

УДК 628.179.2

Проблемы при эксплуатации водооборотных циклов и новые подходы к их решению

И. С. БАЛАЕВ¹, А. А. ГЕРТ², Н. Е. СПИРИДОНОВ³

¹ Балаев Игорь Семенович, директор по развитию технологии очистки воды и водоподготовки, ГК «МИРРИКО», ООО «Инженерный центр «Объединенные водные технологии»

117630, Россия, Москва, ул. Воронцовские пруды, 3, подъезд 23, тел.: (495) 663-16-35, e-mail: info@himvoda.com

² Герт Андрей Александрович, директор дивизиона водных технологий и сервиса, ГК «МИРРИКО»,

ООО «Инженерный центр «Объединенные водные технологии»

117630, Россия, Москва, ул. Воронцовские пруды, 3, подъезд 23, тел.: (495) 663-16-35, e-mail: info@himvoda.com

³ Спиридонов Николай Евгеньевич, инженер-технолог, ГК «МИРРИКО», ООО «Инженерный центр

«Объединенные водные технологии»

117630, Россия, Москва, ул. Воронцовские пруды, 3, подъезд 23, тел.: (495) 663-16-35, e-mail: info@himvoda.com

Описаны основные проблемы, возникающие при эксплуатации водооборотных циклов в технологических комплексах с использованием вентиляторных градирен. Это биологическое обрастание и слизистые отложения на теплообменниках, водораспределителях и оросителях градирен. Представлены сравнительные данные нормативных требований к оборотной воде и фактических показателей на промышленных предприятиях. Отмечено, что реальное качество оборотной воды не соответствует требованиям по содержанию взвешенных веществ, окислов железа и органическим загрязнениям (перманганатная окисляемость, БПК, общее микробное число), что объясняет трудности реагентной обработки оборотной воды. Представлен новый подход к расчету загрязнений оборотной воды взвешенными веществами

с подпиточной водой и с пылью из воздуха для различных климатических условий (паводок, зима, период засухи) при разных коэффициентах упаривания. На основании расчетов сделан вывод, что при реагентной обработке оборотной воды коэффициент упаривания предпочтительно поддерживать не более 2. Для его повышения необходимо производить очистку подпиточной и части оборотной воды, обеспечивая удаление взвешенных веществ, окислов железа и органических загрязнений. Для этой цели в качестве примера представлена технология динамического осветления воды «ДИКЛАР».

Ключевые слова: вентиляторная градирня, подпиточная и оборотная вода, коэффициент упаривания, биологическое обрастание, слизистые отложения, реагентная обработка, технология осветления воды «ДИКЛАР».

Водооборотные циклы (ВОЦ) являются важным элементом технологического комплекса многих отраслей промышленности (металлургия, химия, нефтегазопереработка). От качества и эффективности работы ВОЦ зависят производительность и срок службы оборудования, качество и себестоимость готовой продукции, удельный расход сырья и энергии.

На промышленных предприятиях используются многосекционные вентиляторные градирни. В качестве подпиточной воды ВОЦ в основном берется вода поверхностных водоисточников (реки, водохранилища) без предварительной очистки (отстаивание, фильтрование).

Основные проблемы при эксплуатации ВОЦ можно разделить на две группы. К первой группе относится состояние оборудования и коммуникаций: неудовлетворительное, а в большинстве случаев критическое состояние железобетонных и металлических конструкций градирен; устаревшее, энергоемкое, неэффективное теплообменное и насосное оборудование.

Вторая группа – водно-химические проблемы: биологическое обрастание (теплообменники, оросители и водораспределители градирен); коррозия и образование минеральных отложений теплообменного оборудования. Водно-химические проблемы приводят к ухудшению

теплообмена; снижению выработки электроэнергии для ТЭС; повышению энергозатрат (циркуляционные насосы, вентиляторы градирен); снижению производимой продукции (химическая промышленность и нефтегазопереработка). Также выходит из строя основное оборудование, что требует чистки, ремонта или замены теплообменников (отложение, коррозия), ремонта или замены устройств градирен (водораспределители и оросители), чистки резервуаров градирен.

Нормативные документы по проектированию и эксплуатации ВОЦ были разработаны в 1970–1980-х годах: СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения»; Пособие по проектированию градирен (к СНиП 2.04.02-84); РД 34.22.501-87 «Методические указания по предотвращению образования минеральных и органических отложений в конденсаторах турбин и их очистке»; РД 34.22.503-89 «Методические указания по стабилизационной обработке охлаждающей воды в оборотных системах охлаждения с градирнями оксиэтилендифосфоновой кислотой»; РД 34.22.505 «Методическое указание по эксплуатации вентиляторных градирен»; ВНТП 1-35-80 (Минчермет СССР) «Указания и нормы технологического проектирования и технико-экономические показатели энергетического хозяйства предприятий черной металлургии. Металлургические заводы. Том 12 «Водное хозяйство» [1].

С тех пор произошли существенные изменения, связанные с использованием мощных вентиляторных установок, полимерных материалов в конструкциях градирен (оросители, водораспределители, каплеуловители, диффузоры и др.) с 1990–2000 годов, частотного регулирования циркуляционных насосов, пластинчатых теплообменников, многочисленных химических реагентов (противонакипных, противокоррозионных и бактерицидных) различных отечественных и зарубежных производителей.

