



ОТ РЕДАКТОРА

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Вы держите в руках первый номер журнала «Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение».

В настоящее время начинает активно проводиться реформа ЖКХ, которая затрагивает и сферу водопроводно-канализационного хозяйства.

Промышленные предприятия все активнее включаются в решение экологических проблем, внедряя современные технологии водоподготовки, оборотного водоснабжения, очистки сильно загрязненных промышленных стоков. Опыт решения этих проблем обязательно найдет отражение на страницах нашего журнала.

Считаем, что результатом нашего сотрудничества с водоканалами, предприятиями ЖКХ, промышленными предприятиями, проектными, научно-исследовательскими институтами, вузами, профильными государственными структурами, фирмами — производителями уникального оборудования будет решением практических экологических задач.

Примите наши самые искренние поздравления с Новым 2008 годом.

С уважением, С. С. Финаев

ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

№ 1, 2008 (январь)

Информационная
поддержка:

Министерство регионального
развития РФ
Комитет по экологии
Государственной Думы РФ

Редакционная коллегия:

Пупырев Е.И., докт. техн. наук, профессор, директор Института «Мосводоканал-НИИпроект», заведующий кафедрой «Управление природно-техногенной средой» Московского государственного строительного университета, советник Российской академии архитектуры и строительных наук, председатель экспертного совета при Комиссии по науке и технологиям Мосгордумы;

Боровкова И.И., канд. техн. наук, ОАО «Инженерный центр ЕЭС-филиал «Институт Теплоэлектропроект»;

Лысенко П.Е., чл.-корр. Академии проблем водохозяйственных наук, канд. техн. наук, профессор, гл. эксперт НКФ «ВОЛГА»;

Очков В.Ф., канд. техн. наук, профессор МЭИ;

Баженов В.И., канд. техн. наук, ОАО «Лизинг экологических проектов»;

Шарапов В.И., докт. техн. наук, профессор, заслуженный изобретатель РФ, завкафедрой ТГВ, руководитель НИЛ «Теплоэнергетические системы и установки» Ульяновского государственного технического университета;

Дзюбо В.В., канд. техн. наук, Томский государственный архитектурно-строительный университет.

Главный редактор —
Финаев С.В.

Зам. главного редактора —
Ермошкина Т.В.
Зав. отделом подписки
и рекламы — Проскрякова
Т.Ю.

Корректор — Маловичко О.В.
Компьютерная верстка —
Казначеева Е.Ю.

Адрес редакции:

119049, г. Москва,
ул. Шаболовка, дом 26, стр.
3.,
в редакцию журнала «ВВВ»
Тел. гл. редактора:
(495) 469-00-06
E-mail: sfinaev@yandex.ru

Тел. редакции:
(495) 226-38-42

Факс редакции:
(495) 437-55-01

Эл. почта:
www-orion@mail.ru
Сайт: www.www-orion.ru

Использование материалов
разрешается только
с письменного разрешения
редакции.

Журнал зарегистрирован
в Министерстве РФ
по делам печати,
телерадиовещания и средств
массовой коммуникации.

Свидетельство
о регистрации:
ПИ № ФС 77-30302

Тираж — 5000 экз.

Подписано в печать
25.12.2007

ООО «Издательский дом
«Орион»

Подписку на журнал можно оформить с любого месяца, отправив заявку на адрес электронной почты: www-orion@mail.ru или по факсу (495) 437-55-01



АКТУАЛЬНО



ПРОБЛЕМЫ В ОБЛАСТИ ОХРАНЫ ПРИРОДНЫХ ВОД 4

Грачев В.А.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ ЕВРОПЕЙСКИХ СТАНДАРТОВ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В РОССИИ 6

Пупырев Е.И.

СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОБЪЕКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАГРЯЗНЕННОСТИ СТОЧНЫХ ВОД..... 11

Лысенко П.Е.

МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫЙ ФОРУМ ПРОМЫШЛЕННИКОВ РОССИИ «ВОДОБОРОТНЫЕ СИСТЕМЫ» 15

НАУКА И ПРАКТИКА

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПРОЦЕСС ОБРАТНООСМОТИЧЕСКОГО ОПРЕСНЕНИЯ ВОДЫ КАСПИЙСКОГО МОРЯ 17

Десятов А.В., Асеев А.В., Подымова О.А., Баранов А.Е., Егоров А.В.,
Казанцева Н.Н., Прохоров И.А.

ТЕХНОЛОГИИ



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА С ПРИМЕНЕНИЕМ ОСВЕТИТЕЛЬНО-СОРБЦИОННЫХ ФИЛЬТРОВ 29

Журба М.Г., Говорова Ж.М., Говоров О.Б.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ПРИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД..... 35

Серпокрылов Н.С., Баринов М.Ю., Марочкин А.А., Толмачев В.В.

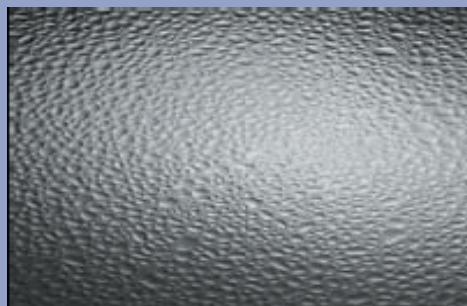
ПЕРЕДОВОЙ ОПЫТ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ЛИВНЕВЫХ СТОЧНЫХ ВОД.....42

Галкин Ю.А., Уласовец Е.А., Басков Е.М., Болтаев В.А., Селицкий Г.А.

ВОДОСНАБЖЕНИЕ ГОРОДА-КУРОРТА ЕССЕНТУКИ.....49 Арутюнов Ю.А.

ВОДОПОДГОТОВКА



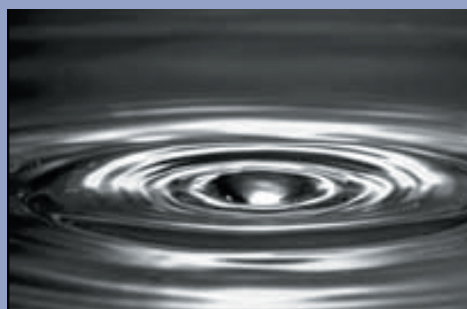
КОМБИНИРОВАННЫЕ СХЕМЫ ОБРАТНООСМОТИЧЕСКОГО ОБЕССОЛИВАНИЯ И КАТИОНИРОВАНИЯ ДОБАВОЧНОЙ ВОДЫ НА ТЭС С УТИЛИЗАЦИЕЙ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ СТОКОВ51

Боровкова И.И., Малахов Г.И.

АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА ПРИЧИН НАРУШЕНИЙ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ТЭС57

Сметанин Д.С., Готовцев П.М.

ВОДОСНАБЖЕНИЕ



ИНЖЕНЕРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ КРУПНЫХ АЭРОТЕНКОВ ПО ЭКОНОМИЧНОМУ ПРИНЦИПУ66

Баженов В.И.



ПРОБЛЕМЫ В ОБЛАСТИ ОХРАНЫ ПРИРОДНЫХ ВОД



Грачев В.А.

Председатель Комитета Государственной Думы по экологии, координатор Всероссийской политической партии «Единая Россия» по экологическим вопросам

Проблемы охраны природных вод напрямую связаны с водохозяйственной политикой в стране, определяющей отношение государства к решению вопросов улучшения экологического состояния водных объектов, рационального водопользования, поддержания нормативного качества водных ресурсов и сохранения водных экосистем. Успешное решение этих вопросов во многом зависит от наличия материально-финансовых ресурсов, которые можно было бы мобилизовать на эти цели. Поэтому большое значение приобретает создание экономического механизма, способного эффективно выполнять эту задачу с учетом реальной ситуации в водопользовании и состояния поверхностных и подземных вод.

В настоящее время ежегодно из природных водных объектов забирается около 85 км³ воды. Примерно десятая часть — 8,5 км³ — теряется во внешних сетях при ее транспортировке к водопотребителям. Из-за несовершенства технологий и запорной арматуры, утечек в системах водоснабжения, изношенности водопроводных сетей значительны потери воды, особенно в промышленном производстве, орошаемом земледелии и коммунальном хозяйстве. Около 30 куб. км составляет безвозвратное водопотребление. В составе сбрасываемых вод в поверхностные водные объекты к категории загрязненных сточных вод относится не менее 20 %. Это обусловлено низкой эффективностью очистных сооружений по причине либо их перегруженности, либо изношенности и выхода из строя, либо вообще отсутствия. К наиболее распространенным загрязняющим веществам поверхностных вод относятся нефтепродукты, взвешенные вещества, фосфор, фенол, СПАВ, соединения меди, железа, цинка, присутствие которых приводит к разрушению водных экосистем, создает угрозу здоровью населения, снижает эффективность рыбного хозяйства, а также влияет на рентабельность водоемких производств, требующих для использования воду нормативного качества.

Очевидно, что для преодоления сложившейся негативной ситуации в водопользовании, в том числе с состоянием водных ресурсов и водохозяйственных объектов, ежегодно требуется, по оценкам экспертов, не менее 2–3 млрд рублей. В соответствии с указанной потребностью в материально-финансовых ресурсах становится очевидной необходимость задействовать целый ряд

источников всевозможных ресурсов, также другие финансовые и экономические инструменты, оказывающие влияние на сферу водопользования и направленные на решение водных проблем.

Регулирование рационального водопользования может достигаться посредством применения фискальных и стимулирующих мер. В частности, в области налогового регулирования возможно применение гибких ставок водного налога, предоставление налоговых льгот, отсрочка по выплатам налогов и др. При применении неналогового регулирования, в частности при взимании платы за негативное воздействие на окружающую среду в виде сбросов загрязняющих веществ в водные объекты, возможно применение повышающих коэффициентов в случаях превышения нормативов предельно допустимых концентраций этих веществ в сбрасываемой воде. Кроме того, возможно установление лимитов сбросов загрязняющих веществ с учетом качества природных вод для каждого производственного объекта, расположенного в пределах конкретного речного бассейна. При этом следует учитывать и возможность достижения хозяйствующими субъектами лучших показателей качества сбрасываемой воды по сравнению с забираемой для производственных целей водой. В подобных случаях следует применять меры экономического стимулирования подобной деятельности посредством зачета начисляемой платы за негативное воздействие и т.п. К методам рыночного регулирования можно отнести торговлю разрешениями на сбросы загрязняющих веществ. В этом случае экономическую выгоду получают производственные объекты, применяющие

наилучшие существующие технологии и имеющие квоты на дополнительные сбросы, которые можно продать на рынке другим предприятиям.

Эффективное применение всех указанных выше финансово-экономических рычагов регулирования водохозяйственной деятельности невозможно без формирования нового правового сектора для введения системы экологического страхования. Экологическое страхование способно не только обеспечивать жизненным и имущественным интересам лиц компенсацию ущерба, возникшего в сфере водопользования, но и аккумулировать и направлять материально-финансовые ресурсы на осуществление превентивных мероприятий по предупреждению негативных воздействий на водные объекты. К числу таких мероприятий могут относиться ремонт и реконструкция очистных сооружений, внедрение наилучших существующих технологий, предусматривающих экономию водных ресурсов посредством применения систем повторного и оборотного водоснабжения, а также новейших технологий по очистке использованной воды от загрязняющих веществ и т.п. водоохранные мероприятия.

Намечаемое на современном этапе вовлечение в производственный процесс недозагруженных производственных мощностей в соответствии с планами социально-экономического развития, предусматривающими в ближайшей перспективе удвоение ВВП, с одной стороны, создает опасность ухудшения экологического состояния водных объектов в связи с изношенностью основных фондов и несовершенством очистного оборудования, с другой стороны, формируемый в настоящее время экономико-правовой и организационный механизм рационального водопользования будет, несомненно, способствовать обеспечению экологической безопасности экономического роста в долгосрочной перспективе.

Важные преобразования происходят в настоящее время в отрасли водоснабжения и водоотведения. Сегодня это динамично развивающаяся отрасль, связанная с обеспечением потребности населения важнейшим, поистине ключевым ресурсом, которым является вода. В условиях рыночной экономики открываются возможности превратить эту сферу деятельности в эффективный и стабильный сектор экономики. Однако для этого требуется приложить немало усилий в области организационно-правовых и экономических преобразований.

Совершенствование нормативно-правовой базы как одно из актуальных направлений реформирования водохозяйственной деятельности продолжает оставаться в числе приоритетных задач законотворческой работы Государственной Думы в целом и Комитета по экологии в частности. Мы все понимаем, что вода является не только важным природным ресурсом и компонентом окружающей среды, но и составляет основы жизни народов, проживающих на территории Российской Федерации.

Тем не менее мы видим, что для преодоления существующих проблем Правительством Российской Федерации ведется напряженная работа.

В деле сохранения уникальных водных ресурсов России большая роль отводится деятельности в области во-

доснабжения и водоотведения. Особенность этой деятельности состоит в том, что водоснабжение и водоотведение принято рассматривать как услугу, а воду после соответствующей подготовки и обработки — как продукцию. Очевидно, что рентабельность при оказании этой услуги будет во многом зависеть от качества воды в водном объекте. А успешное решение задачи по сокращению потерь водных ресурсов будет зависеть от технического состояния инженерных систем водоснабжения и водоотведения.

В настоящее время проводится работа по созданию законодательной базы в области технического регулирования этой деятельности. Процесс этот чрезвычайно сложный и наукоемкий, требующий не только специальных знаний в области водохозяйственной деятельности, но и в области системотехники, системного анализа, а также юридической грамотности.

Поэтому Комитет Государственной Думы по экологии, привлекая высокопрофессиональных экспертов и консультантов, прикладывает немалые усилия, чтобы переломить негативные тенденции, поддержать все передовые и полезные начинания в работе водоканалов страны, создать положительную мотивацию и законодательно закрепить систему мер по выводу ситуации из кризиса. Важным подспорьем в этом деле могут стать назревшие политические решения. В их числе инициатива партии «Единая Россия» по реализации в нашей стране общенационального проекта «Чистая вода», который координируется Советом Федерации и Государственной Думой. Как минимум из этого проекта должны вырасти федеральная целевая программа «Чистая вода», а в дальнейшем — и водная стратегия России.

Организационные и технические преобразования этой важнейшей отрасли жизнедеятельности общества будут, безусловно, способствовать внедрению в производство новых прогрессивных технологий и оборудования в области водоподготовки, аналитического контроля, энергоресурсосбережения, автоматизации, ремонта и эксплуатации сооружений и трубопроводов, сокращению потерь и неучтенных расходов водных ресурсов, повышению качества услуг в области водообеспечения населения.

Совершенствование управления и повышение эффективности деятельности предприятий водопроводно-канализационного хозяйства, без сомнения, благотворно скажутся на экологической ситуации в городах и состоянии водных объектов благодаря увеличению надежности работы очистных сооружений и объемов очистки сточных вод, строительству, реконструкции и расширению городских очистных сооружений.

На предприятиях отрасли трудится множество квалифицированных специалистов, преданных своему делу, самоотверженный труд которых охватывает все этапы производственной и научной деятельности, начиная от углубленных исследований в области состава и качества воды, выявления источников и факторов распространения различных загрязнителей, разработки стандартов качества питьевой воды, актуализации нормативных документов и включая масштабную реализацию программ технико-технологической модернизации сложных систем водоочистки, водоснабжения и водоотведения.



ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ ЕВРОПЕЙСКИХ СТАНДАРТОВ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В РОССИИ



Пупырев Е.И., д.т.н., профессор, директор

Институт
«МосводоканалНИИпроект»

В европейской части России, где проживает 80 % населения страны, вода была и будет стратегическим ресурсом, составляющим предмет государственной безопасности и определяющим здоровье жителей. Уже сейчас здесь нет избытка воды, и дефицит этот с годами будет возрастать. Одновременно с этим государственная политика направлена на обеспечение населения чистой питьевой водой и внедрение новых гигиенических стандартов. При общем высоком уровне антропогенного загрязнения территории европейской части России выполнение поставленных задач потребует значительных материальных и финансовых затрат.

В средствах массовой информации и научно-технической литературе распространено мнение, что Россия — страна технологически отсталая и неспособна достичь высокого уровня питьевого водоснабжения. При этом отсутствуют работы, доказывающие или опровергающие это утверждение.

Группа международных экспертов, работавшая в 1995–1998 гг. в России под эгидой Европейского банка реконструкции и развития (Комитет 29), сформулировала типичные для России проблемы в области водоснабжения:

- несоответствие качества воды действующим стандартам, при одновременном введении нереальных стандартов;
- использование устаревших технологий водоочистки;
- недостаточное финансирование разработки и внедрения новых технологий;
- несовершенство законов в области водоснабжения;
- высокий уровень непроизводительного расхода воды;
- практическое отсутствие систем «водного» мониторинга;
- необходимость реабилитации водоисточников и водных объектов.

Всесторонняя оценка на основе доступных статистических данных готовности российской отрасли водоснабжения к внедрению в настоящее время государственных и европейских стандартов на качество питьевой воды позволяет прийти к следующим выводам:

1. Профессиональный уровень проектных институтов, строительных и эксплуатационных организаций Москвы позволяет реализовать в России современные европейские технологии подготовки питьевой воды.

2. В соответствии с федеральной политикой развитие региональных систем водоснабжения идет за счет местных бюджетов. Бюджеты только нескольких городов России в состоянии выделять финансовые средства на внедрение новых технологий водоподготовки. Величина удельных инвестиций в водоснабжение в Москве приближается к среднеевропейской, но в других городах отстает в несколько раз.
3. Мощности централизованного водоснабжения, уже созданные в России, достаточны для обеспечения всего населения питьевой водой. Улучшение качества питьевой воды в большинстве российских городов, где нет средств для внедрения дорогих европейских технологий, может быть достигнуто за счет организационно-экономических мероприятий, внедрения альтернативных схем водоснабжения.
4. Для создания предпосылок внедрения передовых технологий подготовки питьевой воды необходимо включение инвестиционной составляющей в тарифы на водоснабжение.

СТАНДАРТЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

В настоящее время в России действуют стандарты на качество питьевой воды, в целом соответствующие мировому уровню, хотя по целому ряду важных ингредиентов (остаточный алюминий, хлориды, сульфаты, мышьяк, суммарное железо, свинец, тригалометаны) европейские требования значительно жестче, чем российские (табл. 1).

Однако для современной России характерно неисполнение законов и стандартов, питьевая вода не является исключением. По данным рабочего совещания

Таблица 1

Сравнительные показатели качества питьевой воды

Показатель	Директива Совета Европейского Союза 98/83/ЕС от 03.11.1998 по качеству воды, предназначенной для потребления человеком	СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества»
Мутность	Приемлемая для потребителей, без аномальных отклонений; при обработке поверхностных вод — менее 1,0 НЕМ (нефелометрическая единица мутности)	2,6 ЕМФ (единица мутности по фармазину); 1,5 мг/л (по коалину)
Цветность, град.	Приемлемая для потребителей, без аномальных отклонений	20
Алюминий, мг/л	0,2	0,5
Запах, балл	Приемлемый для потребителей, без аномальных отклонений	Не более 2
Хлориды, мг/л	250	350
Сульфаты, мг/л	250	500
Кадмий, мг/л	0,005	0,001
Хлороформ, мг/л*	—	0,2 (при хлорировании воды)
Формальдегид, мг/л	—	0,05 (при озонировании воды)
Окисляемость перманганатная, мг/л	5	5
Хром, мг/л	0,05	0,05
Бор, мг/л	1	0,5
Цианиды, мг/л	0,05	0,035
Мышьяк, мг/л	0,01	0,05
Железо, мг/л (суммарно)	0,2	0,3
Свинец, мг/л	0,01	0,03
Медь, мг/л (суммарно)	2	1
Термотолерантные колиформные бактерии, число бактерий в 100 мл	0	Отсутствие
Общие колиформные бактерии, число бактерий в 100 мл	0	Отсутствие
Общее микробное число, число образующих колонии бактерий в 1 мл	Без аномальных изменений	Не более 50
Колифаги, число бляшкообразующих единиц (БОЕ) в 100 мл	—	Отсутствие
Споры сульфидредуцирующих клостридий, число/1 мл	0 в 100 мл	Отсутствие в 20 мл
Энтерококки, число/100 мл	0	—

* В соответствии с Директивой 98/83/ЕС нормируется общее содержание тригалометанов в количестве 0,1 мг/л.



«Микробиология водопользования», организованного и проведенного в Москве в 2002 г. Российской академией наук и Институтом микробиологии РАН, доля проб водопроводной воды, не отвечающей гигиеническим нормативам по микробиологическим показателям, составляет в целом по России более 10 %, а в отдельных регионах достигает 30 %.

Наиболее распространенная в России технология подготовки питьевой воды успешно применяется для удаления гетерогенных примесей, имеющих относительно большой размер. На разных стадиях этой технологии могут применяться различные коагулянты, в том числе оксихлорид алюминия, полимерные коагулянты, методы электрокоагуляции и т.п. Для обеззараживания могут использоваться не только хлор, но и озон, различные виды излучения (например, ультрафиолетовое), бактерицидные материалы естественного и искусственного происхождения.

Медицинские исследования определяют степень опасности для человека как давно известных, но патогенно изменяющихся загрязнений, так и новых загрязнителей антропогенного происхождения. Некоторые из них показаны на рис. 1. Размеры частиц загрязнений, в том числе бактериальных и вирусных, выходят на молекулярный уровень, а некоторые уже сравнимы с размерами молекул воды. Для их удаления используются более сложные виды фильтров, например мембранные фильтры из полимерных материалов. Это, в свою очередь, требует и новых реагентов, технологических режимов.

Современная водопроводная станция для производства питьевой воды по европейским стандартам — сложное инженерное сооружение, использующее достижения

высоких технологий. На рис. 2 приведен фрагмент технологической схемы водоподготовки по современным стандартам на базе новейших европейских технологий для строящейся в Москве станции.

По расчетам МосводоканалНИИпроекта, удельная сметная стоимость строительства водопроводной станции средней производительности (250–300 тыс. м³/сут) по распространенной в России технологии составляет в настоящее время 60–70 евро на 1 м³ очищенной воды. При использовании современных фильтров и других конструктивных элементов стоимость повышается до 100–120 евро. При реконструкции станций с введением озонсорбционных блоков стоимость составляет уже 220–240 евро. Наконец, при строительстве современной водопроводной станции по технологии, представленной на рис. 2, удельная стоимость составит 700–800 евро/м³. Так как более половины инвестиций в строительство водопроводных станций составляет стоимость оборудования, суммарный объем инвестиций не слишком зависит от географического местоположения станции. Необходимо отметить, что традиционные методы финансового нормирования в проектировании и строительстве водопроводных сооружений, разработанные еще в СССР и применяемые до сих пор, не подходят для проектирования и строительства современных станций.

На рис. 3 приведена величина удельных капитальных затрат на строительство станций водоподготовки в зависимости от минимального размера удаляемых частиц, из которой следует, насколько дорого производство чистой питьевой воды. Безусловно, при использовании и интерпретации приведенных данных необходимо учитывать, что на стоимость строительства большое влияние



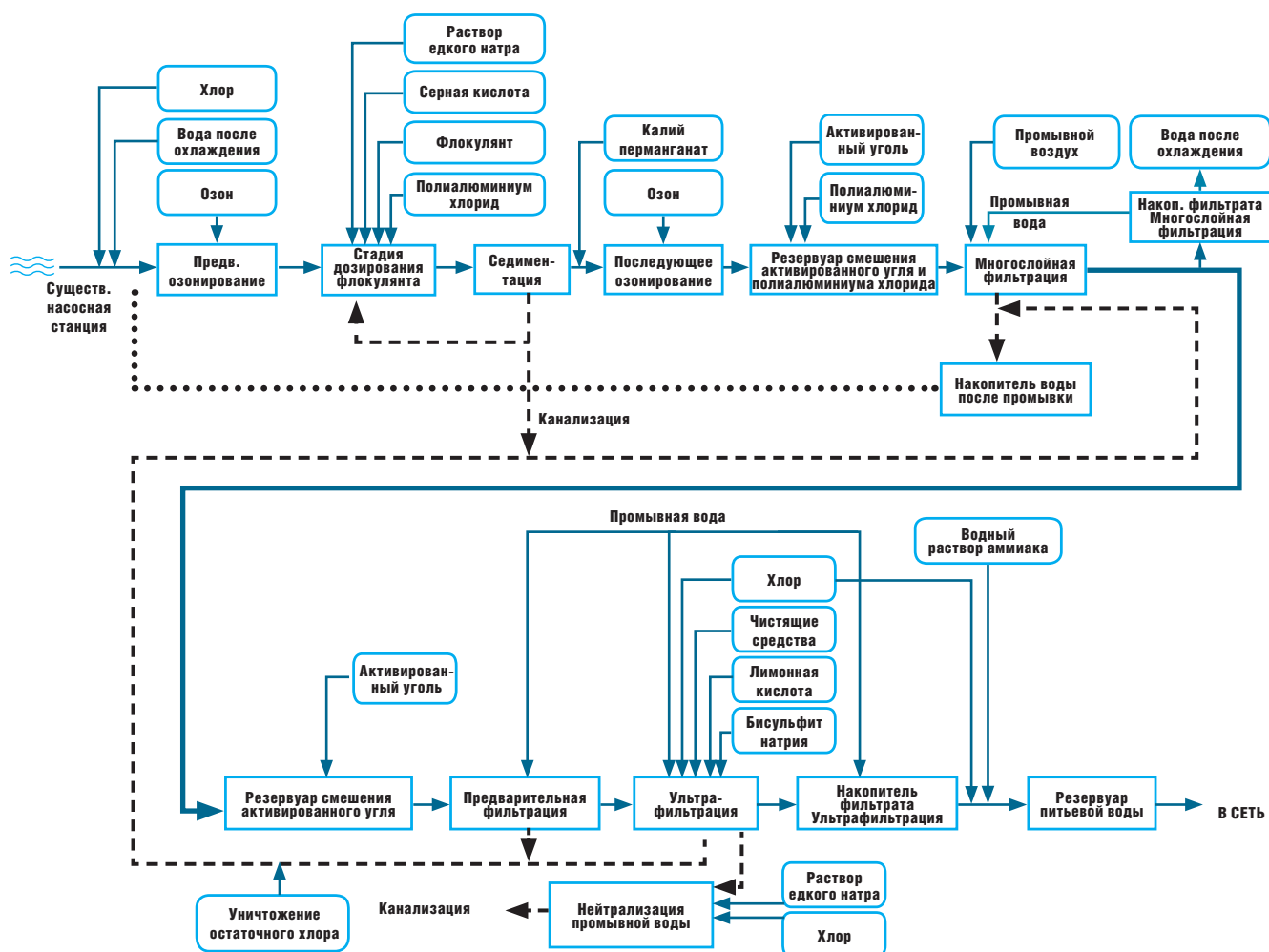


РИС. 2
ФРАГМЕНТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ВОДОПОДГОТОВКИ

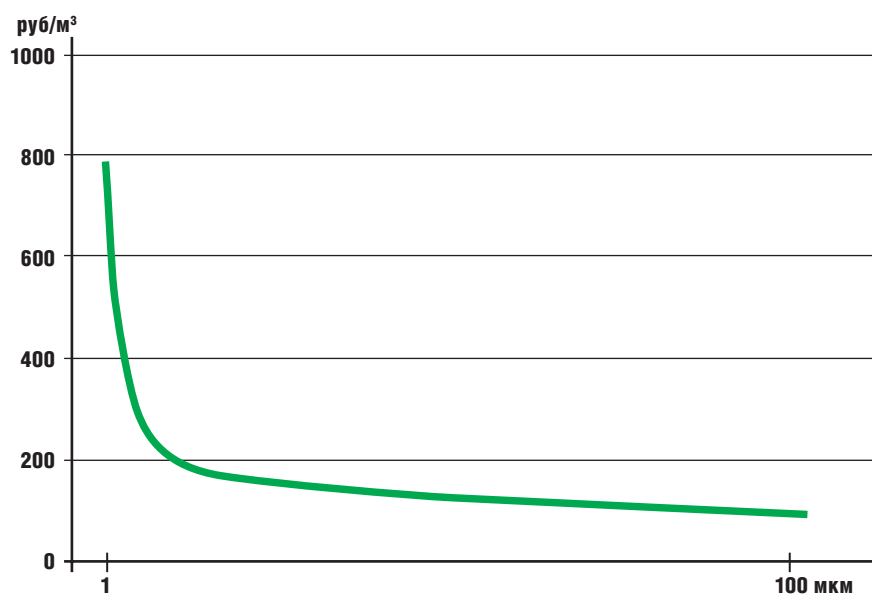


РИС. 3
УДЕЛЬНАЯ СТОИМОСТЬ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ МИКРОЗАГРЯЗНЕНИЙ



оказывают исходные технические требования, степень развития инженерной инфраструктуры на месте строительства, качество проектирования. По данным А.М. Гизатулина, в 2003 г. инвестиции при строительстве жилых зданий в Москве составляли на 1 м³ воды: в водоснабжении — 13 255 руб., в водоотведении — 15 424 руб. В то же время в Казани аналогичные цифры были примерно в 2 раза ниже.

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ВНЕДРЕНИЮ В РОССИИ ЕВРОПЕЙСКОГО СТАНДАРТА НА КАЧЕСТВО ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Приведенные выше данные в целом показывают, что при сегодняшнем экономическом положении страны, техническом состоянии централизованных систем водоснабжения, высоком уровне непроизводительного расхода воды, который по России составляет от 14 до 57 %, достижение европейских стандартов качества питьевой воды для всего объема централизованного водоснабжения с экономической точки зрения невозможно. Должны быть разработаны дифференцированные схемы и технологии водоснабжения для различных городов России. Благополучные города могут позволить себе улучшение качества воды для всего объема централизованного водоснабжения. К ним относятся не только города с большим бюджетом, но и с чистыми источниками водоснабжения.

Для большинства же российских городов должны быть разработаны схемы альтернативного водоснабжения и поэтапного улучшения количественных и качественных показателей, систем централизованного водоснабжения.

В качестве иллюстрации одной из возможных схем можно обратиться к опыту Германии. Муниципальные власти немецких городов не используют воду из системы централизованного водоснабжения для полива улиц, зеленых насаждений, тушения пожаров. Реальное производство питьевой воды в Берлине составляет 162 л/чел.-сут, в среднем по Германии — не более 140 л/чел.-сут, а непроизводительный расход воды — 8 %. По-видимому, система централизованного водоснабжения Берлина может быть образцом для больших городов России.

Задача снабжения населения России питьевой водой европейского качества является достижимой в обозримом будущем, особенно если учесть, что для питьевых нужд расходуется не более 8 л/чел.-сут. Поэтому при решении проблемы особое внимание следует уделить организационно-экономическим мероприятиям.

Проведем комплексный анализ мероприятий для достижения желаемых целей

Традиционно начнем с технических мероприятий: внедрение новых технологий, наращивание мощностей сооружений с целью повышения надежности водоснабжения, санация трубопроводов, внедрение новых материалов, реагентов, оборудования, строительство новых

водопроводных станций там, где действующие невозможно модернизировать.

Для проведения технических мероприятий по повышению качества централизованного водоснабжения возможно создание специального фонда содействия реконструкции.

К организационным мероприятиям относится внедрение альтернативных технологий водоснабжения. Например, поддержание качества питьевой воды на современном уровне, в местах, где вода безопасна. Одновременно внедряется централизованное распространение бутилированной питьевой воды с государственными гарантиями европейского качества. Сейчас, по экспертным оценкам, около 2 % жителей Москвы регулярно пьют бутилированную воду, притом что ее рыночная стоимость в сотни раз выше отпускной цены воды, подаваемой Мосводоканалом в систему питьевого водоснабжения. Для сравнения: даже в благополучной Германии не более 20 % населения используют для питья бутилированную воду.

К организационным мероприятиям относятся также децентрализация, приватизация систем питьевого водоснабжения, определение и разграничение ответственности за качество питьевого водоснабжения в России в отдельных городах, введение правового регулирования в системах автономного водоснабжения.

Важнейшим, если не определяющим, является блок экономических мероприятий по улучшению систем централизованного водоснабжения. В установлении тарифов в России много субъективных факторов. Прежде всего для внедрения рыночных механизмов в систему водоснабжения необходимо включение инвестиционной составляющей в тарифы для жителей и организаций. С одной стороны, это приведет к многократному увеличению тарифов, но с другой — повысит прозрачность инвестиционных мероприятий, уменьшит уровень коррупции, в сочетании с внедрением систем учета водопотребления приведет к падению удельного водопотребления и экономии средств населения. Повышение тарифов на питьевую воду неизбежно последует не только из-за общей инфляции, но и из-за повышения стоимости ресурсов и энергоносителей. Для соблюдения интересов бедных слоев населения должны быть установлены дифференцированные тарифы на услуги ЖКХ, для некоторых категорий населения доля оплаты ЖКХ должна быть увеличена. Напомним, что в начале XX в. в Москве было 7 видов тарифов на питьевую воду для различных слоев населения.

Реализация организационных и технических мероприятий невозможна без широкого внедрения систем учета водопотребления, в том числе водосчетчиков, для сокращения объемов непроизводительного расхода питьевой воды, а также систем мониторинга качества и количества воды в водоисточниках. Без комплексного использования водных объектов невозможно повышение эффективности систем водоснабжения.

*По материалам монографии Е.И. Пупырева
«Системы жизнеобеспечения городов»*

СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОБЪЕКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАГРЯЗНЕННОСТИ СТОЧНЫХ ВОД



Лысенко П.Е.

НКФ «Волга»

После выхода постановления Правительства РФ от 30.12.2006 № 844, определяющего порядок подготовки и принятия решения о предоставлении водного объекта в пользование и предписывающего водопользователям использовать собственную аппаратуру для количественного и качественного анализа сбрасываемых сточных вод, становятся актуальными вопросы приобретения и освоения этой аппаратуры.

Несомненно, каждый водопользователь хочет быть уверен, что получаемые им результаты, с одной стороны, объективно характеризуют объем и загрязненность его сбросов в годовом или сезонном разрезе и не вызывают необоснованных трудовых и экономических затрат, а с другой, обеспечивают ему твердые позиции в диалоге с природоохранными структурами. Подобный диалог неизбежен во многих случаях, поскольку на сегодняшний день в России не существует конкретных законов прямого действия (например, технических регламентов), определяющих обязательные требования к сбросным сточным водам и процедуру проверки их выполнения. Большинство же прежних документов и применяемых методик на эту тему устарели и не отвечают современным социально-экономическим и техническим требованиям.

СПОСОБЫ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ СТОЧНЫХ ВОД

В настоящее время природоохранные органы предписывают водопользователям брать и анализировать пробы сбрасываемой воды. Проба, как правило, берется ежемесячно, в заранее установленные дни и в определенных створах сооружений. Затем осреднением определяют «среднегодовую» загрязненность (по контролируемым компонентам) или констатируют «среднемесячную» загрязненность по результатам... одного анализа! Реже выдвигаются более детальные требования, обычно сопряженные с учащением взятия проб и анализов и с измерением расходов сброса, иногда отвергаемые водопользователями из-за отсутствия технических возможностей.

Четкой регламентации указанных процедур не существует. Предельно допустимая концентрация (ПДК) загрязнителей регламентируется СанПиН 2.1.5.980-00, однако величины ПДК не сопровождаются сведениями о статистической процедуре их определения, допустимом времени существования или требуемом времени осреднения.

В итоге, особенно для общесплавных систем канализации и систем отвода поверхностного (дождевого и весеннего) стока, получаемый результат — расчетные концентрации и объем сброса загрязнителей (за месяц, сезон, год) — оказывается малообоснованным и, как правило, существенно завышенным. Например, рассмотрение ежемесячных анализов по 29 водовыпускам и очистным сооружениям в г. Москве за три года показало, что среднегодовые концентрации загрязнителей при осреднении результатов всех ежемесячных анализов были завышены в 2 (!) раза по взвешенным веществам и в 1,3 (!) раза по нефтепродуктам. Завышение в 1,3–1,5 раза наблюдается и по водовыпускам в р. Москву и малым ее рекам-притокам. Интересно, что в течение одного и того же календарного периода на некоторых объектах встречалось до 4–5 случаев экстремальных концентраций загрязнителей, поскольку анализы брали в период дождя. На других объектах подобные случаи вовсе не имели место, поскольку почти все анализы относились к периоду прохождения по системе меженных расходов.

«Очевидное» решение — увеличение частоты взятия проб и анализов вплоть до ежедневных — еще не гарантирует получения объективного результата. Однако оно требует очень больших затрат и на работу лабораторий, и на взятие проб воды и поэтому практически неосуществимо.



В европейских странах в течение последних 15 лет успешно используется способ объективного и достоверного контроля загрязнений сбросов и их объема на основании инструкции 91/271/ЕЕС, основные принципы которого:

1. Для анализа берутся «репрезентативные» суточные 24-часовые пробы воды с периодичностью 1–2 раза в месяц.
2. Допускается исключить из рассмотрения отдельные выделяющиеся результаты анализов в размере до 10 % от числа взятых репрезентативных анализов с округлением до большего целого. Это означает, что во время кратковременных экстремальных атмосферных ситуаций может произойти сброс недостаточно очищенных сточных вод, не рассматриваемый как нарушение.

В настоящее время российскими специалистами, занимающимися созданием технических регламентов по водоотведению (предполагаемых в ранге законов РФ), признается указанный европейский подход. Неизвестно, к сожалению, каким будет окончательный вариант технических регламентов и срок их введения. Тем не менее подготовку к их реализации, в частности приобретение и освоение аппаратуры в соответствии с требованиями постановления Правительства РФ № 844, следует вести ориентацией на вышеупомянутый подход.

Репрезентативная 24-часовая суточная пробы воды — это смесь 24 ежекасных проб, взятых в одном четко определенном и обоснованном створе (обычно на входе и выходе очистных сооружений), объем каждой из которых пропорционален расходу сбросных вод, имевшемуся во время взятия пробы.

Средняя по объему сброшенных за сутки вод концентрация любого загрязнителя $\bar{C}$ определяется по формуле:

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^{24} C_i Q_i \Delta t}{\sum_{i=1}^{24} Q_i \Delta t} = \frac{\sum_{i=1}^{24} C_i W_i}{\sum_{i=1}^{24} W_i} = \frac{\sum_{i=1}^{24} M_i}{W_{\text{сут}}} = \frac{M_{\text{сут}}}{W_{\text{сут}}},$$

где $i = 1, 2, 3 \dots 24$ — номера проб;

C_i — концентрация загрязнителя в каждой пробе;

Q_i — расход воды при взятии каждой пробы;

Δt — шаг по времени при взятии проб (в нашем случае — 1 ч);

$W_i = Q_i \Delta t$ — объем сброшенных вод за время Δt ;

$W_{\text{сут}}$ — полный объем сброса воды за сутки;

$M_i = C_i Q_i \Delta t$ — масса загрязнений в каждой пробе;

$M_{\text{сут}}$ — масса загрязнителя, сброшенная за сутки.

На практике нет необходимости в вычислениях. Фактически берется смесь 24-часовых проб воды, полученная от специального пробоотборника, проводится ее обычный лабораторный анализ, результат которого и принимается за показатель C для рассматриваемого загрязнителя за сутки.

Величина C после этого сравнивается с допустимыми значениями для данного объекта. А после отбрасывания разрешенного количества экстремальных значений опре-

деляется среднегодовой уровень загрязненности $C_{\text{год}}$ и делаются выводы о достаточности или недостаточности принятых мер водоочистки.

Если при этом, по независимым данным расходомера, определен объем сброса $W_{\text{сут}}$, то можно получить суточную массу сброшенного загрязнителя:

$$M_{\text{сут}} = C \times W_{\text{сут}}.$$

Таким образом, применение пробоотборника, реализующего перечисленные выше операции (совместно с соответствующим расходомером, о котором писалось в журнале «Экология производства», 2007, № 7), позволяет:

- а) минимизировать количество необходимых лабораторных анализов и увеличить, если потребуется, степень их детальности;
- б) учесть в итоговом результате реальную внутрисуточную неравномерность сброса вод (что особо важно для общесплавной и дождевой канализации);
- в) исключить физически тяжелые и слабо контролируемые операции ручного пробоотбора.

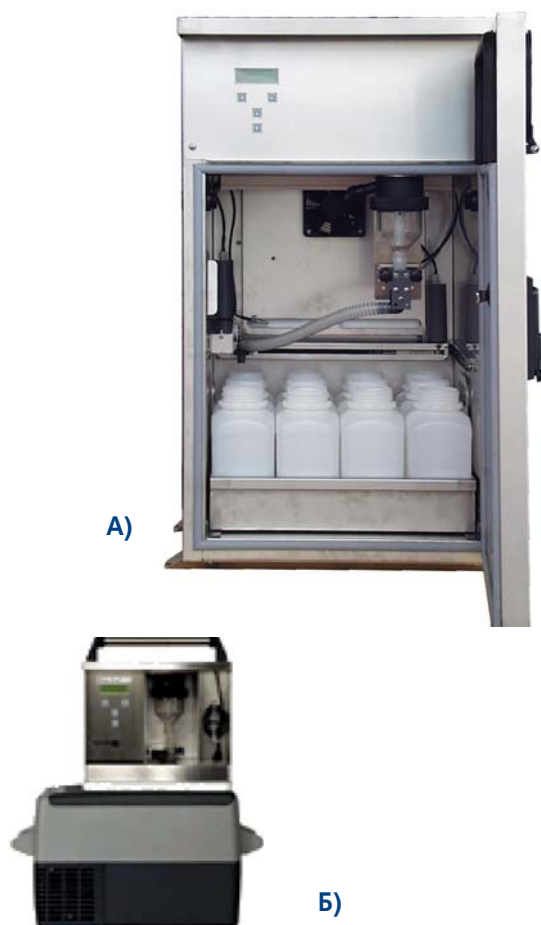
ПРОБООТБОРНИКИ WATERSAM

К сожалению, в России пока не налажено производство описанных выше пробоотборников. НКФ «Волга» использует в своих проектах и поставляет потребителям соответствующие пробоотборники компании WaterSam (Германия). На рис. 1 представлен внешний вид модели стационарного пробоотборника WS 312 (а) и портативного WS Porti (б).

