металлургическом заводе в г. Самаре).

Химически загрязненные стоки ПП можно разделить на три группы (табл. 6) в зависимости от их токсичности и способности к биохимическому окислению растворенной органики.

Минерализованные сточные воды делятся на *слабоминерализованные* (с содержанием до 3 г/л), *минерализованные* (3-5 г/л) и *высокоминерализованные* (5-10 мг/л).

Разнообразие систем водоотведения зависит от технологии основного производства предприятия.

Как правило, минерализованные СВ образуются за счет регенерации ионитовых фильтров, рассольных камер электродиализных, ультра-, нано- и гипер-фильтрационных аппаратов, отработанных растворов кислот, щелочей, гальванопокрытий (содержащих, например, ионы CN^- , Cr^{3+} , Cr^{6+} , Ni^{2+} и др.). Вот почему без необходимости не рекомендуется смешивать содосодержащие и кислые стоки. Наиболее целесообразным является создание локальных

систем очистки стоков, содержащих отработанные реагенты, до нормативных значений качества подпиточной воды с целью ее повторного использования.

Установлено (табл. 7), что в подавляющем числе случаев основное количество растворенных катионов легко выделяется простой корректировкой величины рН до значения, когда удаляемое вещество оказывается в изоэлектрической точке (где дзета-потенциал приближается к нулю) [5].

Таблица 6

Характеристика химически загрязненного стока [1,4,7,15]

Группа загрязнителей	Величина отношения		Характеристика стока
	$\frac{БПК_{II}}{ХПК}$	$\frac{ХПК}{БПК_{II}}$	
Первая	0,5-0,9	1,1-2,0	Биологическая очистка по снижению БПК и ХПК будет протекать интенсивно и глубоко. При $БПК_{II}:ХПК \geq 0,67$ ($ХПК:БПК_{II} \leq 1,5$) в очищаемой воде будут в основном присутствовать вещества, легко окисляющиеся биохимически до CO_2 и обладающие малой токсичностью. $ТОО \leq БПК_{II}$
Вторая	0,2-0,5	2,0-5,0	Биохимически трудноокисляющиеся вещества, обладающие <i>выраженной</i> токсичностью. Биологическая очистка возможна, но здесь БПК будет снижаться легко и быстро, а уменьшение ХПК будет незначительным. $ТОО \geq БПК_{II}$. Большой глубины очистки не будет
Третья	$\leq 0,2$	$\geq 5,0$	Практически неокисляющиеся вещества, обладающие <i>резко выраженной</i> токсичностью. Трудноокисляемая органика (ТОО) представлена либо высокомолекулярными органическими соединениями, требующими режима продленной аэрации на их окисление (минерализацию), либо органическими веществами синтетического происхождения (чаще полимерами), не окисляемыми биологическим путем. Биологическая очистка нецелесообразна и невозможна

Многолетние исследования и практические испытания, проведенные нами на целом ряде промышленных предприятий Самарской области, показали, что для использования сточных вод в оборотных системах, как правило, не требуется столь глубокая их очистка, как в случае сброса в водоем. Обычно для оборотных систем не требуется и вода питьевого качества [6, с. 128-130], что убедительно подтверждается и нормативными данными (табл. 8), составленными нами по данным работы [11].

Выгоднее создавать замкнутые системы водного хозяйства не отдельных предприятий, а промышленных районов или территориально - производственных комплексов [6, 7]. В этом случае очищенные сточные воды могут быть использованы последовательно в различных технологических процессах одного предприятия или передаваться для технологических циклов систем промводоснабжения соседей и т.п. Большим резервом для пополнения систем оборотного водоснабжения являются поверхностные стоки, образующиеся на территории промышленных предприятий [8,9]. По данным [18, с.3], себестоимость очистки этого стока при его использовании в системах промышленного водоснабжения в 5-10 раз

меньше, чем при обеспечении условий его сброса в водные объекты или городскую канализацию.

Эвтрофирование водоемов под действием биогенных элементов неуклонно растет ежегодно и уже стало недопустимым. Основными причинами этого являются: существенно снизившиеся скорости течения воды в водотоках (за счет регулирования их стока плотинами); обмеление рек; ситуация в бурные девяностые, когда прекратился контроль государства за сбросами в поверхностные водоемы [6,7,8]. Известно [19, с. 4], что фосфор в виде фосфатов достаточно легко связывается в нерастворимые соединения многовалентными катионами (лучше Fe^{2+} и Ca^{2+}), которые вводятся перед аэротенками, а затем выпадают во вторичном отстойнике вместе с активным илом. Много сложнее выделить из воды соединения азота. Так, если они присутствуют в виде нитритов и нитратов, то их восстанавливают до элементарного азота в бескислородной среде в присутствии легко окисляющегося субстрата (в денитрификаторах, в которых денитрифицирующие бактерии находятся в иммобилизованной форме). Если азот присутствует в аммонийной форме, то процесс осуществляется по схеме «нитри- → денитрификация».