За последние 10–20 лет все технические публикации и нормативные документы по эксплуатации ВОЦ (РД 34.22.103-94 «Методические указания по водно-химическому режиму оборотных систем охлаждения тепловых электростанций с градирнями»; СО 34.37.536-2002 «Методические рекомендации по применению антинакипинов и ингибиторов коррозии ОЭДФК, АФОН 200-60А, АФОН 230-23А, ПАФ-13А, ИОМС -1 и их аналогов, проверенных и сертифицированных в РАО «ЕЭС России», на энергопредприятиях») были в основном посвящены опыту применения химических реагентов.

В настоящее время все большее распространение получают так называемые комплексные программы реагентной обработки воды с использованием многокомпонентных ингибиторов (фосфаты, полифосфаты, хроматы, фториды и др.), которые обладают большей эффективностью и рядом других преимуществ. Оптимальное соотношение компонентов комплексных ингибиторов подбирают экспериментально в зависимости от химического состава оборотной воды. При этом отсутствуют статистика и обобщение опыта использования химических реагентов в оборотной воде ВОЦ, а также данные по их влиянию на коррозию и отложения на теплообменном оборудовании, в циркуляционных трубопроводах и на внутренних устройствах градирен.

Трудности с получением статистических данных связаны с тем, что подпиточная вода в течение года значительно меняется по химическому составу (цветность, взвешенные вещества, жесткость, перманганатная окисляемость, железо, содержание и др.), особенно в период весеннего и осеннего паводков, а также во время цветения водоемов. Это требует значительных затрат на дополнительные научно-исследовательские работы по подбору доз реагентов.

Еще одну проблему при эксплуатации ВОЦ представляет биологическое обрастание теплообменного оборудования и внутренних устройств градирен. Мировая практика свидетельствует, что более 50% повреждений металлических коммуникаций и оборудования от коррозии связаны с воздействием микроорганизмов, которые поступают в систему ВОЦ с подпиточной водой и с пылью минерального и органического происхождения из атмосферного воздуха. При этом температурный режим ВОЦ (25–40 °С) способствует биологическому размножению.

В табл. 1 представлены требования нормативных документов РФ к качеству подпиточной и оборотной воды ВОЦ, требования зарубежных производителей теплообменного оборудования и градирен, а также реальные усредненные показатели качества оборотной воды различных промышленных предприятий на основании результатов обследований.

Из данных табл. 1 видно, что в действующих ВОЦ качество оборотной воды по многим показателям (содержание, хлориды, сульфаты, жесткость, щелочность, нефтепродукты) соответствует нормативным требованиям РФ и зарубежных производителей градирен и теплообменного оборудования, за исключением содержания взвешенных веществ и окислов железа, а также микробиологических загрязнений (перманганатная

Таблица 1

Показатель	ВНИИ ВОДГЕО, 1978 [1], оборотная вода		ВУТП-97*		Зарубежные производители (Decsa Baltimore и др.)	Средние данные по качеству оборотной воды
	охлаждение без огневого нагрева поверхности теплообмена	охлаждение с огневым нагревом поверхности теплообмена	подпиточная вода	оборотная вода	оборотная вода	
Взвешенные вещества, мг/дм ³	До 50	До 20	15	25	25	30–200
Нефтепродукты, мг/дм ³	–	–	1,5	25	–	3–20
Жесткость, мг-экв/дм ³ :						
общая	50	–	–	–	12	4–20
карбонатная	До 3,5	До 2,5	2,5	5	–	2–6
некарбонатная	–	–	3,3	15	–	2–15
Щелочность общая, мг-экв/дм ³	4	3	–	–	2–6	2–6
Общее солесодержание, мг/дм ³	До 2000	До 800	500	2000	2000	800–2000
Хлориды, мг/дм ³	350	150	50	300	200–300	100–300
Сульфаты, мг/дм ³	500	250	130	500	200–350	300–600
Железо общее, мг/дм ³	1–4	0,5–1	–	–	2	1–6
Перманганатная окисляемость, мг/дм ³	До 20	До 20	–	–	–	10–80
БПК _{полн} , мг/дм ³	15–20	–	10	25	–	10–40
pH	6,5–8,5	6,5–8,5	7–8,5	7–8,5	6,5–9,2	6,5–9
ОМЧ, КОЕ/дм ³	–	–	–	10 ⁴	–	10 ⁵ –10 ⁷

* ВУТП-97 «Ведомственные указания по технологическому проектированию производственного водоснабжения, канализации и очистки сточных вод предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности».

окисляемость, БПК, общее микробное число), которые и являются одним из основных источников отложений на поверхности теплообменников, оросителей и водораспределителей в градирнях.

Следствием этих процессов являются обрушения оросителей и водораспределителей в градирнях, частые остановки ВОЦ для проведения чисток поверхности трубок теплообменников, необратимые загрязнения пластинчатых теплообменников (вплоть до замены), коррозия теплообменников и циркуляционных трубопроводов, даже несмотря на использование химических реагентов.

Взвешенные вещества, помимо отложений на поверхности теплообменного оборудования и на оросителях градирен, связывают химические реагенты (биоциды, ингибиторы коррозии и антинакипины). Это влечет за собой необходимость большей дозировки реагентов для поддержания определенной концентрации и, соответственно, увеличивает эксплуатационные затраты.