Стационарный вариант предназначен для установки на выпусках водопользователей. Переносной можно установить даже в некоторых канализационных колодцах для контроля загрязненности сбросов в течение определенного ограниченного периода времени (месяц, неделя и т.п.). Эта особенность может быть полезна при изначальном установлении исходных требований к сбросам объекта, перед заключением договора водопользования, а также при оперативном (выборочном) контроле сбросов абонентов городских водоотводящих систем — со стороны водоканалов или сбросов в водные объекты — со стороны структур Министерства природных ресурсов.

На рис. 2 показана схема действий пробоотборника, управляемого встроенным микропроцессором по взятию и накоплению суточных репрезентативных проб сточных вод. Схема точно соответствует приведенной ранее формуле для среднесуточных (среднеобъемных) концентраций загрязнителей. Сигналы времени поступают с внутреннего таймера, величина расхода — с внешнего расходомера.

Пробоотборник может быть также запрограммирован на взятие одинаковых по объему проб через постоянный интервал времени, то есть он может работать и без расходомера. Тогда концентрация загрязнителя в итоговой пробе соответствует средней концентрации во времени. При вариации концентраций и расходов в течение суток в пределах $\pm 20\%$ средняя во времени концентрация может


РИС. 1

Внешний вид модели стационарного пробоотборника WS 312 (а) и портативного WS PORTI (б)

быть вполне приемлемой характеристикой загрязненности сточных вод.

Такая небольшая вариация обычно характерна для выхода их очистных сооружений хозяйственной канализации при раздельной системе водоотведения. Это происходит за счет того, что системы полной биологической очистки и объемы для отстоя воды существенно выравнивают гидравлические режимы хозяйственных вод перед их сбросом. В то же время дождевая, полураздельная и/или общесплавная система канализации имеет даже на выходе неравномерности режима больше, чем $\pm 20\%$. Поэтому средние во времени концентрации загрязнителей без дополнительных сведений исчерпывающими характеристиками загрязненности сточных вод таких систем явиться не могут. В этом случае требуется взятие и анализ полной репрезентативной суточной пробы по схеме на рис. 2.

Пробоотборник может также быть запрограммирован на взятие разовых проб по специальным сигналам о наступлении тех или иных «событий». Например: увеличение уровня pH, резкое изменение электропроводности, выход расхода или уровня воды в объекте за заданные пределы и т.д.

Все указанные способы взятия проб, как разовых, так


РИС. 2

Схема действий пробоотборника, управляемого встроенным микропроцессором по взятию и накоплению суточных репрезентативных проб сточных вод

и накапливающихся (репрезентативных), могут выполняться практически одновременно, без вмешательства эксплуатационного персонала.

При взятии проб как загрязненной, так и питьевой воды всегда возникает важнейший вопрос: как обеспечить неизменность состава пробы от момента взятия до момента доставки в аналитическую лабораторию. На практике этот интервал времени составляет более суток.

WS 312, 316 и другие пробоотборники компании WaterSam обеспечивают неизменность состава проб при помощи:

- специальной химически стойкой посуды для помещения проб;
- встроенных холодильника и обогревателя. При любой погоде температура взятых проб поддерживается на оптимальном уровне 4°C в соответствии со стандартом ISO 5667-10;
- хранения взятых проб в полной темноте во избежание начала процесса биохимического потребления кислорода.

В результате на долю пользователя остается только неизбежный процесс транспортировки проб.

До конца года НКФ «Волга» планирует внедрить порядка 47 пробоотборников WaterSam на строящихся объектах.

Официальный представитель
и сервисный центр

www.volgaltd.ru

Тел./факс: (495) 976-49-49, 977-61-66

e-mail: main@volgaltd.ru



НКФ ВОЛГА

НАУЧНАЯ КОНСАЛТИНГОВАЯ ФИРМА

НЕМЕЦКИЕ ПРОБООТБОРНИКИ ДЛЯ РОССИЙСКИХ УСЛОВИЙ

WS 312

- **УНИВЕРСАЛЕН:** отбор из напорных и безнапорных труб, любых емкостей, резервуаров, водоемов и скважин
- **УСТОЙЧИВ** к работе при широком диапазоне температур
- **ТЕРМОСТАТ** поддерживает внутреннюю температуру $+4^{\circ} \pm 1,5^{\circ} \text{C}$
- **КОМПАКТНЫЕ** размеры при выполнении всех стандартных функций пробоотбора
- **РАЗНЫЕ ВАРИАНТЫ СОСУДОВ:** от 24 x 1 л до 1 x 26,4 л.
- **СЕРТИФИКАТ ГОСТ Р**



I МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫЙ ФОРУМ ПРОМЫШЛЕННИКОВ РОССИИ «ВОДООБОРОТНЫЕ СИСТЕМЫ»

27 ноября 2007 г. завершилась работа I Межрегионального форума промышленников России «Водооборотные системы». Форум проходил в бизнес-центре «Волга». Организатором форума выступила компания «Агростройсервис», осуществляющая проектирование, изготовление оборудования, комплектующих, строительство градирен и очистных сооружений.

Главной особенностью форума явилось высокое внимание к проблемам водооборотных систем как со стороны промышленности, так и со стороны науки. В форуме приняли участие специалисты крупнейших промышленных предприятий, проектных, научно-исследовательских институтов России, городская и районная администрация, представители Торгово-промышленной палаты г.Дзержинска. Информационными партнерами форума выступили: «Нижегородская деловая газета», газета «Новое дело», журнал «Аква-magazine». Работа форума освещалась ведущими информационными изданиями и порталами Интернета.

На форуме выступили с докладами специалисты ЗАО «Агростройсервис» А.А. Бутов, А.С. Норкин, В.Г. Данилов, Д.С. Керов, представитель ГНЦ РФ НИИ «ВОДГЕО» Госстроя России Е.И. Прохоров, технический директор компании «Интермодуль» О.В. Крюков и другие. Были затронуты вопросы снижения энергозатрат на градирнях, особенности работы градирни в зимний период, внедрение автоматической системы управления градирней. Компания «Агростройсервис» представила свои новые разработки: ороситель БНС 5.5.5, стеклопластиковая обшивка градирни, рабочее колесо РК-200 для вентилятора градирни типа SK-1200. В ходе обсуждений участники форума пришли к выводу, что наиболее оптимальный вариант сотрудничества при строительстве и реконструкции водооборотных систем — это вариант «все включено», когда подряд-

чик берет на себя весь цикл строительства: проектирование, изготовление оборудования и металлоконструкций, строительно-монтажные работы, сервисное обслуживание объекта. Опыт многих предприятий показал, что одновременное вовлечение в строительство нескольких подрядчиков приводит к несогласованности действий, срыву сроков строительства и ухудшению качества.

Сегодня, в связи с модернизацией производства, ужесточаются требования к оборотной воде. Было высказано мнение, что производству необходима работоспособная водооборотная система, гибко реагирующая на изменения как внешних условий, так и тепловой нагрузки производственного процесса. Градирни должны быть адаптированы к производственному процессу и оснащены высокоэффективным, экономичным, долговечным и надежным оборудованием.

Также участники получили информацию о последних тенденциях на рынке водооборотных систем и канализационных очистных сооружений, смогли пообщаться и обменяться опытом со своими коллегами. Участники отметили высокий уровень организации форума и актуальность мероприятий деловой программы. Поступило пожелание сделать подобные встречи ежегодными, так как много осталось неразрешенных проблем как по водооборотным системам, так и по очистке сточных вод.

Все материалы форума можно посмотреть на сайте www.forum.acs.nnov.ru.

КОРОТКО

БЦБК ГОТОВ ПРОФИНАНСИРОВАТЬ ЗАМКНУТУЮ СИСТЕМУ ВОДООБОРОТА

Владельцы ОАО «Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат» (БЦБК) готовы инвестировать в строительство замкнутой системы водоочистки, сообщил журналистам глава МПР Юрий Трутнев. «Мы провели встречу с представителями компании «Континенталь». Они готовы профинансировать это. И может, на возвратном принципе», — сказал он. «Континенталь» владеет 50,1 % БЦБК. По оценке МПР, строительство таких очистных сооружений

может стоить компании порядка 2 млн долларов.

Трутнев также подчеркнул, что слышал аргументы владельцев БЦБК и местной администрации о том, что закрытие комбината приведет к нарушению теплоснабжения города Байкальска и не позволит очищать городские стоки. Однако министр считает, что данные аргументы необходимо проверить дополнительно. «Может оказаться, что они являются некой дезинформацией», — сказал Трут-

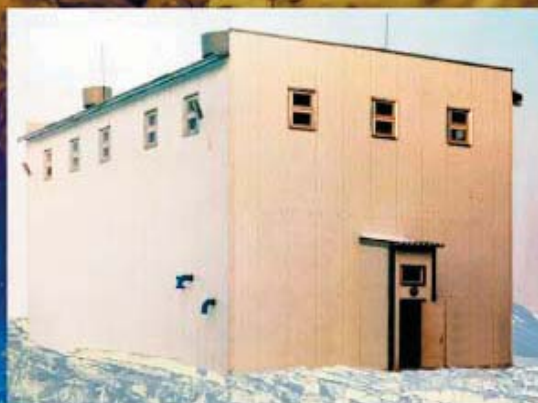
нев. Он также отметил, что Минприроды заинтересовано не в закрытии комбината, а в улучшении его работы.

Как сообщалось ранее, Росприроднадзор обратился в Генеральную прокуратуру с просьбой принять меры прокурорского реагирования в отношении представителей ОАО «Байкальский ЦБК», не выполняющих требования Росприроднадзора по прекращению сброса загрязняющих веществ в озеро Байкал.



АГРОСТРОЙСЕРВИС

- ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ
- ВОДОБОРОТНЫЕ СИСТЕМЫ



- Высокоэффективные градирни нового поколения
- Оборудование для градирен

14 ЛЕТ

на рынке водоотведения
и оборотного водоснабжения!!

606029, Нижегородская обл.,
г. Дзержинск, ул. Гайдара, 75.
Тел./факс: (8313) 34-75-40
(многоканальный)
E-mail: acs@sinn.ru
www.acs.nnov.ru

- Комплексно-блочные биологические канализационные очистные сооружения от 20 до 20 000 м³/сутки
- Канализационные насосные станции до 500 м³/час



- Модернизация и реконструкция действующих очистных сооружений и градирен всех типоразмеров

ПРИМЕНЕНИЕ НИЗКОНАПОРНЫХ МЕМБРАН ДЛЯ ОБРАТНООСМОТИЧЕСКОГО ОПРЕСНЕНИЯ ВОДЫ КАСПИЙСКОГО МОРЯ — ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ФАКТОР

Десятов¹ А.В., д.т.н, заместитель директора;
Асеев² А.В., генеральный директор;
Баранов¹ А.Е., начальник отдела;
Казанцева¹ Н.Н., к.т.н., ведущий научный сотрудник;
Подымова¹ О.А., инженер;
Прохоров¹ И.А., завсектором

¹ Федеральное государственное унитарное предприятие «Исследовательский Центр имени М.В. Келдыша», г. Москва, Российская Федерация

² Акционерное общество «Каспиан-Индастри-ез», г. Астана, Республика Казахстан

В работе приведены результаты исследований по влиянию температуры на производительность, потребление электро-энергии и качество обессоленной воды при обратноосмотическом опреснении воды Каспийского моря. Для расчета гидравлических характеристик мембранных элементов в разветвленной гидравлической системе и основных проектных параметров опреснительных комплексов разработана программа Caspy. С ее помощью проведена серия имитационных экспериментов, которая позволила моделировать работу Каспийского опреснительного комплекса при изменении большого количества факторов. Определены количественные зависимости влияния основных факторов — температуры исходной воды и режима работы второй ступени обессоливания — на технико-экономические показатели процесса. Выбраны оптимальные режим работы и дизайн комплекса с учетом ограничений на концентрацию бора в питьевой воде. Анализ результатов эксплуатации установок обессоливания Каспийского опреснительного комплекса мощностью 20 тыс. м³/сут (г. Актау, Республика Казахстан) показал удовлетворительную сходимость расчетных и реальных характеристик. В заводских условиях впервые получена зависимость селективности по бору от температуры для низконапорных мембран в области низких температур (6–17 °C).

В настоящее время метод обратноосмотического опреснения преобладает при обессоливании вод со средней и низкой соленостью, вытесняя традиционные методы опреснения. Проблема дефицита водных ресурсов особенно остро стоит в районах с аридным климатом, где запасы пресной воды отсутствуют или весьма незначительны, а запасы морских и подземных минерализованных вод велики. Опреснение этих вод является основным источником получения воды в пустыне. Восточное побережье Каспийского моря является типичным представителем такого района: дефицит пресной воды в перспективе на 15–20 лет составляет до 50 тыс. м³/сут. Ранее снабжение пресной водой г. Актау (Республика Казахстан) с прилегающими поселками и промышленными предприятиями, а также близлежащей территории Туркменистана осуществлялось комплексом дистилляционных опреснительных установок, но в последние годы этих мощностей стало недостаточно. Для удовлетворения растущей потребности в пресной воде в 2004 г. в г. Актау пущена первая очередь завода по обратноосмотическому опреснению воды Каспийского моря производительностью 20 тыс. м³/сут. Эффективность опре-

снения воды методом обратного осмоса определяется в основном составом и температурой исходной воды. Большинство установок обратноосмотического опреснения расположено на побережьях теплых морей и океанов, в районах с жарким климатом. Как следствие, при эксплуатации заводов накоплен опыт опреснения вод с минерализацией 26–40 г/л и температурой выше 15 °C. Вода Каспийского моря имеет ряд существенных отличий от вод мирового океана, что обусловило необходимость проведения дополнительных исследований при разработке технологии ее опреснения.

Общая концентрация солей в Каспийском море не превышает 15 г/л. Этот факт позволяет использовать для опреснения низконапорные мембраны марки BW (brackish water), а также насосы с напором до 3,5 МПа. При этом достигается достаточно высокий выход обессоленной воды (около 50 %) [1].

Концентрация бора в воде Каспийского моря высока по сравнению с общим содержанием солей и достигает 4 мг/л, что сопоставимо с содержанием бора в воде мирового океана. Низконапорные мембраны обладают не-высокой селективностью к бору: при стандартных усло-



виях их номинальная селективность может составлять от 65 до 80 %, а для мембраны BW30LE-440 с повышенной проницаемостью не превышает 54 % [2]. Это означает, что при исходном значении pH 8,10–8,15, характерном для каспийской морской воды, концентрация бора в обессоленной воде будет достигать 0,8–2,0 г. Данная величина значительно выше предельно допустимой концентрации бора в питьевой воде, равной 0,5 мг/л. Существенно повысить селективность мембран к бору позволяет повышение pH исходной воды, что обусловлено переходом негидратированной формы борной кислоты H_3BO_3 , имеющей структуру, близкую к структуре воды, в гидратированный моноборат-ион $B(OH)_4^-$, который благодаря большим размерам и отрицательному заряду хорошо задерживается мембраной [3, 4]. Проведенные ранее исследования показали, что при величине pH > 10 селективность низконапорных мембран выше 90 %, что достаточно для глубокой очистки воды [5]. Предполагалось, что введение ингибиторов позволит предотвратить образование осадков солей жесткости; и, проводя процесс обессоливания при значениях pH 8,8–9,5, можно получить пермеат требуемого качества [1, 5]. Впоследствии нами было установлено, что высокая концентрация ионов жесткости не позволяет повышать pH воды Каспийского моря до требуемой величины даже в присутствии ингибиторов. На основании проведенных исследований предложена двухступенчатая схема обессоливания с применением низконапорных мембран с подщелачиванием воды между ступенями [5], которая и была реализована на заводе в г. Актау. Следует отметить, что на данном этапе развития мембранной промышленности практически все ведущие производители мембран заявляют о необходимости применения двухступенчатой схемы обессоливания морской воды для получения воды с содержанием бора, соответствующим требованиям ВОЗ [3, 4, 6].

Важной особенностью Каспийского моря является относительно низкая температура воды — от 2 до 26 °C; средняя температура — 15 °C. Процесс опреснения распространен главным образом в регионах с жарким климатом (средняя температура — 22–25 °C), поэтому практически все имеющиеся в литературе сведения относительно мембран получены в температурном диапазоне 15–35 °C. Известно, что селективность обратноосмотических мембран с понижением температуры возрастает, причем для низконапорных мембран эта зависимость выражена гораздо ярче. Можно предположить, что в условиях Каспийского моря селективность мембран BW может оказаться достаточно высокой.

В настоящей работе представлены результаты исследования воздействия температурного фактора в диапазоне температур Каспийского моря на производительность низконапорных мембран и их селективность к бору, полученные расчетным путем с применением специально разработанной программы и при эксплуатации завода опреснения в г. Актау.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПРОЦЕСС ОБЕССОЛИВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ

ПРОГРАММА РАСЧЕТА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕМБРАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ CASPY

Изучение влияния температуры на характеристики процесса обессоливания производилось на ЭВМ с помощью программы расчета гидравлических характеристик мембранных элементов в разветвленной гидравлической системе Caspy, разработанной в ФГУП «Центр Келдыша». Обычно определение оптимальных параметров и характеристик процесса обессоливания с целью получения воды необходимого качества проводится с помощью программного обеспечения, рекомендованного производителем мембранных элементов (например, FILMTEC® Reverse Osmosis System Analysis — сокращенно ROSA). Указанная программа удобна при первоначальном проектном расчете аппарата обратного осмоса. Для анализа работы обратноосмотического аппарата в конкретном гидравлическом контуре применение программы ROSA не оправдывает себя, так как не позволяет учесть взаимное влияние изменения гидравлического сопротивления сети, расходно-напорных характеристик насосов и рабочих параметров обратноосмотического процесса.

Программа Caspy позволяет моделировать стационарные режимы работы завода опреснения воды на основе полупроницаемых мембран. В основу программ ROSA и Caspy заложены одни и те же физические законы и параметрические зависимости, описывающие особенности процесса обратноосмотического обессоливания, причем для сходных режимов течения, температур и диапазонов изменения давлений. Главной отличительной особенностью программы Caspy является дополнение системы основных уравнений расходно-напорными характеристиками насосов и уравнениями, связывающими гидравлическое сопротивление сети с расходами на ее участках. Совместное решение уравнений, описывающих обратноосмотический процесс, и уравнений гидравлики позволяет моделировать работу аппарата обратного осмоса в составе реального гидравлического контура. Благодаря этому Caspy позволяет прогнозировать изменение рабочих параметров системы в случаях проявления возмущающих воздействий, т.е. моделировать реальные условия эксплуатации обратноосмотического аппарата. Кроме того, существует возможность выделить с помощью программы различные режимы работы комплекса в зависимости от меняющихся условий эксплуатации (например, изменение температуры исходной воды).

Сезонные изменения температуры исходной воды существенно влияют на производительность осмотических аппаратов и концентрацию бора в обессоленной воде. Для того чтобы в таких условиях поддержать производительность опреснительного комплекса и качество обессоленной воды на заданном уровне, необходимо выделить

несколько режимов работы системы. Программа Casru позволяет просчитать множество возможных вариантов работы, определить границы предполагаемых рабочих режимов, подобрать количество и тип насосных групп, выбрать точность регулирования расходов и давлений в контуре и соответственно тип запорно-регулирующей арматуры.

Модель, предложенная программой, позволяет исследовать влияние различных возмущающих воздействий на работу системы:

- наглядно продемонстрировать направление изменений, произошедших в системе под влиянием возмущающих факторов;
- соотнести интенсивность возмущающего воздействия с уровнем ответной реакции на него;
- определить максимально допустимую величину возмущающего воздействия, которую система в состоянии компенсировать.

Программа Casru включает в себя гидравлический расчет, расчет обратноосмотических процессов, процессов фильтрации и кондиционирования, а также расчет химического состава и критериев возможного образования осадков в воде на всех этапах очистки и кондиционирования.

В рамках существующей функциональной схемы пользователь имеет возможность изменять количество параллельно подключенных стандартных элементов (фильтров, насосов, блоков обессоливания, стволов из обратноосмотических элементов); тип установленных насосов и кранов. Помимо этого, существует возможность корректировать химический состав исходной воды по концентрациям ионов и pH, а также температуру. Пользователь может изменить уровень жидкости в рабочих емкостях и величину гидравлического сопротивления отдельных магистралей. Подбирая углы открытия кранов, можно выставить заданные значения расходов через основные магистрали контура.

В случае необходимости программа позволяет корректировать функциональную схему участка обессоливания, либо отключив 2-ую ступень, либо направив часть концентрата 2-ой ступени или весь концентрат в сливной трубопровод.

На участке обессоливания проводится расчет обратноосмотического процесса с учетом гидравлических характеристик контура (насоса и кранов, регулирующих расход концентрата и пермеата). Расчет рабочих параметров обратноосмотического процесса основан на эмпирических корреляциях и базируется на экспериментально изученных зависимостях проницаемости от температуры, концентрации и гидродинамических условий в аппаратах обратного осмоса. Влияние температуры на величину проницаемости учитывается благодаря введению температурного коэффициента, рассчитанного по эмпирическим зависимостям.

В расчет заложена избирательная селективность обратноосмотических мембран по отношению к ионам, присутствующим в исходной воде. Считается, что изменение давления в пределах от 0 до 7 МПа и температуры в интер-

вале от 0 до 30 °C не оказывает существенного влияния на величину селективности по всем рассматриваемым ионам, кроме бора [7]. Для бора введены зависимости селективности мембран от температуры и pH, полученные экспериментально [8]. Температурный фактор при оценке стабильности воды (распределение углекислого газа, карбонатов и гидрокарбонатов, индекс Ланжелье) и констант, характеризующих возможность образования осадков, учитывается вводом зависимостей, составленных на основе справочных данных [9–11].

В систему уравнений включены функции, характеризующие работу насосов и гидравлическое сопротивление сети. Коэффициенты расхода распределительной системы и местных сопротивлений взяты из справочной литературы для развитого турбулентного режима течения [12].

Решение системы уравнений позволяет рассчитать рабочие параметры любой обратноосмотической установки со следующими граничными условиями:

- температура — от 0 до 30 °C;
- давление — от 0 до 7 МПа;
- концентрация растворенных веществ на входе в аппарат ограничивается функцией, отражающей влияние на селективность концентрации исходной воды (в предложенном расчете селективность не зависит от концентрации раствора у поверхности мембраны);
- состав ионов в исходной воде ограничивается несколькими параметрами. Среди них функция, определяющая характер изменения и величину коэффициента концентрационной поляризации;
- pH на входе — от 1 до 12;
- минимально возможное значение расхода концентрации нормируется так, чтобы режим движения разделяемого потока в каналах соответствовал развитому турбулентному течению. Для разных обратноосмотических элементов величина минимально допустимого расхода зависит от геометрии, площади проходного сечения, а также типа турбулизатора;
- ограничения на проницаемость и степень конверсии мембраны приняты согласно паспортным данным.

ИМИТАЦИОННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ

Программа Casru использована для проведения серии имитационных экспериментов, позволяющих моделировать функционирование сложного объекта при изменении большого количества факторов [13]. Рассматриваемый опреснительный комплекс относится к классу сложных систем, характеризующихся значительным числом взаимосвязанных параметров. В программе Casru связь между параметрами комплекса описывается системой дифференциальных уравнений и системой аналитических и эмпирических зависимостей, отражающих механизм явлений. Изменение какого-либо выходного параметра является результатом сложного расчета, и



однозначно сделать вывод о силе воздействия того или иного фактора на конечный результат сложно. Имитационный эксперимент позволяет наглядно продемонстрировать характер изменения выходных параметров для различного сочетания воздействующих факторов.

Основными параметрами, позволяющими оценить работу опреснительного комплекса, являются производительность (количество питьевой воды, получаемое в единицу времени) и удельное энергопотребление (количество энергии, затрачиваемое на производство единицы питьевой воды). Кроме того, важным выходным параметром является концентрация бора в питьевой воде. Ограничения, наложенные на эту величину, во многом определяют выбор технологических режимов работы участка обессоливания, а следовательно, и остальных участков опреснительного комплекса.

Факторы, воздействующие на объект: температура исходной воды и режим работы второй ступени обессоливания (необходимость его использования в качестве основного фактора обусловлена ограничениями на предельную концентрацию бора в обессоленной воде). Область определения температурного фактора ограничена диапазоном от 0 до 25 °С, так как температура воды Каспийского моря редко выходит за обозначенный интервал. Область определения факторов количества работающих блоков и насосов определена существующей конфигурацией участка обессоливания и ограничениями на режимы работы обратноосмотических элементов (минимальный расход концентрата и т.д.). Согласно конфигурации участка обессоливания, количество включенных блоков второй ступени может изменяться от 0 до 3, количество работающих насосов в одном блоке — от 1 до 6. Количество и значения уровней, интервалы варьирования каждого из факторов и результаты расчета выходных параметров представлены в таблице 1.

Анализ полученных результатов позволяет установить качественную и количественную связь между уровнем воздействия различных факторов и изменением выходных параметров, т.е. построить основные параметрические зависимости опреснительного комплекса. Кроме того, появляется возможность выбрать из рассмотренных вариантов работы системы наилучший по критериям производительности и энергопотребления в условиях существующих ограничений.

Прямое воздействие температурного фактора можно проследить по работе опреснительного комплекса без включения второй ступени обессоливания. Производительность системы увеличивается прямо пропорционально с ростом температуры исходной воды (рис. 1). Скорость роста составляет примерно 500 м³/сут при увеличении температуры на один градус. Математическое описание указанной параметрической зависимости имеет следующий вид:

$$Q(T) = 0,5T + 16,4, \quad (1)$$

где:

T — температура исходной воды, °С;

$Q(T)$ — производительность опреснительного комплекса, тыс. м³/сут.

Количество энергии, затрачиваемое на получение одного метра кубического питьевой воды, уменьшается с ростом температуры (рис. 2). Удельное энергопотребление опреснительного комплекса прямо пропорционально потребляемой мощности насосных групп и обратно пропорционально производительности по питьевой воде. С ростом температуры растет потребляемая мощность, но одновременно увеличивается производительность. Определяющим процессом в данном случае является рост производительности комплекса. Поэтому график зависимости удельного энергопотребления от температуры, вообще говоря, должен быть близок к гиперболе. В тоже время на рис. 2 видно, что в рассматриваемом температурном диапазоне представленная функция достаточно точно аппроксимируется линейной зависимостью:

$$W(T) = -0,055T + 3,81, \quad (2)$$

где:

$W(T)$ — энергопотребление опреснительного комплекса, затраченное на получение одного кубического метра питьевой воды, кВт ч/м³;

T — температура исходной воды, °С.

Следовательно, при увеличении температуры на один градус удельное энергопотребление комплекса падает на 50–60 Вт ч/м³.

Поскольку селективность обратноосмотических мембран по бору уменьшается по мере увеличения температуры, концентрация бора в питьевой воде с ростом температуры прямо пропорционально возрастает (рис. 3). Скорость роста составляет 0,06 мг/л при повышении температуры исходной воды на один градус:

$$C_b(T) = 0,06T - 0,12, \quad (3)$$

где:

C_b — концентрация бора в питьевой воде, мг/л;

T — температура исходной воды, °С (5 °С < T < 25 °С).

В условиях работы опреснительного комплекса без второй ступени обессоливания концентрация бора в питьевой воде достигает величины 0,48 мг/л при температуре исходной воды 10 °С, т.е. приближается к величине ПДК 0,5 мг/л. Этот параметр как раз и ограничивает температурный интервал, для которого включение второй ступени обессоливания не требуется. При температуре выше 10 °С появляется необходимость подключения второй ступени. Последующий рост температуры влечет за собой увеличение числа обратноосмотических блоков второй ступени обессоливания, насосов и соответственно энергозатрат, необходимых для обеспечения требуемого содержания бора.

Рассмотрим серию имитационных экспериментов в диапазоне температур от 10 до 25 °С с условием включения второй ступени обессоливания. Расчеты проведены для трех уровней изменения фактора температуры, трех уровней изменения числа обратноосмотических блоков,

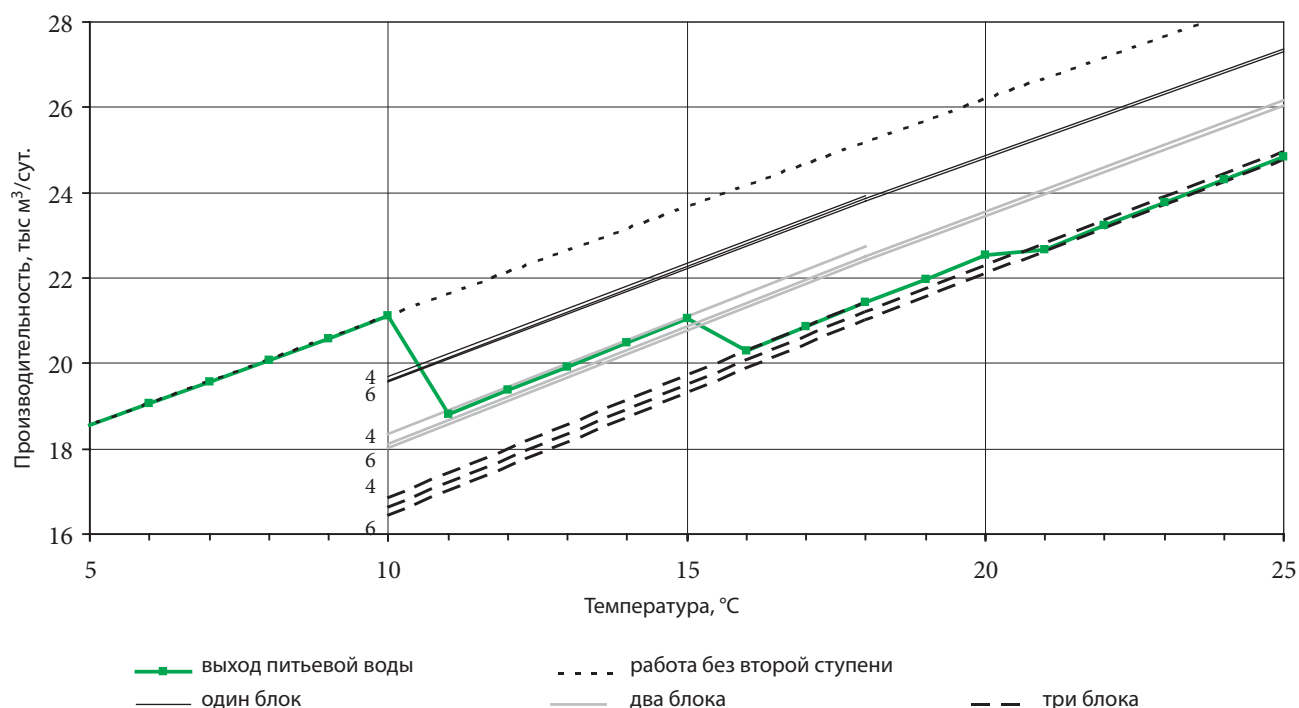


РИС. 1

Производительность опреснительного комплекса в зависимости от температуры исходной воды (результаты имитационного эксперимента)

Квадратными точками отмечен оптимальный режим процесса. Количество насосов, включенных в работу в каждом блоке второй ступени, обозначено цифрами в поле диаграммы.

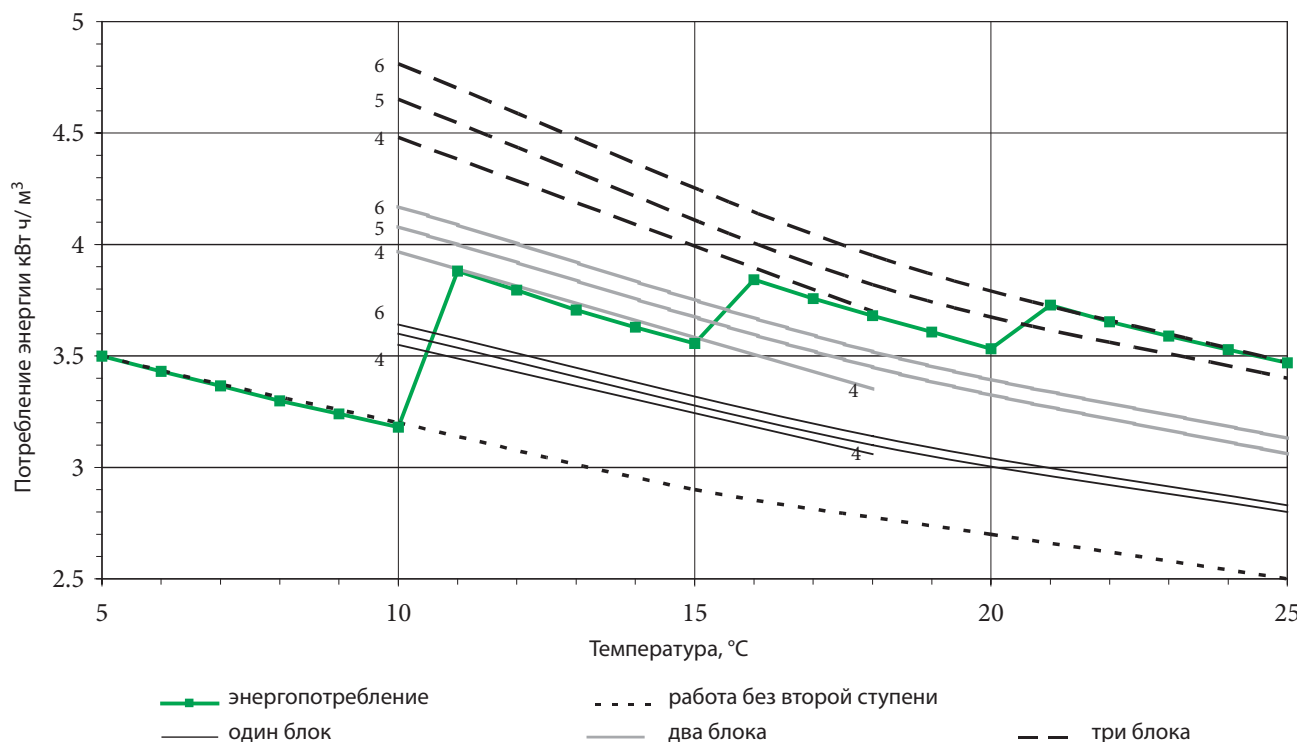
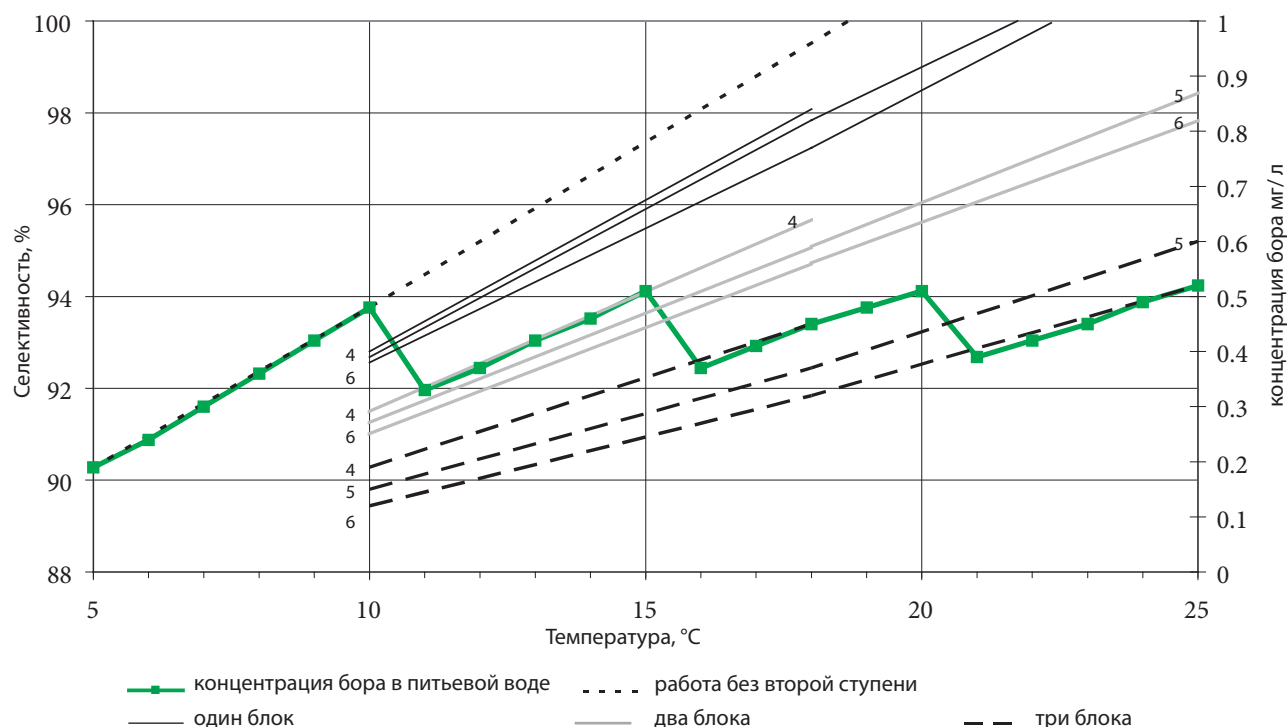


РИС. 2

Удельное энергопотребление опреснительного комплекса в зависимости от температуры исходной воды (результаты имитационного эксперимента)

Квадратными точками отмечен оптимальный режим процесса. Количество насосов, включенных в работу в каждом блоке второй ступени, обозначено цифрами в поле диаграммы.

**РИС. 3**

Зависимость содержания бора в питьевой воде от температуры (результаты имитационного эксперимента).

Треугольными точками отмечен оптимальный режим процесса. Количество насосов, включенных в работу в каждом блоке второй ступени, обозначено цифрами в поле диаграммы.

шести уровней изменения количества насосов в одном блоке.

Расчеты показали, что при температуре 10 °C вторая ступень не может работать менее чем с тремя насосами. В противном случае расход концентрата через обратноосмотические элементы падает ниже допустимого, и резко уменьшаются коэффициенты проницаемости мембран. Поэтому при температуре 10 °C количество одновременно включенных насосов в одном блоке второй ступени изменяется от трех до шести. При температуре 18 °C производительность обратноосмотических элементов возрастает, минимально допустимое количество включенных насосов в одном блоке увеличивается до четырех по той же причине. При температуре 25 °C насосов в одном блоке должно быть уже не менее пяти. Для того чтобы окончательно определить диапазоны температур, в которых минимально допустимое количество насосов не изменяется, следует провести расчеты на нескольких дополнительных температурных уровнях.

Включение второй ступени обессоливания изменяет ряд параметров системы, которые оказывают влияние на производительность опреснительного комплекса. Изъятие из общего расхода обессоленной воды доли, равной по величине расходу концентрата второй ступени, снижает производительность системы. Однако концентрат второй ступени поступает на вход установок первой ступени обессоливания. Смешение исходной воды с концентратом второй ступени снижает общее солесодержание раствора на входе в первую ступень и увеличивает выход

пермеата. Это, в свою очередь, влечет за собой рост производительности комплекса.

Зависимости, построенные по результатам расчетов, добавлены на рис. 1–3 к графикам, характеризующим работу опреснительного комплекса без второй ступени. Полученные таким образом диаграммы позволяют оценить, насколько включение второй ступени влияет на производительность системы. Как видно из рис. 1, главным образом на производительность комплекса влияет отбор части пермеата первой ступени. Снижение общего солесодержания на входе в первую ступень позволяет частично компенсировать уменьшение производительности комплекса. Включение одного блока влечет за собой уменьшение производительности на 1400 м³/сут, включение двух блоков — приблизительно на 2800 м³/сут, трех блоков — в среднем на 4200 м³/сут. В то время как расход концентрата второй ступени для одного блока составляет в среднем 1900 м³/сутки, для двух блоков — 3800 м³/сут, для трех блоков — 5700 м³/сут. Величина компенсации общей производительности комплекса после включения второй ступени оказывается прямо пропорциональной количеству работающих блоков. Следует отметить, что сравнение проводилось для одинакового числа включенных насосов в каждом блоке. В целом снижение общего солесодержания на входе в первую ступень позволяет на 30 % компенсировать уменьшение производительности комплекса.

Включение второй ступени не изменило скорости роста производительности комплекса с увеличением тем-

пературы. Во всех случаях при увеличении температуры на один градус производительность увеличивается приблизительно на 500 м³/сут.

