

ВОДООЧИСТКА

ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ЖУРНАЛ

НОЯБРЬ
№ 11/2006

АКТУАЛЬНО

Итоги национальной экологической премии-2006	5
Всемирный доклад ООН о развитии водного сектора свидетельствует о кризисе системы государственного управления в данной отрасли.....	6
Байкал не может защитить ни российское, ни международное право	9

НАУКА И ПРАКТИКА

Комбинирование химических и биологических способов очистки капролактамосодержащих стоков	11
--	----

А.Б. Соколов, М.Г. Печатников, А.С. Крижановский, Г.Г. Петров

Методы очистки сточных вод электростанций от нефтепродуктов	17
---	----

А.Л. Сивков, И.Е. Панфилова, Э.Л. Гоголашвили

Опыт эксплуатации ГРЭС, а также ТЭС и АЭС показывает, что удаление нефтепродуктов (мазута, масел) из воды является одной из наиболее сложных проблем в работе водо-химических систем. Концентрация нефтепродуктов в некоторых видах сточных вод может достигать 1000 мг/л, а при аварийных и залповых сбросах намного больше. К числу главных проблем при очистке замазученных (нефте содержащих) сточных вод относится выделение эмульгированных минеральных масел, мазута и других видов нефтепродуктов.

ТЕХНОЛОГИИ

Флокулирующие устройства Акваклер	21
---	----

В.Е. Суворов

В № 9'2006 мы рассказывали о противонакипных и антикоррозионных устройствах Гидрофлоу. Сегодня наш рассказ посвящен другому продукту компании — флокулирующим устройствам.

ПЕРЕДОВОЙ ОПЫТ

Погружные насосы. Преимущества, принципы проектирования и подбора	25
--	----

Повышение качества жизни, условий охраны труда, стихийные бедствия, вандализм, терроризм, а также рост цен на энергоносители, электроэнергию и перебои ее подачи предъявляют новые требования к выбору насосов для станций перекачки сточных вод.

Приложение 1	29
--------------------	----

ВОДОПОДГОТОВКА

Состояние, основные проблемы и направления совершенствования водно-химического режима АЭС	33
---	----

В.Ф. Тяпков, Р.Б. Шарафутдинов

Водно-химический режим (ВХР) АЭС является одним из важнейших факторов, влияющих на надежную, экономичную и безопасную эксплуатацию АЭС. До настоящего времени остается актуальной проблема создания и поддержания таких физико-химических свойств теплоносителей, которые бы предотвращали коррозионные повреждения конструкционных материалов. В статье рассмотрены современное состояние вопросов поддержания ВХР на эксплуатируемых в Российской Федерации АЭС с ВВЭР и РБМК и основные направления его совершенствования.

Новые информационные технологии для водоподготовки.....	42
---	----

В.Ф. Очков

В Московском энергетическом институте совместно с ООО «Триеру» разработан комплекс программ и специализированный сайт (www.vri.ru/mas) для информационной и прочей поддержки специалистов, работающих в области водоподготовки для энергетики и коммунального хозяйства.

Уважаемые коллеги!

Журнал «Водоочистка» — профессиональное производственно-техническое и научно-практическое издание для специалистов в области водоочистки и водоподготовки — приглашает к взаимовыгодному сотрудничеству авторов и компании-производители. Редакция предъявляет следующие требования к предоставляемым материалам:

- Принимаются статьи, имеющие, по мнению редакции, определенную научную ценность и представляющие интерес для круга наших читателей.
- Материалы принимаются с указанием ФИО автора, должности, научной степени (если таковая имеется), контактной информации (телефон, e-mail), которые должны быть предоставлены в электронном виде (файл MS Word) и высланы по электронной почте по адресу: sfinaev@yandex.ru.
- Рисунки к статьям должны быть представлены в виде графических файлов в формате *.jpg, *.tiff. Не принимаются рисунки и формулы, выполненные и вписанные от руки.
- Научно-технические статьи в журнале публикуются бесплатно. Редакция не выплачивает авторских гонораров и не гарантирует немедленного размещения предоставленных материалов. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов публикаций. Подписаться на журнал можно на почте в любом отделении связи: — каталог агентства «Роспечать» — индекс 84822; — каталог российской прессы «Почта России» — индекс 12537. С уважением, главный редактор Финаев Сергей Владимирович. Контактный телефон — (495) 469-00-06 Сайт журнала: www.vodooch.panor.ru