Отдельно следует отметить микробиологическое загрязнение оборотной воды. Хлорирование оборотной воды уничтожает водоросли, но не действует на весь биоценоз в целом. Споры

бактерий после хлорирования остаются в воде и служат пищей для новых микроорганизмов и грибов, попадающих в воду.

Наличие взвешенных веществ, гуминовых и органических соединений снижает эффект обеззараживания. При обеззараживании лишь 3–5% активного биоцида (включая современные органические биоциды) затрачивается на непосредственное бактерицидное действие. Остальная часть (95–97%) активного биоцида вступает во взаимодействие с легкоокисляющимися минеральными и органическими соединениями и поглощается взвешенными веществами.

Дополнительно следует отметить, что фосфорсодержащие ингибиторы отложений (антискалтанты) играют роль своеобразного биогенератора, стимулируя развитие биоактивности в системе.

Вышеуказанное объясняет многие неудачи при использовании реагентной обработки оборотной воды ВОЦ. Общее микробное число (ОМЧ) часто составляет 10⁵–10⁶ КОЕ/дм³ (при норме 10⁴ КОЕ/дм³), и по-прежнему наблюдаются слизистые и глинистые отложения на теплообменниках.

При эксплуатации ВОЦ необходимо дополнительно учитывать количество взвешенных веществ, попадающих в оборотную воду с пылью минерального и органического происхождения из атмосферного воздуха, так как в вентиляторных градирнях расход воздуха на охлаждение 1 м³ оборотной воды составляет 800–1500 м³. Поэтому с целью снижения содержания взвешенных веществ в оборотной воде ВУТП-97 рекомендует подвергать фильтрованию 5–6% расхода оборотной воды. Фильтрование свежей воды, как правило, должно осуществляться только в паводковый период за счет его временного уменьшения или полного прекращения на узлах фильтрования систем оборотного водоснабжения.

Для снижения содержания взвешенных веществ в оборотной воде ВОЦ часто используют либо сетчатые, либо пластинчатые самопромывные фильтры различных производителей (*Amiad, Azud, «Стронг-фильтр»* и др.) с тонкостью фильтрации 300–1000 мкм (0,3–1 мм). В то же время данные фильтры в основном задерживают крупные загрязнения (древесина, пленка и др.), но не обеспечивают очистку от основных взвешенных веществ (пыль из атмосферы), которые имеют фракционный состав менее 50 мкм (0,05 мм).

Имеется некоторый опыт использования напорных песчаных фильтров для очистки подпиточной воды и части оборотной воды (фильтрация на байпасе) от взвешенных веществ. Данные фильтры позволяют эффективно задерживать взвешенные вещества при размере частиц 20–50 мкм (0,02–0,05 мм), что является реальным способом защиты системы ВОЦ (снижение загрязнений теплообменников и внутренних устройств градирен). Серьезным недостатком напорных песчаных фильтров являются высо-

кие капитальные затраты и эксплуатационные издержки (частые взрыхляющие промывки, значительный расход промывных сточных вод, частые замены фильтрующего материала — каждые 2–3 года и др.), что является основной причиной их редкого применения в ВОЦ. При этом фильтры не снижают содержание органических загрязнений (перманганатная окисляемость, ХПК, БПК) в оборотной воде, поэтому не обеспечивают защиту от микробиологического загрязнения оборотных циклов.

Специалистами ООО «Инженерный центр «Объединенные водные технологии» (ОВТ) разработана технология динамического осветления воды под торговой маркой «ДИКЛАР» (*DYCLAR – Dynamic Clarification*). При внедрении на многих предприятиях она продемонстрировала [2], по сравнению с традиционными напорными песчаными фильтрами, следующие преимущества:

скорость (производительность) фильтрации в 4–8 раз выше — до 20 м/ч;

в 5–10 раз больше срок службы применяемого плавающего полимерного фильтрующего материала «ИНЕРТ» — не менее 20 лет;

высокое качество осветленной воды не только по взвешенным веществам (менее 2 мг/дм³), но и по окислам железа (менее 0,1 мг/дм³) и перманганатной окисляемости (снижение на 60–90% от исходной воды). Данные по эффективности очистки воды по технологии «ДИКЛАР» на основании опыта внедрения представлены в табл. 2;

расход промывных сточных вод, которые впоследствии легко уплотняются перед последующим обезвоживанием, менее 3% от производительности установки.

По данным табл. 2, степень очистки по технологии «ДИКЛАР» гарантированно обеспечивает требования СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода.