Таблица 7

Ориентировочные интервалы pH , при которых происходитсамокоагуляция веществ и образуются нерастворимые соединения или гидроокиси [5, рис. 3.1; 13, табл. 11]

Наименование вещества	pH максимального выделения	Остаточная концентрация по металлу (веществу), мг/л	pH начала самокоагуляции (образования гидроксида)	pH конца самокоагуляции (начала растворения) гидроксида
$Cr(OH)_3$	6,8-8,75	0,05	4,0-4,9	11,0
$Fe(OH)_2$	8,0-9,7	0,3-1,0	7,0	13,5
$Ni(OH)_2$	9,25-10,0	0,25-0,75	6,0-7,7	-
$Zn(OH)_2$	8,0-10,5	0,05	5,2-6,4	12-13
$Cu(OH)_2$	8,0-9,0	0,053	5,3	$\geq 9,0$
$Cd(OH)_2$	8,2-9,7	2,5	7,2-8,2	-
$Be(OH)_2$	9,8	-	6,8	13,0
$Co(OH)_2$	8,5-10,0	0,32-2,5	7,2-8,2	-
$Pb(OH)_2$	8,4-9,3	0,05	6,0-7,8	-
CaF_2	8,5	16-18	-	-
$CaCO_3$	8,5-9,0	0,5	-	-
$CaSO_4$	10,0-10,2	650	-	-
$Fe(OH)_3$	6,2-6,4	0,3-0,5	2,3-4,1	8,4
$Al(OH)_3$	5,9-6,0	0,1-0,5	3,7-5,2	7,6-8,5
$Sn(OH)_2$	3,2	-	2,3	10,0
$Bi(OH)_3$	-	1,4	-	-
Na_3AlF_6	6,8-7,5	0,5	-	8,5
Гумины	2,0-2,5	0,03-1,2	1,8	4,0
Глины	4,0-5,1	2,0-3,1	4,0	5,6

Таблица 8

Требования к качеству воды различных систем водоснабжения ПП [11]

Показатели	Значения допустимых уровней гигиенических критериев для систем:		
	закрытых	открытых при любом сочетании методов очистки, доочистки и обеззараживания	открытых при использовании воды природных источников и восстановленной воды из поверхностного стока с территории ПП
1. Запах, баллы	-	2,0	-
2. Окраска в столбике воды, см	-	10,0	-
3. Взвешенные вещества, мг/л	10,0	3,0	-
4. БПК ₅ , мгО ₂ /л	10,0	3,0	-
5. ХПК, мгО ₂ /л	70,0	30,0	-
6. Общие колиформные бактерии, число бактерий в 100 мл	500,0	20,0	500,0
7. Термотолерантные колиформные бактерии, число бактерий в 100 мл	100,0	10,0	100,0
8. Колифаги, число бляшкообразующих единиц (БОЕ) в 100 мл	100,0	10,0	10,0

Таким образом, создание замкнутых систем водного хозяйства предприятий возможно только при коренном пересмотре существующих принципов водоснабжения, водоотведения и очистки ПСВ до норм оборотного водоснабжения. Это осуществимо при следующих условиях:

1. Системы водоснабжения, водоотведения и очистки ПСВ должны рассматриваться в совокупности как единая система водного хозяйства ПП, направленная на подготовку воды до норм оборотного водоснабжения.

2. Создание замкнутых и бессточных систем водного хозяйства предприятий с заменой прямоочного водоснабжения и сложных многостадийных схем очистки на локальные (которые будут являться основными звеньями оборотных систем водного хозяйства ПП) с утилизацией ценных веществ и доведением образующихся отходов до товарного продукта или до вторичного сырья при минимизации материальных и энергетических затрат.

3. Применение воздушного и испарительного охлаждения вместо водяного с обязательной регенерацией отработанных технологических растворов и концентрированных СВ с целью их повторного использования в производстве.

4. Для технического водоснабжения ПП нужно использовать только очищенные производственные и доочищенные городские (бытовые) сточные воды, а также поверхностный сток с территории предприятий. Вода питьевого качества и из подземных источников должна применяться только для особых целей и восполнения безвозвратных ее потерь в системах оборотного водоснабжения.

5. Создание замкнутых систем водного хозяйства не отдельных предприятий, а промышленных районов или территориально-производственных комплексов с последовательным использованием очищенных стоков в различных технологических процессах одного предприятия или передачей их для систем промводоснабжения соседей.