ОБОРУДОВАНИЕ

- Микрофильтрационное оборудование для осветляющей и обесцвечивающей фильтрации минеральных и питьевых вод 48
С помощью микрофильтрационного оборудования эффективно решаются практические задачи, связанные с очисткой натуральных и подготовленных вод от механических примесей, удалением болезнетворных микроорганизмов, а также с обезжелезиванием воды.

ВОДОСНАБЖЕНИЕ

- Энергосберегающие способы управления лопастными насосными агрегатами в системах водоснабжения при нестационарной нагрузке 57

В.Г. Николаев

Большинство энергоёмких технологических процессов, используемых в коммунальном хозяйстве, являются нестационарными. К таковым, например, относятся холодное и горячее водоснабжение, водоотведение, теплоснабжение и пр.

- Оценка безотказности и прогнозирование долговечности трубопроводов подземной прокладки 61

В.М. Калинин

- Опыт организации учета сточных вод 67

А.П. Зайцев, А.В. Озеров, М.А. Мордясов, М.Н. Шафрановский

Водоотведение является одной из базовых составляющих процесса жизнеобеспечения населения и других водопользователей. В крупных городах и малых поселениях значимость учета принимаемого в канализационную сеть и отводимого на очистку стока постоянно возрастает.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

- Вертикальные миграции планктона способствуют перемешиванию океана 69
 Продолжается изучение структуры воды 71

И. Иванов

Молекулы воды могут объединяться в небольшие группы — кластеры. Их жизнь быстротечна, и потому они с трудом поддаются изучению. Только недавно выяснилось, что водные кластеры обладают большими электрическими дипольными моментами. Тонкий эксперимент однозначно доказал, что кластеры воды обладают большими электрическими дипольными моментами. Попутно выяснилось, что отдельные кластеры не замерзают даже при минус 150 градусах Цельсия.

НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

- Экономический механизм водных отношений 73

А.Н. Шпагина

Комментарий к Водному кодексу РФ от 03.06.2006 № 74-ФЗ

- ГОСТ Р 51593-2000. УДК 663.6:006.354 Н08. Государственный стандарт Российской Федерации «Вода питьевая. Отбор проб» 75
 Приложение А 79

НАДО ДЕЛАТЬ ДОБРО

- Барсик 80

К. Москаленко

Журнал
«Водоочистка»
 № 11/2006

Журнал зарегистрирован
 Федеральной службой
 по надзору за соблюдением
 законодательства
 в сфере
 массовых коммуникаций
 и охране культурного
 наследия.

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС 77-19470
 от 28 января 2005 г.

Журнал
 на 1 полугодие 2007 г.
 распространяется
 через каталоги
 ОАО «Агентство Роспечать»
 и «Почта России»
 (ООО «Межрегиональное
 агентство подписки»),
 а также путем прямой
 редакционной подписки.