Рассмотрим влияние режимов работы второй ступени на удельное энергопотребление опреснительного комплекса. Увеличение количества включенных блоков влечет за собой рост энергопотребления за счет работы насосов второй ступени (рис. 2). Кроме того, из-за падения производительности комплекса удельные затраты энергии на производство единицы питьевой воды возрастают. Добавление концентрата второй ступени на вход в первую ступень, в свою очередь, увеличивает потребляемую мощность насосов первой ступени из-за увеличения расхода через них. Все параметры, влияющие на энергопотребление системы, стремятся увеличить энергозатраты. Чем больше включено насосных групп, тем круче идет кривая удельного энергопотребления.

Вместе с тем следует отметить, что характер зависимости энергопотребления от температуры приобретает выраженную квадратичную зависимость. При включенной второй ступени усиливается рост потребляемой мощности насосов за счет роста расхода на входе в первую ступень.

На рис. 2 видно, что графики, характеризующие работу блоков, не перекрываются. Несмотря на то что общее количество включенных насосов совпадает, удельное энергопотребление при большем количестве работающих блоков выше. Поэтому энергетически выгоднее работать при большем количестве насосов и меньшем количестве блоков.

Включение второй ступени приводит к изменению ряда параметров, влияющих на концентрацию бора в питьевой воде. Появляется поток пермеата второй ступени, увеличение расхода которого ведет к снижению концентрации бора в питьевой воде. Растет расход пермеата первой ступени из-за увеличения потока на входе в первую ступень обратного осмоса, что ведет к увеличению концентрации бора в питьевой воде. Изменяется концентрация бора на входе в первую ступень в результате смешения потоков исходной воды и концентрата второй ступени. Следствием этого является изменение концентрации бора в пермеате первой, второй ступеней и питьевой воде. Включение большего количества насосов ведет к увеличению степени конверсии второй ступени и, соответственно, к увеличению концентрации бора в пермеате второй ступени, увеличению расхода пермеата второй ступени и некоторому изменению концентрации бора в питьевой воде.

Рассмотрим характер изменения концентрации бора в питьевой воде как функцию температуры, количества работающих блоков и насосов на второй ступени обессоливания (рис. 3). Анализ представленных зависимостей позволяет сделать вывод о том, что определяющим для концентрации бора в питьевой воде является расход пермеата второй ступени. В любой точке из температурного интервала от 10 до 25 °С зависимость между содержанием бора в питьевой воде и расходом пермеата второй ступени носит линейный характер. Следует отметить, что не

имеет значения, каким сочетанием работающих блоков и насосов достигается рассматриваемая величина расхода пермеата второй ступени.

Изменение уровня температурного фактора при неизменном количестве блоков и насосов прямо пропорционально изменяет величину концентрации бора в питьевой воде.

При выводе параметрической зависимости для концентрации бора в питьевой воде следует учитывать значения коэффициента конверсии на второй ступени. Введение этого параметра позволяет оценить долю расхода пермеата первой ступени, поступающего на смешение. Таким образом, для оценки концентрации бора в питьевой воде предлагается следующая параметрическая зависимость:

$$C_B = f(T, Q_{п2}, Y_2),$$

$$CB = b_0 + b_1 T + b_2 Q_{п2} + b_3 Y_2, \quad (4)$$

где:

b_0, b_1, b_2, b_3 — расчетные коэффициенты;

T — температура исходной воды, °С;

Y_2 — коэффициент конверсии второй ступени;

$Q_{п2}$ — расход пермеата второй ступени.

Данная параметрическая зависимость позволяет определить требуемые расходные характеристики второй ступени при соблюдении некоторых ограничений на концентрацию бора для заданного температурного диапазона.

Величина концентрации бора в питьевой воде накладывает ограничения на область оптимизации основных критериев системы: производительности и удельного энергопотребления комплекса. Концентрация бора в питьевой воде не должна превышать 0,5 мг/л. Сопоставление диаграмм на рис. 1–3 позволяет выбрать из большого количества вариантов работы комплекса наилучший. Критериями выбора являются удельное энергопотребление и производительность по питьевой воде. Главным ограничивающим условием следует считать концентрацию бора в питьевой воде.

При температурах до 10 °С работа опреснительного комплекса без включения второй ступени позволяет соблюдать данное условие. При температурах выше 10 °С включение одного блока наиболее экономично и производительно, но допускает работу без превышения концентраций бора только в температурном интервале от до 12 °С. Поэтому более целесообразно включить два блока по четыре насоса в температурном диапазоне от 10 до 15 °С. При температурах выше 15 °С возникает необходимость включения третьего блока с четырьмя насосами и т. д. Описанный вариант работы опреснительного комплекса представлен на рис. 3 в виде ломаной линии. Он является наиболее рациональным с точки зрения энергопотребления, производительности и удобства регулирования.

Таким образом, проведенный параметрический многофакторный анализ выявляет сложный характер влия-

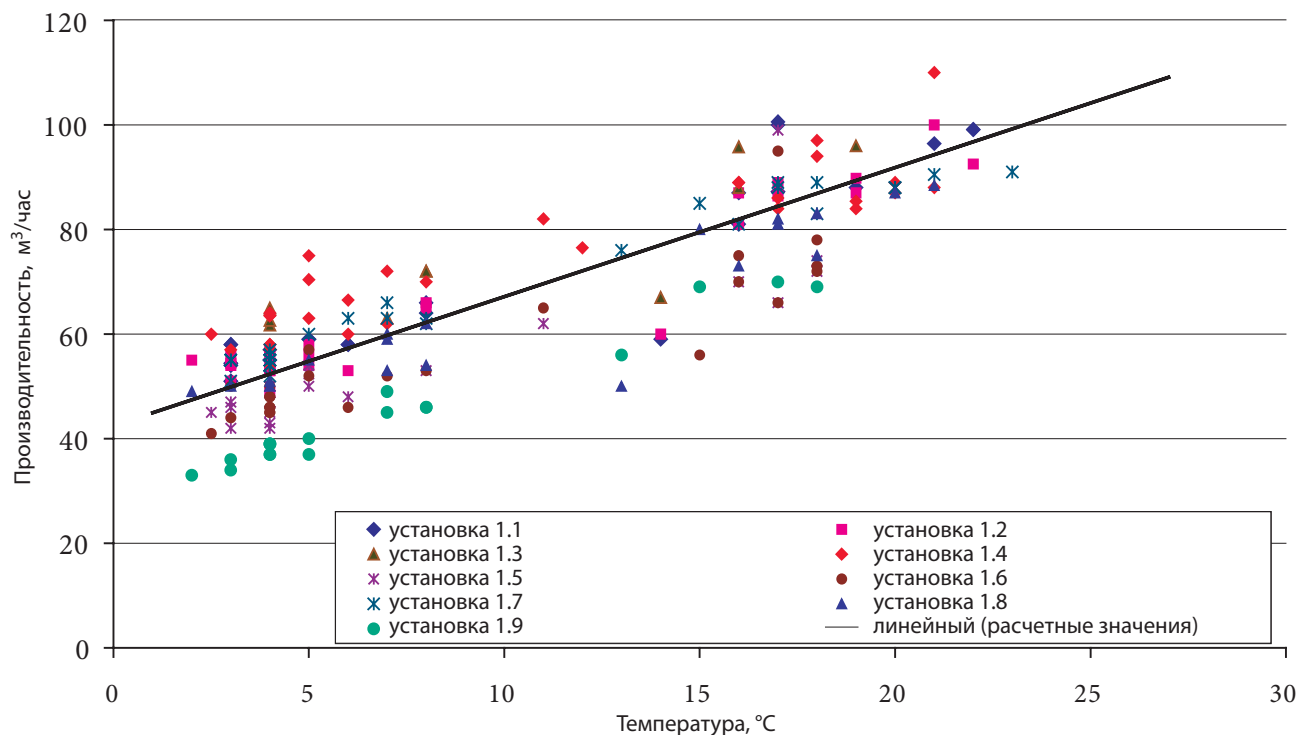


РИС. 4

Зависимость производительности от температуры для блоков 1-ой ступени обессоливания морской воды на Каспийском опреснительном комплексе (г. Актау, Республика Казахстан)

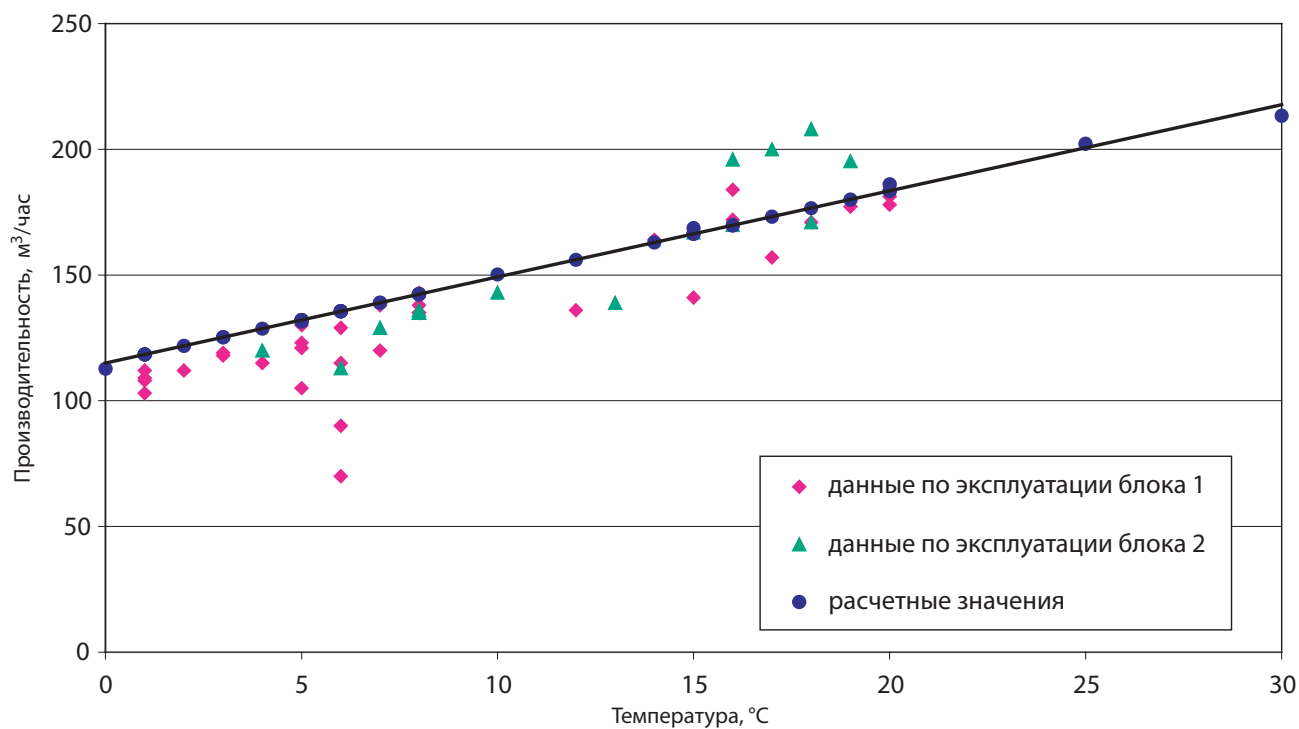


РИС. 5

Зависимость производительности от температуры для блоков 2-ой ступени обессоливания морской воды на Каспийском опреснительном комплексе (г. Актау, Республика Казахстан)

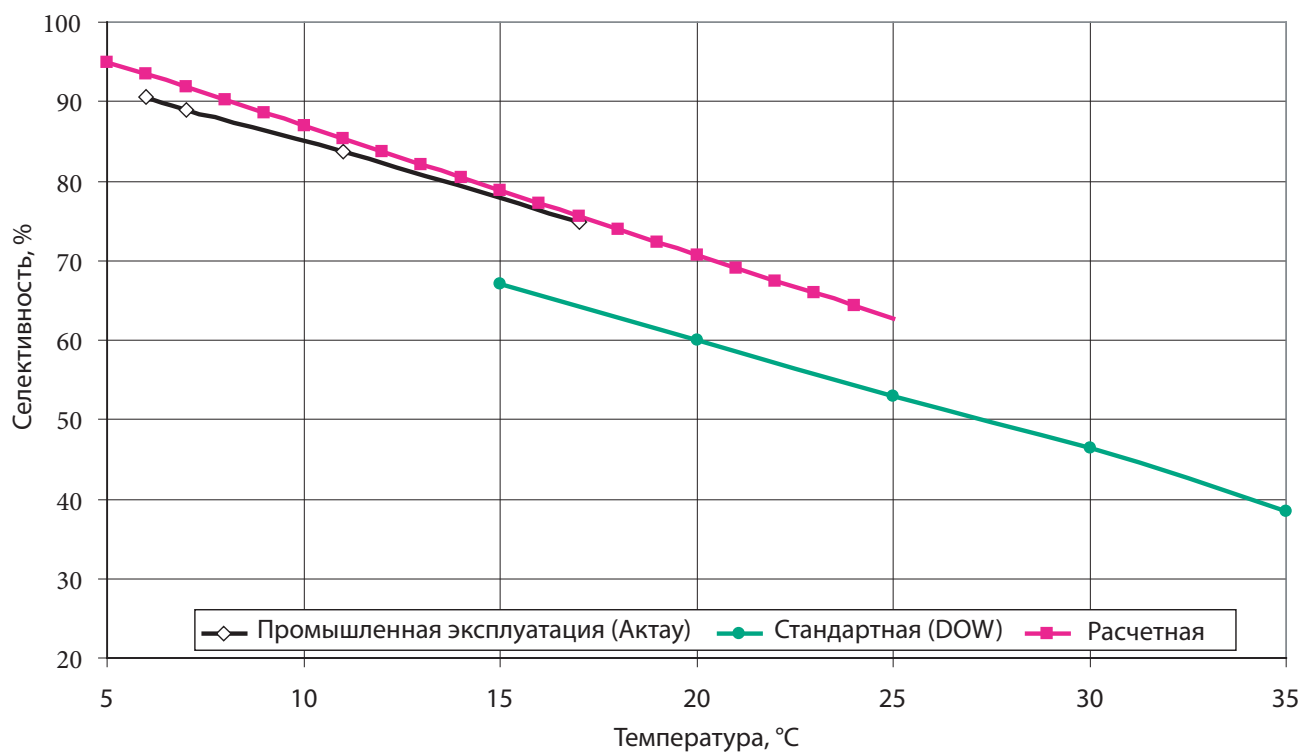


РИС. 6

Зависимость селективности удаления бора от температуры при значении pH исходной воды 8,1÷8,5 на первой ступени обессоливания с применением мембран BW30-400. Для сравнения приведены справочные данные фирмы DOW для промышленных BW-мембран и расчетная зависимость, используемая в программе Caspy

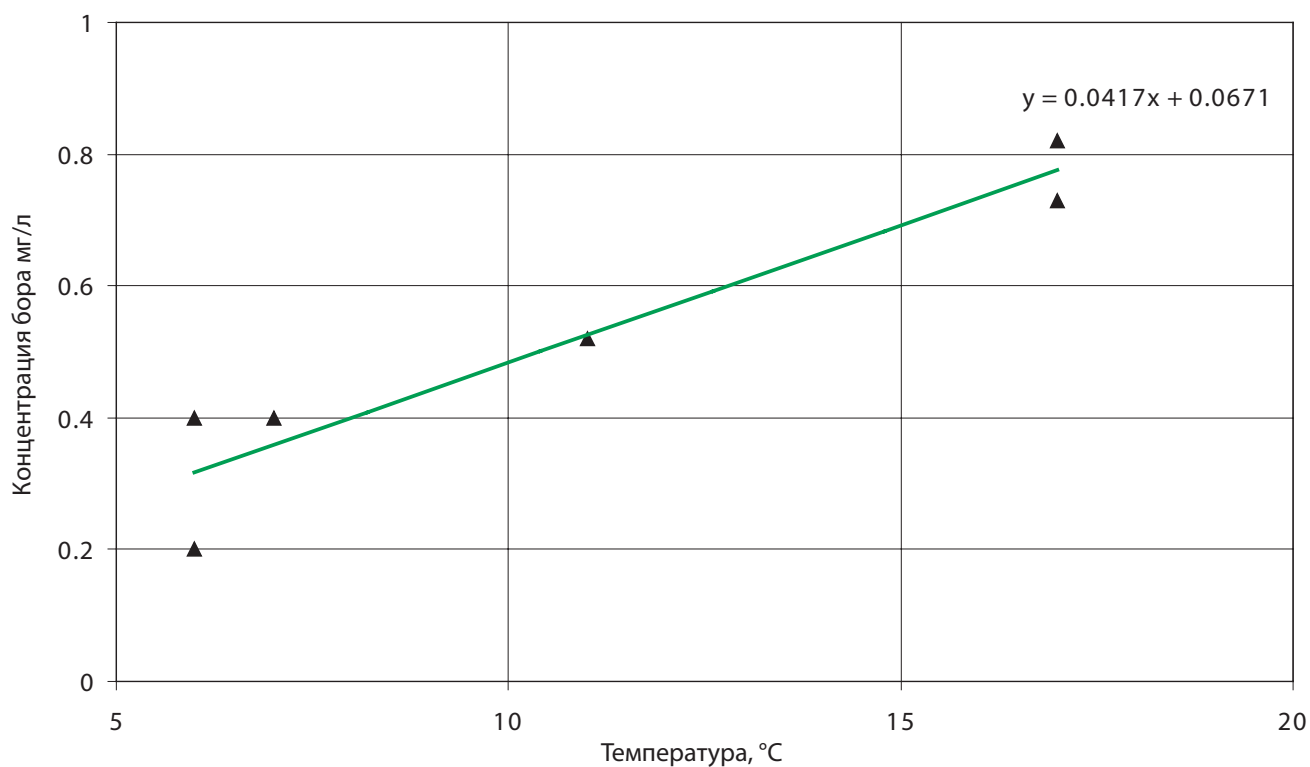


РИС. 7

Концентрация бора в пермеате на первой ступени обессоливания в зависимости от температуры (при значении pH исходной воды 8,1÷8,5)



ния температуры на работу опреснительного комплекса и позволяет выбрать оптимальный режим работы последнего по основным критериям с учетом ограничений на концентрацию бора в питьевой воде.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФАКТОРА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАВОДА ОБЕССОЛИВАНИЯ ВОДЫ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Анализ результатов эксплуатации Каспийского опреснительного комплекса за период с ноября 2004 г. по декабрь 2006 г. показывает, что температура действительно оказывает определяющее влияние на работу блоков обратноосмотических установок. Отмечается общая тенденция роста производительности по мере увеличения температуры (рис. 4). При изменении температуры от 2 до 26 °C величина потока варьирует от 33 до 110 м³/сут. Согласно расчету, на первой ступени опреснения воды Каспийского моря применение обратноосмотических мембран Filmtec BW30-400 должно дать при средней температуре 15 °C поток пермеата 86,6 м³/сут на каждом блоке. Усредненная для всех блоков производительность по пермеату, приведенная к температуре 15 °C, составляет 76,3 м³/сут, что отличается от расчетной величины на 12 %.

Вторая ступень обессоливания снабжена мембранными элементами Filmtec BW30LE-400 (3 блока по 14 мембран). Средняя расчетная производительность одного блока при 15 °C равна 168 м³/сут, при изменении температуры от 0 до 30 °C диапазон изменения потока пермеата — от 112 до 213 м³/сут. На рисунке 5 построена расчетная зависимость производительности второй ступени от температуры при условии, что работают два обратноосмотических блока с четырьмя включенными насосами в каждом. Отдельными точками обозначены данные по эксплуатации 1-го и 2-го блоков второй ступени. Представленные данные свидетельствуют, что ожидаемая и реальная скорости роста производительности по мере увеличения температуры совпадают удовлетворительно.

Расчетная селективность извлечения бора на первой ступени обессоливания в диапазоне изменения температуры от 0 до 25 °C составляет от 99 до 60 %. Согласно сведениям специалистов фирмы DOW, селективность мембраны BW30-400 по бору в диапазоне температур от 15 до 35 °C возрастает на 1,45 % при снижении температуры на один градус. В заводских условиях при снижении температуры на 1 °C селективность мембраны по бору возрастает на 1,4 %, что практически совпадает со стандартной производной для BW30-400 (рис. 6). Следует отметить, что диапазон исследованных в промышленных условиях температур от 6 до 17 °C не входит в исследованный производителем интервал температур. Следовательно, получены данные позволяют интерпретировать стандартную зависимость для низконапорных мембран в область более низких температур, где селективность по бору значительно выше. Данные получены впервые и могут использоваться как справочные.

В зависимости от температуры концентрация бора в пермеате первой ступени обессоливания при значении pH исходной воды 8,1–8,5 колеблется от 0,2 до 0,8 мг/л (рис. 7). При температуре ниже 12 °C и значениях pH 8,1–8,5 на первой ступени обессоливания получен пермеат с содержанием бора ниже предельно допустимой концентрации в питьевой воде. Следовательно, в течение длительного времени (ориентировочно в период с ноября по апрель) нет необходимости подключать вторую ступень обессоливания, что позволит увеличить выход питьевой воды и значительно снизить затраты.

На второй ступени обессоливания при температуре воды 11–17 °C и значениях pH поступающей воды от 10,3 до 9,8 обеспечивается очистка пермеата от бора до концентрации 0,03–0,05 мг/л соответственно.

Удельные затраты электроэнергии всего опреснительного комплекса составляют 3,5–4,0 кВтч/м³, в том числе на обессоливание — 2,0–2,3 кВтч/м³. В мировой практике энергозатраты на опреснение морской воды составляют 3,4–5,2 кВтч/м³, в том числе на стадию обратноосмотического опреснения — 2,9–3,9 кВтч/м³; солоноватых вод — 1,0–1,1 кВтч/м³ [14–20]. Для сравнения можно привести затраты на стадии ОО опреснения морской воды для заводов с самой современной технологией: Ашкелон, Израиль, — 3,9 кВтч/м³ [15], Фуджейрах, ОАЭ, — 2,9–3,0 кВтч/м³ на первой ступени, 3,7–3,9 кВтч/м³ на 1 и 2 ступенях [16]. Уровень удельных энергозатрат определяется в основном минерализацией опресняемой воды. Концентрация солей в воде Каспийского моря занимает промежуточное положение между водой мирового океана и солоноватыми водами, следовательно, достигнутый показатель находится на одном уровне с современными заводами.

Таким образом, основные технологические характеристики, полученные в процессе эксплуатации обратноосмотических установок завода, удовлетворительно совпадают с результатами расчетов по программе Casru, которые явились основой для составления проекта.

На представленном примере показано, что при опреснении воды с минерализацией до 15 г/л полностью оправдано использование низконапорных обратноосмотических мембран для проведения глубокой очистки от бора и получения питьевой воды, соответствующей стандартным требованиям.

Продемонстрированная в настоящей работе высокая селективность низконапорных мембран по бору при низких температурах расширяет возможности получения питьевой воды из природных источников с относительно низкой минерализацией и высоким содержанием бора.

ВЫВОДЫ

1. Проведена серия имитационных экспериментов с применением программы Casru, которая позволила моделировать функционирование Каспийского опреснительного комплекса при изменении большого количества факторов. Определены количественные

зависимости основных факторов, воздействующих на объект (температура исходной воды, режим работы второй ступени обессоливания) на производительность по пермеату, удельное энергопотребление и концентрацию бора в питьевой воде. Проведенный параметрический многофакторный анализ работы опреснительного комплекса позволил выбрать оптимальный режим работы последнего по основным критериям с учетом ограничений на концентрацию бора в питьевой воде. Выбран оптимальный дизайн завода для обессоливания воды во всем диапазоне изменения температуры исходной воды.

2. Проведен анализ результатов эксплуатации установок обессоливания Каспийского опреснительного комплекса за пусконаладочный период и первые годы эксплуатации (с ноября 2004 г. по декабрь 2006 г.). Показана удовлетворительная сходимость основных

эксплуатационных характеристик с расчетными данными, что доказывает перспективность применения разработанной в Центре Келдыша программы расчета для проектирования заводов обратноосмотического опреснения и моделирования реальных условий их эксплуатации.

3. В заводских условиях впервые получена зависимость селективности по бору от температуры для низконапорных мембран в области низких температур (6–17 °C). При снижении температуры на 1 °C селективность мембран по бору возрастает на 1,4 %, что практически совпадает со стандартной производной для BW30-380. Следовательно, получены данные, позволяющие интерпретировать стандартную зависимость для низконапорных мембран в область более низких температур, где селективность по бору значительно выше.

Таблица 1

Результаты имитационного эксперимента по влиянию температуры и режима работы второй ступени обессоливания на параметры опреснительного комплекса

Номер опыта	Факторы			Выходные параметры		
	температура °C	число включенных блоков 2-ой ступени	число насосов в одном блоке	производительность, м³/сут	удельное потребление энергии, кВтч/м³	концентрация бора в питьевой воде, мг/л
1	0	0	0	16 018	3,90	0,04
2	5	0	0	18 545	3,50	0,19
3	10	0	0	21 117	3,20	0,48
6	15	0	0	23 679	2,90	0,78
5	20	0	0	26 197	2,70	1,08
6	25	0	0	28 616	2,50	1,38
7	10	1	1	—	—	—
8	10	1	2	—	—	—
9	10	1	3	19 830	3,49	0,41
10	10	1	4	19 697	3,55	0,40
11	10	1	5	19 615	3,60	0,39
12	10	1	6	19 560	3,64	0,38
13	18	1	1	—	—	—
14	18	1	2	—	—	—
15	18	1	3	—	—	—
16	18	1	4	23 930	3,06	0,84
17	18	1	5	23 848	3,10	0,82
18	18	1	6	23 790	3,14	0,77
19	25	1	1	—	—	—
20	25	1	2	—	—	—
21	25	1	3	—	—	—
22	25	1	4	—	—	—
23	25	1	5	27 376	2,80	1,16
24	25	1	6	27 319	2,83	1,14
25	10	2	1	—	—	—
26	10	2	2	—	—	—
27	10	2	3	18 513	3,85	0,32
28	10	2	4	18 294	3,97	0,29
29	10	2	5	18 129	4,08	0,27
30	10	2	6	18 006	4,17	0,25



Номер опыта	Факторы			Выходные параметры		
	температура °С	число включенных блоков 2-ой ступени	число насосов в одном блоке	производительность, м³/сут	удельное потребление энергии, кВтч/м³	концентрация бора в питьевой воде, мг/л
31	18	2	1	—	—	—
32	18	2	2	—	—	—
33	18	2	3	—	—	—
34	18	2	4	22 682	3,35	0,64
35	18	2	5	22 520	3,45	0,59
36	18	2	6	22 397	3,52	0,56
37	25	2	1	—	—	—
38	25	2	2	—	—	—
39	25	2	3	—	—	—
40	25	2	4	—	—	—
41	25	2	5	26 169	3,06	0,87
42	25	2	6	26 046	3,13	0,82
43	10	3	1	—	—	—
44	10	3	2	—	—	—
45	10	3	3	17 217	4,25	0,23
46	10	3	4	16 864	4,48	0,19
47	10	3	5	16 637	4,65	0,15
48	10	3	6	16 450	4,81	0,12
49	18	3	1	—	—	—
50	18	3	2	—	—	—
51	18	3	3	—	—	—
52	18	3	4	21 441	3,70	0,45
53	18	3	5	21 195	3,82	0,37
54	18	3	6	21 032	3,95	0,32
55	25	3	1	—	—	—
56	25	3	2	—	—	—
57	25	3	3	—	—	—
58	25	3	4	—	—	—
59	25	3	5	24 957	3,40	0,60
60	25	3	6	24 770	3,47	0,52

ЛИТЕРАТУРА:

1. Pervov A.G., Adrianov A.P., Efremov R.V., Desyatov A.V., Baranov A.E. A new solution for the Caspian Sea desalination: low-pressure membranes. Desalination, 157 (2003), 377–384.
2. Dow Liquid Separations. FILMTEC® Reverse Osmosis Membranes. Technical Manual. January 2004, 179 p. Интернет-сайт www.filmtec.com, <http://www.dow.com>.
3. Redondo J., Bush M., De Witte J.-P. Boron removal from seawater using FILMTEC™ high rejection membranes. Desalination, 156 (2003), 229–238.
4. Bush M., Mickols W.E., Prabhakaran S., Lomax I., Tonner J. Boron Removal at the Lowest Cost. IDA World Congress 2005: SP05-024.
5. Крымкулов С.Е., Асеев А.В., Десятов А.В., Прохоров И.А., Какуркин Н.П. Технология удаления соединений бора при опреснении морской воды. Технология и оборудование для опреснения морской воды применительно к условиям Каспийского региона: Материалы Международной научно-практической конференции. — Актау, 2003, — с. 38–50.
6. Bartels C., Hirose M., Seah H., Wilf M. Optimization of Permeate Quality in RO Seawater Systems. IDA World Congress 2005: SP05-015.
7. Desalination markets 2005-2015. Report of Christofer Gasson and Peter Alisson for Global Water Intelligence. Media Analytics Ltd., Oxford, United Kingdom. 2004. Интернет-сайт www.globalwaterintel.com. 302 p.
8. Десятов А.В., Асеев А.В., Подымова О.А., Баранов А.Е., Егоров А.В., Казанцева Н.Н., Прохоров И.А. Влияние температуры на процесс обратнo-осмотического опреснения воды Каспийского моря. Информационно-аналитический журнал «Мембраны» № 3 (35) 2007. — С. 28–40.
9. Дытнерский Ю.И. Мембранные процессы разделения жидких смесей. — М.: «Химия», 1975. — 229 с.
10. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. М.: «Химия», 1989. 447 с.
11. Рабинович В.А. Краткий химический справочник. Изд. 2-е, испр. и доп. — М.: «Химия», 1978. — 392 с.
12. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. — М.: Машиностроение, 1992.
13. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. — М.: «Наука», 1975. — 390 с.
14. Sauvet-Goichon B. Ashkelon desalination plant — A successful challenge. Desalination 203 (2007) 75–81.
15. Sanz M.A., Bonnellyea V.E., Cremer G. Fujairah reverse osmosis plant: 2 years of operation. Desalination 203 (2007) 91–99.
16. Khawaji A.D., Kutubkhanah I.K., Wie J.-M. A 13.3 MGD seawater RO desalination plant for Yanbu Industrial City. Desalination 203 (2007) 176–188.
17. Fethi K. The RO 22500m³/D Gabès Plant: 10 Years of Operation without Membrane Replacement. IDA World Congress 2005: SP05–032.
18. Интернет-сайт <http://www.water-technology.net/projects/>.
19. Saline Water Conversion Corp (SWCC). Ionics, Incorporated. Reverse osmosis desalination, water reuse and BOO/BOOT capabilities. Интернет-сайт <http://www.aie.org.au/syd/downloads/carter.pdf>.
20. Интернет-сайт <http://www.globalwaterawards.com/index.php>.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА С ПРИМЕНЕНИЕМ ОСВЕТИТЕЛЬНО-СОРБЦИОННЫХ ФИЛЬТРОВ

**Журба М.Г.,
Говорова Ж.М.,
Говоров О.Б.**

ГУП «МосводоканалНИИпроект»

Решение задачи очистки поверхностного стока, как правило, включает выбор технологической схемы аккумулирования и очистки ливневых, талых и смешанных вод и расчет производительности очистных сооружений.

Выбор технологической схемы определяется на основании сопоставления качества исходной воды с требованиями к степени ее очистки. Подбор состава очистных сооружений и назначение основных технологических параметров их работы осуществляется на основании технологических исследований, проводимых на конкретном поверхностном стоке. Для принятия предварительных решений на стадии обоснования инвестиций допустимо в определенной степени использование справочных данных.

Аккумулирующие резервуары станций рассчитываются на прием и первичное отстаивание наиболее загрязненной части стока, соответствующего дождям с интенсивностью до 10 мм/сут при коэффициенте стока 0,457. При этом необходимо учитывать расчетные объемы аккумулирующих резервуаров, плановые и высотные условия их расположения по отношению к водоприемнику и отметке залегания концевой участка головного сборного коллектора, оптимальную технологию строительства, экологические и экономические факторы.

Расчет технологических параметров основных сооружений при сбросе очищенных вод в поверхностные водотоки рыбохозяйственного назначения производится исходя из весьма высоких, с нашей точки зрения, неоправданных, нормативных требований по взвешенным веществам ($S_o < 2-3$ мг/л) и нефтепродуктам ($< 0,05$ мг/л) и допустимой по санитарно-биологическим условиям продолжительности откачки воды из заполненных аккумулирующих резервуаров, принимаемой в пределах от 24 до 48 ч.

Включение в технологическую схему сорбционных фильтров глубокой доочистки для получения нормативного качества очистки по нефтепродуктам требует поступления очищенной воды на них с мутностью не более 1,5–3 мг/л. Это вызывает необходимость обязательного включения в схему очистки реагентного хозяйства для

возможности периодического использования коагулянтов и флокулянтов с целью обеспечения их стабильной работы при низкой температуре, щелочности и наличии высокоустойчивой коллоидной взвеси в воде, поступающей на очистку в весенний и осенне-зимний периоды.

Принципиальным отличием рекомендуемых нами новых систем очистки поверхностного стока (рис. 1) являются конструкции включенных в их состав:

- аккумулирующего резервуара-отстойника (АРО), снабженного системами донных перепусков, равномерного распределения и сбора обрабатываемой воды и удаления осадка из конусных днищ и специальными устройствами для сбора нефтепродуктов с поверхности воды;
- контактных фильтров с плавающей загрузкой КФПЗ-1, фильтров с гидроавтоматической промывкой АФПЗ-4М, а также осветлительно-сорбционных фильтров (ОСФ).

Для изучения эффективности работы системы очистки в натуральных, полупромышленных условиях был разработан и смонтирован в помещении фильтровальной станции действующих очистных сооружений ливневых и талых поверхностных сточных вод (Москва, Фрунзенская наб., $Q_{ос} = 2,5$ тыс. м³/сут) испытательный стенд (рис. 2), в состав которого вошли: контактная колонна-воздухотделитель; осветлительно-сорбционный блок, состоящий из двух модельных колонок, загруженных, соответственно, гранулами вспененного пенополистирола (5) и сорбента (6); сорбционные картриджные фильтры с углеродоволокнистой тканью I и II ступеней, объединенные между собой технологическими трубопроводами обвязки. Кроме того, стенд был оборудован рабочим баком раствора коагулянта (флокулянта), насосом-дозатором,

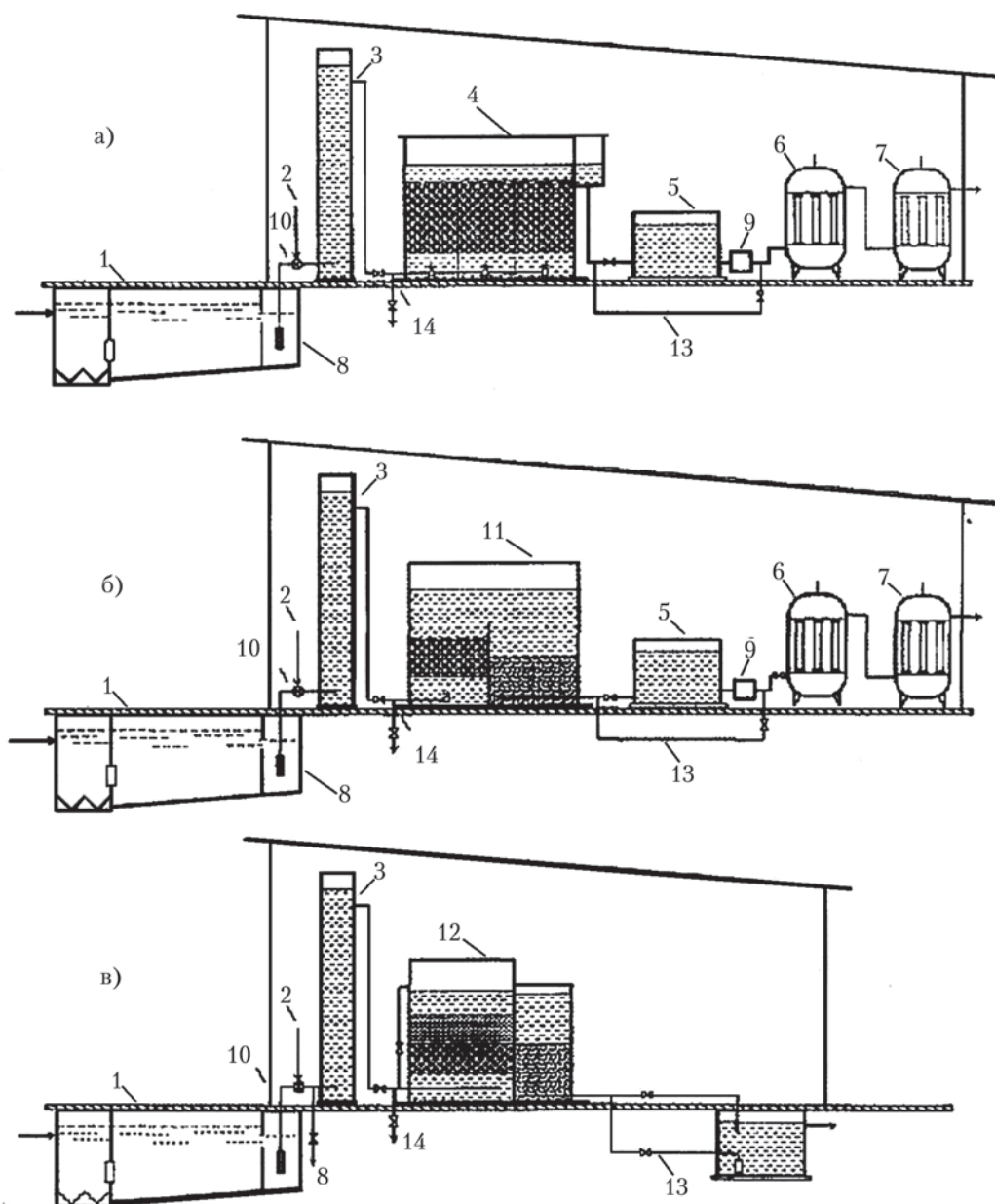


РИС. 1

Технологические схемы очистки поверхностных сточных вод с КФПЗ-1 (а), ОСФ-1 (б) и ОСФ-2 (в):

- | | |
|---|---|
| 1 — аккумулирующий резервуар-отстойник (АРО); | 2 — ввод раствора флокулянта (коагулянта); |
| 3 — контактный резервуар-воздухоотделитель; | 4 — контактный фильтр с плавающей загрузкой (КФПЗ-1); |
| 5 — промежуточный резервуар; | 6 — картриджный сорбционный фильтр I ступени (СФ-1); |
| 7 — картриджный сорбционный фильтр II ступени (СФ-П); | 8, 9 — насосы; |
| 10 — трубный смеситель; | 11 — осветлительно-сорбционный фильтр (ОСФ-1); |
| 12 — комбинированное сооружение — осветлительно-сорбционный фильтр (ОСФ-2); | |
| 13, 14 — трубопроводы подачи и отвода воды на промывку | |

доской пьезометров, запорно-регулирующей арматурой и пробоотборниками и на время проведения испытаний подключался к напорному трубопроводу, подающему воду из последней секции аккумулирующего резервуара-отстойника на фильтры.

В табл. 1 приведены обобщенные данные по качеству поверхностных сточных вод, поступающих на очистные сооружения в некоторых городах России, в табл. 2 — показатели качества воды поверхностного стока Москвы, поступающей на фильтровальные сооружения

после ее отстаивания в аккумулирующем резервуаре-отстойнике.

Как видно из табл. 1 и 2, диапазон разброса концентраций как по взвешенным веществам в исходной воде (от десятков до тысяч мг/л), так и по нефтепродуктам (от единиц до десятков мг/л) может быть достаточно высоким. После 2–48-часового отстаивания в АРО (табл. 2) содержание взвешенных веществ не превышало за период наблюдений 131,4 мг/л и лишь в случаях попадания неочищенных стоков (из-за конструктивных недоработок при прокладке подво-

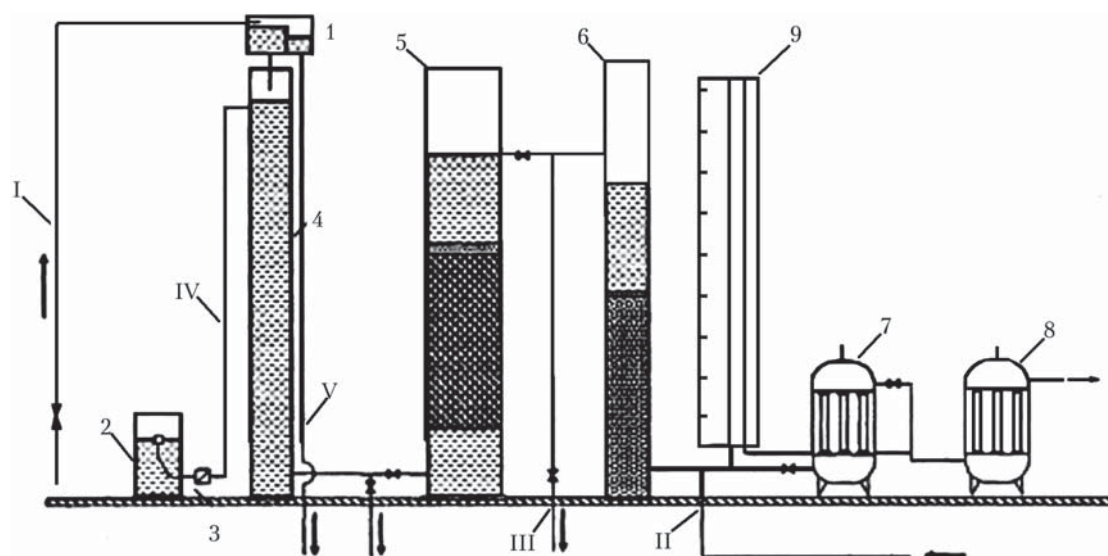


РИС. 2

Схема испытательного стенда:

1 — бак постоянного уровня;

3 — насос-дозатор;

5 — контактный осветлительный фильтр;

7 — сорбционный картриджный фильтр I ступени;

9 — доска пьезометров;

I — подача исходной воды;

IV — реагентопровод;

2 — расходный бак раствора флокулянта;

4 — контактная колонна-воздухоотделитель;

6 — сорбционный фильтр;

8 — сорбционный картриджный фильтр II ступени;

II — подача воды на промывку;

III — сброс промывной воды;

V — переливной трубопровод

дящих коллекторов и их присоединения к концевым участкам АРО) в отделение отстоянной воды — до 240 мг/л.