Таблица 2

Показатель	Исходная вода	Осветленная вода	СанПиН 2.1.4.1074-01	ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения
Взвешенные вещества, мг/дм ³	3–290	0,5–2	—	Фоновая концентрация в воде водоема +0,75
Мутность, мг/дм ³	2–215	0,1–0,8	1,5	—
Перманганатная окисляемость, мг/дм ³	3,8–76	1,6–9,4	5	—
Цветность, град	30–807	6–20	20	—
Железо общее, мг/дм ³	0,3–7,6	0,03–0,12	0,3	0,1
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,06–3,4	0,03–0,09	0,1	0,05
Активированная кремнекислота, мг/дм ³	4,8–13,3	4,3–7,3	10	—
Фосфаты, мг/дм ³	0,1–1,2	0,01–0,05	—	0,05
Алюминий, мг/дм ³	0,05–3,7	0,02–0,12	0,5	0,04

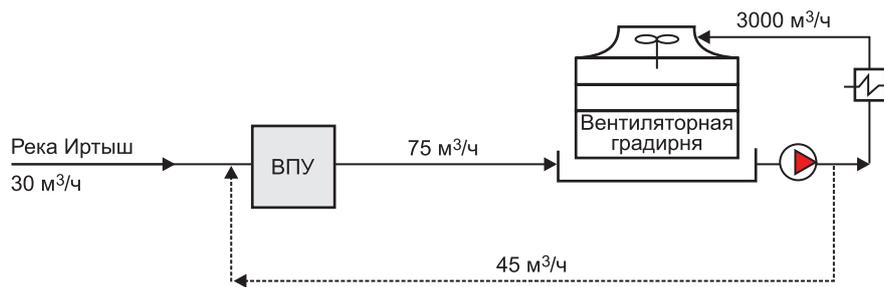


Рис. 1. Принципиальная схема очистки подпиточной и частично оборотной воды

Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения» и ПДК в сбросной воде для водоемов рыбохозяйственного назначения.

Имеется положительный опыт внедрения технологии «ДИКЛАР» для очистки всей подпиточной и части оборотной воды ВОЦ на ТОО «Нефтехим LTD» (г. Павлодар, Казахстан), которое выпускает гранулированный ПВХ. Ранее там каждые три месяца останавливали основное производство из-за загрязнения теплообменников, что снижало прибыльность предприятия.

В 2013 г. была смонтирована водоподготовительная установка (ВПУ) производительностью 75 м³/ч (30 м³/ч – подпитка ВОЦ, 45 м³/ч – очистка оборотной воды) с тремя динамическими осветлительными фильтрами диаметром 1,5 м. В качестве химических реагентов используются едкий натр (подщелачивание), коагулянт и органический флокулянт.

Принципиальная схема очистки подпиточной воды и части оборотной воды ВОЦ на данном химическом предприятии представлена на рис. 1. Данные по качеству оборотной воды до и после внедрения ВПУ приведены в табл. 3.

Следует отметить, что при 1,5-процентном объеме очистки оборотной воды (боковая фильтрация) и всей подпиточной воды через две недели после ввода ВПУ в эксплуатацию было снижено содержание взвешенных веществ с 50–100 до менее 5 мг/дм³. Это позволило сократить количество остановов ВОЦ с 3–4 в год

для очистки теплообменников до плановой профилактической очистки один раз в два года. Также было отмечено отсутствие биологического обрастания на поверхности теплообменников, водораспределителей и оросителях вентиляторных градирен.

Снижение интенсивности биообрастания объясняется тем, что при очистке подпиточной и части оборотной воды по технологии «ДИКЛАР» используется реагентная коагуляция и флокуляция, которые обеспечивают одновременно осветление и обеззараживание воды (снижение ОМЧ на 98–99%). На основании положительного опыта специалистам «ОВТ» была поставлена задача определить оптимальный объем очистки подпиточной и части оборотной воды ВОЦ с вентиляторными градирнями по технологии «ДИКЛАР» с целью минимизации капитальных затрат на строительство ВПУ.

Ранее все расчеты по оборотной воде проводились из условия допустимых показателей жесткости, щелочности и соледержания (включая хлориды и сульфаты) и, соответственно, поддержания необходимого значения коэффициента упаривания K_y :

$$K_y = \frac{Q_{\text{исп}} + Q_{\text{ку}} + Q_{\text{прод}}}{Q_{\text{ку}} + Q_{\text{прод}}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{исп}}$ – расход воды на испарение; $Q_{\text{ку}}$ – потери воды на капельный унос; $Q_{\text{прод}}$ – расход продуктивной воды.

При этом никогда не учитывалось содержание взвешенных веществ, попадающих в оборотную воду с подпиточной водой и с пылью из воздуха.

Таблица 3

Показатель	До внедрения ВПУ	После внедрения ВПУ	Нормы ВУТП-97 (оборотная вода)
Взвешенные вещества, мг/дм³	50–100	Менее 5	25
Железо общее, мг/дм³	1,2–2,4	0,2–0,4	1–4
Цветность, град	76–218	15–35	–
Перманганатная окисляемость, мг/дм³	8,2–14,3	3,1–6,2	20

Расчеты произведены для следующих климатических условий: зимний режим (ноябрь—март); режим весеннего и осеннего паводков (март—май и сентябрь—октябрь); режим засухи (июль—август).

В табл. 4 представлены среднестатистические данные по качеству поверхностных вод для подпитки ВОЦ и содержанию взвешенных веществ в воздухе в зависимости от климатических условий. Производительность ВОЦ была принята 10 тыс. м³/ч по оборотной воде.

В табл. 5 представлены данные по расходу подпиточной воды и потерям с испарением и продувкой системы ВОЦ в зависимости от коэффициента упаривания.

На основании исходных данных (табл. 4 и 5) определено количество загрязнений (взвешенных веществ), попадающих в оборотную воду ВОЦ производительностью 10 тыс. м³/ч с подпиточной водой и пылью из воздуха (расход воздуха на охлаждение 1000 м³/м³ оборотной воды) (табл. 6).