© Некоммерческое партнерство
Издательский Дом
«Просвещение»

Почтовый адрес редакции:
 119602, Москва,
 а/я 202,
 ИД «Панорама»

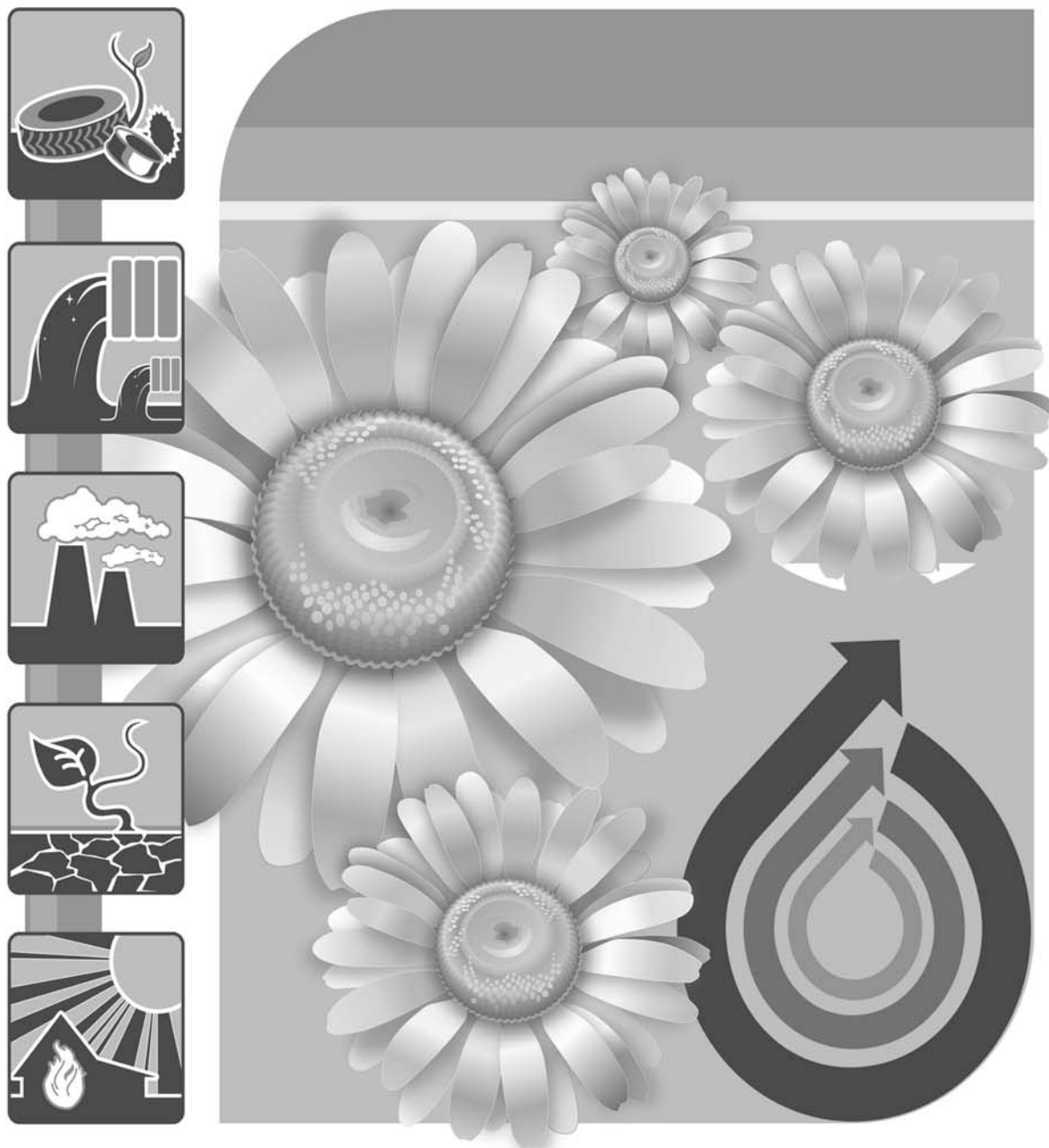
Адрес электронной почты
 редакции:
www.vodooch.panor.ru

Редакция журнала «Водоочистка» выражает надежду, что читатели продолжат или оформят вновь подписку на наш журнал и установят взаимовыгодное деловое сотрудничество с организациями и фирмами, любезно предоставившими свои материалы для публикации в данном номере журнала.