После отстаивания воды в течение более 2 ч в отсутствие дождей концентрация взвешенных веществ в воде после АРО снижается до 10–20 мг/л, а нефтепродуктов — до 2–5 мг/л. Как показали исследования, в АРО происходит также примерно на 20–50 % снижение концентраций и других ингредиентов: ХПК, железа общего, азота аммонийного, фосфора.

В табл. 3 и на рис. 3–5 приведены основные результаты, полученные на опытно-промышленной установке по определению эффективности очистки воды от взвешенных веществ, нефтепродуктов и ХПК по каждой из ступеней технологической схемы очистки с фильтрами КФПЗ-1.

Эти исследования подтвердили, что даже при уменьшении диаметра гранул фильтрующего слоя на КФПЗ-1 до

1–2 мм без применения коагулянтов и флокулянтов достичь требуемой степени очистки воды по взвешенным веществам перед сорбционными фильтрами весьма трудно.

Для интенсификации очистки воды фильтрованием широко используются минеральные коагулянты в сочетании с органическими флокулянтами. С целью увеличения эффективности очистки воды фильтрованием представляет интерес применение катионных флокулянтов в качестве самостоятельных реагентов. Это позволит сократить расход реагентов, снизить коррозионную активность воды, предотвратить вторичное загрязнение воды ионами алюминия или железа, хлоридами или сульфатами.

В качестве реагентов в процессе исследований, проводимых на реальном поверхностном стоке, прошедшем предварительную очистку в АРО, использовались флокулянты Praestol 853 и 650 и ВПК 402.

Таблица 1

Качество воды поверхностного стока

Показатель	Загрязненность стоков по водовыпускам населенных пунктов				
	Москва	Санкт-Петербург	Астрахань	Воронеж	Волгоград
pH	7–8	—	8,6–9,4	7,65–8,04	7,5–7,8
Взвешенные вещества, мг/л	65–245	300–400	215–282	39–90	113–5049
Нефтепродукты, мг/л	12–17,5	7–12	95–197	45–52	0,75–2,85
БПК ₂ , мг/л	—	25–64	—	238–317	39,2–118,5
Хлориды, мг/л	51–190	—	323–451	91–111	98,1–149,4
Сульфаты, мг/л	—	—	195–212	48–55	126,8–215,8
Железо общ., мг/л	—	2–10	—	—	0,12–0,14
Азот аммонийный, мг/л	—	8–10	—	—	0,45–1,85
Сухой остаток, мг/л	1088–1935	200–400	—	20–266	888–5718



Качество сточных вод, поступающих на очистные сооружения Москвы

Очистные сооружения поверхностного стока	Показатели качества воды			После отстаивания в АРО		Общ. мг/л
	взвешенные вещества, мг/л	нефтепродукты, мг/л	ХПК, мг/л	азот аммонийный, мг/л	фосфаты, мг/л	
Фрунзенская наб. Q = 2,5 тыс. м³/сут	61 73–89	2 5	48–69	0,54	0,2	1,4
Проспект Мира Q = 30 тыс. м³/сут	84 131,4	19–4,8 7,7	40–95	0,7	0,2	1,6
Волоколамское ш. Q = 5 тыс. м³/сут	8,8	5,2	67,3	1,6	0,2	1,1

Было установлено, что флокулянты Praestol 853 и 650 более эффективны при дозах 0,5–1 мг/л, ВПК-402 — при дозах 2–3 мг/л. Мутность воды при этом снижалась с 90,7 до 1–3,5 мг/л.

Данные, представленные в табл. 3, показывают, что применение ВПК-402 обеспечивает достаточное снижение концентрации взвешенных веществ с 122 до 15 мг/л и нефтепродуктов с 4,2–5 до 1,9–1,6 мг/л, при этом ХПК снижается с 58–97 до 20–23 мг/л.

Наиболее эффективным оказалось применение одного флокулянта Praestol 650. Он обеспечивает более высокий эффект очистки. Так, например, содержание нефтепродуктов уменьшается с 2,8–5,4 до 0,3–1,6, а ХПК — с 37–92 до 18–46 мг/л. Однако при этом быстрее растет удельное сопротивление загрузки фильтра, чем в случае применения ВПК-402. При скорости фильтрования воды не более 5 м/ч в подфильтровой зоне КФПЗ-1 образуется слой взвешенного осадка, способствующего увеличению грязеемкости сооружения.

Скорость фильтрования через слой сорбента (активированного угля) более 10 м/ч не позволяет достичь даже на картриджных фильтрах стабильного снижения нефтепродуктов — до 0,5 мг/л. Хотя в отдельных случаях были зафиксированы концентрации ~0,05 мг/л.

Суммарные потери напора при продолжительности фильтрования до 8–10 часов не превышали 1,6–2,7 м (рис. 5).

В табл. 4 приведены результаты эффективности реагентного фильтрования воды через комбинированное со-

оружение — осветлительно-сорбционный фильтр ОСФ-1, схема которого представлена на рис. 16.

Как видно из таблицы 4, при обработке воды раствором флокулянта Praestol 650 с крепостью до 0,0125 и дозой до 3,4 мг/л можно достичь достаточно высокой степени очистки не только по взвешенным веществам (до 0,5–5,5 мг/л) и нефтепродуктам (до 0,02–0,3 мг/л), но и частично снизить содержание азота аммонийного (20 %), железа общего (90 %), фосфатов (70 %), меди (60 %) и АПАВ (52 %).

Дальнейшее повышение степени очистки может быть достигнуто путем включения в технологическую схему вместо ОСФ-1 осветлительно-сорбционного комбинированного сооружения — ОСФ-2, схема которого представлена на рис. 1в.

Исходными данными для выполнения расчетов по ТЭО наиболее выгодной схемы очистки явились результаты сметных расчетов, выполненных ООО «Росэкострой» и ГП «Союзводоканалпроект» по двум крупнейшим станциям:

1. Очистные сооружения дождевой канализации на проспекте Мира в Москве с производительностью 810 м³/ч (РП № 3012-0-1,2-СМ) в ценах 1984 г.
2. Очистные сооружения застройки микрорайонов №№ 1, 2 г. Зеленограда производительностью 960 м³/ч (РП № 3059-1-1-СМ) в ценах 1998 г.

Сравнению подвергались три варианта технологических схем, представленные на рис. 1. Первые две из них реализованы в проектах станций на проспекте Мира (Мо-

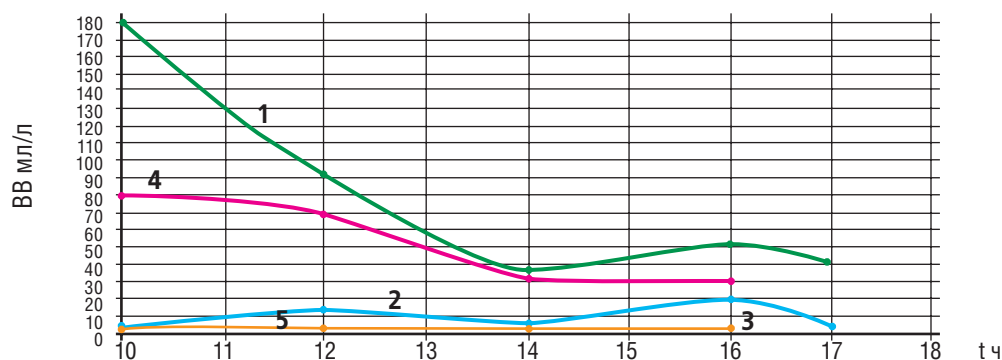


РИС. 3.

Эффективность очистки поверхностного стока в зависимости от продолжительности фильтрования ($t_{\text{ф}}$) по взвешенным веществам (ВВ):

— Безреагентный режим:

— Реагентный режим, флокулянт ВПК-402:

- 1 — вода после аккумулирующего резервуара-отстойника (АРО);
- 2 — после контактного фильтра с плавающей загрузкой (КФПЗ-1);
- 3 — после картриджных фильтров СФ-1 и СФ-И;
- 4 — после АРО;
- 5 — после КФПЗ-1

Таблица 3

**Результаты исследований процесса очистки поверхностного стока
на опытно-промышленной установке**

Дата проведения опытов	Технологическая схема (состав сооружений)	Параметры работы сооружений и устройств							Показатели качества воды сооружений		На выходе		Флокулянты	
		скорость фильтрация, м/ч	потери напора за фильтр-цикл, м	продолжительность цикла	толщина фильт. слоя, м	диаметр гранул, мм	площадь фильтрация, м²	взвешен. вещ-ва мг/л	нефтепродукты, мг/л	ХПК, мг/л	Марка крепость, %	Доза, мг/л		
10.04.03	АРО	5,47 21,5	0,25 0,6 0,8 0,4	8	1,2 1,0 (0,5) (0,5)	1-2 1-2	0,008 0,002 0,12 0,12	81	1,2	58	ВПК-402 0,0125	3,4		
	1							1,9 1	23					
11.04.03	АРО КФПЗ-1 СФ СФ(1) СФ (II)	6,5 21,5	0,3 0,3 1,5 0,2	8	1,2 1,0 (0,5) (0,5)	1-2 1-2	0,008 0,002 0,12 0,12	1 2 2 15	4,2 1,3	97	ВПК-402 0,0125	3,4		
14.04.03	АРО КФПЗ-1 . СФ СФ(1) СФ (II)	6,27 10,0	0,4 0,3 1,2 0,1	8	1,2 1,0 (0,5) (0,5)	1-2 1-2	0,008 0,002 0,12 0,12	40 10 0,7 0,4	5,4 1,6 1,3 0,02	20	РГ-650 0,006	1,4		
16-17.04.03	АРО	5,7 10,0	0,8 0,4 1,6 0,3	10	1,2 1,0 (0,5) (0,5)	1-2 1-2	0,008 0,002 0,12 0,12	6 0,5 1,2 8,3	2,8 0,3	92 46	РГ-650 0,005	1,2		
07.05.03	АРО	5,5 5,5	0,6 2,7	9	1,2 0,4 1,5	0,7-1,5 1-2 0,7-1,5	0,008 0,008 0,002	6-8	5,8 0,65 0,2	37 18	РГ-853 0,005	1,2		

Примечания:

1. Температура исходной воды в опытах составляла 8-10 °С.
2. В скобках указана высота картриджного углеродоволокнистого слоя.



Эффективность работы ОСФ-1

№	Показатели качества воды	Значения		Примечание
		на входе ОСФ-1	на выходе ОСФ-1	
1	Взвешенные вещества, мг/л	67,5–45,2	5,5–0,3	Осветлительный слой: $d = 1–2$ мм, $H_p = 1,2$ м, $V = 5,7$ м/ч
2	Нефтепродукты, мг/л	2–0,8	0,5–(<0,02)	
3	Азот аммонийный, мг/л	0,54–0,45	0,4	
4	Фосфаты, мг/л	0,21–0,18	0,06	Сорбционный слой: $d = 0,7–2$ мм, $Y_c = 1,5$ м, $V = 10$ м/ч
5	Никель, мг/л	0,072–0,064	0,08	
7	Медь, мг/л	0,15–0,11	0,06	
8	Железо общ., мг/л	1,46–1,2	0,16	Флокулянт Praestol 650: $D_f = 1,2–3,4$ мг/л, $C_f = 0,005–0,0125$ %
9	Кальций, мг/л	7,2	8,1	
10	Магний, мг/л	20,7–14,6	25,6	
11	АПАВ, мг/л	0,34–0,3	0,16	
12	НПАВ, мг/л	18–8,4	14,0	

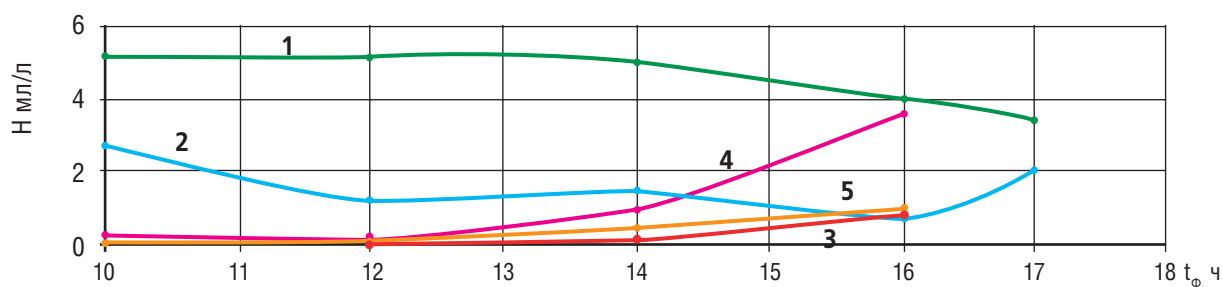


РИС. 4

Эффективность очистки поверхностного стока по нефтепродуктам (Н) в зависимости от продолжительности фильтрации (t_{ϕ}):

— безреагентный режим:

1 — **во3а** после АРО;

2 — после КФПЗ-1;

3 — после СФ-I и СФ-II;

— реактивный режим, флокулянт ВПК-402:

4 — после АРО;

5 — после КФПЗ-1

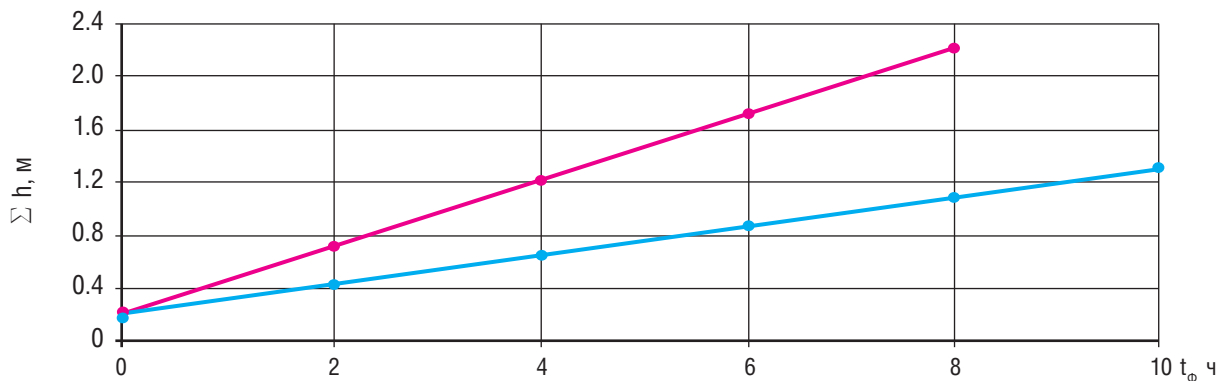


РИС. 5.

Зависимость суммарных потерь напора (Σh) от продолжительности фильтрации (t_{ϕ}):

1 — безреагентный режим фильтрации;

2 — реактивный режим фильтрации

сква) и микрорайонах №№ 1 и 2 г. Зеленограда, а третья схема составлена по результатам проведенных в апреле-мае 2003 г. исследований на станции, расположенной на Фрунзенской набережной. Ее отличием является отказ от картриджных фильтров, насосов подкачки воды на них и промежуточного резервуара. Основным сооружением в этой технологии является ОСФ-2, первая ступень которого представляет собой фильтр с двухслойной загрузкой

из гранул пенополистирола (нижний слой) и мелкозернистого сорбента (верхний слой), вторая — стационарный адсорбер с активированным микропористым и мезопористым углем, объединенные в одном корпусе (рис. 1в).

При расчетах исключались стоимости одинаковых сооружений и оборудования: АРО, реагентного хозяйства для приготовления и дозирования реагентов, смесители.

По материалам Сборника научных трудов: ГУП «МосводоканалНИИпроект»
Проекты развития инфраструктуры города. Выпуск 6. «Экологические аспекты инженерной инфраструктуры»

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ПРИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

Серпокрылов Н.С., д. т. н.;
Вильсон Е.В., к. т. н.;
Марочкин А.А., к. т. н.;
Селезнева Е.П., Кулик И.А., инженеры

Ростовский государственный
строительный университет

В последнее время в России освоено производство разнообразных коагулянтов и катионных флокулянтов, которые используются при очистке различных категорий производственных сточных вод [1–3]. Экспериментально обоснованные рекомендации по преимущественному применению для этих целей флокулянтов имеют расходно-стоимостные ограничения: их удельный расход должен быть не менее чем в 25 раз меньше, а стоимость — не менее чем в 45 раз выше по сравнению с используемым коагулянтом [1]. Вне обозначенного диапазона расходно-стоимостных ограничений целесообразно применение минеральных коагулянтов, т.е. солей железа, алюминия и/или их смесей с флокулянтами, что, в свою очередь, требует проведения предварительных технологических изысканий при очистке сточных вод. Необходимость их проведения при реагентной очистке вод вообще и производственных сточных вод в особенности отмечена как обязательный этап разработки (совершенствования) технологии в Проекте Технического регламента по водоотведению.

По сути аксиоматическими являются преимущества применения реагентов для создания оборотного производственного водоснабжения, сокращения занимаемых площадей и габаритов технологического оборудования, т.е. тех компонентов себестоимости процесса, которым мало уделялось внимания в плановой экономике и которые в настоящее время во многом определяют альтернативный выбор. Очевидно, что затраты, понесенные на стадии разработки (реконструкции) технологической схемы очистки, возвращаются уменьшением платы за водопользование, а также в виде предотвращенных штрафных санкций за сброс недостаточно очищенных вод в коммунальную сеть водоотведения или в водоем.

При проведении технологических изысканий определенные экспериментальные процедуры обязательно присутствуют как в лабораторных, так и в промышленных условиях: приготовление и проверка стабильности свойств рабочего раствора заданной крепости, нахождение оптимальной дозы и гидродинамических параметров процесса смешения реагентов, определение объемов разделяемых фаз и т.п., для чего требуются временные и материальные затраты в каждом конкретном случае применения реагента. В то же время исключение некоторых элементов из процедур проведения технологических изысканий путем обоснования независимости (автономности) свойств рабочих растворов реагентов в

каком-то интервале является методологически важным компонентом, приносящим впоследствии экономию затрат времени и средств. К таким элементам технологических изысканий, на наш взгляд, могут быть отнесены влияние солесодержания воды и гидродинамических условий приготовления рабочих растворов на активность, дозу и стабильность реагента во времени.

Отработку высказанных методологических положений проводили на примере солей алюминия. Поскольку одной из основных проблем очистки производственных сточных вод является удаление эмульгированных и растворенных органических веществ, предметом исследований были промстоки, содержащие нефть и нефтепродукты, жиры растительного и животного происхождения, моющие средства, масла, смазочно-охлаждающие жидкости и т. д. При оптимальном выборе типа реагента, его дозы и гидродинамики приготовления раствора действующего вещества реагентный метод позволяет повысить степень разделения жидких фаз и уменьшить концентрацию органических веществ в обрабатываемых водах на 50–95% [1–4].

На первом этапе изучали влияние солесодержания исходной воды для приготовления рабочего раствора реагента на процесс коагуляции, учитывая, что растворимость вещества и эффективность процесса коагулирования примесей при прочих равных условиях зависит от ионной силы растворителя, в данном случае — воды. Причем эта зависимость различна: в первом случае повы-



Таблица 1

Показатели очистки промышленно-ливневых сточных вод коагулянтom, приготовленным на воде разного солесодержания

№ п/п	Солесодержание воды, для приготовления раб. р-ра коагулянта, мг/л	Высота слоя шлама, мм	Прозрачность воды после отстаивания по шрифту Снеллена, см
1	100	5,5	29
2	500	6,0	27
3	1000	6,0	28
4	1500	6,5	31
5	Исходная сточная вода	2,5	5

Примечание: приведены средние результаты из 3-х серий опытов.

шение ионной силы раствора до определенной величины ведет к снижению растворимости вещества в системе (или увеличению продолжительности процесса растворения) за счет эффекта высаливающего действия ионов, обуславливающих величину ионной силы раствора, то во втором, напротив, наличие анионов в определенной концентрации повышает эффективность мицеллообразования. Известно, что процесс коагулирования примесей зависит преимущественно от анионного состава воды, так как продукты гидролиза коагулянта заряжены в основном положительно, и коагулирующими ионами для них являются анионы [5].

Концентрация растворенного реагента, или в принятой в водообработке терминологии — крепость раствора, определяет технические характеристики дозаторов, смесителей, затворно-расходных емкостей и т.д., а также расход и полноту использования коагулянта.

Исследования проводили на локальных очистных сооружениях ОАО «Ростсельмаш», г. Ростов н/Д, где с 2002 г. применяется полиоксихлорид алюминия (ПОХА) «Аква-Аурат 30» для обработки промышленно-ливневых сточных вод и доочистки химзагрязненного стока предприятия. Технологические параметры моделирования (доза реагента, время смешения и отстаивания) соответствовали существующим промышленным режимам на данных сооружениях. Дозу коагулянта приняли равной 6 мг/л по Al_2O_3 .

Методика проведения: 1) приготовление на дистилляте (внесением NaCl) 4-х типов растворителей с фиксированным солесодержанием 100, 500, 1000, 1500 мг/л; 2) рабочие растворы коагулянтов из полученных растворителей готовили согласно рекомендациям производителя [2] в две стадии: вначале 15 %-й раствор ПОХА, а затем разбавляли соответствующим растворителем до 1 %-го раствора; 3) проверку эффективности очистки сточных вод равными дозами коагулянтов, но приготовленными на разных по солесодержанию растворах осуществляли по методике пробного коагулирования [2]: в 4 цилиндра объемом 2 л наливали по 1 л промышленно-ливневых сточных вод, дозировали ПОХА, затем в течение 2 мин осуществляли «быстрое» перемешивание (240 мин^{-1}), 6 мин — «медленное» перемешивание (40 мин^{-1}); 4) после отстаивания воды в цилиндрах в течение 40 мин (как в промышленных отстойниках) анализировали пробы.

Сравнительный контроль эффективности очистки вели по прозрачности отстоянной воды по шрифту Снеллена и объему образовавшегося шлама (табл. 1).

Наблюдения показали, что полное растворение товарного реагента на воде с солесодержанием 100 мг/л достигается за 4–5 мин, на водах другого солесодержания растворение происходило с приблизительно одинаковой эффективностью — за 7–8 мин. Очевидной зависимости прозрачности осветленного раствора от исходного солесодержания воды, используемой для приготовления рабочего раствора коагулянта, для данного состава вод не выявлено, что подтверждают литературные данные о влиянии анионов на ход коагуляции в зависимости от вида и концентрации доминирующих ионов. Так, концентрация хлорид-ионов, обеспечивающая оптимальную скорость коагуляции, составляет 0,07 г-экв/л [5], в данном же случае концентрация хлорид-ионов не превышала 0,0155 г-экв/л.

Это позволило сделать вывод о практически равной активности рабочих растворов коагулянта «Аква-Аурат 30», приготовленных на воде солесодержанием до 1500 мг/л. Увеличение дозы ПОХА в 2 раза сохранило отмеченную закономерность.

На втором этапе изучали влияние гидродинамических условий приготовления рабочих растворов на активность, дозу и стабильность их во времени (рис. 1–3). Если для условий смешения реагентов с обрабатываемыми жидкостями имеются апробированные практикой рекомендации [6, 7], то изучению взаимосвязи гидродинамики приготовления рабочих растворов и изменению их технологических свойств во времени уделено недостаточно внимания.

При введении коагулянта в воду важно обеспечить его равномерное распределение в объеме обрабатываемой воды — это первая фаза коагуляции. При быстром и равномерном смешении создаются оптимальные условия для начала перикинитической коагуляции во всем объеме воды. Вторая фаза коагуляции — ортокINETическая — протекает более медленно и заключается в формировании и укрупнении агрегатов коагулянта, их взаимодействии с загрязняющими веществами и образовании хлопьев. Для оптимизации процесса второй фазы необходимо перемешивание, при этом интенсивность пере-

мешивания должна быть такова, чтобы, с одной стороны, обеспечить максимально агломерацию частиц, а с другой, не вызвать разрушение образовавшихся хлопьев.

Величина критерия Кемпа, моделирующего гидродинамику при коагуляции через градиент скорости, составляет около 200 с^{-1} для быстрого смешения и около 50 с^{-1} — для медленного перемешивания [6].

Интенсификации коагуляции посвящено много работ, в частности методы интенсификации детально рассмотрены еще Бабенковым Е.Д. [8]. Как в данном случае, так и в дальнейших исследованиях интенсификация процесса коагуляции связывалась с оптимизацией первой и второй фаз. В настоящей работе сделана попытка определить влияние на эффективность коагуляции гидродинамических характеристик на стадии приготовления раствора коагулянта.

Основной технологический эффект приготовления коагулянта механическим перемешиванием состоит в диспергировании частиц на более мелкие, распределение и сохранение их возможно большее время в объеме без прохождения стадии гидролиза и выпадения в осадок. Длительное нахождение частиц в объеме без оседания возможно [7], если момент количества движения молекул (масса их на скорость броуновского движения) будет ориентировочно равен моменту количества массы частиц коагулянта на скорость оседания. Или, иначе говоря, размер частиц влияет на скорость седиментации, так как с уменьшением размера частиц сила тяжести, обуславливающая оседание, уменьшается гораздо быстрее, чем сила трения, поскольку сила тяжести для частиц сферической формы пропорциональна третьей степени радиуса частиц, а сила трения пропорциональна только первой степени [9]. В технологии водоподготовки и водоотведения характеристической величиной

процесса оседания является гидравлическая крупность, которая в данном случае выступает как результирующая сил осаждения, Архимеда, пульсации и т.п. Это гидродинамическое подобие по существу является основным технологическим эффектом приготовления стабильных растворов. Так как «срок жизни» раствора коагулянта, в частности, определяется способностью к сохранению седиментационной устойчивости во времени, то данные исследования представляют и практический интерес.

Выявление условий гидродинамического подобия проводили на лабораторной установке механического смесителя — диспергатора, позволяющего варьировать частоту вращения вала с режущими насадками в пределах $1000\text{--}9000 \text{ мин}^{-1}$, что с учетом геометрических размеров реактора увеличивало ускорение свободного падения в $17000\text{--}35000$ раз и соответствовало критерию Кемпа в пределах $(158,27\text{--}474,34) 103 \text{ с}^{-1}$. Затраты электроэнергии на приготовление 1 м^3 раствора коагулянта составляли $4,0\text{--}14,4 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$.

Контроль стабильности рабочих растворов вели по оптической плотности на фотоколориметре, а активности — пробным коагулированием (рис. 1–3). Технологические параметры приготовленных с помощью смесителя — диспергатора коагулянтов сравнивали с рабочими растворами на очистных сооружениях, полученных растворением ПОХА с перемешиванием воздухом.

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы: приготовление рабочего раствора ПОХА предпочтительно вести в режиме диспергирования, с насадкой или без нее, при частоте вращения вала 4000 мин^{-1} в течение 2-х мин. Это позволяет сохранить на 66,7 % исходную активность коагулянта в течение 5 сут. Остаточная активность рабочего раствора ПОХА, приго-

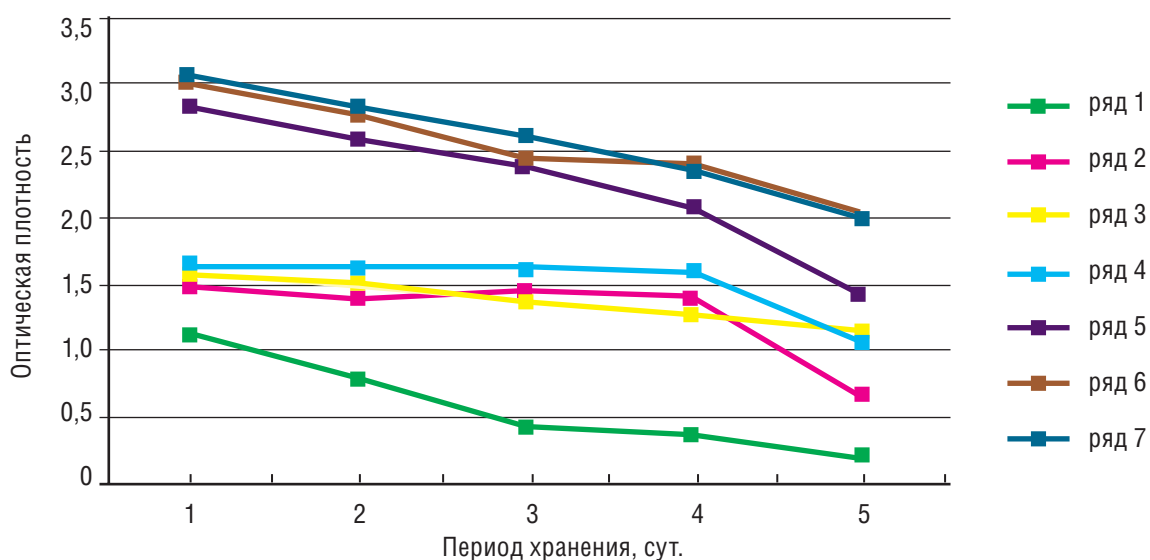


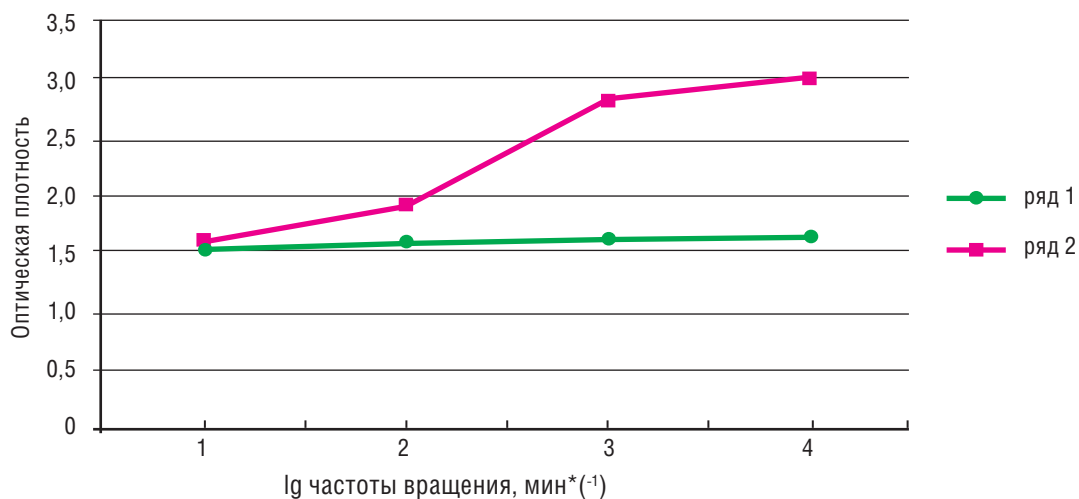
РИС. 1

Зависимость стабильности рабочего раствора ПОХА от условий его приготовления:

1 — контроль; 2–4 — режим диспергирования; 5–7 — режим диспергирования с насадкой;

при частоте вращения, мин^{-1} : 2, 5 — 1000; 3, 6 — 2000; 4, 7 — 4000;

время приготовления — 2 мин

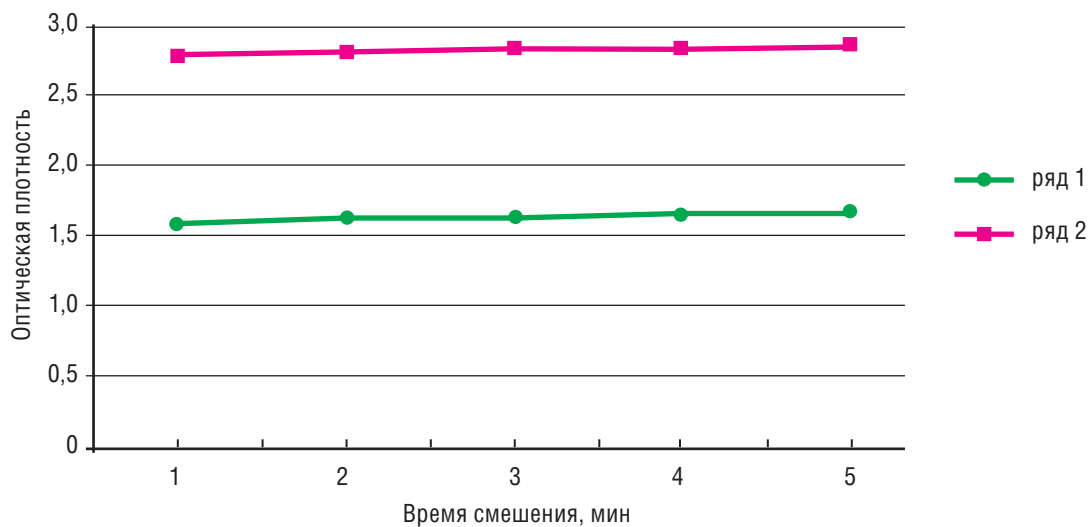
**РИС. 2**

Зависимость стабильности рабочего раствора ПОХА от условий его приготовления:

ряд 1 — режим диспергирования; ряд 2 — режим диспергирования с насадкой;

частота вращения, мин^{-1} : 1 — 1000; 2 — 2000; 3 — 4000; 4 — 9000;

время приготовления — 2 мин

**РИС. 3**

Зависимость стабильности рабочего раствора ПОХА от условий его приготовления:

ряд 1 — режим диспергирования; ряд 2 — режим диспергирования с насадкой;

частота вращения — 4000 мин^{-1} :

товленного с перемешиванием воздухом, в течение 5 сут. снизилась до 16,4 %.

В то же время оптическая плотность растворов, полученных в режиме перемешивания с насадкой, почти в 2 раза превышает таковую без насадки. При равных навесках это указывает на меньшие размеры диспергированных частиц коагулянтов, соизмеримых с коллоидно-молекулярной степенью дисперсности [9]. Подтверждением этой гипотезе являются кривые распределения дисперсности взвешенных веществ [9]. Более мелкие размеры частиц коагулянта рабочих растворов свидетельствуют также о большей удельной поверхности коллоидов и, как следствие, о большей сорбционной емкости, что в итоге приводит к снижению дозы реагента.

Экспериментальную проверку эффективности действия реагентов, полученных диспергированием ПОХА и СКИФ, проводили в лабораторных условиях на примере очистки производственных сточных вод заводов по утилизации биологических отходов, которые относятся к малоизученным.

Обследование двух очистных сооружений действующих заводов ветсанутиля и анализ показателей эксплуатации показали, что они выполнены по типовым проектам 60-х гг. прошлого века станций биологической очистки с капельными биофильтрами и двухъярусными отстойниками, которые ни в момент пуска и наладки, ни в последующем не обеспечивали нормативных показателей очистки, поскольку исходная сточная вода превышала проектные показатели в несколько раз.

Таблица 2

Некоторые показатели предварительной очистки сточных вод ветсанутильзавода

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Показатели состава сточных вод		
			исходных	обработанных «СКИФ» дозой, мг/л	
				10*	60*
1	Температура	°С	20–35	20–35	20–35
2	pH	—	6–9	7,43	7,50
3	БПК ₅	мгО ₂ /дм ³	28070	6450	5876
4	ХПК	мгО/дм ³	42270	9920	8950
5	Сухой остаток	мг/дм ³	24980	—	—
6	Прокаленный остаток	мг/дм ³	4430	—	—
7	Взвешенные вещества	мг/дм ³	9813	364	296
9	Фосфаты	мг/дм ³	156	14	11
11	Жиры	мг/дм ³	420	21	18
13	Нефтепродукты	мг/дм ³	9,58	1,4	1,0
15	Общее количество бактерий (ОКБ)	кл/мл	2,1×10 ⁸	2,1×10 ⁴	2,3×10 ⁴

Примечание: * проведено диспергирование рабочего раствора «СКИФ» в течение 2 мин при частоте 4000 мин⁻¹.

По методике пробного коагулирования осуществлен выбор наиболее экологически и экономически целесообразного реагента. Исследовали эффективность следующих реагентов: ПОХА, «Аква-АуратTM 30», коагулянт-флокулянт «СКИФ», флокулянты Цетаг-7555 и Фенопол. Коагулянты вводили в дозах 5–100 мг/л с последующим добавлением флокулянтов дозой 0,5–5 мг/л. После «быстрого» смешения и «медленного» перемешивания обработанную сточную жидкость отстаивали в течение 30 мин, фиксируя прозрачность «по кольцу», объем всплывших и осевших загрязнений, а также качество хлопьев (крупные, рыхлые, оседающие, уплотняемые или нет и т.п.).

Наилучшие показатели очистки воды по этим признакам получены при применении «СКИФ» дозой 100 мг/л без диспергирования реагента в рабочем растворе и 60 мг/л — при диспергировании (табл. 2). (Объем всплывающих загрязнений при оптимальных условиях равен 2 % от обрабатываемого расхода, оседающих — 18 %.

Влажность осевшего осадка через 30 мин отстаивания равна 99,0 %)

Можно видеть (табл. 2), что предварительная обработка производственных сточных вод ведет к существенному снижению загрязнений (по БПК и ХПК, по жирам, нефтепродуктам, фосфатам и т.д.). Остаточное содержание этих загрязнений позволяет вести последующую очистку сточных вод известными способами [10].

Следует отметить, что предварительное диспергирование «СКИФ» позволяет снизить его дозу, повысить эффективность очистки вод по отдельным ингредиентам. По существу происходит увеличение активности реагента за счет повышения удельной поверхности коллоидных частиц и агрегатов [11, 12]. По-видимому, есть основание отнести диспергированные до коллоидно-молекулярных размеров реагенты, вызывающие увеличение их поверхностной активности, к новому классу водоочистных материалов — нанореагентам.

ЛИТЕРАТУРА:

- Гандурина Л.В. Совершенствование технологии очистки сточных вод с применением флокулянтов /Автореф. дисс. на соискание.... докт. техн. наук. — М.: ВОДГЕО. — 2006. — 54 с.
- Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Гетманцев С.В. Коагуляция в технологии очистки природных вод. М. — 2005. — 576 с.
- Серпокрылов Н.С., Вильсон Е.В., Царева М.Н., Клименко Т.В., Скобелев А.А., Малышев В.В., Садовников А.Ф. Повышение эффективности очистки производственных сточных вод полиоксихлоридами алюминия //Водоснабжение и санитарная техника // 2004 — № 1, с. 30–32.
- Гандурина Л.В., Гетманцев С.В., Буцева Л.Н., Сычев А.В., Пилегина О.А.. Очистка концентрированных сточных вод с применением коагулянтов, флокулянтов и составов на их основе /Материалы научн.-практич. конф., посвященной 1000-летию Казани. — Казань. — 2005. — с. 208–211.
- Николадзе Г.И. Технология очистки природных вод. — М.: Высш. Шк. — 1987. — С. 66.
- Луценко Г.Н., Цветкова А.И., Свердлов И.Ш. Физико-химическая очистка городских сточных вод. — М.: Стройиздат, 1984. — 88 с.
- Ingenieria de aguas residuales : Metcalf & Eddy. — 1997, tomo 1, 2. — Mexico. — 2023 p.
- Бабенков Е.Д. Очистка воды коагулянтами. — М.: «Наука», 1977. — 356 с.
- Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. — М.: «Химия», 1976. — 517 с.
- Серпокрылов Н.С., Тимошинова Н.В., Тимошинов В.И. Теоретико-экспериментальное обоснование узла анаэробной очистки промышленных сточных вод / Межвуз. сбор. научных трудов. — г. Ростов-на-Дону, РГАС, 1994, — с. 66–72.
- Баранова В.И., Бибиб Е.Е., Кожевникова Н.М., Малов В.А. Расчеты и задачи по коллоидной химии. — М.: Высш. шк., 1989. — 288 с.
- Вильсон Е.В. Аналитические методы определения состава продуктов гидролиза коагулянта. Известия РГСУ, Ростов н/Д, № 7, 2003. — С. 134–141.



КОМПЛЕКТ

Группа компаний "Комплект Экология" - это производственные экологических задач в области очистки воды с применением

ВОДОПОДГОТОВКА

Полное отсутствие сбросов в окружающую среду токсичных отходов (экологически чистая технология).

Отсутствие химреагентов при подготовке воды и соответственно реагентного хозяйства и складов.

Сверхдлительные межрегенерационные периоды (3 месяца и более).

Значительное снижение эксплуатационных затрат и улучшение условий труда (отсутствует в воздухе кислая пыль от коагулянтов).