Данные табл. 6 показывают, что в паводок и в период засухи наблюдается повышенное загрязнение оборотной воды ВОЦ (более чем в два раза по сравнению с зимним периодом). При этом

большим загрязнителем ВОЦ (кроме режима паводка) является не подпиточная вода, как традиционно считается, а пыль из воздуха, которая попадает за счет значительных объемов воздуха (800—1200 м³/м³ оборотной воды) на охлаждение оборотной воды ВОЦ с вентиляторными градирнями.

Также были проведены расчеты концентрации веществ в оборотной воде ВОЦ по следующей формуле:

$$C_{\text{обор.воды}} = \frac{Q_{\text{обор.воды}} Q_{\text{возд}} C_{\text{возд}} \cdot 10^{-3} Q_{\text{подп}} C_{\text{воды}}}{Q_{\text{прод}}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{обор.воды}}$ — производительность ВОЦ по оборотной воде, м³/ч; $Q_{\text{возд}}$ — расход воздуха на охлаждение оборотной воды (принято среднее значение 1000 м³/м³); $C_{\text{возд}}$ — концентрация взвешенных веществ в воздухе, мг/м³; $Q_{\text{подп}}$ — расход подпиточной воды, м³/ч; $C_{\text{воды}}$ — концентрация взвешенных веществ в подпиточной воде, мг/дм³ (г/м³); $Q_{\text{прод}}$ — расход продувочной воды и капельный унос, м³/ч.

Принято, что взвешенные вещества не оседают в теплообменниках, в чаше и оросителях градирен.

Таблица 4

Показатель	Зимний режим	Режим весеннего и осеннего паводков	Режим засухи
Подпиточная вода, мг/дм ³ :			
взвешенные вещества	5	20	5
окислы железа	0,5	1,2	0,5
перманганатная окисляемость	5	15	5
Взвешенные вещества в воздухе, мг/м ³	0,2	0,2	0,5

Таблица 5

Коэффициент упаривания K_y	Расход подпиточной воды $Q_{\text{подп}}$, м ³ /ч	Расход воды на испарение $Q_{\text{исп}}$, м ³ /ч	Расход продувочной воды и капельный унос $Q_{\text{прод}}$, м ³ /ч
1,5	300	100	200
2	200	100	100
2,5	167	100	67
3	150	100	50

Таблица 6

Показатель	Зимний режим				Режим осеннего и весеннего паводков				Режим засухи			
	1,5	2	2,5	3	1,5	2	2,5	3	1,5	2	2,5	3
Коэффициент упаривания K_y	1,5	2	2,5	3	1,5	2	2,5	3	1,5	2	2,5	3
Взвешенные вещества с подпиточной водой, кг/ч	1,5	1	0,8	0,5	6	4	3,3	3	1,5	1	0,8	0,5
Взвешенные вещества с пылью воздуха (при расходе воздуха 1000 м ³ /м ³ оборотной воды), кг/ч	2	2	2	2	2	2	2	2	5	5	5	5
Итого, кг/ч	3,5	3	2,8	2,5	8	6	5,3	5	6,5	6	5,8	5,5

Коэффициент упаривания K_y	Взвешенные вещества в оборотной воде, мг/дм ³		
	зимний режим	режим осеннего и весеннего паводков	режим засухи
1,5	17,5	40	32,5
2	30	60	60
2,5	42,3	79,7	87
3	55	100	115

В табл. 7 представлены данные по содержанию взвешенных веществ в оборотной воде в зависимости от климатических условий и коэффициента упаривания. По данным табл. 7 и на основе нормируемого содержания взвешенных веществ в оборотной воде (не более 25 мг/дм³) можно сделать предварительный вывод, который заключается в следующем. Если не подвергать очистке подпиточную воду и часть оборотной воды, то коэффициент упаривания нельзя увеличивать выше 1,5, так как увеличение коэффициента упаривания более 1,5 (особенно в периоды паводка и засухи) приведет к осаждению загрязнений на поверхности теплообменников и внутренних устройств градирен (оросители, водораспределители) с соответствующими проблемами. При этом дозирование химических реагентов (ингибиторы накипеобразования и коррозии, биодиспергаторы, биоциды) при коэффициенте упаривания свыше 2 значительно увеличит расход вследствие связывания их со взвешенными веществами. Также постоянно меняющиеся климатические условия (зима, паводок, засуха) приводят к непредсказуемым изменениям по содержанию взвешенных веществ в оборотной воде, что объясняет нестабильность коррекционной обработки оборотной воды (дозирование химических реагентов) и проведения оптимального водно-химического режима.

По данным табл. 6 и 7, для обеспечения нормативов по содержанию взвешенных веществ в оборотной воде не более 25 мг/дм³ необходимо на всех ВОЦ с вентиляторными градирнями предусматривать водоподготовительную установку, которая должна очищать всю подпиточную воду (особенно в режим паводка) и часть оборотной воды (защита от загрязнений пылью из воздуха).

К сожалению, часто встречаются конкурсные торги ряда строящихся предприятий, на которых диктуются условия поставки оборудования ВОЦ (градирни, циркуляционные насосы и др.) с жестким требованием по обеспечению содержания взвешенных веществ менее 20 мг/дм³ (а

иногда и 10 мг/дм³) в оборотной воде за счет ее обработки химическими реагентами. Естественно, при таком безграмотном требовании для последующей реализации проекта эффективность ВОЦ в лучшем случае составит 70% от проектных показателей.