**5-я Международная выставка и конгресс по управлению отходами
и природоохранным технологиям**

ВэйстТэк-2007

**Москва, Россия
29 мая - 1 июня 2007**



**Отходы производства и потребления:
решения для города, промышленности, бизнеса**

Благоустройство населенных мест

**Дирекция выставки и секретариат конгресса: ЗАО "Фирма СИБИКО Интернэшнл"
Россия, 107078, Москва, а/я 173, тел./факс: (495) 101 4621, 782 1013 (многоканальные)
e-mail: waste-tech@sibico.com www.waste-tech.ru www.mirmusora.ru**

ИТОГИ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПРЕМИИ–2006

2 ноября в зале «Радиус Холл» Мосбизнесцентра состоялась церемония вручения Национальной экологической премии за 2006 год.

Представленные на конкурс проекты из 40 регионов России были оценены 30 членами жюри по пяти критериям: актуальность, экономическая эффективность, социальная значимость, экологическая целесообразность и соответствие международным стандартам и соглашениям.

Конкурсная борьба проходила в пяти номинациях: экоэффективность, за вклад в устойчивое развитие, экология города (чистый город), эко-продукция, средства массовой информации и окружающая среда.

В номинации «Экоэффективность» были награждены предприятия г. Новокузнецка Кемеровской области «Сибэкотехника» за технологии утилизации угольных шламов и «Западно-Сибирский металлургический комбинат» за внедрение малоотходной технологии производства стали, а также НПО «Химвтоматика», московское предприятие, разработавшее новый прибор для определения антиоксидантов в пищевых продуктах, косметических и лекарственных препаратах.

Победителем в номинации «За вклад в устойчивое развитие» стал представленный «Кавказтрансгазом» проект внедрения системы экологического управления на предприятии газовой отрасли. Также был отмечен проект «Уренгойгазпрома» за благоустройство жизни города Крайнего Севера.

В номинации «Экология города» главный приз был присужден Томскому политехническому университету за стратегию улучшения качества воздуха в городе Томске.

В разделах этой номинации был награжден Общественный Фонд «Алтай — 21 век» за организацию летней экологической школы, а также отмечены проекты Алтайского государственного технического университета и Института водных проблем РАН.

В разделе «Отходы в доходы» награду получил проект по утилизации отходов деревообработки предприятия «Чистые технологии» из Пензенской области.

Лучшим в номинации «Эко-продукция» был признан Вяземский хлебокомбинат за сохранение народных традиций и рецептов изготовления.

ОАО «Северодвинск — Молоко» был отмечен за сохранение и ярко выраженный вкус продукта.

В номинации «Средства массовой информации и окружающая среда» победу одержал издательский дом «Экос» из Бурятии с проектом журнала «Мир Байкала» за экологическое просвещение.

Победителями в разделах номинации были названы «Горный журнал» и «Кунгур-Информ ТВ» за телевизионный репортаж «На благо природы» об экологии Пермской области.

В церемонии награждения Национальной экологической премией приняли участие Председатель Высшего экологического Совета при Комитете по экологии Государственной Думы М.Ч. Залиханов, Председатель Комиссии Общественной палаты по экологической безопасности и охране окружающей среды В.М. Захаров, Директор Института геоэкологии РАН В.И. Осипов, директор Института водных проблем РАН В.И. Данилов-Данильян, руководители Министерства природных ресурсов, Счетной палаты, Торгово-промышленной палаты Российской Федерации и другие видные специалисты в области охраны окружающей среды и устойчивого развития.

Организаторами Национальной экологической премии принято решение провести 1 апреля, в годовщину принятия Президентом РФ указа об устойчивом развитии, церемонию вручения антипремии «Резиновая планета», которой будут награждать предприятия, внесшие большой вклад в загрязнение окружающей среды.