ПОЭТАПНАЯ ИЛИ КОМПЛЕКСНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ/СТРОИТЕЛЬСТВО КРУПНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Возможность поэтапного проведения реконструкции.

Снижение единовременных затрат.

Минимизация последующих капитальных вложений.

Максимальное использование существующих объемов сооружений. Повышение эффективности очистки, в том числе по биогенным элементам (N и P).

Повышение надежности технологических процессов и работы оборудования.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА КОММУНАЛЬНЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Высокий эффект очистки.

Отсутствие иловых площадок (минимальное количество ила).

Полная биологическая саморегуляция.

Высокая устойчивость биоценозов к пиковым нагрузкам и колебаниям.

Снижение площади застройки.

Снижение себестоимости очистки.

Существенное снижение времени обслуживания и необходимости привлечения квалифицированных кадров.

Возможность повторного использования очищенной воды.

Возможность к расширению.

Отсутствие запаха и шума.

ЭКОЛОГИЯ

но-инжиниринговый холдинг, ориентированный на решение современных технологий и оборудования нового поколения.

ОЧИСТКА НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ЛИВНЕВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Высокая степень очистки.
Минимальные затраты на строительство.
Простота и надежность в эксплуатации.
Возможность к расширению.
Компактность.
Не требует постоянного обслуживания.



ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Технологические решения в области очистки сточных вод направлены на решения экологических проблем предприятий различных отраслей промышленности, характеризующихся высоким содержанием загрязнений. Технология базируется на 2-х стадийной обработке высококонцентрированных производственных стоков, сочетающей физико-химическую и/или биологическую ступени очистки.

ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Комплексная очистка нефтесодержащих сточных вод.
Подготовка пластовой воды.
Очистка нефтяных резервуаров.
Возврат товарной нефти из шламонакопителей и свалок нефтеотходов из "безвозвратных" потерь предприятий.
Возможность к расширению.



Комплексное управление всеми стадиями проекта с обеспечением реализации "под ключ"

Заказчиками ООО "Комплект Экология" являются: Центральный Банк РФ, Министерство обороны РФ, Фонд социального страхования РФ, Министерство атомной энергетики РФ, АК "АЛРОСА", ОАО "ГАЗПРОМ", РАО "ЕЭС России", НК "ЛУКОЙЛ", ОАО НК "ЮКОС", ОАО "АК ТРАНСНЕФТЬ", ОАО "РОСНЕФТЬ" и др.

Участие в реализации крупных проектов строительства, таких как "Бурейская ГЭС", "Сахалин-1", "Сахалин-2" и др.





СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ЛИВНЕВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Галкин Ю.А.,
Уласовец Е.А.,
Басков Е.М.,
Болтаев В.А.,
Селицкий Г.А.

НПФ «Эко-проект»

Использование экологически несовершенных технологий в промышленности и сельском хозяйстве, сброс недостаточно очищенных промышленных, коммунальных и сельскохозяйственных стоков, поступление загрязнений с рассредоточенным стоком с водосборных территорий привели к практически повсеместному загрязнению поверхностных вод. До нормативного качества очищается около 10 % вод, требующих очистки. Основные загрязнители поверхностных вод — это нефтепродукты, фенолы, легко окисляемые органические вещества, соединения металлов (меди, хрома, цинка, железа, марганца), аммонийный и нитритный азот, а также лигнин, формальдегид, пестициды.

По данным государственного водного кадастра об использовании вод в Российской Федерации, суммарный забор воды из природных водных объектов в 2005 г. составил 79,5 км³. Всего в 2005 г. использовано 61,3 км³ свежей воды (2004 г. — 61,5 км³), в том числе: из поверхностных источников — 48,2 км³ (48,1 км³), подземных — 8,0 км³ (8,2 км³), морской воды — 5,1 км³ (5,2 км³).

Структура водопотребления по видам характеризуется следующим образом:

- производственные — 59,6 %;
- хозяйственно-питьевые — 20,0 %;
- орошение — 12,6 %;
- сельскохозяйственное водоснабжение — 1,2 %;
- прочие виды — 6,6 %.

Объем сточных вод, сброшенных в поверхностные водные объекты, в 2005 г. уменьшился и составил 50,9 км³ (2004 г. — 51,3 км³). К категории загрязненных отнесено 17,7 км³ сточных вод (34,8 % общего объема). Основной объем сброса загрязненных сточных вод относится к видам экономической деятельности «Производство и распределение электроэнергии, газа и воды» (52 %) и «Обрабатывающие производства» (21 %).

Объем нормативно очищенных сточных вод в 2005 г. уменьшился до 2,19 км³ (2004 г. — 2,20 км³) и составил 11 % объема сточных вод, требующих очистки (19,9 км³). Это является результатом перегруженности или отсутствия очистных сооружений, а также низкой эффективности работы очистных сооружений, ухудшения их технического состояния.

В структуре сброса в поверхностные водные объекты доминируют загрязненные сточные воды (78,3 %), тогда как на долю нормативно очищенных сточных вод приходится всего 8,6 %.

Сточные воды представляют собой сложные гетерогенные смеси, содержащие примеси органического и минерального происхождения, которые находятся в нерастворенном, коллоидном и растворенном состоянии.

Степень загрязнения сточных вод оценивается концентрацией, т.е. массой примесей в единицу объема мг/л или г/м³.

Поскольку производственные сточные воды представляют собой наибольшую опасность для водоемов, мы рассмотрим их более подробно. Производственные сточные воды делятся на две основные категории: загрязненные и незагрязненные (условно чистые).

Физико-химический состав производственных сточных вод колеблется в значительных пределах, что вызывает необходимость тщательного обоснования выбора надежного и эффективного метода очистки в каждом конкретном случае.

В составе инженерных коммуникаций промышленного предприятия, как правило, имеется несколько водоотводящих сетей. Незагрязненные нагретые сточные воды поступают на охлаждающие установки (брызгальные бассейны, градирни), а затем возвращаются в систему оборотного водоснабжения. Загрязненные сточные воды поступают на очистные сооружения, а после очистки часть обработанных сточных вод подается в систему обо-

Предприятия металлургической промышленности, дающие наибольший объем загрязненных вод	млн м³
ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат», г. Липецк, Липецкая область	123,91
ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель», г. Норильск	85,72
ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск, Челябинская область	77,63
ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат», г. Новокузнецк, Кемеровская область	45,21
ОАО «Кузнецкий металлургический комбинат», г. Новокузнецк, Кемеровская область	41,87
ОАО «Металлургический завод», г. Чусовой, Пермский край	32,51
ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат», г. Нижний Тагил, Свердловская область	31,34
ОАО «Северсталь», г. Череповец, Вологодская область	28,95
ОАО «Златоустовский металлургический комбинат», г. Златоуст, Челябинская область	27,08
ОАО «Челябинский металлургический комбинат», Челябинская область	26,11
Комбинат «Печенганикель» ОАО «Кольская ГМК», г. Заполярный, Мурманская область	25,06
ОАО «Саткинский металлургический завод», г. Сатка, Челябинская область	21,40
ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА», г. Верхняя Салда, Свердловская область	18,31
Комбинат «Североникель» ОАО «Кольская ГМК», г. Мончегорск, Мурманская область	16,87
ОАО «Северский трубный завод», г. Полевской, Свердловская область	15,05
ОАО «Ашинский металлургический завод», г. Аша, Челябинская область	14,58
ОАО «Комбинат «Магнезит», г. Сатка, Челябинская область	14,53
Филиал «УАЗ-СУАЛ», г. Каменск-Уральский, Свердловская область	14,14
ОАО «Карельский окатыш», г. Костомукша, Республика Карелия	10,44

ротного водоснабжения в те цеха, где ее состав удовлетворяет нормативным требованиям.

Эффективность использования воды на промышленных предприятиях оценивается такими показателями, как количество использованной оборотной воды, коэффициентом ее использования и процентом ее потерь. Для промышленных предприятий составляется баланс воды, включающий расходы на различные виды потерь, сбросы и добавление компенсирующих расходов воды в систему.

Проектирование вновь строящихся и реконструируемых систем водоотведения населенных пунктов и промышленных предприятий должно осуществляться на основе утвержденных в установленном порядке схем развития и размещения отрасли народного хозяйства, отраслей промышленности и схем развития и размещения производительных сил по экономическим районам. При выборе систем и схем водоотведения должна учитываться техническая, экономическая и санитарная оценки существующих сетей и сооружений, предусматриваться возможность интенсификации их работы.

При выборе системы и схемы водоотведения промышленных предприятий необходимо учитывать:

- 1) требования к качеству воды, используемой в различных технологических процессах;
- 2) количество, состав и свойства сточных вод отдельных производственных цехов и предприятия в целом, а также режимы водоотведения;
- 3) возможность сокращения количества загрязненных производственных сточных вод путем рационализации технологических процессов производства;
- 4) возможность повторного использования производственных сточных вод в системе оборотного водообеспечения или для технологических нужд другого производства, где допустимо применять воды более низкого качества;
- 5) целесообразность извлечения и использования веществ, содержащихся в сточных водах;
- 6) возможность и целесообразность совместного отведения и очистки сточных вод нескольких близко расположенных промышленных предприятий, а также возможность комплексного решения очистки сточных вод промышленных предприятий и населенных пунктов;
- 7) возможность использования в технологическом процессе очищенных бытовых сточных вод;



- 8) возможность и целесообразность использования бытовых и производственных сточных вод для орошения сельскохозяйственных и технических культур;
- 9) целесообразность локальной очистки сточных вод отдельных цехов предприятия;
- 10) самоочищающую способность водоема, условия сброса в него сточных вод и необходимую степень их очистки;
- 11) целесообразность применения того или иного метода очистки.

В связи с тем что в сточных водах промышленных предприятий могут содержаться специфические загрязнения, их спуск в городскую водоотводящую сеть ограничен рядом требований.

Выпускаемые в водоотводящую сеть производственные сточные воды не должны: нарушать работу сетей и сооружений; оказывать разрушающего воздействия на материал труб и элементы очистных сооружений; содержать более 500 мг/л взвешенных и всплывающих веществ; содержать вещества, способные засорять сети или отлагаться на стенках труб; содержать горючие примеси и растворенные газообразные вещества, способные образовывать взрывоопасные смеси; содержать вредные вещества, препятствующие биологической очистке сточных вод или сбросу в водоем; иметь температуру выше 40 °С.

Производственные сточные воды, не удовлетворяющие этим требованиям, должны предварительно очищаться и лишь после этого сбрасываться в водоотводящую сеть.

Методы, применяемые для очистки производственных и бытовых сточных вод, можно разделить на три группы: механические, физико-химические, биологические. В комплекс очистных сооружений, как правило, входят сооружения механической очистки. В зависимости от требуемой степени очистки они могут дополняться сооружениями биологической либо физико-химической очистки, а при более высоких требованиях в состав очистных сооружений включаются сооружения глубокой очистки.

Перед сбросом в водоем очищенные сточные воды обеззараживаются, а образующийся на всех стадиях очистки осадок или избыточная биомасса поступает на сооружения по обработке осадка. Очищенные сточные воды могут направляться в оборотные системы водоснабжения промышленных предприятий, на сельскохозяйственные нужды или сбрасываться в водоем. Обработанный осадок может утилизироваться, уничтожаться или складироваться.

Механическая очистка применяется для выделения из сточных вод нерастворенных минеральных и органических примесей.

Как правило, она является методом предварительной очистки и предназначена для подготовки сточных вод к биологическим или физико-химическим методам очистки. В результате механической очистки обеспечивается снижение взвешенных веществ до 90%, а органических веществ до 20%. В состав сооружений механической

очистки входят решетки, различного вида уловители, отстойники, фильтры.

Отстаивание является наиболее простым и часто применяемым на практике способом удаления из сточных вод грубодисперсных нерастворенных примесей, которые под действием гравитационной силы оседают на дно отстойника или всплывают на поверхность.

По направлению движения основного потока воды в отстойниках они делятся на два основных типа: горизонтальные и вертикальные (разновидностью вертикальных являются радиальные отстойники).

Горизонтальный отстойник представляет собой прямоугольный железобетонный резервуар, состоящий из нескольких отделений. Их рекомендуется применять при производительности комплекса свыше 15 тыс. м³/сут.

Хорошо работающие горизонтальные отстойники задерживают до 60% взвешенных веществ, однако у них есть ряд недостатков: высокая стоимость монтажа; скребковый механизм имеет несколько опор и много движущихся частей, что приводит к поломке (наиболее уязвимы цепи); малая длина водослива, что создает гидравлические перегрузки в торцовых частях отстойника. Кроме того, в углах отстойника, куда не достает скребковый механизм, образуются залежи осадка.

Вертикальный отстойник представляет собой цилиндрический железобетонный или металлический резервуар (реже квадратный или многоугольный) с конусным или пирамидальным днищем. Сточная вода поступает через центральную вертикальную трубу с раструбом в нижней части. Под вертикальной трубой расположен отражательный щит, который изменяет направление движения воды с вертикального (нисходящего) на горизонтальное, а затем вновь на вертикальное (восходящее), при котором происходит выпадение в осадок диспергированных частиц в отстойной части. Высота зоны осветления составляет 2,7–3,8 м. Осветленная вода переливается через круговой водослив (на периферии отстойника) в сборный лоток и отводится из него. Выпавшая взвесь, накапливающаяся в отстойной части, периодически выпускается по иловой трубе.

Вертикальные отстойники проще по конструкции и в эксплуатации, чем горизонтальные, и находят широкое применение в качестве первичных и вторичных отстойников. Однако эффект осветления воды в них на 25–30% ниже, чем в горизонтальных, и на 10–15% ниже, чем в радиальных. При удовлетворительной работе вертикальных отстойников удаляется не более 40% взвешенных веществ, однако у них более низкая стоимость монтажа и эксплуатации, чем у горизонтальных отстойников. Длина водослива по периметру вертикальных отстойников достаточно велика, что позволяет свести к минимуму скорость движения воды у перелива и уменьшить вынос взвешенных веществ. К их недостаткам относятся: большая глубина (иногда до 7–9 м), что удорожает стоимость строительства в слабых грунтах и при высоком уровне грунтовых вод; плохое сползание осадка к центру отстойника, что затрудняет его откачку.

Радиальный отстойник представляет собой цилиндрический железобетонный или сварной металлический резервуар большого диаметра (от 16 до 60 м), глубиной 0,1–0,15 диаметра. Сточная вода подается по трубопроводу или лотку в вертикальную центральную трубу (сверху или снизу), из которой выливается в отстойную часть. Осветленная жидкость сливается через круговой водослив, установленный по окружности отстойника, в сборный лоток. Перед водосливом устраивается полупогруженная кольцевая стенка (гребни), удерживающая всплывающие вещества, которые отводятся из отстойника по специальной трубе. Дну отстойника придают уклон к центру, где устраивают иловый приямок для накопления выпадающего осадка, который удаляют под гидростатическим давлением или насосами. Отстойник оборудован вращающейся фермой со скребками для сбора осадка. Радиальные отстойники применяют при производительности очистных сооружений более 20 тыс. м³/сут. Скребок механизм с центральным приводом, опирающийся на одну опору в центре, имеет меньше движущихся частей, чем цепные скребок механизмы горизонтальных отстойников. Радиальные отстойники обеспечивают 50 % удаление взвешенных веществ и не имеют перечисленных недостатков горизонтальных и вертикальных отстойников.

Первичные отстойники выполняют следующие функции: задержание грубодисперсных примесей, масел, нефтепродуктов и уплотнение осадка.

Эффективность их работы оценивается по содержанию взвешенных и оседающих веществ, нефтепродуктов в поступающей в отстойник и осветленной воде, влажности и зольности осадка. Эффективность удаления взвешенных веществ зависит от их первоначальной концентрации и дисперсности, а также от продолжительности отстаивания.

Скорость осаждения взвеси и степень осветления воды зависят от способности отдельных частиц к агрегации. Основная масса грубодисперсных примесей выпадает в осадок в течение 1–1,5 ч, поэтому продолжительность отстаивания назначают в зависимости от последующей обработки сточной воды.

Итак, подводя некоторый итог, отметим, что эффективность первичного отстаивания определяется следующими факторами: исходной концентрацией взвешенных веществ, временем отстаивания, температурой воды, конструктивными особенностями первичных отстойников, нагрузкой осветленной воды на водослив, своевременной отгрузкой сырого осадка. Для улучшения работы отстойников предлагается применять коагулянты и флокулянты, увеличивать равномерность подачи воды, устраивать усреднители, улучшать конструкции отстойников.

Можно согласиться с тем, что использование реагентов позволяет резко ускорить процесс осветления и увеличить эффект очистки. При применении реагентов показатель производительности увеличивается в 3–4 раза.

Однако следует отметить недостатки реагентного осветления. В этом случае необходимо реагентное хозяйство, что значительно повышает капитальные затраты и усложняет работу очистных сооружений. Кроме того,

ввод коагулянта в очищаемую шахтную воду на действующих отстойниках приведет к изменению характера осадка (он станет менее плотным) и увеличению его количества по объему. Эксплуатирующиеся отстойники не предназначены для работы в таких условиях, потребуются их оборудование новыми системами удаления осадка.

Некоторые проблемы осветления воды в отстойных сооружениях можно решить с помощью применения принципа тонкослойного отстаивания.

В тонкослойных отстойниках исходный поток воды делится на ряд слоев небольшой глубины. Взаимное движение осветляемой воды и выделяемого осадка может осуществляться по перекрестной (в полочных отстойниках), прямоточной или противоточной (в полочных и трубчатых отстойниках) схемам. При перекрестной схеме выделенный осадок движется перпендикулярно движению сточных вод, а при прямоточной и противоточной схемах — соответственно по ходу движения сточных вод или в обратном направлении.

Тонкослойные отстойники можно применять для осветления слабо- и среднеконцентрированных бытовых и производственных сточных вод, содержащих взвешенные вещества преимущественно однородного состава, а также в качестве второй ступени механической очистки концентрированных сточных вод, содержащих полидисперсные взвешенные вещества.

Тонкослойные отстойники могут быть вертикальные, радиальные или горизонтальные. Они состоят из водораспределительной и водосборной зон, а также из отстойной зоны (тонкослойного пространства), занятой полочными или трубчатыми элементами.

Тонкослойные элементы полочного или трубчатого типа выполняются из плоских или гофрированных листов металла (сталь, алюминий), но преимущественно из пластмассы (полипропилена, полиэтилена, стеклопластика).

Применение тонкослойных элементов позволяет значительно сократить продолжительность отстаивания и, следовательно, объем отстойников.

Для очистки сточных вод от взвешенных веществ и нефтепродуктов НПФ «Эко-проект» разработана конструкция отстойника-флокулятора. Аппарат отличается высокой удельной производительностью, которая в 2,5–3,5 раза выше, чем у обычного вертикального отстойника.

Отстойник-флокулятор имеет зоны флокуляции (хлопьеобразования), отстаивания и накопления осадка.

Зона флокуляции представляет собой камеру, в которой за счет энергии струи подаваемой через сопла воды осуществляется регулируемое перемешивание воды, способствующее укрупнению частиц взвешенных веществ.

Зона отстаивания состоит из одной камеры, заполненной тонкослойными элементами (для улавливания осаждающихся или всплывающих веществ), или из двух камер (для выделения одновременно присутствующих осаждающихся и всплывающих веществ).

Зона накопления осадка расположена в нижней части корпуса и предназначена для его накопления и первичного гравитационного сгущения.



Отстойник-флокулятор оборудован скребковым механизмом для сгребания и удаления осадка и устройством для удаления всплывающих веществ при их наличии.

Конструкция данного водоочистного сооружения способствует протеканию таких процессов, как флокуляция и седиментация за счет встроенных камеры флокуляции и тонкослойных элементов. Отстойник-флокулятор надежно обеспечивает удаление из сточной воды взвеси и нефтепродуктов на 80–85 %.

Аппарат изготавливается по ТУ4859-001-13706078-2007, имеет сертификат соответствия РОСС RU. АИ30. В03597. Кроме того, конструкция отстойников-флокуляторов разработана в соответствии с патентом на изобретение № 2182838, патентами РФ на полезную модель № 21354, № 28050, № 35722 и решением Федерального института промышленной собственности о выдаче патента РФ на изобретение по заявке № 2002129644/15 (031187) от 04.11.2002.

Аппарат представляет собой металлический резервуар цилиндрической формы с профилированным днищем и внутренними конструктивными элементами:

- встроенная камера флокуляции (зона ввода воды и зона вывода);
- секции противоточного и прямоточного сепаратора установлены последовательно;
- коллектор подвода воды на очистку;
- коллектор отвода осветленной воды;
- скребковый механизм сгребания осадка;
- маслосборное устройство;
- центральный привод скребкового механизма;
- несущий мост.

Для обеспечения работы электрических приборов аппарат комплектуется системой электрических устройств.

Очистка сточных вод в отстойнике-флокуляторе осуществляется следующим образом.

По подводящему коллектору через сопла грязная вода тангенциально вводится в камеру флокуляции. Энергия струи создает вращательное движение воды в камере, что обеспечивает перемешивание и агрегацию взвешенных веществ до крупных, хорошо оседающих хлопьев. Интенсивность перемешивания определяется количеством работающих сопел.

Вращательное движение воды уменьшается по мере прохождения воды через камеру флокуляции и гасится на выходе из нее. Из камеры флокуляции вода через технологические проемы поступает в отстойную зону и проходит последовательно противоточный и прямоточный сепараторы. В противоточном сепараторе происходит выделение взвешенных веществ. Образовавшийся осадок по наклонным тонкослойным элементам скатывается и накапливается в осадочной части. Нефтепродукты концентрируются на поверхности воды отстойной зоны. В прямоточном сепараторе происходит дополнительное выделение нефтепродуктов.

Осветленная вода собирается через патрубки отводящего коллектора и отводится в приемные карманы освет-

ленной воды. Из приемных карманов очищенная вода по коллектору выводится из аппарата.

Осадок накапливается в осадочной зоне и с помощью скребкового механизма транспортируется в кольцевой лоток, откуда через всасывающие патрубки гидравлическим способом удаляется из аппарата с помощью насосов.

Всплывающие нефтепродукты накапливаются на поверхности воды камеры флокуляции и отстойной зоны. В камере флокуляции за счет вращательного движения воды нефтепродукты концентрируются у неподвижного экрана. В зоне отстаивания нефтепродукты сгоняются скребком, закрепленным на валу механизма сгребания осадка в поддон. Сбор пленки нефтепродуктов из поддона и в зоне неподвижного экрана осуществляется маслосборным устройством, оборудованным вращающейся металлической сеткой, системой сдувки масел с сетки и лотком для отвода нефтепродуктов из аппарата. Удаление нефтепродуктов осуществляется во время откачки осадка из осадочной части.

В прямоточном сепараторе кроме всплывающих нефтепродуктов выделяется небольшое количество взвешенных веществ. Образующийся осадок будет накапливаться на дне прямоточного сепаратора. Удаление осадка из прямоточного сепаратора осуществляется через равномерно распределенные по периметру трубопроводы, которые объединены в один коллектор и соединены с насосами откачки осадка из осадочной части аппарата. Откачка осадка осуществляется по секторам совместно с удалением осадка из осадочной зоны аппарата.

В камере флокуляции в зоне ввода исходной воды возможно выделение тяжелой взвеси. Удаление осадка осуществляется с помощью скребка, прикрепленного к валу через перепускной клапан в осадочную зону аппарата.

Перепускной клапан дополнительно позволяет перепускать воду из подводящей зоны камеры флокуляции в зоны сепарации во время заполнения и опорожнения аппарата.

Заполнение аппарата водой осуществляется через напорный коллектор грязной воды и камеру флокуляции.

Опорожнение — через патрубки гидравлического удаления осадка.

Выбор отстойника-флокулятора зависит от физико-химических свойств применяемых реагентов, очищаемой воды и ее расхода.

Основными технологическими параметрами отстойников-флокуляторов, определяющими их эффективность и размеры, являются:

- производительность, $\text{м}^3/\text{час}$;
- гидравлическая крупность осаждающихся и всплывающих примесей (U_o , мм/с);
- продолжительность флокуляции (хлопьеобразования), T , с ;
- средний градиент перемешивания при флокуляции (хлопьеобразовании), G , с^{-1} .

Таблица 1

Конструктивные технологические характеристики отстойников-флокуляторов

Технологический диаметр отстойника-флокулятора, м	Расход сточных вод Q, м³/ч	Продолжительность флокуляционного перемешивания $t_{\text{ф}}$, мин	Средний градиент скорости перемешивания G, с⁻¹	Гидравлическая крупность улавливаемых загрязнений U_0 , мм/с	Удельная нагрузка, м³/м²·ч
18	2600	6,3	50–150	0,324	10,2
	1800	9,4	30–100	0,216	7,1
	1200	14	15–60	0,108	4,7
16	2200	8	36–125	0,26	11,0
	1600	12	26–75	0,2	8,0
	1000	25	15–50	0,13	5,0
14	2000	6,6	50–150	0,21	13,0
	1500	8,7	36–125	0,15	9,7
	1000	13	22–77	0,103	6,5
12	1600	7	50–150	0,4	14,2
	1200	12	30–100	0,3	10,6
	800	16	15–60	0,2	7,1
10	800	6,6	50–150	0,21	10,2
	600	8,7	36–125	0,15	7,6
	400	13	22–77	0,103	5,1
9	700	8	50–150	0,18	11,0
	650	12	30–100	0,125	10,2
	400	16	15–60	0,105	6,3
8	600	6,3	50–150	0,324	11,9
	400	9,4	30–100	0,216	8,0
	200	14	15–60	0,108	4,0
6	250	6,8	75–100	0,5	8,8
	200	8,4	33–70	0,4	7,1
	150	11,3	21–60	0,3	5,3
5	200	8	36–125	0,26	10,2
	150	12	26–75	0,2	7,7
	100	25	15–50	0,13	5,1
3	30	7	35–100	0,12	4,2
	22	10	20–70	0,09	3,1
	15	15	15–60	0,06	2,1

Основные технологические параметры являются индивидуальными для конкретной технологии очистки воды в зависимости от состава исходной воды, ее температуры, требований к качеству очищенной воды, вида применяемых реагентов. Технологические параметры для проектирования конкретного отстойника-флокулятора определяются экспериментально-технологическим моделированием по утвержденным методикам. Их конкретное значение отражается в паспортах на поставляемые аппараты.

Во всех аппаратах предусматривается возможность регулирования среднего градиента скорости перемешивания при флокуляции в пределах 20–70 с⁻¹ за счет изменения числа подающих воду сопел.

При выборе типа отстойника-флокулятора следует пользоваться данными, приведенными в таблице 1.

Отстойники-флокуляторы могут быть дополнительно оборудованы системой контроля и управления, обеспечи-

вающей стабильность технологического режима работы, измерение и сигнализацию основных режимных параметров, автоматическое блокирование при возникновении аварийных ситуаций.

Аппараты конструкции НПФ «Эко-проект» устойчиво и эффективно работают в схемах очистки воды оборотных циклов на сталеплавильных, прокатных и трубопрокатных предприятиях. В настоящее время на предприятиях в России и в странах СНГ работают 49 отстойников-флокуляторов. Небольшая энергоемкость, компактность, простота эксплуатации, полная автоматизация процесса очистки воды в схемах с использованием отстойников-флокуляторов обеспечивают предприятию высокие технико-экономические показатели по сравнению с фильтрованием, флотацией и другими процессами водоподготовки.

Для более глубокой очистки воды перед отстойниками-флокуляторами вводятся реагенты. При дозировании



катионного флокулянта Praestol перед отстойниками-флокуляторами системы оборотного водоснабжения производства горячей прокатки содержание взвеси нефтепродуктов в очищенной воде составляет соответственно 20 и 5 мг/л, а при обработке двумя реагентами — Экозоль-401 и Praestol остаточная концентрация взвеси и нефтепродуктов снижается до 10 и 5 мг/л. При последующем фильтровании осветленной воды через механические фильтры с песчаной загрузкой концентрация данных компонентов может быть снижена до величин менее 1,0 и 0,1 мг/л.

Приведенные примеры показывают возможность создания компактных очистных сооружений на базе отстойников-флокуляторов для систем оборотного водоснабжения, обеспечивающих практически любое качество подаваемой потребителям воды.

В последнее время большую актуальность приобрела очистка ливневых сточных вод с территорий промышленных предприятий, городов и населенных пунктов, так как этот вид сточных вод стал основным источником загрязнения водных объектов.

Использование отстойников-флокуляторов в технологических схемах очистки ливневых стоков привело к созданию компактных надежно работающих очистных сооружений. Очистка ливневых сточных вод осуществ-

ляется в следующей последовательности. Весь поток ливневого стока проходит механическую очистку, включающую процеживание от мусора на решетках, пескоулавливание, отстаивание, усреднение расхода (регулирование) и выделение загрязнений в виде осадка. После этого основная часть годового объема стока (до 90 % при норме 70 %) очищается на отстойниках-флокуляторах и песчаных осветлительных фильтрах, остальная часть отводится в водный объект.

По результатам длительной промышленной эксплуатации данной технологии на Уралмашзаводе (производительность — 1000 м³/час), вода после двухступенчатой очистки (отстойник-фильтр) содержит взвешенные вещества в количестве 0,5–1,0 мг/л, нефтепродукты — 0,03–0,06 мг/л. Достигаемая глубина извлечения всех загрязняющих веществ позволяет использовать очищенную воду в качестве подпитки оборотной системы водоснабжения Уралмашзавода вместо технической воды.

Многочисленные примеры использования отстойников-флокуляторов в различных технологических схемах очистки сточных вод от взвешенных веществ и нефтепродуктов подтвердили возможность создания экономических, компактных и простых в эксплуатации очистных сооружений как для промышленности, так и для городского хозяйства.



Отстойник-флокулятор

ВОДОСНАБЖЕНИЕ ГОРОДА-КУРОРТА ЕССЕНТУКИ

Арутюнов Ю.А.

начальник МУ «УЖКХ и Б-СЗ» г. Ессентуки

Важнейшей проблемой водоснабжения в городе-курорте Ессентуки, как и в других городах России, является качество воды, подаваемой населению.

В городе ежегодно проводится ремонт насосных станций водоподготовки с обязательным внедрением новой техники, оборудования, приборов и современных энергосберегающих технологий, а также технологий, обеспечивающих поднятие качественного уровня воды, подаваемой населению. Так, в 2007 г. при помощи Управления ЖКХ города Ессентуки, администрации города и ГУП СК «Ставрополькрайводоканал» был приобретен ряд техники и оборудования.

Кроме того, началось внедрение новых систем водоочистки на локальные системы, которые при сохранении нормативных требований к воде позволят снизить затраты на создание крупных водопроводных и канализационных сетей. В городе Ессентуки запрещено размещение животноводческих и птицеводческих ферм в первой водоохранной зоне, которые представляют особую опасность для водоисточников. Проводится большая работа по внедрению мероприятий, направленных на снижение объемов сбросов загрязнителей в водоемы как за счет

уменьшения объемов стоков, так и за счет повышения степени их очистки наряду с инженерно-техническими мероприятиями по санации самих водоемов.

Следует отметить, что имеются уже единичные случаи внедрения компактных установок для очистки сточных вод (5–10 кубометров в сутки) для очистки бытовых сточных вод от отдельно стоящих коттеджей или группы домов.

В 2007 г. была разработана Схема санитарной очистки для города Ессентуки, один из разделов которой был посвящен водообеспечению и водоснабжению населения качественной водой, и приведены рекомендации по строительству очистных сооружений для ливневых, грунтовых и талых вод в рамках развития курортной инфраструктуры региона «Кавказские Минеральные Воды».

Проведение данных работ оказалось возможным благодаря пристальному вниманию к данной проблеме администраций «КМВ» под руководством Михайленко В.И. и его главе города Ессентуки Скоморохину К.Б.

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«БИОТЕХНОЛОГИЯ. ВОДА И ПИЩЕВЫЕ ПРОДУКТЫ»

6-я МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

«МИР БИОТЕХНОЛОГИИ' 2008»



Под патронажем
Правительства Москвы

МОСКВА, РОССИЯ

11 - 13 марта

2008

Москва, Новый Арбат, 36/9 (Здание Правительства Москвы)

Проводится в рамках Московского международного конгресса «Биотехнология: состояние и перспективы развития»

ОСНОВНЫЕ ТЕМАТИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ КОНФЕРЕНЦИИ

Секция 1. Пищевая биотехнология

Секция 2. Ферменты в пищевой промышленности

Секция 3. Вода и пищевые технологии: безопасность, качество и эффективность обработки

3.1 Современные представления о структуре и свойствах воды, термодинамические и физические свойства связанной воды, энергии связей, активность воды.

3.2. Биотехнология очистки вод

3.3. Биоаналитические методы в анализе воды и пищи

Секция 4. Биотехнологическое образование и пищевая промышленность

МЕЖДУНАРОДНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ КОНФЕРЕНЦИИ:

- **Российско-Американский симпозиум**
«Актуальные вопросы российско-американского сотрудничества в области биотехнологий. Опыт реализации биотехнологических инновационных проектов в США и России»
- **Российско-швейцарский симпозиум**
«Российско-швейцарские инициативы. Качество БАД и биофармацевтических препаратов»
- Конкурс на лучшую научно-исследовательскую работу молодых ученых
- Конкурс на лучшую экспонируемую продукцию выставки
- Конкурс «Бутилированная вода: вкус, качество, безопасность»

Прием тезисов до 6 февраля 2008 г.



Тематика выставки: Весь спектр биопродуктов для пищевой и фармацевтической промышленности, агропромышленного комплекса, ветеринарии, геологии, промышленных предприятий, а также биоагенты для охраны и восстановления окружающей среды. Биологически активные добавки, Тест-системы для определения качества и биологической активности воды, определения алкоголя и наркотических веществ. Биокатализ и биокаталитические технологии, биодизель, биоэтанол. Питательные среды. Процессы и аппараты для очистки и подготовки воды. Оборудование и контрольно-измерительные приборы по определению активности воды, молекулярной структуры и изотопного водородно-кислородного состава воды в пищевых отраслях промышленности, медицине, косметологии и др. Промышленная и лабораторная безопасность, катализаторы на основе наноматериалов, нетрадиционные источники пищи, функциональные пищевые ингредиенты и продукты (технология получения и применения).

www.mosbiotechworld.ru

Контакты: (495) 981-70-51, 981-70-54, 981-79-59

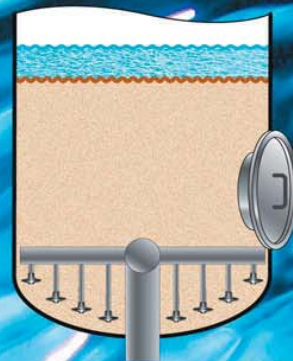
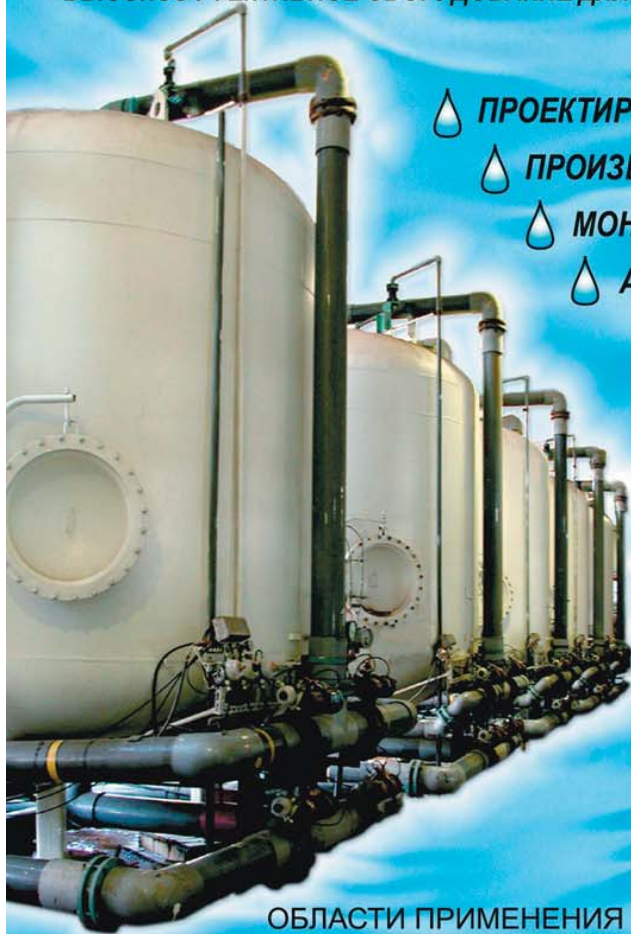
E-mail: aleshnikova@mosbiotechworld.ru, expo@mosbiotechworld.ru

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

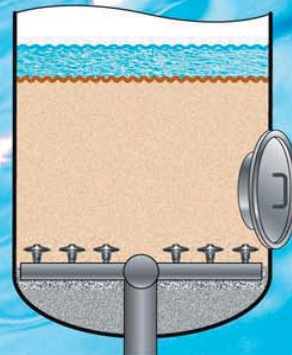
"ТЭКО-ФИЛЬТР"

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ

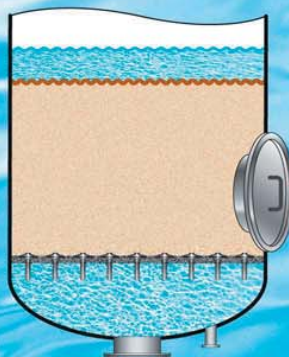
- 💧 ПРОЕКТИРОВАНИЕ
- 💧 ПРОИЗВОДСТВО
- 💧 МОНТАЖ
- 💧 АВТОРСКИЙ НАДЗОР



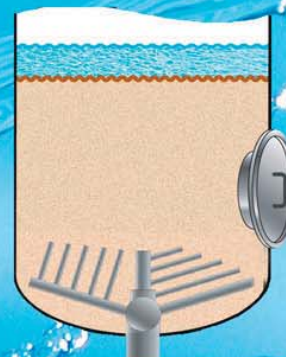
Лучевая колпачковая система "копирующее днище"



Лучевая колпачковая система на бетонном основании



Колпачковая система "ложное дно"

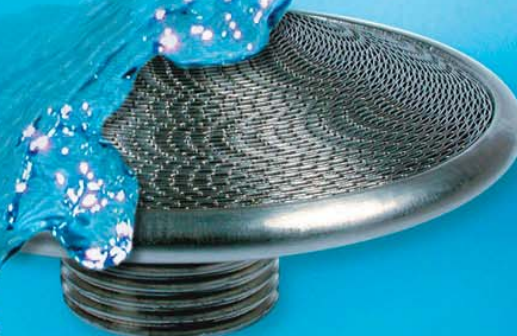


Витая лучевая система "копирующее днище"

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

- тепловая и атомная энергетика
- жилищно-коммунальное хозяйство
- химическая, нефте- и газоперерабатывающая промышленность
- металлургия и машиностроение
- легкая и пищевая промышленность

- 💧 фильтры для очистки воды от механических примесей, железа, солей жесткости
- 💧 сборно-распределительные устройства для фильтров
- 💧 дренажные щелевые колпачки для фильтров очистки воды различного назначения
- 💧 фильтры-ловушки



445045, Россия, Самарская обл., г. Тольятти
а/я 1839, ПП "ТЭКО-ФИЛЬТР"

тел./факс (8482) 20-83-61, 20-85-90, 24-26-85
www.teko-filter.ru E-mail: info@teko-filter.ru

КОМБИНИРОВАННЫЕ СХЕМЫ ОБРАТНООСМОТИЧЕСКОГО ОБЕССОЛИВАНИЯ И НА-КАТИОНИРОВАНИЯ ДОБАВОЧНОЙ ВОДЫ НА ТЭС С УТИЛИЗАЦИЕЙ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ СТОКОВ



Малахов Г.И., инж.
Боровкова И.И., к.т.н.

ЗАО «НИСКО-ИНАКВА»,
ОАО «Инженерный центр ЕЭС-филиал
«Институт «Теплоэлектропроект»

Боровкова И.И.

В последние годы в результате успешного внедрения обратноосмотических установок (ООУ) на ВПУ ряда ТЭС России сформировалось понимание необходимости их применения в схемах подготовки добавочной воды котлов высокого давления (14 МПа).

Однако наряду с этим на многих ТЭЦ (особенно промышленного профиля) сохраняются мощные установки На-катионитного умягчения добавочной воды котлов высокого (9,8 МПа) и среднего (3,9 МПа) давлений (ВД и СД), а также теплосети. Установки На-катионирования во многих случаях используются и для подготовки питательной воды ООУ в указанных выше схемах ВПУ котлов (14 МПа).

Указанные схемы умягчения при высокой их надежности характеризуются общеизвестными недостатками: высокими расходами товарной NaCl, повышенными сбросами солевых стоков и расходами воды на собственные нужды, как правило, отсутствием экономичных схем утилизации сбросных вод ВПУ и котлов. Высокие расходы товарной NaCl тем более не оправданы при наличии в системе значительного резерва натриевых солей в виде разбавленных растворов (концентрат ООУ, продувка котлов среднего и высокого (9,8 МПа) давлений), которые подаются на сброс [1, 2].

Это существенно ухудшает экологические показатели указанных ВПУ. Поэтому необходима разработка нетрадиционных технических решений, исключающих или существенно уменьшающих влияние указанных негативных факторов.