Следовательно, чтобы избежать этих проблем, целесообразно обеспечить очистку всего потока подпиточной воды и части оборотной воды. Для расчета оптимальной производительности ВПУ были определены концентрации взвешенных веществ в оборотной воде в зависимости от климатических условий, производительности ВПУ и коэффициента упаривания. На рис. 2–4 представлены данные зависимости в относительных единицах для лучшего их понимания. При этом производительность ВПУ представлена по горизонтали от нуля до расхода подпиточной воды, далее добавляется доля очистки оборотной воды (0,75; 1,5; 3%). В качестве ограничения принимается содержание взвешенных веществ в оборотной воде не более 25 мг/дм³.

На основании графиков (рис. 2–4) можно констатировать следующее:

в зимний период и во время паводка для гарантированного обеспечения содержания взвешенных веществ менее 25 мг/дм³ в оборотной воде ВПУ должна обеспечивать очистку всего потока подпиточной воды и 0,75% расхода оборотной воды. При этом коэффициент упаривания K_y можно повышать до 3;

в период засухи при очистке на ВПУ всего потока подпиточной воды и 0,75% расхода оборотной воды содержание взвешенных веществ составит 40 мг/дм³ при коэффициенте упаривания $K_y = 3$. Поэтому в данный период целесообразно увеличить продувку системы ВОЦ, обеспечивая коэффициент упаривания не более 2 с целью снижения концентрации взвешенных веществ в оборотной воде до 25 мг/дм³.

Дополнительным преимуществом очистки всего потока подпиточной воды и части (0,75%) оборотной воды по технологии «ДИКЛАР» является снижение органических загрязнений (пер-

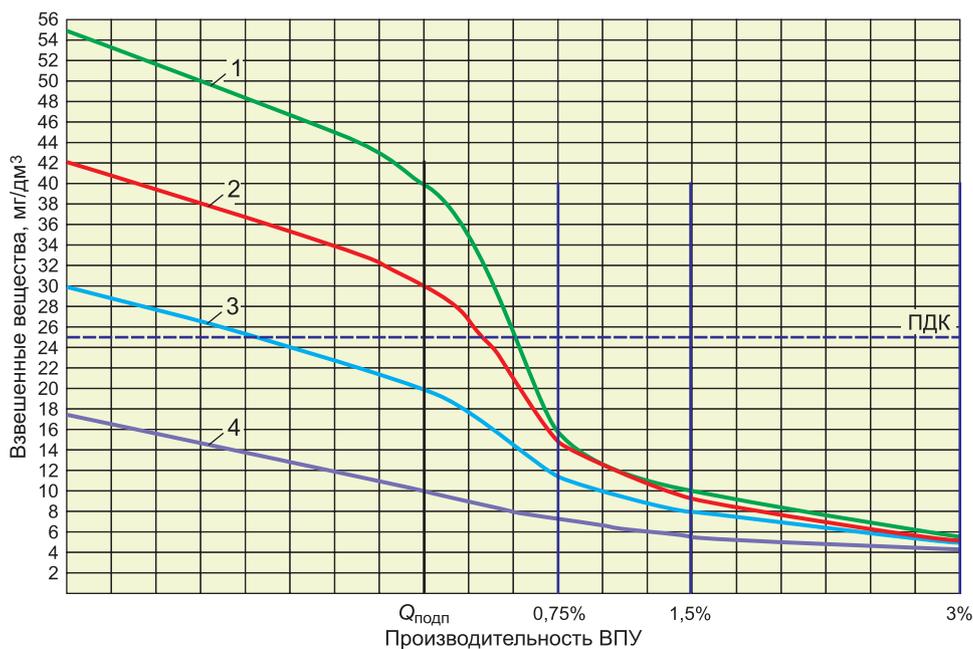


Рис. 2. Зависимость концентрации взвешенных веществ в оборотной воде от производительности ВПУ в зимний период
 коэффициент упаривания: 1 – 3; 2 – 2,5; 3 – 2; 4 – 1,5; $Q_{\text{подп}}$ – расход подпиточной воды; 0,75%, 1,5%, 3% – расход оборотной воды