ВСЕМИРНЫЙ ДОКЛАД ООН О РАЗВИТИИ ВОДНОГО СЕКТОРА СВИДЕТЕЛЬСТВУЕТ О КРИЗИСЕ СИСТЕМЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ В ДАННОЙ ОТРАСЛИ

В мире существует изобилие запасов пресной воды, хотя распределены они по нашей планете далеко не равномерно. Но в результате плохого управления, ограниченности ресурсов и экологических изменений почти пятая часть населения Земли все еще не имеет доступа к безопасным источникам питьевой воды, а сорок процентов населения мира не имеет доступа к элементарным санитарным условиям, говорится на страницах нового Всемирного доклада ООН о развитии сферы водоснабжения.

Это доклад, публикуемый раз в три года, является наиболее полной актуальной оценкой состояния глобальных ресурсов пресной воды. Он был представлен журналистам в Мехико. Нынешний выпуск доклада, получивший название «Вода — совместная ответственность», посвящен важной роли государственного управления в регулировании использования глобальных водных ресурсов и решении проблемы бедности.

Именно система государственного управления, говорится в докладе, «определяет, кто получает какую воду, когда и каким образом; а также решает, кто имеет право на воду и сопутствующие услуги». Такие системы включают в себя не только само правительство, но и местные органы власти, частный сектор и гражданское общество. В сферу их компетенции входит также ряд вопросов, самым тесным образом связанных с водой, включая здравоохранение и продовольственную безопасность, экономическое развитие, землепользование, а также сохранение естественных экосистем, от которых зависят наши водные ресурсы.

На страницах доклада подчеркивается, что:

- Несмотря на значительный и устойчивый прогресс в области водоснабжения, имеющий место в настоящее время, и «наличие на глобальном уровне изобилия запасов пресной воды», согласно оценкам Совместной программы мониторинга ВОЗ/ЮНИСЕФ, 1,1 млрд человек в мире по-прежнему лишены доступа к надежным источникам снабжения питьевой водой, а еще около 2,6 млрд человек не имеют доступа к элементарным санитарным условиям. Это едва ли не самые обездоленные люди мира. Более половины из них составляют жители Китая и Индии. При сохранении нынешних темпов прогресса такие регионы мира, как Африка к югу от Сахары, не смогут достигнуть Цели развития тысячелетия ООН по сокращению вдвое к 2015 году пропорциональной доли людей, не имеющих доступа к безопасным источникам питьевой воды. Если текущие тенденции сохранятся, то и Цель развития тысячелетия ООН по сокращению к 2015 году вдвое пропорциональной доли людей, не имеющих доступа к элементарным санитарным условиям, на глобальном уровне достигнута не будет. По мнению авторов доклада, подобная ситуация сложилась под воздействием, прежде всего, таких факторов, как «плохое управление, коррупция, отсутствие соответствующей институциональной базы, бюрократическая инерция и нехватка новых инвестиций в наращивание человеческого потенциала, а также физической инфраструктуры».

- Плохое качество воды является основной причиной ухудшения условий жизни и состояния здоровья. В 2002 году заболевания, связанные с диареей, и малярия унесли жизни приблизительно 3,1 миллионов человек. Девяносто процентов этих смертей пришлось на долю детей в возрасте до пяти лет. По оценкам экспертов, обеспечение доступа к надежным источникам питьевой воды, санитарным условиям и гигиене позволило бы спасать до 1,6 миллиона человеческих жизней ежегодно.

- Качество воды ухудшается в большинстве регионов мира. Факты свидетельствуют о том, что в упадок приходит также разнообразие пресноводных видов живых организмов, а также экосистем, причем зачастую их деградация идет даже быстрее, чем наземных и морских экосистем. В докладе отмечается, что для нормального функционирования гидрологического цикла, от которого зависит существование самой жизни на Земле, необходима здоровая окружающая среда.