6. Технология обработки промстоков на локальных сооружениях (в зависимости от требований, предъявляемых к технической воде) в большинстве случаев, вероятно, должна основываться на различных комбинациях физико-химических методов очистки: тонкослойного отстаивания; электрофлоткоагуляции; коалесцирующего фильтрования; фильтрования через плавающие загрузки; сорбции; мембранного фильтрования (ультро-, нано- и гиперфильтрации); ионного обмена; корректирования pH; нейтрализации диоксидом углерода и др.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алферова, Л.А. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий, комплексов и районов [Текст] / Л.А. Алферова, А.П. Нечаев; под ред. С.В. Яковлева. – М.: Стройиздат, 1984. – 272 с.

2. Андоньев, С.В. Система испарительно-го охлаждения промышленных агрегатов [Текст] / С.В. Андоньев, В.В. Истомин // ВиСТ. – 1983. - № 8. - С. 9-11.

3. Атанов, Н.А. Оборотное водоснабжение нефтеперерабатывающего завода [Текст]: учебное пособие / Н.А. Атанов; Самарск. гос. арх.-строит. акад. – Самара, 2002. – 364 с.

4. Атанов, Н.А. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий [Текст]: конспект лекций для студентов специальности «Водоснабжение и водоотведение» по дисциплине «Комплексное использование водных ресурсов» / Н.А. Атанов; Самарск. гос. арх.-строит. ун-т. – Самара, 2009. – 28 с.

5. Кичигин, В.И. Агрегация загрязнений воды коагуляцией [Текст]: учебное пособие / В.И. Кичигин. – М.: Изд-во АСВ, 1994. – 100 с.

6. Кичигин, В.И. Основы моделирования и оптимизации территориальных систем водоотведения [Текст] / В.И. Кичигин; Самарск. гос. арх.-строит. академия, 2002. – 339 с.

7. Кичигин, В.И. Водоотводящие системы промышленных предприятий [Текст]: учебно-справочное пособие / В.И. Кичигин; Самарск. гос. арх.-строит. ун-т. – Самара, 2004. – 504 с.

8. Кичигин, В.И. Моделирование загрязнения водотоков поверхностным стоком [Текст] / В.И. Кичигин, Е.Д. Палагин; Самарск. гос. арх.-строит. ун-т. – Самара, 2005. – 270 с.

9. Кичигин, В.И. Выбор систем водоотведения на ЭВМ [Текст]: учебное пособие / В.И. Кичигин, Е.Д. Палагин; Самарск. гос. арх.-строит. ун-т. – Самара, 2005. – 241 с.

10. Кичигин, В.И. Обработка и утилизация осадков природных и сточных вод [Текст]: учебное пособие / В.И. Кичигин, Е.Д. Палагин; Самарск. гос. арх.-строит. ун-т. – Самара, 2008. – 204 с.

11. МУ 2.1.5.1183-03. Санитарно-эпидемиологический надзор за использованием воды в системах технического водоснабжения промышленных предприятиях [Текст]: методические указания. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 16 с.

12. Нечаев, А.П. Оборотные системы водоснабжения промышленных предприятий [Текст] / А.П. Нечаев // ВиСТ. - 1984. - № 6. - С. 2-3.

13. Рекомендации по проектированию водоснабжения и канализации цехов гальванопокрытий. БЗ-79 [Текст]. – М.: СантехНИИпроект Госстроя СССР, 1992. – 168 с.

14. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения [Текст]. - М.: Стойиздат, 1985. – 136 с.

15. Теоретические основы охраны окружающей среды: практикум / Н.Е. Чистяков, М.А. Гриднева; Самарск. гос. арх.-строит. ун-т. – Самара, 2008. – 60 с.

16. Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности [Текст] / Совет Эконом. Взаимопомощи, ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1978. - 590 с.

17. Яковлев, С.В. Водное хозяйство промышленных предприятий [Текст] / С.В. Яковлев, Л.А. Алферова // ВИСТ. – 1982. - № 12. - С. 7-8.

18. Яковлев, С.В. Замкнутые системы водообеспечения промышленных предприятий [Текст] / С.В. Яковлев, А.П. Нечаев // ВиСТ, 1985. - № 2. - С. 2-3.

19. Яковлев, С.В. Научно-исследовательские работы в области очистки природных и сточных вод [Текст] / С.В. Яковлев // ВиСТ. – 1986. - № 1. - С. 2-4.

<http://www.xumuk.ru/encyklopedia/2499/html>. [Электронный ресурс].

<http://www.polument.ru/research11.php> - Лаборатория полимерных мембран. [Электронный ресурс].

<http://www.ecomir45.ru/index.php&pid=53> - «Система комплексной очистки воды» [Электронный ресурс].

http://articat.ru/dom_sema-deti_sw5y7sr45y.html Информационно-познавательный портал. [Электронный ресурс].

© Кичигин В.И., Атанов Н.А.,
Чистяков Н.Е., 2011