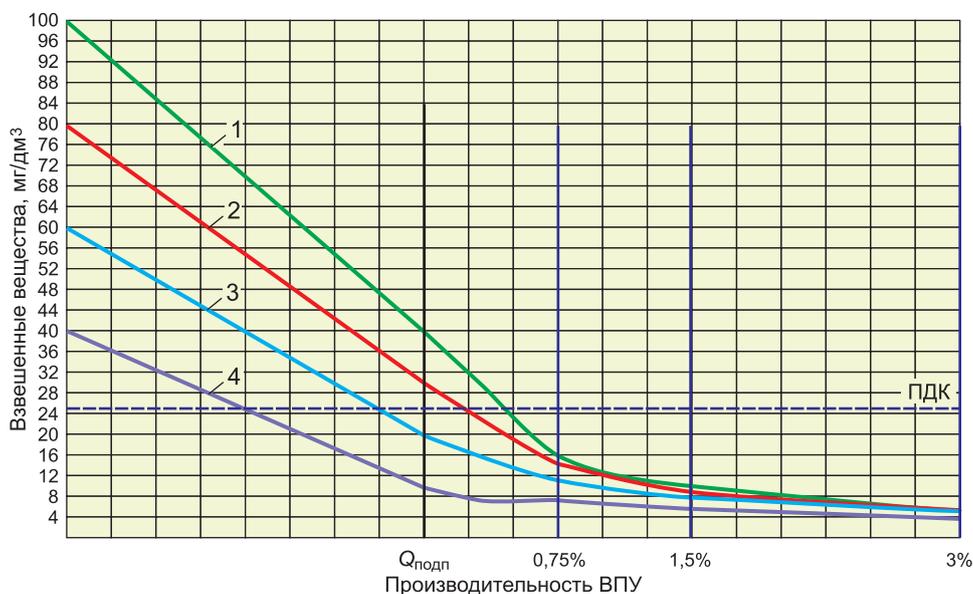


Рис. 3. Зависимость концентрации взвешенных веществ в оборотной воде от производительности ВПУ в период паводка
 коэффициент упаривания: 1 – 3; 2 – 2,5; 3 – 2; 4 – 1,5; $Q_{\text{подп}}$ – расход подпиточной воды; 0,75%, 1,5%, 3% – расход оборотной воды

манганатная окисляемость, ХПК, БПК) в оборотной воде, что значительно снижает степень биообрастания в системе ВОЦ. Как следствие, снижение как минимум в 2–3 раза потребности в химических реагентах для обработки оборотной воды, так как уменьшается связывание химических реагентов с органическими соединениями и взвешенными веществами.

Отдельного рассмотрения требует вопрос сброса продувочной воды ВОЦ. В последнее время большое распространение получили так называемые комплексные программы реагентной обработки оборотной воды на основе полифосфатов, хроматов и фторидов. Концентрация данных реагентов поддерживается в оборотной воде за счет их дозирования пропорционально

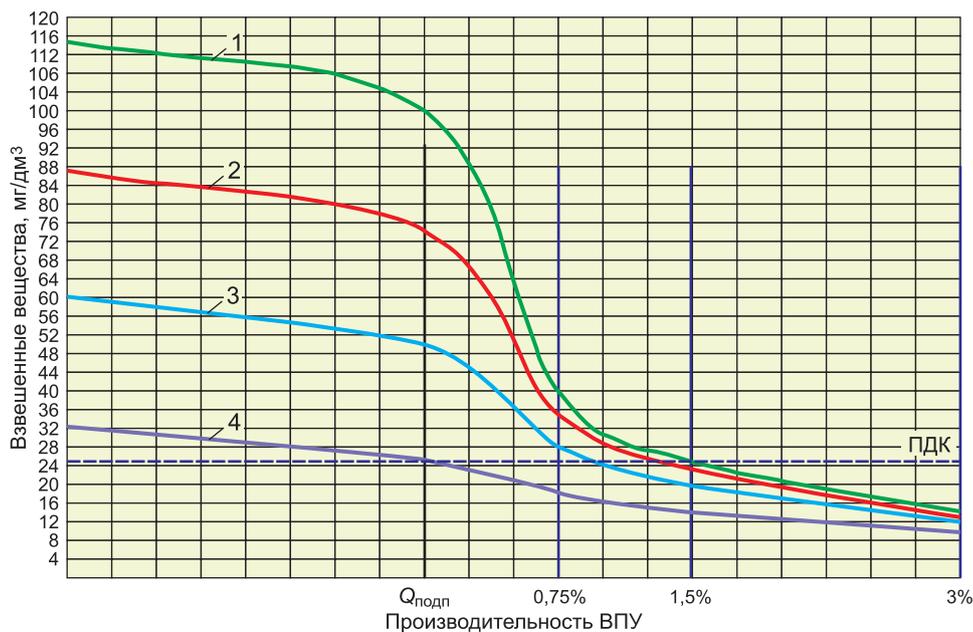


Рис. 4. Зависимость концентрации взвешенных веществ в оборотной воде от производительности ВПУ в период засухи
 коэффициент упаривания: 1 – 3; 2 – 2,5; 3 – 2; 4 – 1,5; $Q_{\text{подп}}$ – расход подпиточной воды; 0,75%, 1,5%, 3% – расход оборотной воды

расходу продувочной воды ВОЦ. При сбросе продувочной воды в поверхностные водоемы постоянно нарушаются требования ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения по ряду показателей (железо, цинк, медь, фосфаты, хроматы, фториды и др.). Как следствие, это уже привело к отсутствию на территории России чистых водоемов, пригодных для питьевого водоснабжения или культурно-бытовых целей.

Для обеспечения экологической безопасности поверхностных водоемов от воздействия ВОЦ необходимо при определении производительности ВПУ учитывать также расход продувочной воды. В соответствии с данными табл. 2 по эффективности очистки по технологии «ДИКЛАР», вода гарантированно соответствует требованиям ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения.

Таким образом, проектная производительность ВПУ с использованием технологии «ДИКЛАР» должна обеспечить очистку всего расхода подпиточной воды, 0,75% расхода оборотной воды и расхода продувочной воды перед сбросом в поверхностные водоемы.