- Девяносто процентов природных бедствий — это катастрофы, связанные с водной стихией, причем их количество растет. Многие из них были вызваны неправильным землепользованием. Печальным тому примером является затяжная засуха в Восточной Африке, которая в последние десятилетия пережила крупномасштабную вырубку леса в связи с производством древесного угля и заготовкой дров. В докладе также упоминается пример озера Чад, площадь которого, начиная с 1960 годов, сократилась примерно на девяносто процентов, прежде всего, вследствие чрезмерного выпаса скота, обезлесения и осуществления крупных, но неустойчивых ирригационных проектов. Двое из пяти жителей планеты проживают в настоящее время в районах, уязвимых перед опасностью наводнений и повышения уровня моря. Наибольшему риску подвергаются такие страны, как Бангладеш, Китай, Индия, Нидерланды, Пакистан, Филиппины, США и малые островные развивающиеся государства. В докладе подчеркивается, что продолжающийся процесс изменения климата будет способствовать дальнейшему ухудшению ситуации.

- К 2030 году миру потребуется на 55 процентов больше продовольствия, чем сегодня. Это приведет к увеличению масштабов ирригации, которая уже потребляет около семидесяти процентов всей пресной воды, используемой для нужд человека. Производство продовольствия на протяжении последних пятидесяти лет значительно возросло, однако тринадцать процентов населения мира (850 миллионов человек, преимущественно из числа сельских жителей) все еще не получают достаточного питания.

- К 2007 году половина человечества будет жить в городских населенных пунктах. К 2030 году эта цифра возрастет до приблизительно 2/3, что повлечет за собой резкое увеличение потребления воды в городских районах. Предполагается, что примерно два миллиона из числа этих людей будут проживать в самовольно застроенных поселениях и трущобах. Это — городская беднота, которая в наибольшей мере страдает от недостатка чистой воды и санитарных условий.

- Более двух миллиардов человек в развивающихся странах не имеют доступа к надежным формам энергии. Вода является важным ресурсом в плане производства энергии, которое в свою очередь имеет жизненно важное значение для экономического развития. Европа использует свой гидроэнергетический потенциал на 75 процентов. Африка — 60 процентов населения которой не имеют доступа к электроэнергии — развила пока лишь семь процентов своего потенциала.

- Во многих районах мира огромное количество воды — от тридцати до сорока и даже более процентов — пропадает напрасно из-за протекания труб, утечки воды из каналов и нелегального подключения пользователей.

- Хотя в нашем распоряжении нет точных цифр, однако, по мнению специалистов, политическая коррупция каждый

год является причиной потери многих миллионов долларов в водном секторе и разрушения системы водоснабжения, прежде всего, для бедного населения. В докладе приводятся результаты опроса, проведенного в Индии, согласно которым 41 процент опрошенных клиентов на протяжении последних шести месяцев более чем один раз давали небольшую взятку, чтобы подделать показания счетчика; 30 процентов были вынуждены «заплатить», чтобы ускорить ремонтные работы, а еще 12 процентов «платили», чтобы ускорить прокладку новых водных и канализационных коммуникаций.

Признавая ту важную роль, которую играет пресная вода в безопасности и развитии человека, Йоханнесбургский план реализации, принятый государствами-членами ООН на Всемирном саммите по устойчивому развитию (Йоханнесбург, 2002 год), призвали страны мира разработать к 2005 году полноценные планы управления водными ресурсами и обеспечения эффективности водоснабжения. Доклад показывает, что до настоящего времени только около двенадцати процентов стран составили такие планы, хотя многие другие также начали их разрабатывать.

Наблюдается застой и в области финансирования системы водоснабжения. Согласно докладу, общий объем официальной помощи в целях развития (ОПР), направлявшейся на нужды водного сектора, в последние годы составлял в среднем примерно три миллиарда долларов США в год, а еще 1,5 миллиарда долларов США были выделены сектору в форме льготного кредитования, прежде всего Всемирным банком. Однако лишь малая часть этих средств (12 %) дошла до особенно остро нуждающихся. При этом только около десяти процентов было направлено на поддержку развития водной политики, планирование и реализацию соответствующих программ.