Одним из вариантов такого технического решения является технологическое комбинирование установок

обратноосмотического обессоливания и На-катионирования с использованием концентратов умягченной воды для регенерации На-катионитных фильтров взамен товарной NaCl [3]. Основанием для такого решения является то, что в процессах обратноосмотического обессоливания в ООУ или в процессах генерации пара в котлах среднего (3,9 МПа) или высокого (9,8 МПа) давлений происходит концентрирование умягченной воды в 5–10 раз в ООУ, в 20–30 раз в котлах СД и в 30–50 раз в котлах ВД (9,8 МПа).

В результате при использовании, например, исходной воды средней минерализации (~300 мг/дм³) получается концентрат с содержанием натриевых солей соответственно 1,5–3,0, 6–9 и 9–15 г/дм³. При дополнительном концентрировании таких растворов ~ в 7–20 раз можно получить регенерационно-способные концентрации 3–10 % для регенерации На-фильтров.

На рис. 1 в качестве одного из примеров реализации технического решения изображена принципиальная схема умягчения и обратноосмотического обессоливания воды для питания химочищенной водой ООУ и котлов среднего давления, а пермеатом ООУ — котлов высокого давления.

На рис. 2 показан другой пример реализации технического решения — принципиальная схема для подпитки



котлов высокого давления (9,8 МПа) смесью обессоленной и химочищенной воды.

На рис. 3 изображен еще один пример реализации технического решения — принципиальная схема для питания ООУ химочищенной водой и котлов высокого давления — пермеатом ООУ.

В этих схемах предусмотрена выпарная установка для концентрирования растворов и получения обессоленной воды.

Как показано на рис. 1–3, разработанные комбинированные схемы ВПУ содержат последовательно включенные предочистку (осветлители 1, баки осветленной воды 2, осветлительные (механические) фильтры 3, Na-катионитные фильтры 4, баки умягченной воды (БУМ) 5, обратноосмотическую установку (ООУ) 6 с баками пермеата (БП) 7, установку для концентрирования растворов и получения обессоленной воды (дистиллята) в составе выпарного аппарата (испарителя) (И) 8, конденсатора (К) 9, баков сбора продувочных вод (БСП) 10 и концентрата испарителя (БКИ) 11, потребителей обессоленной воды — котла высокого давления (КВД) 12 и химочищенной воды — котла среднего давления (КСД) 13.

Комбинированная схема (рис. 1, 2, 3) работает следующим образом. Исходная вода подается на предочистку, где последовательно проходит осветлитель и осветлительные (механические) фильтры. Осветленная вода поступает на Na-катионитные фильтры. Химочищенная (умягченная) вода подается в обратноосмотическую установку (ООУ) и в котел среднего давления (рис. 1). Пермеат из ООУ подается на питание котла высокого давления, а концентрат — в бак сбора продувочных вод (БСП) и далее — на выпарную установку. Туда же поступает продувочная вода КСД (рис. 1) или продувка КВД (рис. 2). Концентрат выпарной установки собирается в БКИ и подается на регенерацию Na-фильтров, дистиллят подается на питание котла высокого давления. Продувка КВД (рис. 1), фактически являющаяся обессоленной водой, подается на питание КСД. При недостаточной производительности ООУ (рис. 3) химочищенная вода подается и на питание выпарной установки (показано на рис. 3 пунктиром), что позволяет увеличить в системе выработку обессоленной воды и концентрата натриевых солей для регенерации Na-фильтров.

Особенность представленной на рис. 1 комбинированной схемы заключается в том, что выпарная установка работает на смеси концентрата ООУ и продувочной воды котлов СД и потому ее производительность в первую очередь определяется расходами этих потоков или степенью концентрирования умягченной воды в ООУ и КСД. Учитывая различную степень концентрирования умягченной воды (5–10 в ООУ и 20–40 в котлах СД), производительность выпарной установки зависит также от соотношения расходов указанных концентратов и в значительной степени от уровня минерализации исходной воды.

Например, для ВПУ с расходом обессоленной воды (пермеата ООУ) 300 м³/ч и умягченной воды 500 м³/ч при

средней минерализации исходной воды ~ 300 мг/дм³ необходимая производительность выпарной установки составит 40–80 т/ч дистиллята (соответственно для максимальной и минимальной степени концентрирования в ООУ и КСД), а расход отводимого концентрата выпарной установки в обоих случаях будет 2,5–3 м³/ч с концентрацией натриевых солей 8–10 %.

При определении допустимой степени концентрирования в выпарной установке необходимо учитывать получаемое в концентрате содержание карбонатов, сульфатов и силикатов во избежание образования с кальцием слаборастворимых соединений, способных выпасть в осадок при регенерации Na-фильтров. В связи с этим во многих случаях кратность концентрирования выпарной установки может быть ограничена концентрацией натриевых солей в пределах 2–10 %. Соответственно, снижение концентрации натриевых солей обусловит уменьшение производительности выпарных аппаратов. Для относительно небольших производительностей ВПУ в пределах 100–200 м³/ч и при повышенной минерализации исходной воды производительность выпарных аппаратов будет составлять 5–10 т/ч.

В рассмотренной схеме достигается максимальное повторное использование располагаемого в системе количества минеральных и водных ресурсов. Так, продувка котлов ВД используется в качестве одного из комплектующих потоков питательной воды котлов СД. Собранные концентрат ООУ и продувка котлов СД используется для получения регенерационных растворов Na-фильтров. Получаемый в выпарных установках дистиллят используется для питания котлов ВД. Часть собранного концентрата ООУ и продувки котлов СД используется из БСП для взрыхляющих промывок Na-фильтров. Воды взрыхляющих промывок осветлительных и Na-катионитных фильтров собираются и подаются в осветлитель.

Фактически единственными стоками всей схемы водоподготовки и котельных установок являются отработанные растворы Na-катионитных фильтров, составляющие даже с учетом их разбавления 1–3 % от общего расхода исходной воды.

Указанная схема была разработана и предложена для реконструкции ВПУ Нижнетагильского Metallургического комбината.

Особенность представленной на рис. 2 комбинированной схемы заключается в том, что выпарная установка работает на смеси концентрата ООУ и продувочной воды котлов ВД (9,8 МПа). Как известно, основным компонентом, ограничивающим использование умягченной воды для котлов ВД (9,8 МПа), является содержание кремниескислоты в питательной воде (не более 80 мкг/дм³). Для достижения указанной концентрации технологически наиболее эффективным решением является удаление кремниескислоты при частичном обратноосмотическом обессоливании добавочной воды. В этом случае котел ВД работает на смеси обессоленной (обескремненной) и умягченной воды. В зависимости от состава исходной воды доля умягченной воды в питательной может состав-

Таблица 1

Тип воды	Показатели состава исходной воды				Избытки солей натрия на регенерацию Na-фильтров, экв/экв		
	солесодержание, мг/дм ³	Ж, мг-экв/дм ³	Na, мг/дм ³	отношение Na/Ж, экв/экв	располагаемые,	нормативные	
						прямоток	противоток
Маломинерализованная	70	0,9	9,2	0,44	1,44	1,5–1,7	1,1–1,2
	100	1,1	11	0,43	1,43		
	117	1,1	31	1,23	2,23		
	125	1,0	3,6	0,16	1,16		
	154	2,6	6,9	0,12	1,12		
	189	1,7	32	0,82	1,82		
Среднеминерализованная	206	1,8	8,6	0,21	1,21	1,7–2,0	1,2–1,3
	233	3,1	27,8	0,39	1,39		
	276	3,5	18,3	0,23	1,23		
	308	4,1	21,5	0,23	1,23		
	344	2,8	36	0,56	1,56		
	384	5,3	21,8	0,18	1,18		
	410	3,5	84	1,04	2,04		
Минерализованная	480	5,0	52	0,45	1,45	2,0–3,0	1,3–1,4
	568	5,3	106	0,87	1,87		
	694	6,3	91	0,63	1,63		
	770	6,2	110	0,77	1,77		
	884	7,4	170	1,0	2,0		
	992	8,6	146	0,74	1,74		
	1098	5,2	302	2,52	3,52		
Известково-коагулированная		0,6	10	0,72	1,72	1,5–1,7	1,1–1,2
		0,6	30	2,17	3,17		
		0,6	60	4,35	5,35		
		1,5	10	0,29	1,29		
		1,5	30	0,87	1,87		
		1,5	60	1,74	2,74		

лять 10–30 %. Доля продувочной воды котлов ВД в смеси с концентратом ООУ, подаваемым на выпарную установку, невелика и составляет 5–10 %.

Особенность представленной на рис. 3 комбинированной схемы заключается в том, что умягченная вода подается только на питание ООУ. Соответственно, выпарная установка работает только на концентрате ООУ и потому может быть ограниченной производительности. Так, при производительности ООУ 100–300 м³/ч расход концентрата будет соответственно в пределах 15–40 м³/ч, а производительность выпарной установки — не менее 90 % указанного расхода. При ограниченной производительности ООУ, входящей в систему ВПУ, необходимая потребность в обессоленной воде может быть компенсирована увеличением производительности выпарной установки. В этом случае, как показано на рис. 3 (пунктиром), часть умягченной воды может подаваться напрямую в БСП.

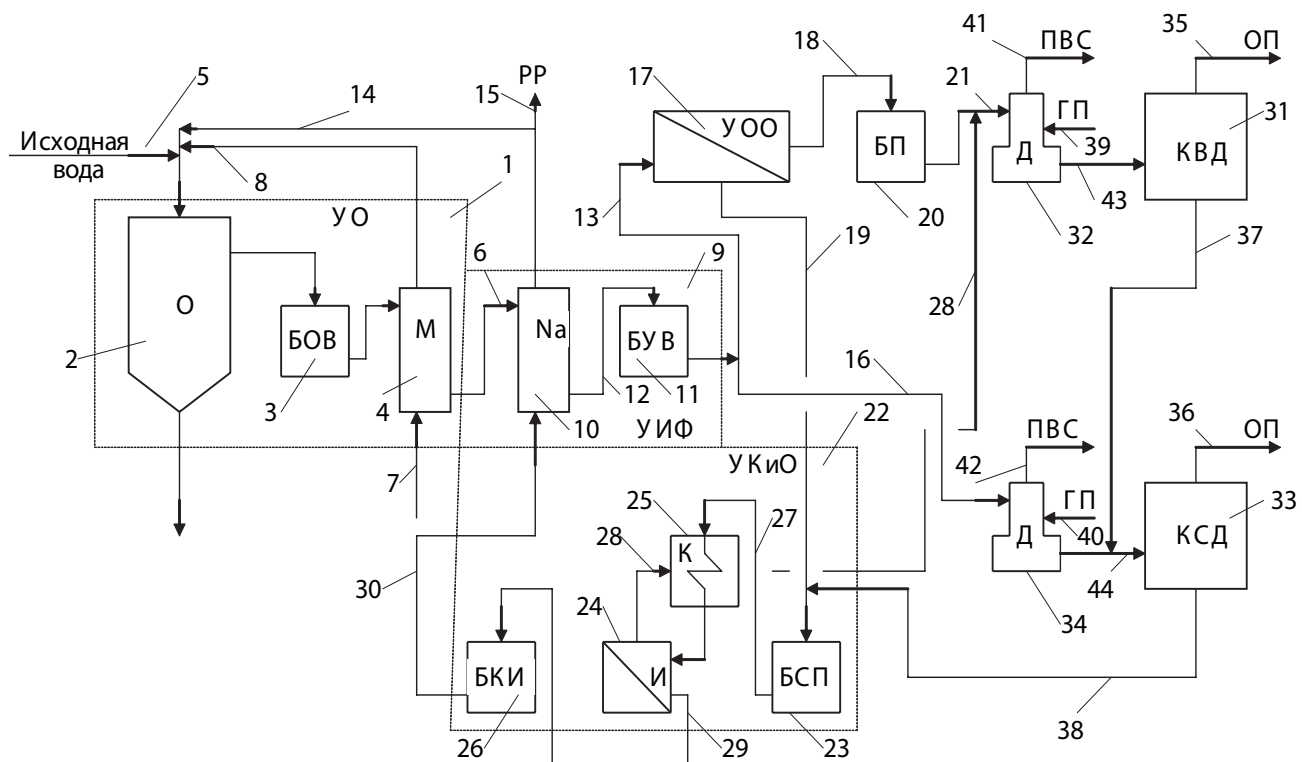
Таким образом, общим для всех трех схем является концентрирование умягченной воды с последующим использованием для регенерации Na-катионитных фильтров. В связи с этим необходимо привести количественные критерии, подтверждающие возможность применения такого технологического приема. Как известно, необходимые избытки регенеранта (натриевых солей) по

отношению к поглощенным катионам жесткости составляют при прямотоке 1,5–3,0 экв/экв (в зависимости от исходной жесткости), а при противотоке 1,2–1,5 экв/экв.

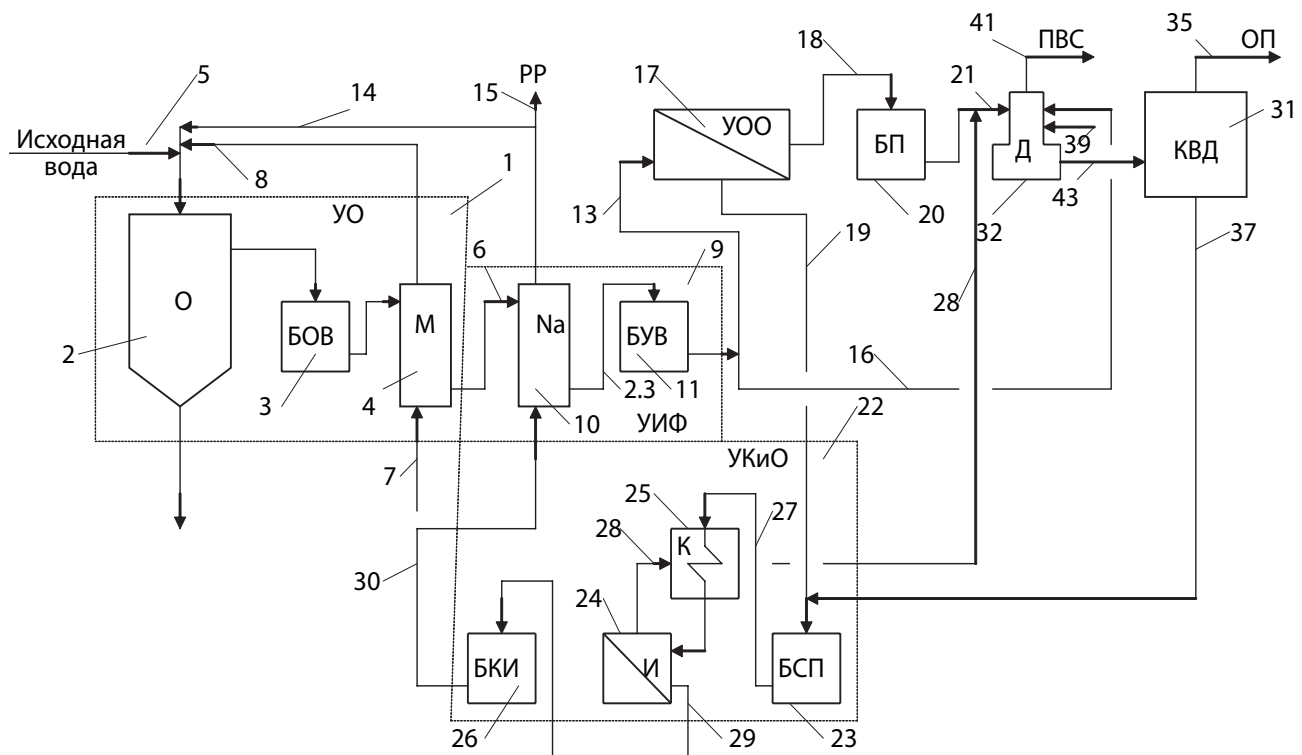
В табл. 1 для вод различной минерализации приведены характерные показатели содержания натрия, жесткости и их отношение в исходной воде, нормативные и располагаемые избытки натриевых солей для регенерации Na-фильтров по рассматриваемой технологии.

Как видно из табл. 1, располагаемые избытки натриевых солей практически для всех типов природных вод достаточны для проведения регенерации Na-фильтров в противоточном режиме, а для некоторых типов природных вод — и для проведения регенерации в прямоточном режиме. Для природных вод после известкования и коагуляции соотношение натрия и жесткости существенно увеличивает избыток натриевых солей, что позволяет проводить регенерацию как в противоточном, так и прямоточном режиме.

Необходимо отметить, что для ряда природных вод с повышенным содержанием натрия (как исходных, так и после известкования) избыток натриевых солей столь значителен, что получаемые по рассмотренным схемам концентраты могут быть использованы и для регенерации Na-фильтров установки подпитки теплосети.



Система химической очистки и обессоливания воды



Система химической очистки и обессоливания воды

Водоподготовка

- необходимый элемент Вашей тех **H₂O** логии



® Применение современных технологий водоподготовки

- * позволяет получить воду, отвечающую самым высоким требованиям и стандартам качества согласно ассортименту выпускаемой продукции, сохранив при этом уникальные вкусовые качества воды
- * увеличивает стойкость, поддерживает качество готовой продукции, придает продукту оригинальный вкус и неповторимость
- * оптимизирует процесс водоподготовки с точки зрения соотношения критериев: технология, капитальные затраты, эксплуатационные расходы



ООО «КФ Центр» 127106, г. Москва, ул. Гостиничная, д. 9, корп. 4
тел./факс: (495) 482-17-92, 482-17-94, 482-17-97 www.kfcentr.ru e-mail: info@kfcentr.ru

АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА ПРИЧИН НАРУШЕНИЙ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ТЭС

Сметанин Д.С., доцент, зам. завкафедрой ТВТ
Готовцев П.М.

Московский энергетический институт

В настоящее время на тепловых электростанциях (ТЭС) используется пар высоких параметров, что приводит к существенному повышению требований к качеству водно-химического режима (ВХР) энергоблоков. Последнее объясняется стремлением повысить их надежность.

По данным зарубежных источников [1], до 60% от общего числа нарушений в работе оборудования энергоблоков происходит по причинам, связанным с ведением ВХР. В связи с этим на ТЭС и атомных электростанциях (АЭС) как за рубежом, так и в России обязательным является наличие и функционирование систем химико-технологического мониторинга (СХТМ). Важность внедрения СХТМ отмечена многочисленными научными публикациями и подтверждается выпуском общих технических требований [2].

Система химико-технологического мониторинга позволяет:

- оптимизировать ВХР паро-конденсатного тракта и работу водоподготовительных установок;
- снизить повреждаемость оборудования электростанций;
- повысить производительность труда химических цехов электростанций.

Принципиальная схема СХТМ представлена на рис. 1. Отбор проб производится в точках контроля, выбранных в соответствии с [2]. Задача устройств подготовки пробы заключается в том, чтобы привести давление и температуру сред до значений, допустимых для работы приборов автоматического химического контроля (АХК). Результаты измерений от приборов АХК направляются на устройства сбора данных, где их аналоговые сигналы преобразуются в цифровые и направляются на сервер. Аналогично вводятся результаты теплотехнического контроля (ТТК), необходимого для анализа состояния ВХР. Вся информация заносится в базу данных (БД) СХТМ, размещенную на сервере. Доступ к БД возможен через автоматизированные рабочие места (АРМ). АРМ устанавливаются в экспресс-лаборатории, в химическом цехе, на блочном щите управления. Результаты измерений лабораторного химического контроля вводятся в БД вручную на соответствующих АРМ персонала химического цеха. На сервере организована первичная обработка и хранение данных. Более глубокая обработка данных, связанная с диагностикой поведения ВХР и поддержкой оператора, может производиться либо на сервере, либо

на отдельных компьютерах с записью информации в БД. Представление информации о текущем состоянии ВХР осуществляется в табличном и графическом виде на всех АРМ СХТМ ВХР. Кроме того, программное обеспечение, используемое в СХТМ, позволяет просматривать данные за весь период работы системы с момента начала ее эксплуатации, а также позволяет заносить в БД информацию, накопленную в процессе эксплуатации оборудования до внедрения СХТМ.

В настоящее время резко возрастает актуальность применения методов диагностики нарушений ВХР в СХТМ на действующих ТЭС и АЭС [3]. На сегодняшний день существует два подхода к разработке методов диагностики состояния ВХР: исходя из опыта эксплуатации и на основе математического моделирования процессов. Разнообразие методов, обобщающих опыт эксплуатации, и сложность математического описания процессов в паро-конденсатном тракте ТЭС требует предварительного тестирования разработанных моделей для диагностики состояния ВХР. Для этих целей на кафедре Технологии воды и топлива МЭИ (ТУ) разработана СХТМ экспериментальной установки, моделирующей работу энергетического котла высоких параметров (далее — установки). В настоящее время ведутся работы по внедрению в СХТМ-установки подсистемы тестирования методов диагностики состояния ВХР.

Принципиальная схема СХТМ-установки представлена на рис. 2. Аналоговые сигналы приборов АХК направляются на модули сбора данных USB-6008 фирмы National Instruments. Каждый из этих модулей обладает восемью каналами аналогового ввода и двумя каналами аналогового вывода. Модули по шине USB связываются с сервером, на котором ведется БД. Программное обеспечение (ПО) строится на базе среды National Instruments LabVIEW 7.0. Данный программный комплекс построен по методологии символьного программирования и предназначен для измерительных систем и автоматизированных систем управления.

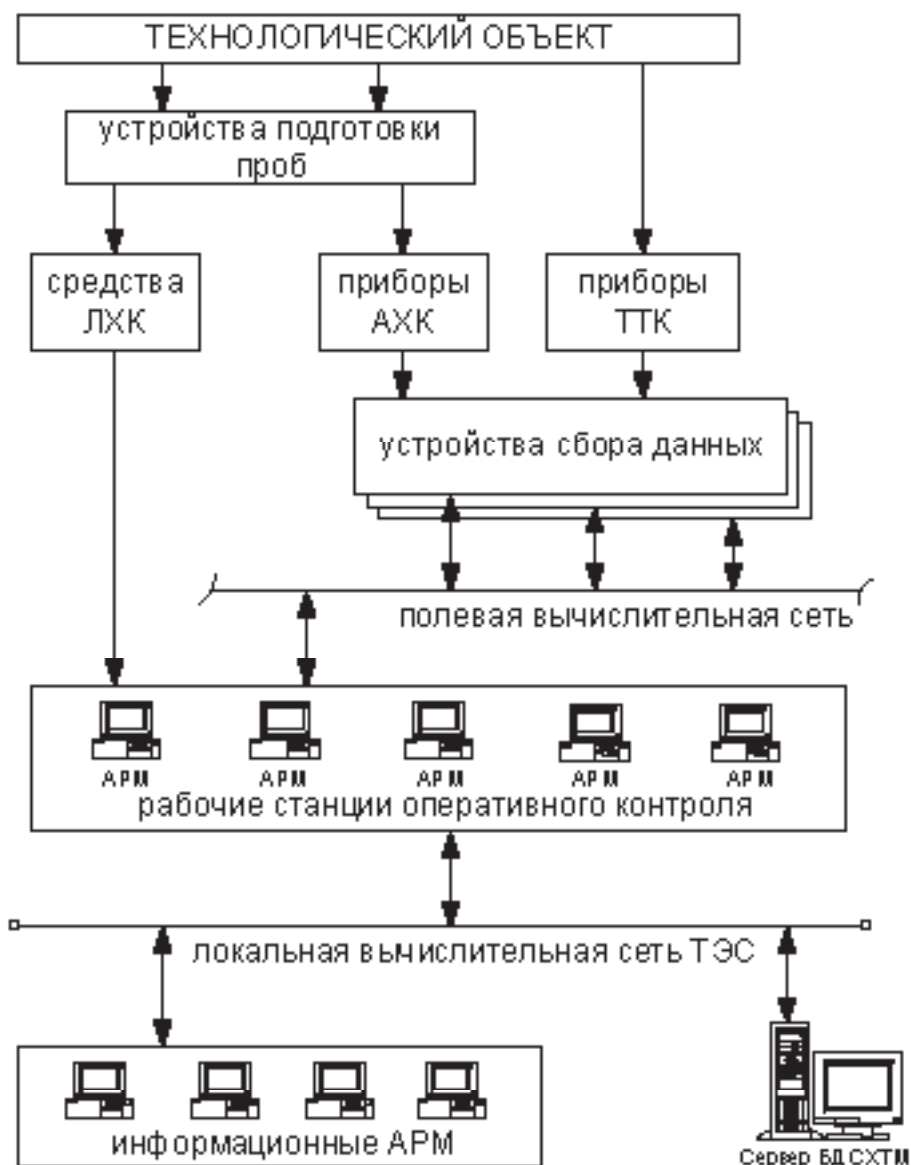


РИС. 1
Принципиальная схема CXTM BXP ТЭС

Для проверки какого-либо метода диагностики требуется создавать новые подпрограммы, каждая из которых представляет собой сложную систему одного класса. Для любой такой системы возможен набор критериев, которые позволяют оценить ее эффективность [4]. Другими словами, независимо от того, основан ли метод на опыте эксплуатации или построен путем математического моделирования процессов, его можно оценить по одним и тем же показателям.

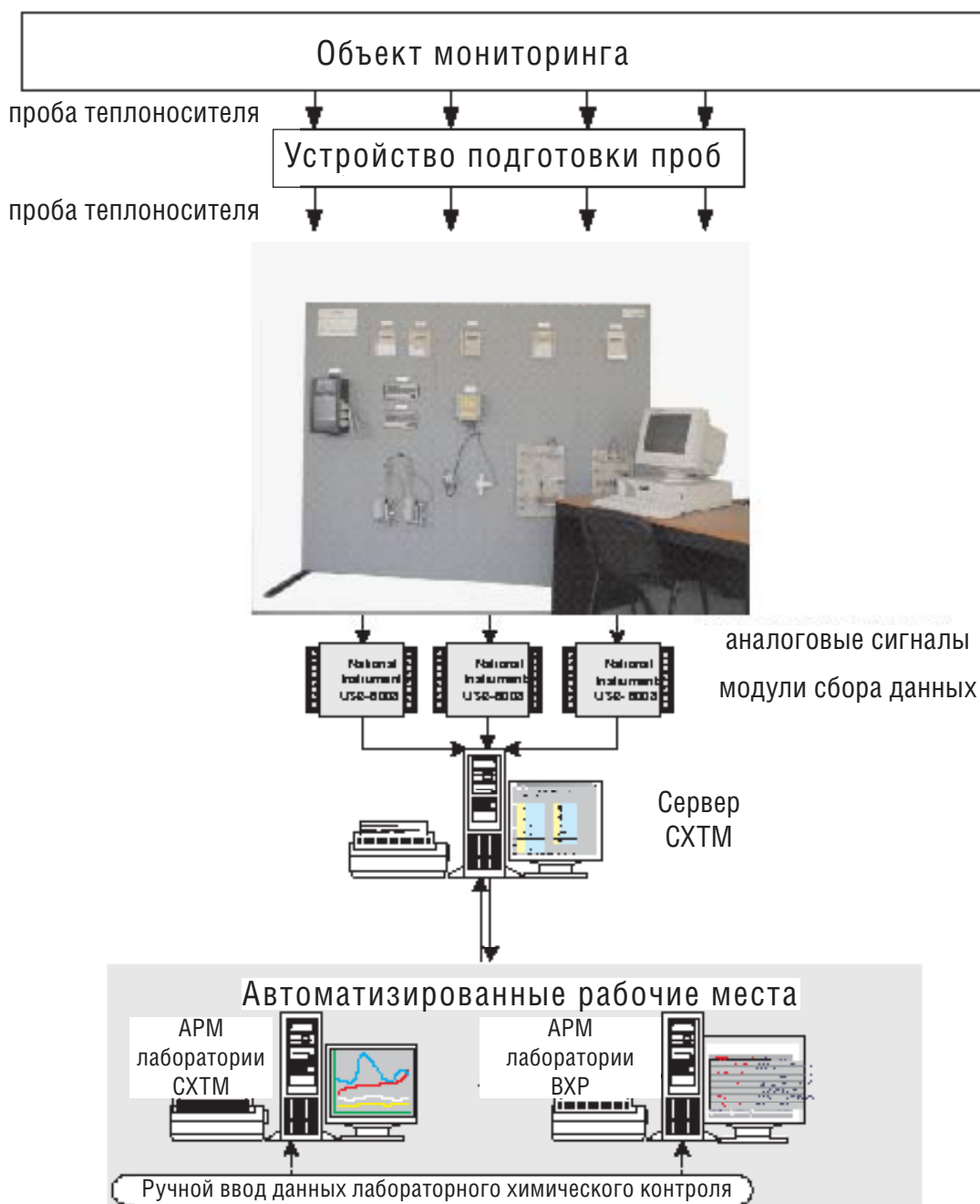
Показатели, применяемые для оценки эффективности работы того или иного метода, можно разделить на три группы:

- показатели, характеризующие качество проводимой диагностики, т.е. способность метода выполнять его прямую задачу;
- адаптивность метода и способность к коррекции ошибок или возможность его обучения;

— показатели метода как программного алгоритма и, соответственно, возможности его программной реализации.

Наиболее важными являются показатели первой группы, так как способность метода диагностики точно и качественно выполнять свои функции является преобладающей. Набор показателей второй группы показывает способность того или иного метода изменять свое состояние в зависимости от режима работы оборудования. От показателей третьей группы зависит сложность программной реализации рассматриваемого метода и, следовательно, системные требования к вычислительным мощностям на ТЭС. Сравнительная оценка различных методов возможна на основе анализа показателей названных трех групп после их применения к одним и тем же задачам.

В качестве примера рассмотрим некое нарушение, например выход какого-либо параметра за нормируемые

**РИС. 2**

Принципиальная схема СХТМ-установки

пределы, которое определялось бы четырьмя причинами — А, В, С, D. Пусть для выявления каждой из причин нарушений требуется проверка на соответствие нормируемым значениям пяти параметров ВХР — а, b, с, d, e. Все параметры измеряются приборами АХК. Каждая из причин нарушений характеризуется собственным набором параметров, вышедших за нормируемые пределы, например, для причины нарушения А таковыми параметрами являются а, b, с; для В — b, с, e; для С — а, с, d; для D — а, b, d, e. Наиболее опасной причиной нарушения является причина А, далее следуют С, В, D. Задача методов — выявить причину нарушения, используя данные

АХК. Рассмотрим четыре возможных метода решения этой задачи:

- построение алгоритма в виде дерева вычислений;
- построение численного алгоритма;
- построение алгоритма распределенного поиска причин нарушений;
- построение алгоритма, работающего с массивами.

Алгоритм в виде дерева вычислений — простейшая форма решения, заключающаяся в проверке параметров в определенной последовательности на соответствие нормируемым значениям. В рассматриваемом случае ло-

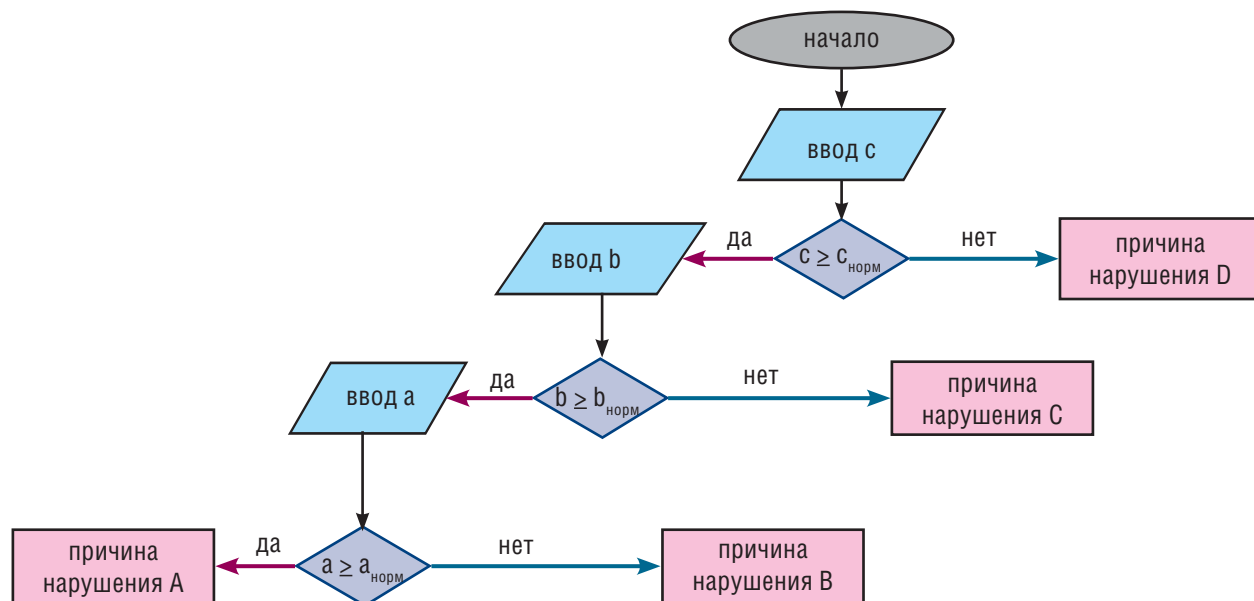


РИС. 3
Алгоритм в виде дерева

гично начать с параметра c , так как в случае его соответствия нормам единственным решением является причина нарушения D . По аналогии следующим параметром будет b , так как его проверка позволит выделить из оставшегося набора причин нарушений состояние C .

Полученный в итоге алгоритм представлен на рис. 3, запуск которого осуществляется при возникновении нарушения.

Численный алгоритм заключается в поиске локальных максимумов некоторой функции $F(a, b, c, d, e)$, характеризующей состояние ВХР в условиях возникновения нарушения. Данная функция должна быть непрерывна в множестве допустимых значений переменных и дифференцируема по каждой из переменных в том же множестве значений. Допустимое множество значений переменных — это все возможные значения, которые могут принимать входные параметры, например, для величины рН это множество можно определить как диапазон измерения. В соответствии с [5] для описания сложной системы теоретически возможно построить такую функцию, локальные максимумы которой будут характеризовать некие целевые состояния этой системы.

Предположим, что полученная функция $F(a, b, c, d, e)$ имеет четыре локальных максимума, соответствующих причинам нарушения A, B, C, D . При этом глобальный максимум определяется состоянием, в котором все пять параметров превышают нормируемые значения. Следует отметить, что полученная функция не должна описывать состояние теплоносителя в точности, необходимо только, чтобы при состояниях входных параметров, соответствующих причинам нарушения, она достигала локальных максимумов.

Алгоритм распределенного поиска причин нарушений состоит из отдельных расчетных узлов, каждый из

которых определяет собственную причину возникшего нарушения. Таким образом, причины нарушения можно определять последовательно либо параллельно, в зависимости от вероятности события или степени его опасности. При последовательном определении необходимо соблюдать следующие правила:

- 1) при наличии двух и более причин нарушения, определяемых двумя и более общими входными параметрами, первой проверяется та, которой соответствует наибольшее количество входных параметров;
- 2) применительно к задачам диагностики ВХР при расположении расчетных узлов предпочтение отдается тем, которые не требуют измерений средствами ЛХК. При параллельном определении причин нарушения:
 - 1) расчетные узлы вводятся в действие одновременно;
 - 2) при наличии двух и более общих входных параметров искомой причиной нарушения является та, которой соответствует наибольшее количество входных параметров.

Построение таких алгоритмов целесообразно при сложных задачах, когда существует большое количество возможных причин нарушения. В рассматриваемом примере распределим расчетные узлы по степени опасности и с учетом правил 1 и 2 получим алгоритм, представленный на рис. 4. Каждый из расчетных узлов представляет собой алгоритм проверки параметров на соответствие нормам, если все проверенные параметры вне норм, то на выходе из расчетного узла выдается сообщение, и работа всего алгоритма поиска причин нарушений останавливается.

Как видно из рис. 4, порядок выявления причин нарушений совпадает со степенью их опасности, это объясняется тем, что в приведенном примере нет причин нару-

Данные с приборов АХК

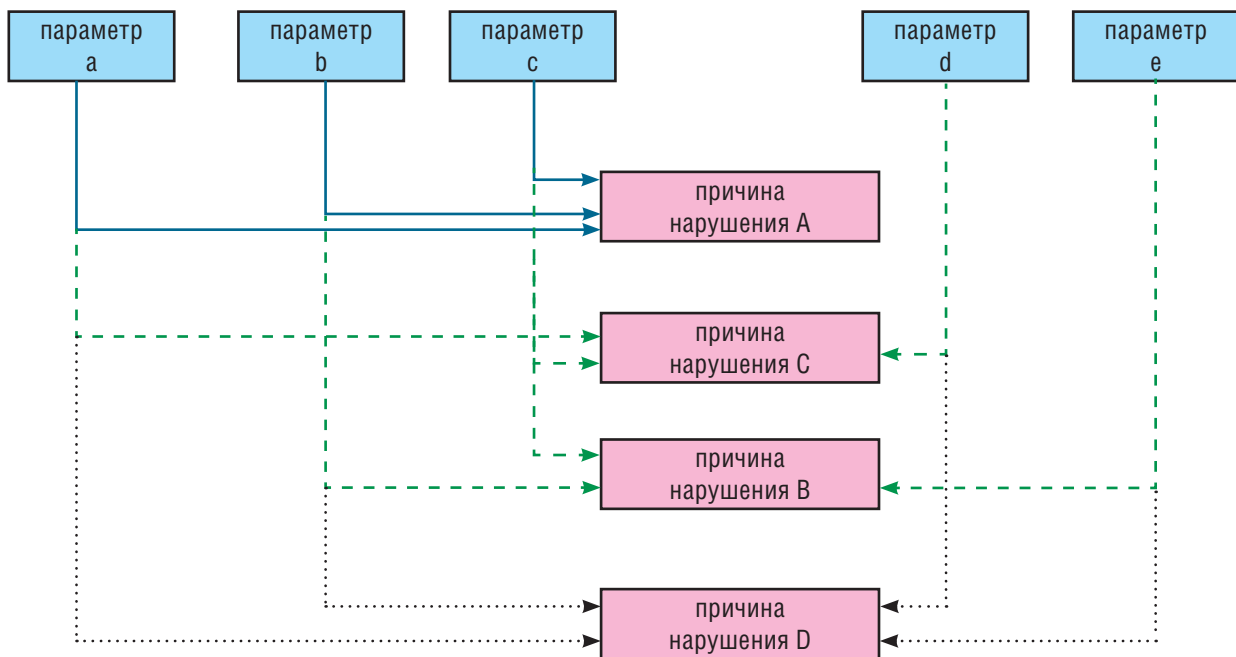


РИС. 4

Алгоритм распределенного поиска причин нарушений

шений, описываемых в правиле 1 для последовательного определения причин нарушения.

Алгоритмы, работающие с массивами, основаны на применении массивов дискретных значений. Выявление причины нарушения проводится путем сравнения строки массива результатов измерений со строками массива причин нарушений.

В массиве причин нарушений каждая строка соответствует причине возникшего нарушения, а столбец — значению параметра, величина которого характеризует выявляемую причину. В массив вносятся дискретные значения: 1 (или — истина) означает, что параметр вышел за нормируемое значение, а 0 (или — ложь) — параметр соответствует нормам. Для величин, имеющих верхнее и нижнее нормируемые значения, создаются два столбца. Массив причин нарушений разрабатывается в результате анализа физической модели объекта и обобщения опыта эксплуатации и является массивом констант.

Массив результатов измерений по структуре аналогичен массиву причин нарушений, но состоит из одной строки и того же количества столбцов. В массив вносятся результаты обработки текущих измерений. Так же как и в массиве причин нарушений, параметры записываются в дискретном виде. Массив результатов измерений — это массив переменных, который составляется заново на каждой программной итерации по мере обновления входных параметров.

Совпадение значений в строке массива результатов измерений и значений в i -той строке массива причин нарушений означает, что причина нарушения ВХР — это событие, соответствующее данной строке. Таким образом, весь алгоритм поиска причин нарушений ВХР можно разбить на две части:

- проверка всех параметров на соответствие нормам, результатом работы которой является набор дискретных значений в массиве результатов измерений;
- сравнение полученного массива со строками массива причин нарушений, в результате которого и определяется причина нарушения.

Первый этап при разработке алгоритмов, работающих с массивами значений, — это составление массива причин нарушений. Следует отметить, что если параметр не рассматривается для выявления нарушения, предполагается, что он находится в пределах нормируемых значений. Таким образом, необходимо проводить детальный анализ состояния ВХР для каждой конкретной причины нарушения. Для рассматриваемого примера массив причин нарушений $M(C)$ будет выглядеть следующим образом:

$$M(C) := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Массив результатов измерений $M(V)$ для рассматриваемого примера будет содержать 1 строку и 5 столбцов (по числу входных параметров). Изначально все элементы массива нулевые и переписываются по мере появления новых данных. Общий вид массива $M(V)$:

$$M(V) = [D(a); D(b); D(c); D(d); D(e)], \quad (2)$$

где:

$D(i)$ — переменная, принимающая значение 0 или 1 при нахождении параметра i в пределах нормы или при превышении ее соответственно.