Выводы

1. В водооборотных циклах технологических комплексов с вентиляторными градирнями в зимний период и во время засухи основным источником загрязнения оборотной воды взвешенными веществами является атмосферный воздух, в котором присутствует пыль минерального и ор-

ганического происхождения. В период паводка главным источником загрязнения служит подпиточная вода.

2. При проектировании ВОЦ с вентиляторными градирнями необходимо не только проводить расчеты по солесодержанию при определении коэффициента упаривания, но и учитывать содержание взвешенных веществ в подпиточной воде и в воздухе. Это касается не только периодов зима/лето, но и режимов весеннего и осеннего паводков, а также засухи.

3. Использование только химических реагентов для обработки оборотной воды ВОЦ с вентиляторными градирнями не обеспечивает защиту теплообменников и внутренних устройств градирен от коррозии и отложений при коэффициенте упаривания 2, если не предусмотрена очистка подпиточной и части оборотной воды от взвешенных веществ. Для обеспечения коэффициента упаривания в системе ВОЦ по оборотной воде свыше 2 необходимо предусматривать водоподготовительную установку для очистки подпиточной воды и части оборотной воды. При этом ВПУ должна обеспечивать очистку воды от взвешенных веществ, окислов железа и органических загрязнений (перманганатная окисляемость, ХПК, БПК, ОМЧ).

4. Производительность ВПУ определяется расходом подпиточной воды и как минимум 0,75% расхода оборотной воды, а также расходом продувочной воды (обеспечение требований по сбросу для водоемов рыбохозяйственного назначения).

Внедрение ВПУ по очистке подпиточной воды и части оборотной воды позволит снизить в оборотной воде содержание взвешенных веществ, окислов железа и органических загрязнений (перманганатная окисляемость, ХПК, БПК, ОМЧ), что гарантирует защиту теплообменников и внутренних устройств градирен от коррозии и отложений. При этом расход химических реагентов для обработки оборотной воды будет снижен как минимум в 2–3 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности / СЭВ, ВНИИ ВОДГЕО. — М.: Стройиздат, 1978. 590 с.
2. Балаев И. С., Кучма Г. Г., Кеменов Ю. В., Балаева Л. И. Технология динамического осветления «ДИКЛАР» для очистки природных и сточных вод — альтернатива импортным технологиям. Опыт внедрения и перспектива // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2015. № 9 (93). С. 34–42.

WATER RECYCLING SYSTEMS

Problems in operating return water cycles and new approaches to their solution

I. S. BALAEV¹, A. A. GERT², N. E. SPIRIDONOV³

¹ *Balaev Igor Semenovich, Director for Water Treatment Technology Development, «MIRRIKO» Public Company, «Engineering Centre «Integrated Water Technologies» LLC*

3, entrance 23, Vorontsovskie Prudy St., 117630, Moscow, Russian Federation, tel.: +7 (495) 663-16-35, e-mail: info@himvoda.com

² *Gert Andrei Aleksandrovich, Director of the Water Technologies and Service Division, «MIRRIKO» Public Company, «Engineering Centre «Integrated Water Technologies» LLC*

3, entrance 23, Vorontsovskie Prudy St., 117630, Moscow, Russian Federation, tel.: +7 (495) 663-16-35, e-mail: info@himvoda.com

³ *Spiridonov Nikolai Evgen'evich, Process Engineer, «MIRRIKO» Public Company, «Engineering Centre «Integrated Water Technologies» LLC*

3, entrance 23, Vorontsovskie Prudy St., 117630, Moscow, Russian Federation, tel.: +7 (495) 663-16-35, e-mail: info@himvoda.com

The main problems arising in operating water return cycles in process systems with the use of fan-cooling towers are described. These are biological fouling and slime deposits on the heat exchangers, water distributors and cooling tower fillers. The comparative data on the standard requirements to return water and actual data at the industrial enterprises is presented. It is noted that the actual quality of return water does not meet the requirements to the concentration of suspended solids, iron oxides and organic pollutants (permanganate oxidizability, BOD, total microbial count) explaining the difficulties in chemical treatment of return water. A new approach to the calculation of return water pollution with suspended solids in makeup water and air dust for different climatic conditions (flood, winter, drought) at different stripping coefficients is presented. On the basis of the calculations it is concluded that during return water chemical treatment the stripping coefficient shall be preferably maintained less than 2. In order to raise it the removal of suspended solids, iron oxides and organic pollutants from makeup water and part of return water is required. For this purpose by way of example «DYCLAR» technology of dynamic water clarification is presented.

Key words: fan-cooling tower, makeup and return water, stripping coefficient, biological fouling, slime deposits, chemical treatment, «DYCLAR» technology of water clarification.

REFERENCES

1. *Ukрупnennyye normy vodopotrebleniya i vodootvedeniya dlya razlichnykh otrasley promyshlennosti* [Enlarged norms of water consumption and disposal for different industries. SEV, VNIИ VODGEO. Moscow, Stroizdat Publ., 1978, 590 p.].
2. *Balaev I. S., Kuchma G. G., Keменов Iu. V., Balaeва L. I. [«DYCLAR» dynamic clarification technology for natural and waste water treatment — an alternative to the import technologies. Experience of application and prospects]. Vodoohistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie, 2015, no. 9 (93), pp. 34–42. (In Russian).*