Помимо этого снижался и объем инвестиций, вкладываемых частным сектором в развитие услуг водоснабжения. На протяжении 1990 годов, по оценкам экспертов, частный сектор вложил приблизительно 25 миллиардов долларов США в систему водоснабжения и канализацию в развивающихся странах, главным образом в Латинской Америке и Азии. Однако многие крупные многонациональные водные корпорации начали свертывать или прекращать свою деятельность в странах развивающегося мира в связи с высоким уровнем политического и финансового риска.

Хотя результаты их деятельности зачастую не соответствовали ожиданиям правительств развивающихся стран и стран-доноров, однако авторы доклада подчеркивают, что «было бы ошибкой» отказаться от услуг частного сектора. Сталкивающиеся с финансовыми затруднениями правительства, располагающие вдобавок к этому лишь слабой законодательной базой, говорится в докладе, «являются скверной альтернативой в решении проблемы неудовлетворительного управления водными ресурсами и плохого водоснабжения».

На протяжении XX столетия потребление воды выросло в шесть раз, тем самым в два раза превысив рост численности населения. Наши возможности в плане удовлетворения постоянно растущего глобального спроса, говорится в докладе, будут зависеть от организации эффективной системы государственного управления и распоряжения доступными нам ресурсами.

«Эффективная система государственного управления имеет существенно важное значение для того, чтобы справиться с все более непростой задачей организации

снабжения пресной водой, а также незаменима при решении проблемы бедности», — заявил генеральный директор ЮНЕСКО Коитиро Мацуура. «Не существует единого плана системы эффективного государственного управления, которая была бы одновременно сложной и динамичной. Но мы знаем, что она должна включать в себя определенные соответствующие учреждения — на национальном, региональном и локальном уровнях, эффективные правовые рамки и достаточные человеческие и финансовые ресурсы».

Необходимо также обеспечить «фундаментальные права и свободы, в том числе свободу слова и право на создание организаций», говорится в докладе, поскольку «если граждане не имеют доступа к элементарной информации относительно качества и количества водных ресурсов, то это ведет к серьезному ограничению их возможностей противостоять экологически вредным водным проектам или же привлечь к ответственности соответствующие правительственные организации и учреждения».

Всемирный доклад ООН о развитии сферы водоснабжения является результатом совместных усилий 24 агентств и подразделений системы ООН, чья деятельность связана с управлением водными ресурсами. Он был составлен по их поручению специалистами Всемирной программы оценки состояния водных ресурсов ООН, чей секретариат относится к системе ЮНЕСКО, которая рассматривает вопросы, касающиеся ресурсов пресной воды в качестве первоочередного приоритета своей деятельности. В пятнадцати разделах доклада, каждый из которых был подготовлен различными агентствами-участниками, представлен подробный анализ ситуации во всех регионах мира, основанный на самых последних доступных к данному моменту данных, картах и графиках. Кроме этого в доклад включены семнадцать специальных исследований, а также многочисленные положительные и отрицательные примеры организации государственного управления водными ресурсами.

новости

ГЛАВА ДУМСКОГО КОМИТЕТА ПО ЭКОЛОГИИ: МЕНЕЕ 50 % ЖИТЕЛЕЙ РОССИИ ПОЛУЧАЮТ ИЗ КРАНА ПРОЗРАЧНУЮ ВОДУ

30 октября в Уфе прошло выездное заседание Комитета Госдумы РФ по экологии под председательством депутата Владимира Грачева. В ходе заседания рассмотрены вопросы региональной экологической политики.

Башкирия готова принять полномочия в сфере охраны окружающей среды, которые возвратятся субъектам федерации с 2007 года, отметил министр природных ресурсов РБ Альфред Фаухутдинов. Он отметил, что государственная экологическая экспертиза и регулирование водных отношений передано субъектам без финансового обеспечения, но субсидируется за счет федеральный субвенций. Возврат государственного лесного фонда субъектам сопровождается сокращением субвенций на его содержание на 25 % по сравнению с прошлыми суммами бюджетного финансирования.