Полученный массив сравнивается с массивом $M(0)$ той же размерности, но содержащим только нулевые значения. Если $M(V) = M(0)$, то все входные параметры находятся в пределах нормируемых значений и работа алгоритма на текущей итерации прекращается. Если равенство не выполняется, то массив $M(V)$ сравнивается со строками массива $M(C)$. Равенство с одной из строк говорит о том, что данное событие является причиной возникшего нарушения, и оператору выводится соответствующее сообщение. Общий вид алгоритма показан на рис. 5.

В роли алгоритма сравнения может выступать, например, алгоритм последовательного перебора строк в массиве $M(C)$. Пример такого алгоритма представлен на рис. 6. В общем случае можно предусмотреть дополнительные условия выхода из цикла. Например, таким условием может быть проверка всех строк массива $M(C)$. В таком случае во время ввода новых причин нарушения при добавлении строк необходимо изменять номер последней строки в выбранном условии.

Рассмотрим показатели эффективности первой группы и на их основе сравним предложенные методы решения. Показатели первой группы характеризуют качество проводимой диагностики, т.е. способность метода выполнять его прямую задачу. Все предложенные в примере методы могут выявить причины нарушения. К этой группе также относится погрешность, с которой методы решают задачу. В случае алгоритма в виде дерева вы-

числений погрешность решения задачи определяется погрешностью канала измерения параметров АХК. Сам алгоритм выполняет исключительно операции сравнения параметров и, следовательно, никаких дополнительных погрешностей не вносит. То же самое можно сказать про алгоритмы распределенного поиска причин нарушений и алгоритмы, работающие с массивами. Численные алгоритмы обладают погрешностью, которая определяется их построением. Для рассматриваемой задачи она велика, так как процессы, протекающие в паро-конденсатном тракте ТЭС, являются многофакторными, и при получении функции $F(a, b, c, d, e)$ необходимо принять ряд допущений [6]. Способ поиска локальных максимумов также может оказывать влияние на точность решения алгоритмом поставленной задачи.

Показатели второй группы характеризуют адаптивность метода и его способность к коррекции ошибок. В первую очередь задачей этих показателей является оценка возможности внесения в алгоритм изменений в процессе эксплуатации.

При необходимости коррекции алгоритма, построенного в виде дерева вычислений, требуется построение нового исправленного алгоритма и, соответственно, написание новой подпрограммы. При коррекции же алгоритма распределенного поиска нарушений необходимо лишь исправление требуемого расчетного узла. Такая особенность позволяет сохранить частичную работоспособность алгоритма.

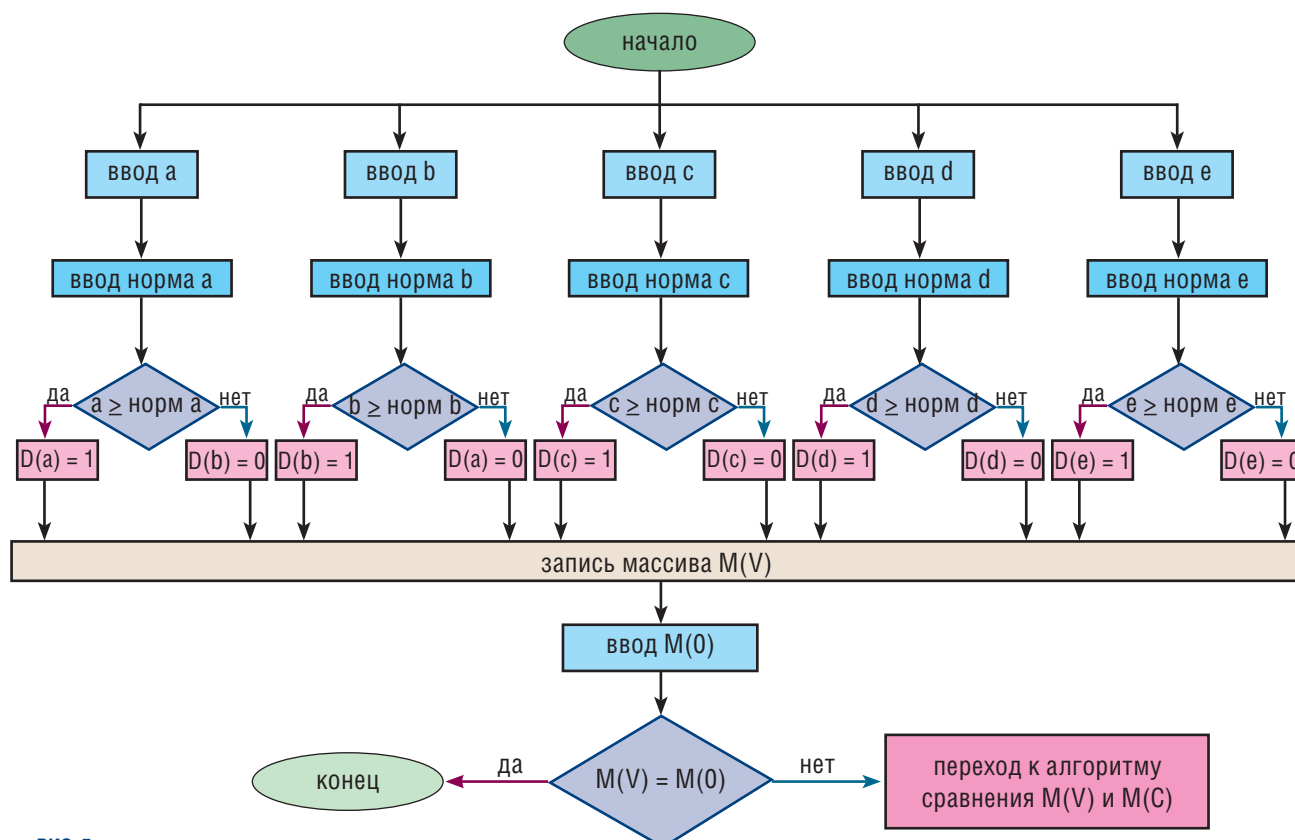


РИС. 5

Алгоритм поиска причин нарушений, построенный на основе анализа массивов данных

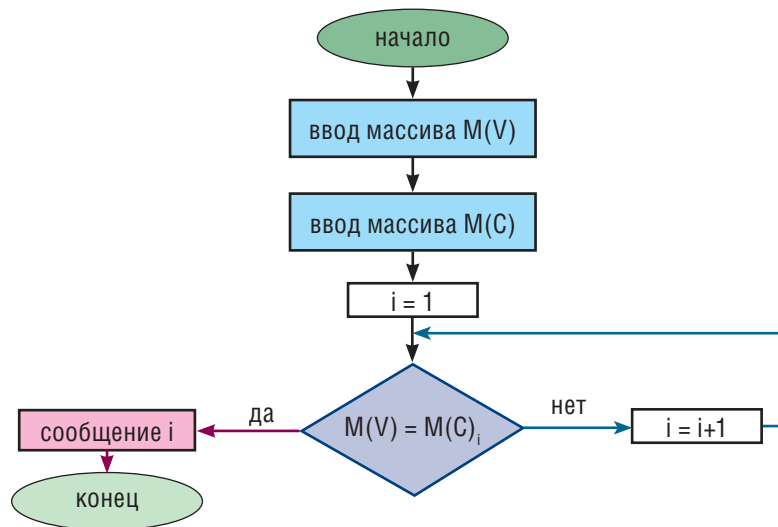


РИС. 6

Алгоритм сравнения массивов $M(V)$ и $M(C)$

Алгоритм, работающий с массивами, содержит всю информацию о нарушении, поэтому с помощью достаточно простого алгоритма возможна коррекция элементов массива причин нарушения, в том числе добавление строк. Во многих языках программирования существуют встроенные функции, позволяющие реализовать различные операции с массивами данных. Коррекцию ошибок необходимо строить на основе ввода информации об объекте. Таким образом, можно построить алгоритм, реализация которого позволит производить коррекцию ошибок, требуя от оператора только знаний о нарушении и причинах его возникновения. Пример такого алгоритма представлен на рис. 7.

Сам алгоритм поиска причин нарушений представлен схематично в верхней части рисунка. После выявления нарушения оператору предлагается осуществить его подтверждение, ответив на вопрос: «Причина нарушения соответствует набору входных параметров?». Если результат положительный, работа алгоритма на текущей итерации прекращается. Если причина нарушения не соответствует набору входных параметров, оператор должен указать причину, которая соответствует этому набору. В том случае, если алгоритм описывает подобную причину, строка массива $M(C)$ заменяется на массив $M(V)$. Таким образом, оператор сам указывает причину нарушения, соответствующую текущему состоянию входных параметров.

Добавление причин нарушения в алгоритм осуществляется специальным алгоритмом и требует от оператора только ввода входных параметров и текста технологического сообщения. По введенным параметрам составляется новая строка массива $M(C)$. Для этого используется алгоритм, аналогичный алгоритму составления массива $M(V)$ (рис. 5). Рассмотренный вариант коррекции невозможно применять, если в алгоритм изначально не включены все входные параметры, необходимые для выявления причин нарушения, так как для добавления новых параметров требуются изменения в алгоритме

составления массива $M(V)$, что невозможно в процессе эксплуатации.

При коррекции ошибок от оператора не требуется знаний о структуре алгоритма и особенностей ПО. Оператор должен правильно указывать причины нарушения и соответствующие им изменения в параметрах. Таким образом, коррекцию ошибок можно производить уже в процессе эксплуатации ПО, в котором реализуется алгоритм.

В случае численного алгоритма, не меняя его структуры, можно добавить алгоритм коррекции, который бы изменил коэффициенты функции $F(a, b, c, d, e)$ так, чтобы локальный максимум, определяющий нарушение A , соответствовал правильному набору параметров, вышедших за нормируемые пределы. Чтобы проверить способность метода к адаптации, в комплекс тестирования вводится подпрограмма, которая позволяет изменить характер самого нарушения.

Показатели третьей группы широко описаны в различных литературных источниках [7, 8]. Цель этих показателей — определить влияние структуры алгоритма на системные требования к программному обеспечению. К этим показателям относятся:

— алгоритмическая сложность процесса K , определяемая как минимальная длина программы $l(p)$ или количество вычислений, необходимых компьютеру для реализации алгоритма при условии, что функция $f(p|x)$, описывающая программную реализацию алгоритма и ее требования к аппаратным ресурсам, в случае исходных данных x генерирует результат y , то есть определяет причины возникшего нарушения для каждого набора входных данных:

$$K = \min l(p): f(p|x) = y; \quad (1)$$

— структурная сложность K_0 , определяемая как минимальная длина программы $l(p)$ при фиксированном значении входных $x = x_0$ и выходных данных $y = y_0$ функции $f(p|x)$:



$$M(V) = M(0)$$

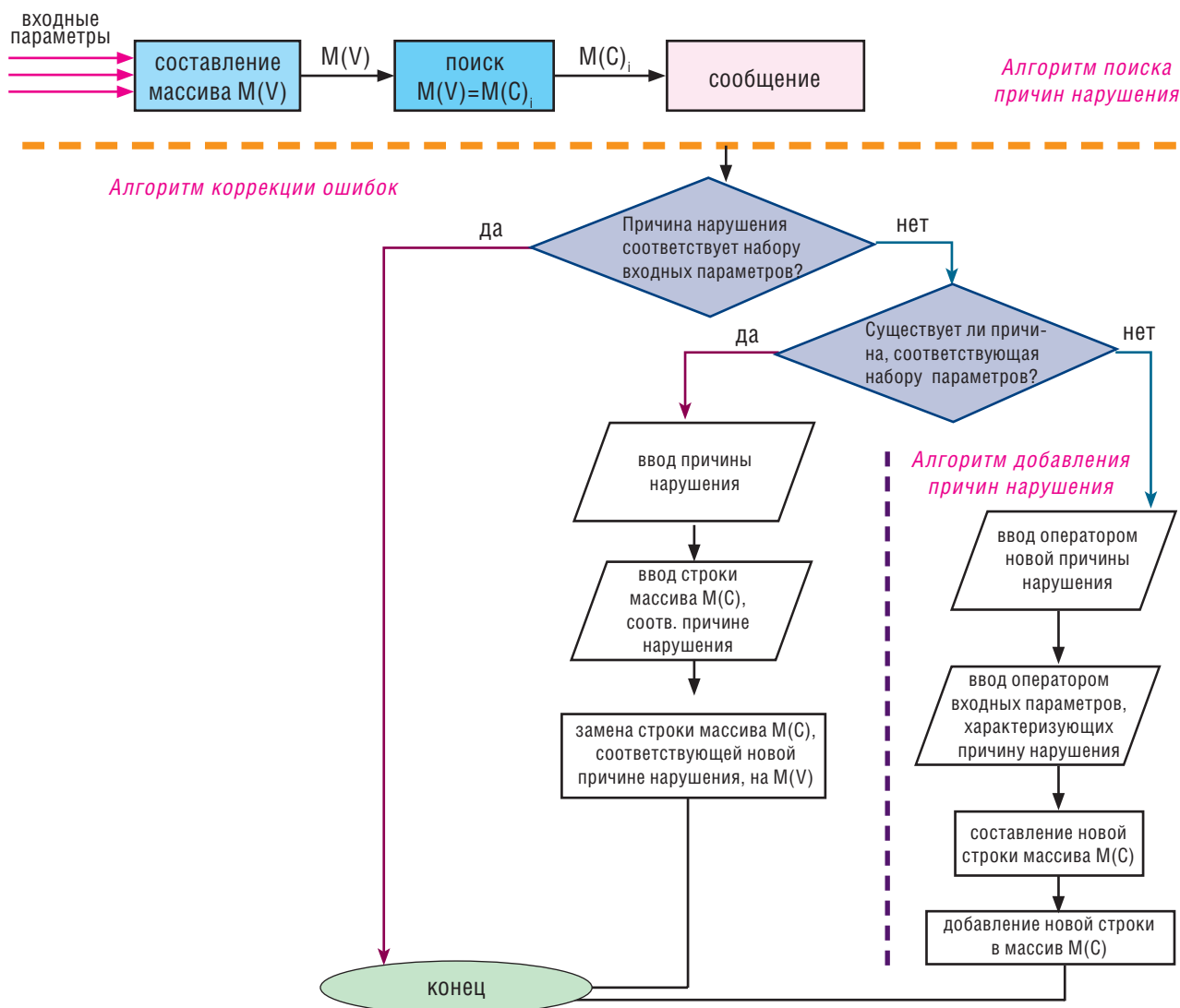


РИС. 7

Алгоритм коррекции ошибок и его интеграция в алгоритм, работающий с массивами

$$K_0 = \min l(p): f(p|x_0) = y_0. \quad (2)$$

Структурная сложность будет выше у алгоритма с большим числом итераций или шагов в цикле, совершаемых для обработки одного набора данных. Среди представленных в статье алгоритмов структурная сложность будет наибольшей у алгоритма, работающего с массивами (рис. 6).

Алгоритмическая и структурная сложность характеризуют сам алгоритм. Помимо показателей алгоритма также необходимо оценивать характеристики программы, реализующей алгоритм, а именно ее вычислительную сложность. Для этого используют временную и пространственную функции. Временная функция t определяется как максимальное число шагов программы (простых операций — сравнения, сложения, вычитания и т.д.) при решении определенной задачи α при фиксированном количестве входных параметров k :

$$t = \max |\alpha| = k t(\alpha). \quad (3)$$

Временная функция позволяет определить длительность работы программы.

Пространственная функция S аналогична временной, но вместо шагов программы определяет максимальное число ячеек памяти, необходимых для решения задачи алгоритмом, и может быть выражена следующим образом:

$$S = \max |\alpha| = k S(\alpha). \quad (4)$$

С помощью соотношения (4) для каждого набора входных данных определяется максимальный объем затраченной памяти.

При тестировании алгоритмов сначала должны оцениваться показатели первой и третьей групп. Следует также учесть, что погрешность методов, основанных на построении некоторой функции $F(a, b, c, d, e)$, может быть

Таблица 2

Преимущества и недостатки алгоритмов различных видов

Вид алгоритма	Показатели оценки эффективности работы алгоритмов		
	1 группа Точность решения, возможные погрешности	2 группа Способность к адаптации и коррекции ошибок	3 группа Сложность алгоритма, возможные требования к системе
Алгоритм в виде дерева	Определяется погрешностью средств измерения	Коррекция и устранение ошибок возможны только путем изменения алгоритма	Наименьшая среди рассматриваемых алгоритмов
Алгоритм распределенного поиска	Определяется погрешностью средств измерения	Возможна коррекция одного или нескольких узлов при сохранении работоспособности остальных узлов алгоритма	Невысокая при последовательном расположении расчетных узлов. Повышение уровня сложности при параллельном расположении расчетных узлов
Численный алгоритм	Определяется погрешностью средств измерения, вносит дополнительную погрешность	Может корректироваться при неизменном количестве анализируемых событий и входных параметров	Зависит от сложности выбранной функции и метода поиска экстремумов
Алгоритм, работающий с массивами	Определяется погрешностью средств измерения	Коррекция ошибок только при неизменном количестве входных параметров, требуется дополнительный алгоритм	Определяется объемом массива данных и алгоритмом сравнения

переменной в зависимости от входных параметров и результатов решения задачи [5]. Далее проводится проверка адаптивности метода и его способность к коррекции ошибок, т.е. оцениваются показатели второй группы. Результаты сравнения различных методов представлены в табл. 2.

Проведенный анализ существующих методов построения алгоритмов диагностики состояния ВХР показал:

Алгоритм в виде дерева и алгоритм распределенного поиска при наименьших системных требованиях обладают наименьшей погрешностью решения задачи. При этом следует отметить более низкую способность алгоритма распределенного поиска к адаптации и коррекции во время эксплуатации. Численный алгоритм обладает самой высокой способностью к адаптации и коррекции, но вносит дополнительную погрешность решения задачи, определяемую точностью построения функции описания процесса, в данном случае состояния ВХР.

Алгоритм, работающий с массивами, обладает незначительной погрешностью и при необходимости коррекции требует построения дополнительного алгоритма.

Выбор вида алгоритма зависит от степени определенности решаемой задачи. Другими словами, если в процессе эксплуатации выявлен набор типовых нарушений и методов их устранения, то можно использовать алгоритмы в виде дерева нарушения. В этом случае также применимы алгоритмы распределенного поиска, к тому же они не теряют полной работоспособности при внесении изменений в расчетные узлы. Численный алгоритм рекомендуется применять в случае отсутствия определенности с возможными причинами нарушений. Алгоритм, работающий с массивами, является наиболее универсальным, так как, с одной стороны, не вносит дополнительных погрешностей, а с другой, обладает способностью к коррекции ошибок.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Dooley R.B. Fossil plant cycle chemistry and availability problems // ESCOM/EPRI Cycle chemistry symposium. South Africa, 1994.
2. РД 153-34.1-37.532.4-2001. Общие технические требования к системам химико-технологического мониторинга водно-химических режимов тепловых электростанций. — М.: ЗАО «Энергетические технологии», 2002.
3. Otakar Jonas Effective cycle chemistry control ESAA Power station chemistry conference, May 15–16, 2000, Rockhampton, Queensland, Australia
4. Монахов С.В., Савиных В.П., Цветков В.Я. Методология анализа и проектирования сложных информационных систем. — М.: Просвещение, 2005.
5. Minsky M.L. Computation: Finite and Infinite Machines. Second edition Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1997.
6. Jonas O., Machemer L. Tight control of cycle chemistry key to successful commissioning. Combined cycle journal: first quarter, 2004.
7. Casti J. Connectivity, Complexity, and Catastrophe in large-scale systems. Cambridge University Press, Cambridge, 1998.
8. Klir G.J. Complexity: some general observation. System Research, vol. 2, 1985.



ИНЖЕНЕРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ КРУПНЫХ АЭРОТЕНКОВ ПО ЭКОНОМИЧНОМУ ПРИНЦИПУ



Баженов В.И., к.т.н.

ОАО «Лизинг экологических проектов»

Главной технологической задачей в условиях любого государства является соблюдение утвержденных норм и правил, регламентирующих отведение очищенных сточных вод в водоемы и водотоки.

О ЗАДАЧАХ ТЕХНОЛОГА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

В развитых странах мира и в России подход к нормированию сброса вод как различен, так и схож одновременно. Схож — вследствие осознанной необходимости внедрения технологий, обеспечивающих удаление биогенных элементов. Различен — поскольку за рубежом нормирование учитывает существенные финансовые затраты на внедрение современных технологий поэтапного достижения соответствующего качества очищенной воды, а в России любой современный проект должен обеспечивать достижение установленных жестких норм [1, 2] для хозяйственно-питьевых и культурно-бытовых нужд населения или для рыбного хозяйства, табл. 1.

Замедление и даже обратимость процесса эвтрофикации принципиально возможны путем прекращения доступа в водоемы биогенных элементов С, Р, N. CO₂ поглощается водой из воздуха, поэтому ограничить концентрацию углерода в воде сравнительно трудно. На общую продуктивность водоемов влияет количество и характер соединений азота и фосфора. При благоприятных условиях 1 мг азота продуцирует 20–25 мг водорослей, 1 мг фосфора — 40–250 мг.

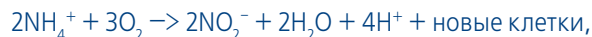
Грамотную технологическую оценку и подбор способов очистки сточных вод для конкретных условий водохозяйственных объектов следует производить на базе знаний о кинетике процессов очистки, а также гидродинамике сооружений. О последнем часто забывают, а зря, поскольку инженерное оформление современных процессов очистки сточных вод в аэротенках — это комплексное техническое решение, включающее как кинетику, так и гидродинамику процессов.

О МЕХАНИЗМЕ УДАЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

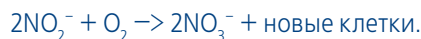
Для роста микроорганизмов активного ила содержание азота и фосфора необходимо. Каждая клетка содержит 12% азота и 2% фосфора по весу. Если благородные технологические намерения заключаются в увеличении степени удаления биогенных элементов по отношению к указанным величинам процессов обмена веществ — этот процесс очистки сточных вод называется биологическим удалением биогенных элементов. Схематически процессы удаления биогенных элементов [4, 5, 6] представлены на рис. 1.

Процесс удаления азота, как известно, связан с биореакциями нитрификации и денитрификации. Частичное окисление исходного аммония до нитритов и нитратов происходит через трофическую цепочку автотрофов: Nitrosomonas и Nitrobacter, рис. 2. Эти автотрофы окисляют неорганические соединения азота для получения энергии:

Nitrosomonas



Nitrobacter



На процесс нитрификации, протекающий в аэробных условиях (зона АЭР), влияют:

- возраст ила;
- температура (идеальные условия — 30–35°, изменение с 20 до 10° тормозит процесс на ~30 %);
- КРК — концентрация растворенного кислорода (4,6 стехиометрических мг O₂ на мг окисленного N-NH₄);

Таблица 1

Нормирование в России сброса в водоемы биогенных элементов

Биогенные элементы	Нормативы, мг/л	
	для культурно-бытового водоема	для рыбохоз. водоема
Азот аммиак (N)	2	0,05
Азот аммонийный (N)	—	0,39
Азот нитритов (N)	0,8	0,02
Азот нитратов (N)	10,2	9,1
Фосфаты (P)	—	0,2

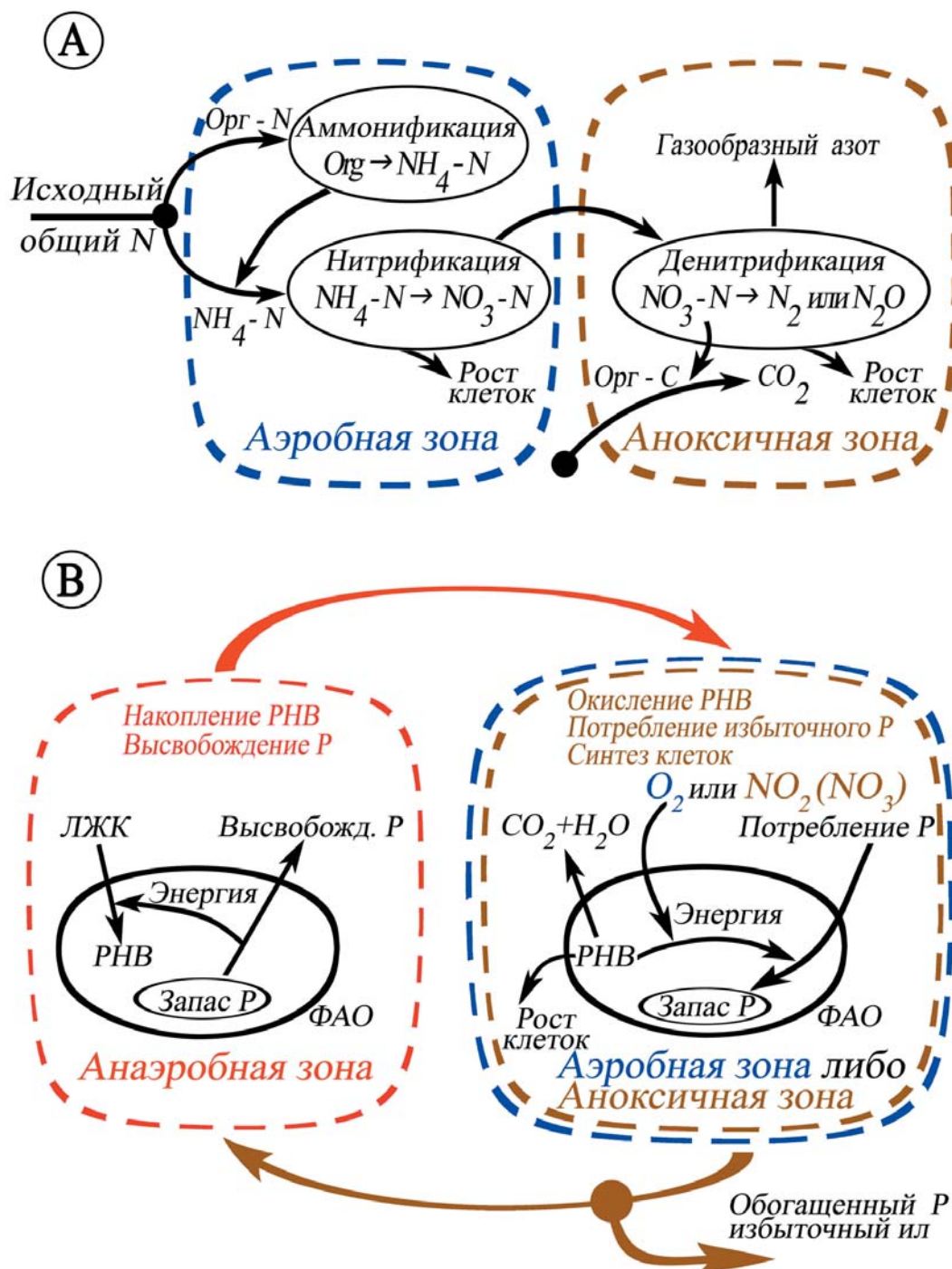
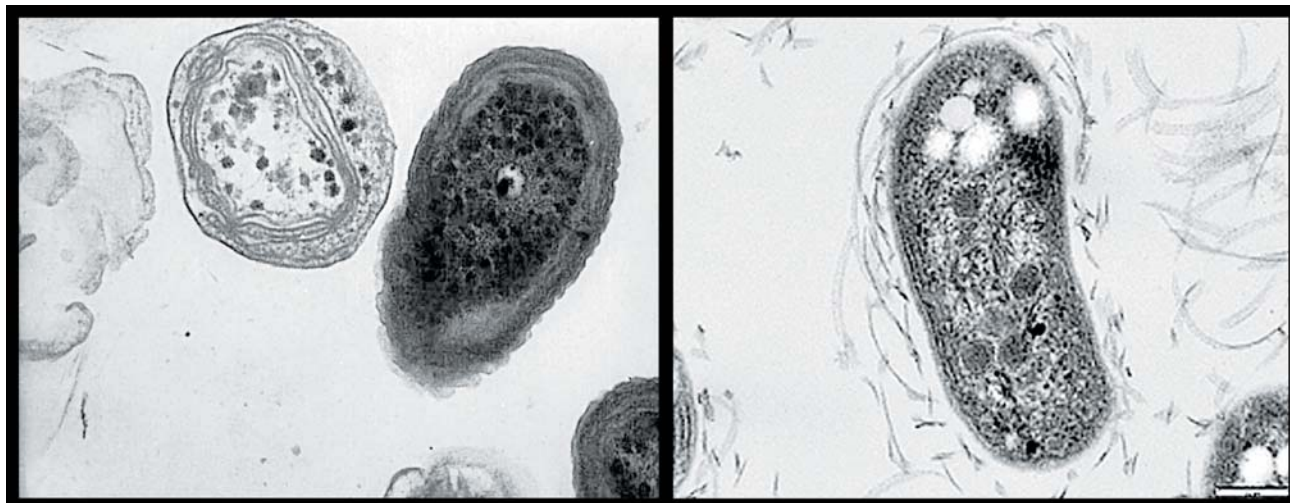


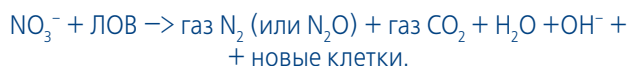
РИС. 1
Механизм биологического удаления азота (А) и фосфора (В)

**РИС. 2**

Электронное микрофотографирование: тонкие срезы клеток *Nitrosomonas europaea* (слева) и *Nitrobacter winogradskyi* (справа). Авторство соответственно: Mary Ann Bruns (1995 г.) и W.J. Hickey, University of Wisconsin-Madison (2006 г.)

- щелочность и pH (7,1 мг щелочности по CaCO_3 на мг окисленного N-NH_4 , уменьшение щелочности снижает pH и замедляет нитрификацию);
- концентрация ингибиторов (некоторые тяжелые металлы и органические соединения).

Процессы денитрификации — это последующая за нитрификацией фаза (или одновременная с ней фаза), которая восстанавливает нитриты и нитраты в газовую фракцию N_2 и N_2O , что происходит посредством участия гетеротрофов. Процесс требует анаэробных условий (Анокс) и источника легкоокисляемых органических веществ (ЛОВ, часть БПК). Необходимо присутствие связанного кислорода (NO_2 , NO_3) и отсутствие КРК:



Процесс восстанавливает щелочность (из расчета 3,6 мг по CaCO_3) и потребляет связанный кислород (2,9 мг O_2 на мг снятого N-NO_3).

Сочетание процессов нитрификации и денитрификации в едином сооружении биоочистки способствует частичному восстановлению щелочности и экономии энергозатрат на ввод кислорода. Кроме того, зона «Анокс» является селектором, улучшающим критерий илового индекса системы, особенно если гидродинамический режим реактора приближен к вытеснителю [3].

Наиболее эффективным источником энергии и углерода (хотя может использоваться любой биологически окисляемый субстрат) для денитрификаторов-гетеротрофов является легкоокисляемая органическая фракция (ЛОВ). Для надежной денитрификации требуется ориентировочное соотношение БПК: общий N = 3:1. Реальное соотношение зависит от природных условий и степени биоокисляемости субстрата (или исходных вод). Преобладание доли легкоокисляемой органической фракции приветствуется, поскольку увеличивает скорость денитрификации. Высокие скорости денитрификации дости-

жимы при использовании метанола или ЛЖК (летучие жирные кислоты). Повышение температуры процесса положительно сказывается на его скорости, и, наоборот, снижение температуры, например, с 20 до 10 ° тормозит процесс на ~ 75 %.

Процесс удаления фосфора осуществляется гетеротрофами — фосфат аккумулирующими организмами (ФАО). ФАО разнообразны, при этом роль *Acinetobacter*, рис. 3, наиболее ясна и описана. Содержание фосфора в биомассе обычно 3–5 % по весу, но может достигать до 20 %. Доля ФАО, т. о., в активном иле — это ключевой фактор, определяющий степень удаления фосфора. Для процесса дефосфатации требуется обеспечить следующие конструктивные элементы:

- анаэробную зону («Анаэр») с легкоокисляемым субстратом в форме ЛЖК;
- последовательно с ней аэробную зону (АЭР) или аноксичную (Анокс) зону;
- рецикл обогащенных фосфором ФАО в зону Анаэр.

ФАО — это гетеротрофы, которые приспособились к условиям чередования анаэробных и аэробных условий, что достаточно часто встречается в природе. Выработанный ими в ходе эволюции механизм следующий.

В зоне «Анаэр» ФАО аккумулируют ЛЖК как источник углерода в форме poly- β -hydroxybutyrate (PHB). Легкоокисляемое вещество, в первую очередь ЛЖК (летучие жирные кислоты), являются оптимальным субстратом для гетеротрофов и вырабатываются анаэробными и факультативно аэробными видами в ходе гидролиза и последующего кислого брожения в анаэробных условиях. Однако они недоступны для обычных гетеротрофов в этих условиях. ФАО способны накапливать их в виде запасного внутриклеточного субстрата в форме PHB. Для этого процесса необходима энергия. Источником энергии являются полифосфатные связи (аналогичные АТФ). При этом происходит гидролиз полифосфатов с высвобождением фосфора в раствор и потреблением ЛЖК из рас-

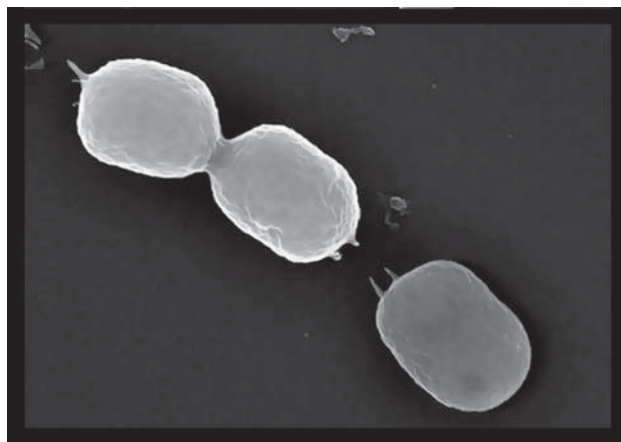
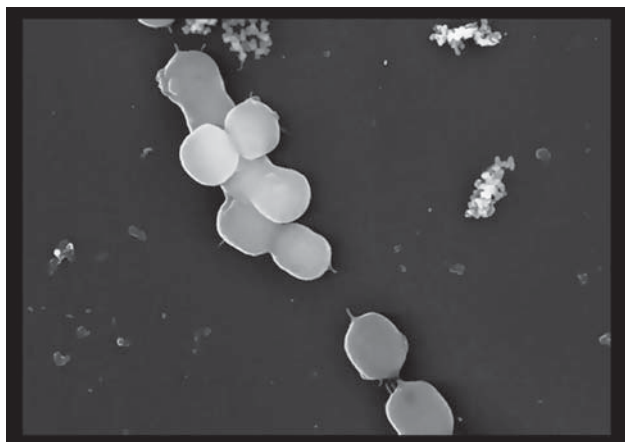


РИС. 3

Электронное микрофотографирование *Acinetobacter baylyi* (довольно редкий кадр, любезно предоставленный Dr. Ulrike Gerischer, Universitt Ulm Mikrobiologie & Biotechnologie, Germany, 2007 г.)

твора. Другие субстраты, предположительно, недоступны для ФАО.

В этой зоне («Анаэр») ФАО, будучи аэробами, не способны использовать ЛЖК для роста клеток. Вместо этого ЛЖК используются для пополнения клеточного запаса РНВ при его утилизации в последующей аэробной зоне («АЭР», «Анокс»). Иначе говоря, в зоне «Анаэр» ФАО не размножаются, а попросту «жиреют». Энергия этого процесса довольно мощна и срабатывает наподобие биологической аккумуляторной батареи, разрушая скопленные полифосфатные соединения и высвобождая фосфор вне клетки («Анаэр»).

Накопленный в виде РНВ субстрат, как источник углерода и энергии, потребляется в аэробных или аноксичных условиях («АЭР», «Анокс»). При этом происходит рост клеток и одновременно генерируется новый запас полифосфатов из исходных сточных вод, заряжая т. о. биологическую аккумуляторную батарею. Значительно большее высвобождение энергии при окислении РНВ, чем энергозатраты в анаэробной зоне (в 24–36 раз) на его формирование, обеспечивают прирост ФАО на 10–20 % меньше, чем обычные гетеротрофы. Удаление фосфора из системы биоочистки происходит с избыточным актив-

ным илом. При возврате обогащенного фосфором активного ила в зону «Анаэр» процесс повторяется сначала. Процесс циклический, поскольку связан с формированием и деструкцией запасов РНВ.

Часть ФАО являются денитрификаторами, т.е. используют нитраты вместо свободного кислорода (КРК) для окисления накопленного РНВ и потребляют фосфор в зоне «Анокс».

В процессах удаления фосфора ФАО характеризуются повышенным энергопотреблением, в связи с чем надежность процесса биологического удаления фосфора двухфакторна:

- сохранность качества анаэробной зоны («Анаэр»);
- доступность ЛЖК.

Сохранность зоны «Анаэр» означает, что она должна быть всячески защищена от КРК и нитратов, которые устраняют анаэробные условия, что неблагоприятно влияет на роль ФАО среди других гетеротрофов. Любой внутренний рецикл, содержащий КРК и нитраты, неблагоприятно влияет на анаэробность условий. Конфликтность ситуации одновременного биоудаления азота и фосфора заключается еще и в том, что возраст ила для удаления фосфора следует поддерживать низким (иде-

Таблица 2

Предельные параметры биологической очистки сточных вод от общего азота и фосфора

Формы	Механизм удаления	Технологический предел, мг/л
Общий азот		
Азот N-NH ₄	Нитрификация	< 0,5
Азот NO ₂ (NO ₃)	Денитрификация	1–2
Азот инертный органический	Илоразделение	< 1,0
Азот растворенный органический (небиоразлагаемый)	Нет	0,5–1,5
Общий фосфор		
Растворенный P	Микробное потребление/ хим. осаждение	0–1,0 / 0,1
Инертный P	Илоразделение	< 0,05



ально 2–4 дня), а это предотвращает процессы нитрификации.

Доступность ЛЖК — неперенное условие процессов биоудаления фосфора, а также увеличивает скорости денитрификации. Уксусная кислота (CH_3COOH) — идеальная питательная среда для ФАО. Метанол является легкоокисляемой биологической фракцией и обычно используется для улучшения денитрификации и не применяется для биоудаления фосфора. В качестве потенциальных источников ферментации ЛЖК для городских ОС можно рассматривать:

- собственно коллектора;
- анаэробные зоны биореакторов;
- первичные отстойники;
- выделенные ферментеры осадка первичных отстойников;
- уплотнители осадка;
- первичная стадия анаэробного сбраживания метантенков;
- прямой ввод реагента — уксусной кислоты.

Механизм удаления и возможные пределы очистки представлены в табл. 2.

О СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМАХ

Устоявшееся в России понятие «аэротенк с биологическим удалением биогенных элементов» в случае критического подхода должно быть заменено на «биореактор с удалением биогенных элементов» (и определенной последовательностью чередования зон и рециркуляционных потоков). Наиболее популярные стандартные конфигурации процессов биологического удаления азота и фосфора представлены на рис. 4.

Они используются как за рубежом [7], так и в России. Их сравнительная оценка, табл. 3, рассматривает дополнительно контактный (SBR) процесс и циркуляционные окислительные каналы (ЦОК). Все описанные процессы кроме контактного и пошаговой конфигурации содержат внутренние рециркуляционные контуры «ВР». Таким образом, относятся к одной из трех базовых гидродинамических структур реакторов — вытеснитель с рециклом (две другие смеситель и вытеснитель). Причем диапазон коэффициентов рециркуляции $K_R = (Q + Q_R)/Q$ определяет разницу между представленными рециркуляционными схемами ($K_R = 1,5\text{--}5$) и продольной рециркуляции в ЦОКах ($K_R \approx 10\text{--}200$). Ранее упоминалось о том, что излишне «беспокоить» зоны «Анаэр» не рекомендуется. А вот зоны «АЭР» и «Анокс» родственны, поскольку содержат растворенный кислород, но в различных формах. «АЭР» — в прямой форме КРК, «Анокс» — в связанной форме NO_2 или NO_3 .

Таким образом, рециркуляционные контуры стадии удаления азота могут быть реализованы (и реализуются на практике) с использованием рециркуляции по «карусельному» принципу на манер ЦОКов. Название данному процессу — симультанная денитрификация, протекающая в одном и том же реакторе одновременно с перемешиванием («АЭР») и перемешивания («Анокс») при

$K_R = 10\text{--}400$. КРК в некоторых зонах «Анокс» такого аэротенка практически отсутствуют. В этих условиях процесс чувствителен к неравномерности притока и нагрузки. Но при использовании грамотного инжиниринга гидродинамики сооружения и системы автоматики чувствительность процесса легко компенсировать оперативным технологическим управлением on-line.

Достоинство процесса симультанной денитрификации по «карусельному» принципу в его инженерной простоте, но требующей:

- грамотного инжиниринга базовой гидродинамики;
- оперативного технологического управления on-line;
- современного оборудования — погружных мешалок.

Необходимость использования погружных мешалок отличает все без исключения процессы, представленные на рис. 4, поскольку современные схемы и процессы требуют современного оборудования.

О МЕШАЛКАХ, ПРИНЦИПАХ ИХ РАЗМЕЩЕНИЯ И ГИДРОДИНАМИКЕ

В 70-х гг. появились первые серийно производимые мешалки с двигателями погружного типа: высокооборотистые (безредукторные), низкооборотистые (с редукторами) и высокопроизводительные низконапорные рециркуляционные насосы. Это появление — революционное событие в технологии очистки сточных вод, в особенности для крупноразмерных аэротенков. Традиции строительства крупных аэротенков основаны на коридорном принципе их компоновки. Представленные схемы (рис. 4) вполне соответствуют такому инженерному решению, поскольку любая из зон («АЭР», «Анокс», «Анаэр», «Пре-Анокс», «Пост-Анокс») с успехом может быть выделена перегородками при использовании типового проекта как базового строительного решения.

С появлением мешалок погружного типа, которые отличаются способностью направлять и ориентировать гидравлические потоки в соответствии с пожеланием инженера, «вдохнули» новую и свежую жизнь в достаточно старое решение — аэротенки с продольной рециркуляцией иловой смеси по «карусельному» принципу (рис. 5). Данная компоновка подразумевает разделение функциональных обязанностей: ввод кислорода осуществляется высокоэффективными современными аэраторами, а перемешивание — мешалками. Гидравлическая функция мешалки в данном случае основополагающая, поскольку она отвечает за массообмен в структуре биоочистки, а аэраторы являются средством для достижения массопереноса кислорода воздуха в иловую смесь. В данном комбинированном сооружении аэраторы перестают отвечать за процессы поддержания активного ила во взвешенном состоянии.

Существует ли разница между работой погружной мешалки, создающей горизонтально ориентированные гидравлические потоки, в случае ее размещения в открытом водоеме или в «сжатых» условиях аэротенков коридорного

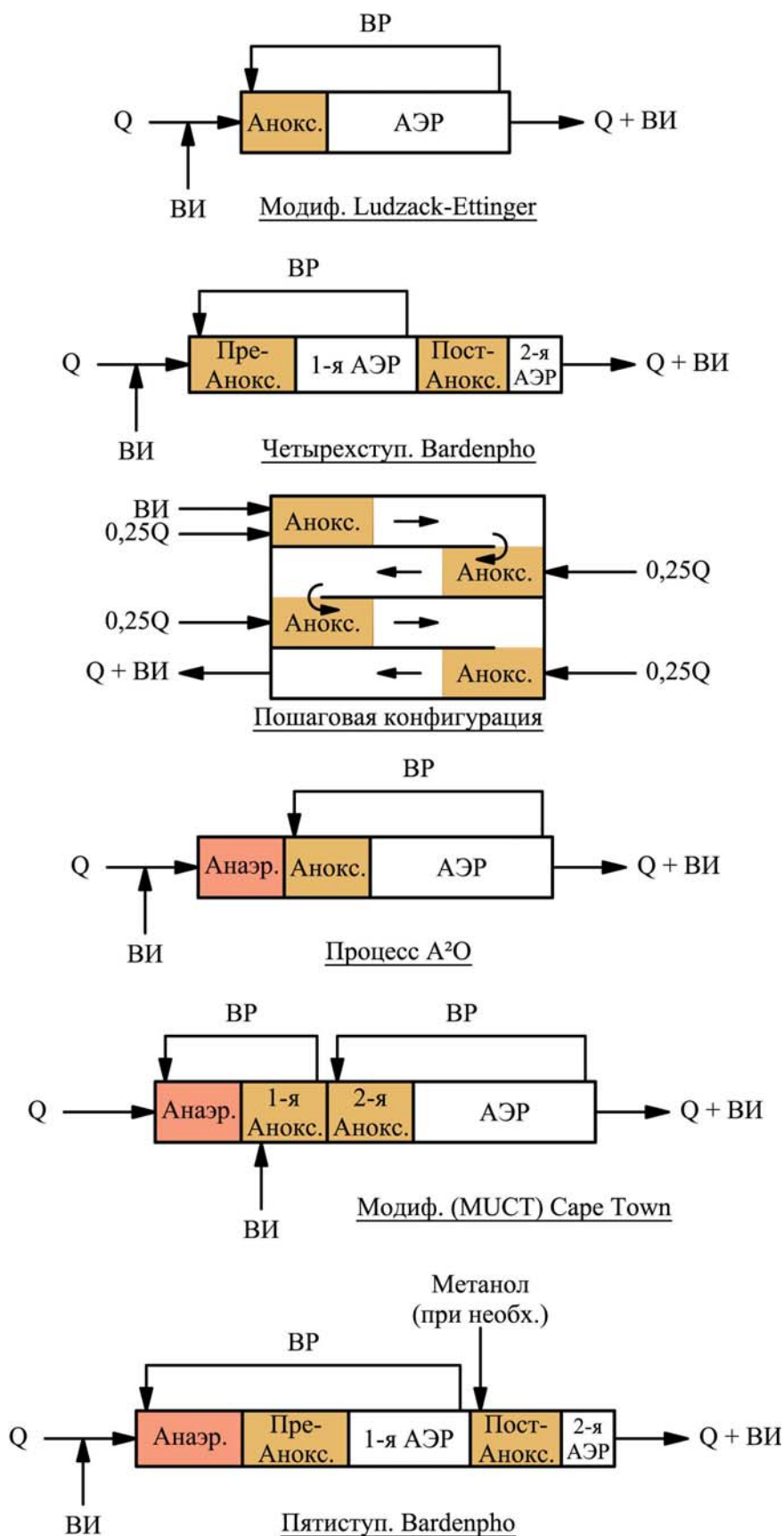


РИС. 4

Выборка наиболее популярных стандартных конфигураций процессов биологического удаления биогенных элементов: Q — расход сточных вод; ВИ — возвратный активный ил; ВР — внутренний рецикл иловой смеси; «АЭР» — аэробная зона, содержащая растворенный кислород; «Анокс» — аноксичная зона, содержащая нитриты и нитраты; «Анаэр» — анаэробная зона с выделением фосфора



типа? Да, разница существует. Этот аспект относится к области гидродинамических параметров работы емкостных сооружений. Дальность «боя» мешалки, ограниченной размерами коридора, лимитирована величиной $L \sim 2,5 \cdot (B-D)$, где B — либо ширина коридора, либо его глубина (большая из них величина); D — диаметр пропеллера мешалки [8]. При этом направление оси мешалки по отношению к стенке резервуара должно позиционироваться с образованием некоторого угла α (рис. 6), не препятствуя углу раскрытия основного потока. При достижении дальности «боя», равной величины L , угол раскрытия основного потока ограничивается размерами коридорного резервуара (B или H). Перемешивание для длин участков более чем L невозможно, поскольку возвратные потоки самоориентируются в обратную сторону к области низкого давления — всаса пропеллера. Таким образом, интенсивным перемешиванием охватываются все зоны резервуара.

Возможно ли увеличить зону действия мешалки, рис. 6, увеличив ее мощность в 2, 3, 4... и т.д. раза? С сохранением угла — невозможно. Увеличение ее мощности приведет к необоснованной интенсификации перемешивания в границах той же зоны L . Застойная зона останется на своем месте, требуя размещения в ней следующей единицы оборудования.

Есть другой способ ориентации мешалки в резервуаре коридорного типа, но экономным его не назовешь, поскольку он связан с дополнительными энергозатратами. Дальность «боя» можно увеличить до $L \sim 3,9 \cdot (B-D)$, рас-

положив ось мешалки параллельно ближайшей стенке резервуара. Но в этом случае возникают серьезные потери напора, уничтожающие до 50 % сил осевого давления (тяги, H) той же самой мешалки! Грубо говоря, дальность «боя» увеличивается в 1,5 раза, а потребляемая мощность возрастает в 2,5 раза. Кроме того, качество перемешивания нарушается и ухудшается за счет образования зоны слабой интенсивности в возвратных потоках со стороны всаса, где возможны образования отложений.

Поэтому за базовый вариант следует принять представленный на рис. 6 как наиболее экономный и эффективный с точки зрения перемешивания иловой смеси азротенков.

Каким образом на практике реализовать подобное знание? Предположим, после детальных кинетических расчетов технолог задался целью поддержать процессы денитрификации в двух коридорах крупного азротенка. За основу был выбран проект с размерами коридора: $L = 114$ м, $B \cdot H = 6 \cdot 6$ м. Механически перенося вышеизложенный принцип на реальные конструктивные условия азротенка, потребуется 20 редукторных мешалок диаметром лопастей $D = 1,4$ м или 16 безредукторных мешалок $D = 0,37$ м (рис. 7, варианты В и С). При этом потребляемая мощность каждой повариантно соответствует 0,79 и 2,61 кВт (табл. 4), а удельная мощность, приведенная к 1 м^3 объема, — 1,92 и 5,09 Вт/м³.

Примечание: удельная мощность (Вт/м³) не может быть использована для подбора оборудования, а может применяться только для сравнения технических вариантов.

Таблица 3

Сравнение процессов биологического удаления биогенных элементов: азота (N) и фосфора (P)

Процесс	Удаление по:		Особенности
	N	P	
MLE	Хор.	Нет	— средние объемы емкостей
Четырехступенчатый Bardenpho	Отл.	Нет	— увеличенные объемы емкостей; — возможность корректировки вводом метанола
Пошаговый	Умерен	Нет	— отсутствие рециркуляции; — заниженные объемы вторичных отстойников; — увеличенная доза ила в сооружении (близость к процессу регенерации)
Контактный (SBR)	Умерен	Нестабильно	— отсутствие рециркуляции; — отсутствие вторичных отстойников; — требует устройства усреднителей расхода
Процесс A ² O	Хор.	Хор.	— средние объемы емкостей; — повышенная чувствительность к рециклам в зону «Анокс» и возвратного активного ила
Модифицированный УСТ	Хор.	Отл.	— отдельная зона «Анокс» для денитрификации возвратного ила защищает анаэробную зону «АН»; — увеличенный объем анаэробной зоны; — два внутренних рецикла; — процесс повышенной сложности
Пятиступенчатый Bardenpho	Отл.	Хор.	— увеличение общего объема реактора; — возможность корректировки вводом метанола
ЦОКи	Отл.	Хор.	— отсутствие наружных рециркуляционных контуров; — увеличенное время пребывания (крупный объем сооружения); — необходимость тщательного контроля КРК

Альтернативным вариантом разработки денитрификатора выделенного объема является базовый конструктив продольного рециркулятора по «карусельному» принципу (рис. 7, А). Невероятно, но взамен массового количества по вариантам В и С к установке потребуется всего 1 ед. оборудования ($D = 2,5$ м, потребляемая мощность — 3,11 кВт, удельная мощность по варианту — 0,38 Вт/м³).

И это не предел возможного, самая крупная мешалка характеризуется параметрами: тяга — 4600 Н, $D = 2,5$ м, 46 об/мин, мощность — 5,9 кВт. В аналогичных условиях «карусели» она могла бы обеспечить перемешивание денитрификатора размерами $L = 248$ м, $B \times H = 6 \times 6$ м, объемом около 17 850 м³.

Даже беглый взгляд на рис. 7 и табл. 4 выявит неоспоримые преимущества устройства денитрификатора по варианту А «карусельного» типа:

- с точки зрения энергозатрат выигрыш составляет 405 % по отношению к варианту В и 1239 % по отношению к варианту С;
- инженерный расчет требуемой тяги по варианту А минимизирован в 3,1 раза (по отношению к В) и в 3,9 раза (по отношению к С);
- общее количество установленного оборудования снижено в 20 и 16 раз (по отношению к В и С вариантам).

Последнее невероятно важно для службы эксплуатации. Решение по вариантам В и С выглядит довольно абсурдным, если предположить, что количество секций таких аэротенков с денитрификаторами (рис. 7) принято к установке, например, 4 ед. Ведь эксплуатировать и содержать на балансе 80 ед. или 64 ед. оборудования взамен реально возможных 4-х единиц граничит с безрассудством!

На наш взгляд, рассмотренный пример достаточно ярко свидетельствует о том, что задача технолога не ограничивается областью расчетов кинетики процессов очистки. Учет гидродинамической составляющей структуры потока является необычайно важным аспектом технологической разработки.

О СОВРЕМЕННЫХ АЭРАТОРАХ И ИХ РАСКЛАДКЕ

Гидродинамическая структура по принципу продольной рециркуляции иловой смеси с зонной пневматической аэрацией (рис. 5) сочетает разделение функциональных обязанностей оборудования: ввод кислорода осуществляется аэраторами, перемешивание — мешалками. Данное решение экономит энергозатраты на аэрацию иловой смеси, а это самая затратная статья расходов по городским сооружениям очистки сточных вод:

- за счет зонной раскладки аэрационной системы во всю ширину коридора аэротенка;
- за счет увеличения эффекта массопереноса при воздействии энергии горизонтального потока на зонную раскладку плети аэраторов.

К настоящему времени пневматические аэраторы конструктивно усовершенствовались, приобрели качество высокоэффективных, мелкопузырчатых. Современная инженерная раскладка аэраторов также вызвана требованием повышения эффективности растворения кислорода воздуха и КПД аэрации. Она выполняется позонно в виде плетей и равномерно по ширине коридора.

Еще на заре применения биохимического метода очистки сточных вод получили распространение аэротенки с расположением аэраторов вдоль одной из стен коридора. При этом пузырьки вводятся в струю воды, скорость которой в 2–3 раза выше скорости их движения. Вследствие этого время воздушного контакта уменьшается до 1/3–1/4 ожидаемой величины и в аэротенке глубиной 3 м составляет только 3–4 с вместо 10–12 с при соответственном снижении эффекта массопередачи [9].

Обратимся к СНиП п. 6. 151, табл. 42 [10]: K_1 — корректируется в зависимости от площадей аэрируемой зоны и аэротенка f_{az}/f_{at} , при этом интенсивность аэрации прямо пропорциональна f_{az}/f_{at} . Попробуем определить коэффициент влияния плотности раскладки аэраторов по днищу

Таблица 4

Подбор перемешивающего оборудования для сравнения эффективности систем карусельного и коридорного типов

Характеристики	Системы		
	А	В	С
Количество мешалок, шт	1	20	16
Тип мешалки: Р- редукторная, Б- безредукторная	Р	Р	Б
Скорость вращения, об/мин	35	27	705
Диаметр пропеллера, м	2,5	1,4	0,37
Производимая тяга, Н	2 728	455	744
Потребляемая мощность, кВт	3,11	0,79	2,61
Общая тяга, Н	2 728	9 100	11 904
Общая мощность, кВт	3,11	15,8	41,76
Приведенное к 1 м ³ энергопотребление, Вт/м ³	0,38	1,92	5,09
Энергозатратность систем по отношению к системе А, %	-	405	1239

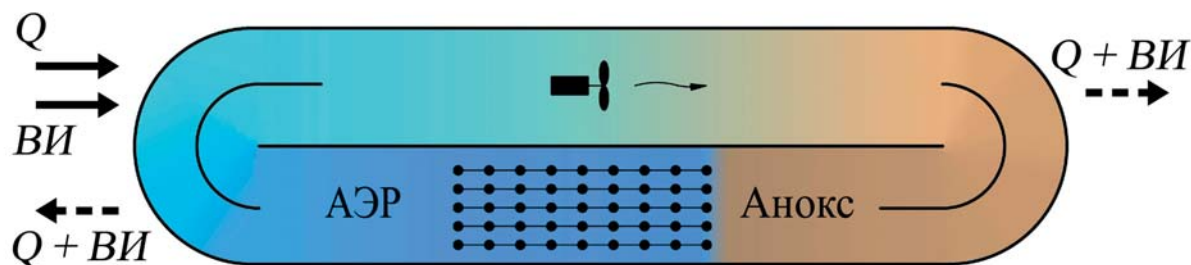


РИС. 5

Схема аэротенка с продольной рециркуляцией иловой смеси по «карусельному» принципу

аэротенка K_{pa} , приведя к 1 начальное значение $f_{az}/f_{at} = 0,05$ (аэраторы занимают 5 % ширины коридора, вследствие чего организуется поперечное перемешивание иловой смеси) (табл. 5).

Напрашивается резонный вывод: за счет увеличения времени контакта с газовой фазой и устранения крупной доли массового продольного перемешивания собственно воздухом удельный его расход в случае 100 % раскладки аэраторов по дну снижается на 72 %. С одной стороны, этот факт и ранее был известен, с другой — редко реализуем на практике. Ввиду отсутствия средств перемешивания ни один из типовых проектов советского периода не включал 100 % раскладки пневматических аэрационных систем по дну аэротенка.

Энергия горизонтального потока увеличивает эффект массопереноса при зонной раскладке аэраторов — этот факт зафиксирован рядом работ [11, 12, 13]. Так, например, в реальных условиях (16 тыс. экв. жителей, глубина — 4 м) при скорости горизонтального потока 0,21 м/с окислительная способность (ОС) системы возросла на 17,5 %, при росте общих энергозатрат (Э) — на 9,8 %. Дальнейшее повышение скорости распределялось следующим образом: 0,25 м/с — увеличение ОС на 33,6 %, Э — на 17,3 %; 0,32 м/с — увеличение ОС на 49 %, Э — на 22,1 %.

Новые методы расчета гидродинамических свойств комплексных систем формируются на базе компьютерного анализа CFD. Для отработки параметров ввода специальных коэффициентов в специальное программное обеспечение FLUENT проводились исследования [13]. Совместно с целевой разработкой наблюдалось значительное увеличение коэффициента массопереноса k_L на 29 % (с 5,39 до 6,93 ч⁻¹, k_L приведен для стандартных условий) в случае увеличения скорости горизонтального потока с 0 до 0,42 м/с.

Современная раскладка систем аэрации, таким образом, в условиях продольной рециркуляции иловой смеси являются энергосберегающим технологическим решением.

СОВРЕМЕННОЕ РЕШЕНИЕ НА БАЗЕ ТИПОВОГО ПРОЕКТА

Основной целью публикации является разработка типовой конструкции сооружений блока биоочистки с удалением азота и фосфора на базе вышеизложенных доводов. В качестве базового технического аналога был выбран т. п. 902-2-179 аэротенков-вытеснителей ЦНИИЭП и. о. [14]. При этом рабочая глубина в сооружении была принята 6 м взамен 5 м (поперечное сечение коридора — 6*6 м), руководствуясь соображениями увеличения эффективности аэрации (кгО₂/кВт*ч) в современных условиях.

Примечания:

1) использование современного воздушодувного оборудования позволяет размещать пневматические аэраторы на глубинах до 12 м;

2) конструктивное решение на базе блока глубиной 8, 10 или 12 м временно отложено на перспективу. Технологический расчет и анализ работы сооружений в условиях неравномерности динамических исходных нагрузок по расходам и концентрациям проводился с привлечением современного программного обеспечения GPS-X (Канада).

Многофакторный анализ стандартных процессов (рис. 4, табл. 3), заложенных в расчетной подоснове GPS-X, обосновал выбор процесса MUCT (модель ASM2d) как оптимального с точки зрения капитальных и энергетических затрат в российских условиях очистки слабokonцентрированных городских сточных вод. Из двух «особоконкурентных» способов очистки: УСТ и А²О при виртуальном сравнении в абсолютно аналогичных условиях (равные строительные объемы, концентрации, характерные для России), на наш взгляд, лидирующее положение занимает УСТ, поскольку интенсивнее очищает от фосфора (на 115 %) при некотором незначительном «проигрыше» в плане снижения общего азота (8,3 %). Чертежи основной технологической части проекта представлены на рис. 8.

Таблица 5

Влияние плотности раскладки аэраторов по дну аэротенка
на количество подаваемого в систему воздуха

f_{az}/f_{at}	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1
K_1	1,34	1,47	1,68	1,89	1,94	2	2,13	2,3
K_{pa}	1	1,1	1,25	1,41	1,44	1,49	1,59	1,72

Параметрами ввода данных явились величины реального проекта (табл. 6) с учетом стандартного суточного графика неравномерности притока сточных вод по расходам/концентрациям и усредненных среднестатистических параметров окисляемости крупных городов (табл. 7). Параметры вывода данных включали, соответственно, не только усредненные показатели очистки сточных вод, а также их почасовой диапазон разброса.

Доза ила в процессе расчетов составила 2,5 г/л, иловый индекс с учетом опыта эксплуатации сооружений такого типа был принят за 150 см³/г, возраст ила находился в пределах 15–17 сут, K_R (МУСТ) в анаэробную зону составил 3,0, K_R (возвратного ила) — 2,2. При этом вторичные отстойники рассчитывались, как принято за рубежом, по низкой гидравлической нагрузке на «зеркало» — 1,25 м³/м² по максимальному расходу. Расчет включал суточное оперативное управление параметром возврата активного ила в аэротенки в диапазоне от 885 до 960 м³/ч.

Как видите, секция аэротенка размерами: $L = 114$ м, $B = 24$ м, $H = 6$ м, содержит все основные признаки и отличия энергосберегающих технологий:

- карусельная зона «Анаэр»;
- карусельная зона «Анокс»;
- карусельная зона нитрификации «АЭР»;
- плотная раскладка аэраторов по ширине коридора.

В качестве аэраторов проектом предусматривается установка высокоэффективных дисковых мембранных диффузоров. Расчетное количество дисковых аэраторов принято за 1460 ед. при плотности их раскладки 2,3 диска на м². Удельный расход воздуха q_{air} составил 5,5 м³/м³, а расчетный расход воздуха на 1 аэротенк — 4375 м³/час. Данный расчет не включает оперативного управления подачей воздуха, хотя выбор аэраторов обоснован их способностью к технологическому управлению в диапазоне нагрузок по воздуху от 0 до 6 м³/(ч·диск) без кальматации аэрационной

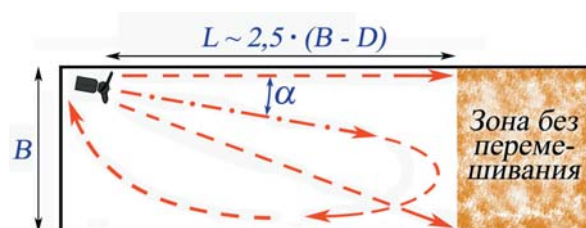


РИС. 6

Зона действия мешалки (схема в плане), размещенной в сжатых условиях коридорного резервуара

системы и роста сопротивлений на выходе. Дальнейшее снижение подачи воздуха и общего энергопотребления возможно на основе внедрения системы автоматического и технологического оперативного регулирования, а также воздухопроводов с регулируемым направляющим аппаратом.

На одну секцию крупного аэротенка в проекте принято 4 мешалки горизонтального потока (4,3 кВт) и один рециркуляционный насос (5,5 кВт) в зону дефосфотации «Анаэр». Для демонтажа мешалки (по 245 кг) и насос (205 кг) снабжены подъемными устройствами. Удаление мешалок на ремонт предусматривается по технологическим мостикам на тележках.

Основным технологическим чертежам (рис. 8) соответствует позонная схема аэротенка (рис. 9) в соответствии с принятым процессом МУСТ.

Последние два коридора, организованные в довольно длинную зону продольного перемешивания, условно разбиты на расчетные секции (ячейки математической модели): 1, 2, ..., 11.

Условное деление на зоны позволило наглядно представить процессы, протекающие в самой интересной из «карусельных» зон (рис. 10) по длине сооружения. Это результат расчета с использованием GPS-X.

Казалось бы, это зона чистого смешения с рециркуляционным расходом продольного перемешивания

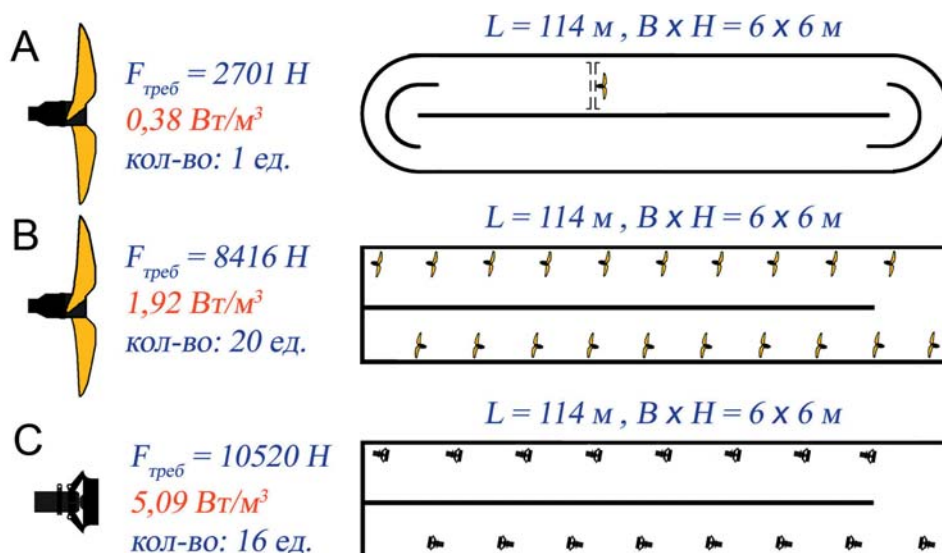


РИС. 7

Примеры расстановки погружных мешалок (А, В — редукторного типа; С — безредукторного типа) в зонах денитрификации, сконструированных в соответствии с принципами: А — продольной рециркуляции иловой смеси по «карусельному» типу; В, С — коридорной раскладки резервуара



Натурные примеры продольной рециркуляции иловой смеси на очистных сооружениях: вверху — г. Вильнюс (зоны денитрификации); внизу — г. Рига (комбинированная зона симультанной нитрификации и денитрификации)

Таблица 6

Расчетные показатели исходных и очищенных сточных вод

Показатели	Их величина		
	средняя	макс.	мин.
<i>Исходных вод</i>			
Расход на одну секцию аэротенка, м³/час	780	1140	480
Общий ХПК, мг/л	380	513	236
БПКполн, мг/л	153	206	95
Взвешенные вещества, мг/л	166	224	103
Аммонийный азот, мгN/л	27	36,4	16,7
Растворенные орто-фосфаты, мгP/л	3,7	5,0	2,3
Щелочность, моль/м³	7	9,5	4,3
<i>Очищенных вод</i>			
ХПК, мг/л	45	61	28
БПКполн, мг/л	10	13,5	6,2
Взвешенные вещества, мг/л	11,9	14	9,54
Растворенные орто-фосфаты, мгP/л	2,05	2,75	1,2
Аммонийный азот, мгN/л	0,94	1,18	0,8
Нитраты, мгN/л	4,87	5,09	4,64

Таблица 7

Параметры учета окисляемости и настройки модели

Параметры	Величины
Распределение ХПК по фракциям:	
- растворенное инертное	40 %
- растворенное окисляемое	5 %
- взвешенное окисляемое	75 %
- взвешенное инертное	20 %
Коэффициенты модели:	
- соотношение N-NH ₄ /общ. N	0,65
- соотношение инертн. N/общ. N	0
- соотношение орг. N/общ. N	0,9
- зольность	0,25

~ 38880 м³/час. При исходном расходе Q = 780 м³/час коэффициент рециркуляции составляет 50,8. Грубо говоря, вода за период очистки пройдет через одну и ту же точку пятьдесят раз.

Но из анализа (рис. 10) совсем не следует вывод о том, что зона «АЭР» (последние 2 коридора, длина пробега = 210 м) является ярко выраженным смесителем. Наоборот, в силу значительной длины наблюдаются существенные неравномерности распределения показателей КРК от 0,1 до 3,8 мг/л, N-NH₄ от 0,8 до 2,2 мг/л, N-NO₃(NO₂) от 3,2 до 5,2 мг/л, P-PO₄ от 0,2 до 9,0 по длине.

Анализируя столь редкие и показательные графики, обратите внимание на одну из переломных критических расчетных секций № 4. Здесь осуществляется впуск вод, прошедших очистку в анаэробной и аноксичной зонах. Именно в этой секции КРК начинает падать до минимума, резко до максимума возрастает N-NH₄, начинают снижаться N-NO₃ и «подскакивают» P-PO₄. Вследствие подачи нагрузки в секцию № 4 КРК в зонах 4, 5, 6 падает до минимальных значений, и наблюдаются процессы денитрификации.

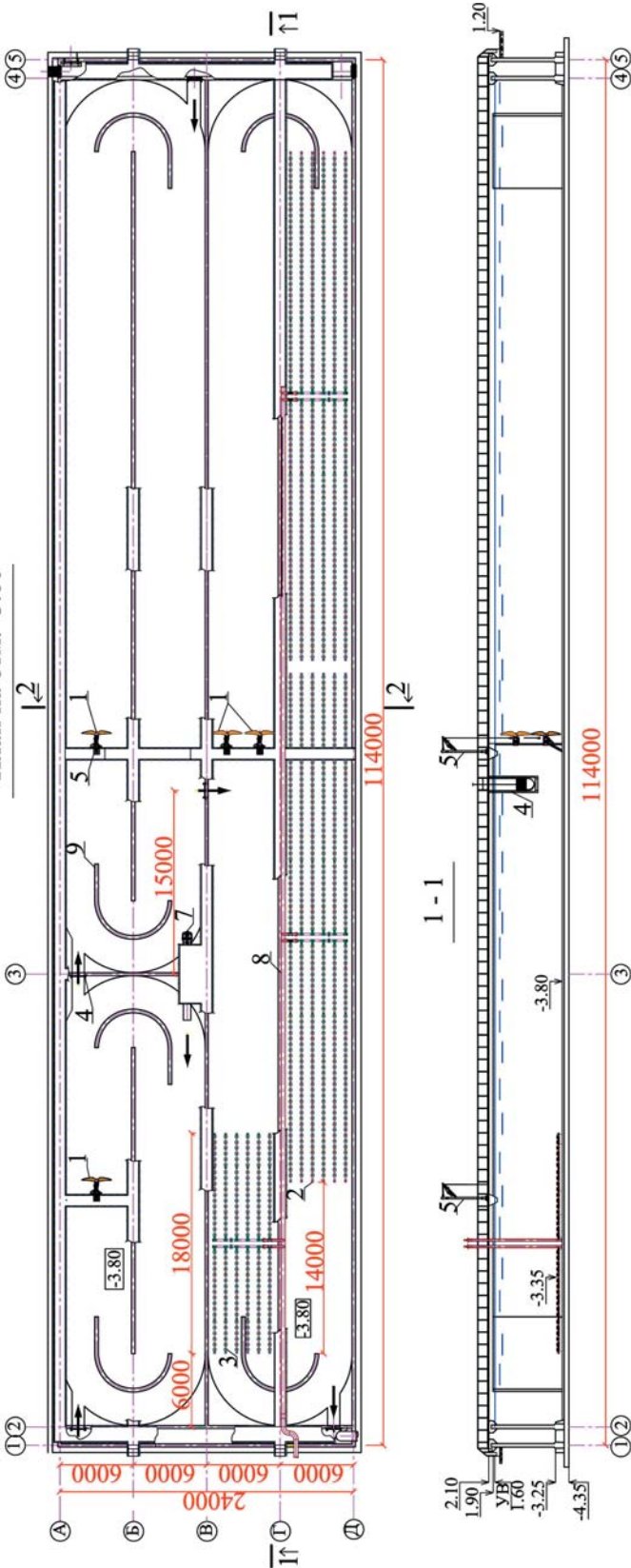
Некоторое расхождение расчетных показателей очистки (табл. 6) и секции № 11 (рис. 10) — это закономерное явление, поскольку на рис. 10 представлены распределения концентраций по длине комбинированного сооружения в статических условиях, а в табл. 6 — в динамических суточных колебаниях при совпадении пиков во времени.

По характеру распределения концентраций данное сооружение (вытеснитель с рециркуляцией) одновременно сочетает в себе достоинства как смесителя, так и вытеснителя.

Иловая смесь поступает во вторичные отстойники из секции № 11. Работа сооружений доочистки не рассматривается детально в настоящей публикации. Однако как вариант предлагаем реагентную обработку, позволяющую поддерживать остаточные концентрации фосфатов P-PO₄ в очищенных водах на стабильном уровне 0,2 мг/л. Для этого рассчитывался (GPS-X) ввод коагулянта в управляемом суточном режиме дозой от 3,9 до 8,3 мг Fe₃³/л, что соответствует эффективности удаления фосфора от 80 до 93%. Требуется доочистка от аммонийного азота.

Комбинированные сооружения с удалением азота и фосфора М1:200

План на отм. -3.80



Экспликация оборудования

N п/п	Название
1	Мешалка SR 4430
2	Аэрационная система
3	Дисковый аэратор SANITAIRE
4	Шибер Ø1000
5	Подъемное устройство
6	Задвижка Ø100
7	Рециркуляционный насос PP 4650.410
8	Воздуховод Ø350
9	Потоконаправляющая перегородка

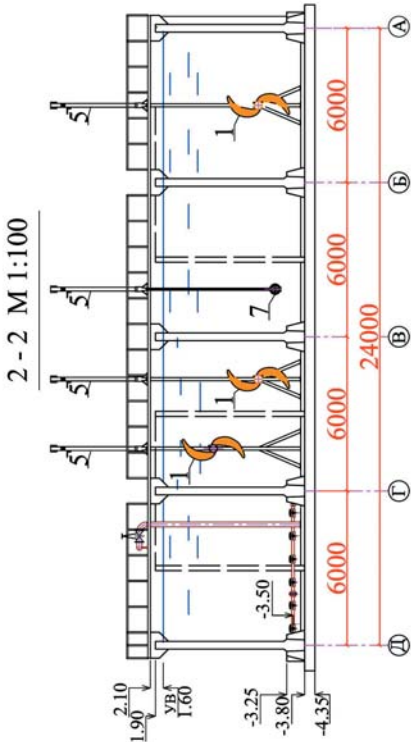


Рис. 8

Чертеж технологической части комбинированного сооружения с биологическим удалением азота и фосфора

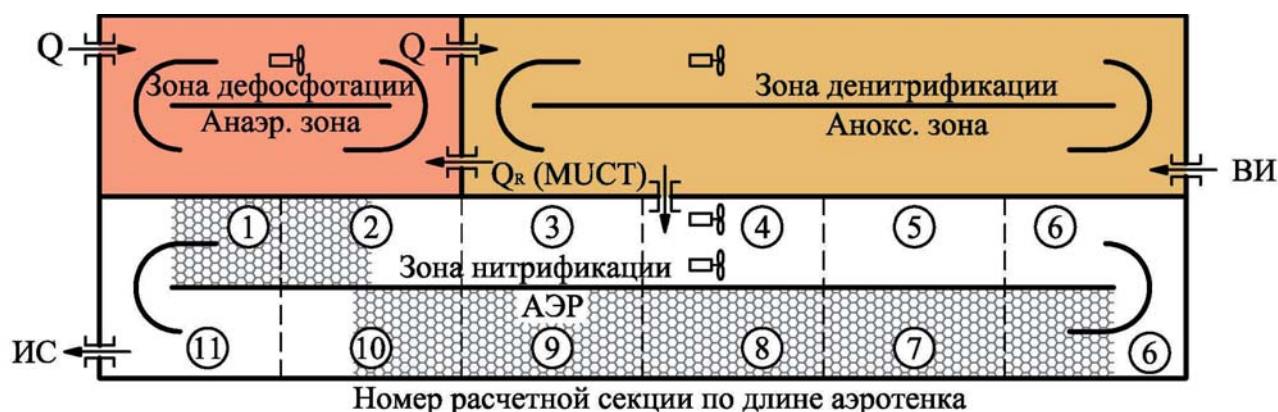


РИС. 9

Позонная схема комбинированного сооружения с условным делением зоны «АЭР» на секции-ячейки для математического моделирования процессов очистки по длине сооружения

ВЫВОДЫ:

1. Излагается полный цикл поэтапной разработки проекта от механизмов удаления азота и фосфора элементарной клеткой до типового конструктивного решения крупного аэротенка.

2. Типовой проект современного комбинированного сооружения с удалением азота и фосфора выполнен по экономичному принципу. Гидродинамической подосновой базового решения послужила разбивка на зоны с продольной рециркуляцией иловой смеси — это позволило

использовать минимальное количество рециркуляторов (погружных мешалок горизонтального потока — 4 ед. Зонная раскладка мембранных дисковых диффузоров по всей ширине коридора потребовала ввода минимального количества воздуха — $5,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Экономичность использованных решений доказана.

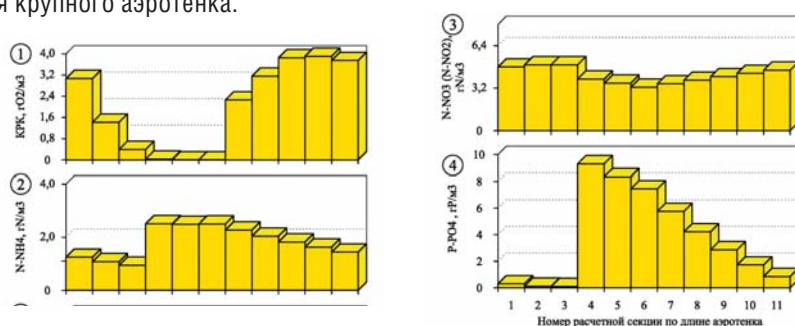


РИС. 10

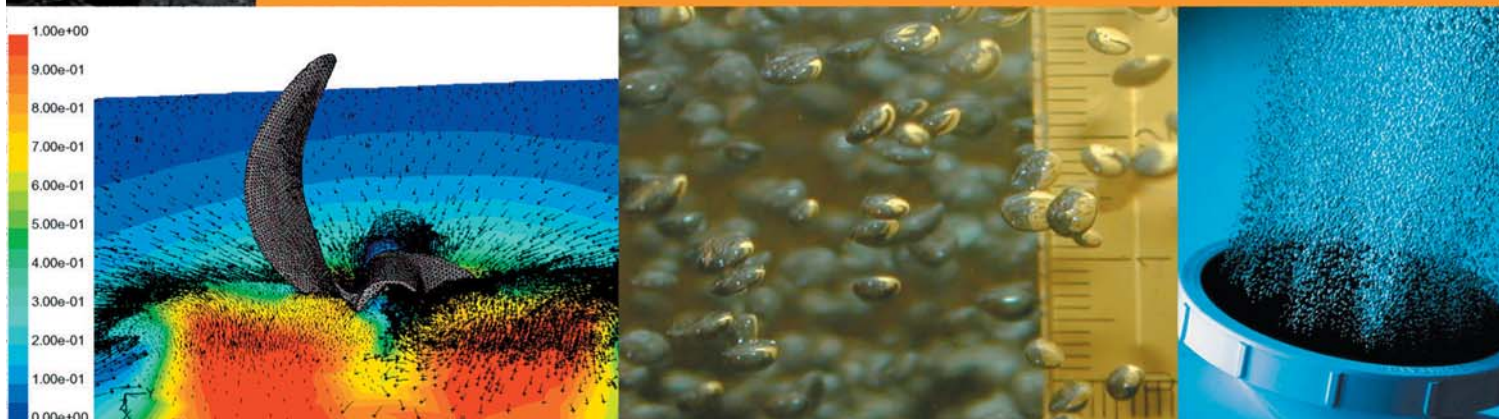
Распределение показателей очистки по длине «карусельной» зоны нитрификации в соответствии с номерами расчетных секций (см. последние два коридора позонной схемы): 1 — концентрация растворенного кислорода; 2 — аммонийный азот; 3 — нитриты и нитраты; 4 — фосфор

ЛИТЕРАТУРА

- Правила охраны поверхностных вод», утверждены Госкомприроды СССР в 1991 г.
- Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения, СанПиН 4630-88, утвержденные Минздравом СССР в 1998 г.
- Кичигина С., Баженов В., Эпов А. Микроконкуренция в крупных масштабах. Стабилизация илового индекса путем видовой селекции активного ила. ВодаMagazine № 2, 2007.
- Савельева Л.С., Эпов А.Н. Удаление фосфора из сточных вод традиционными физико-химическими и современными биологическими методами. Научные аспекты охраны окружающей среды. Обзорная информация, выпуск 4, — М., 1996.
- Janssen P.M.J., Meinema K., van der Roest H.F. Biological phosphorus removal, Manual for design and operation. IWA Publishing, STOWA report, 2002.
- Sam Jeyanayagam, True confessions of the biological nutrient removal process, Florida water resources journal, January 2005.
- Design of municipal wastewater treatment plants. WEF manual of practice № 8, ASCE Manual and Report on Engineering Practice No. 76, 1992, Water Environment Federation, Alexandria, and American Society of Civil Engineers, New York.
- Mixer positioning principles, ITT Flygt AB, 1995.
- Попкович Г.С., Репин Б.Н. Системы аэрации сточных вод. — М., Стройиздат, 1986.
- СНиП 2.04.03-85, Канализация. Наружные сети и сооружения, Госстрой России, — М. ГУП ЦПП, 1999.
- Rissler S. //Effect of horizontal flow on aeration.- Scientific Impeller, № 3, 1995.
- Ramel C., Scriabin W. L'amélioration du transfert d'oxygene par circulation des boues actives dans les stations d'épuration. — L'eau, L'industrie, Les nuisances, December, 1992.
- Gillot S., Heduit A. //Effect of air flow rate on oxygen transfer in an oxidation ditch equipped with fine bubble diffusers and slow speed mixers.- Water research, v. 34, № 5, 2000.
- Т.п. 902-2-179, ЦНИИЭП инженерного оборудования.



ITT



Анализ Математическое моделирование Базовый инжиниринг Проектирование очистных сооружений



ЗАО «Водоснабжение и водоотведение»,
дистрибьютор и изготовитель автоматики
для ITT Water & Waste Water в России.
тел.: (495) 641 00 41; факс: (495) 641 00 40;
e-mail: info@pump.ru; WEB: www.pump.ru.