«Наша республика сумеет обеспечить эти полномочия финансовым подкреплением, но многие другие субъекты России поставлены в трудное положение, — сказал спикер башкирского парламента Константин Толкачев. — Я думаю, что у них большинство полномочий будут иметь спящий характер».

Грачев поднял на заседании проблему обеспечения населения России чистой водопроводной водой. Он рассказал о депутатской инициативе «Чистая вода в каждый дом, в каждую семью» и отметил, что сегодня менее 50 % жителей страны получают из крана прозрачную воду, хотя и отвечающую санитарным нормам. «Мы умеем загрязнять воду даже во время транспортировки по ржавым трубам, — отметил он. — Она конечно не опасна для здоровья, но зачастую низкого качества».

В качестве решения проблемы Грачев посоветовал вводить повсеместно мембранные фильтры, которые задерживают частицы до 0,1 микрон, включая, бактерии и вирусы. «Мембранные технологии уже применяются в России, но надо их внедрять в каждом населенном пункте», — подытожил он.

МПР ХОЧЕТ ПОДНЯТЬ ПЛАТУ ЗА ПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Министерство природных ресурсов (МПР) России предлагает увеличить в 2007 году ставки платы за пользование водными объектами в среднем на 15–20 %. Об этом, как передает корреспондент «Росбалта», сообщил на заседании Госдумы глава МПР Юрий Трутнев.

Оценивая готовность правительства к введению в действие Водного кодекса РФ, принятого Госдумой в апреле 2006 года, министр отметил, что все сопутствующие закону нормативные акты будут подписаны в ноябре, т. е. за месяц до вступления кодекса в силу. Трутнев сообщил, что МПР поддерживает разработанные членами Совета Федерации поправки к Водному кодексу, касающиеся предоставления субъектам РФ полномочий по установлению предельных размеров прудов и обводненных карьеров, находящихся в собственности физических и юридических лиц. МПР также будет настаивать на увеличении штрафов за несанкционированный аварийный сброс воды и загрязнение водоемов, сообщил министр.

Напомним, в заключительном третьем чтении Водный кодекс был принят Госдумой 12 апреля и подписан президентом РФ 5 июня 2006 года. Согласно закону, все российские водоемы, находящиеся в государственной и муниципальной собственности, являются объектами общего пользования, однако их отдельные части могут предоставляться в «обособленное пользование» физическим или юридическим лицам. Кодекс вступит в силу с 1 января 2007 года.

БАЙКАЛ НЕ МОЖЕТ ЗАЩИТИТЬ НИ РОССИЙСКОЕ, НИ МЕЖДУНАРОДНОЕ ПРАВО

Вроде и недавно было это, а десять лет уж минуло с тех пор, как мировое сообщество в лице ЮНЕСКО признало Байкал участком всемирного природного наследия. Хороший повод, чтобы остановиться и оглянуться. Задуматься. Проанализировать пройденный путь и ответить, совершенно честно ответить хотя бы самим себе на главные вопросы. Стало ли озеру лучше после присвоения ему официального статуса общемировой ценности? Повысилась ли защищённость Байкала от человеческой глупости и алчности после того, как на его защиту встало, в дополнение к российскому, ещё и международное право? Появились ли реальные позитивные изменения на тех участках уникальной экосистемы, которые были нарушены человеком раньше, до признания Байкала всемирным наследием?

Добиваясь этого высокого статуса для Байкала, Россия приняла на себя и высокие обязательства перед мировым сообществом по безусловному сохранению уникальной экосистемы и устранению каких бы то ни было угроз её благополучию в будущем. Поэтому мне очень хотелось найти хотя бы один положительный ответ на перечисленные вопросы в реальной жизни. Но тщетно. Побережье озера продолжает хаотично застраиваться не только туристическими базами, но и особняками, принадлежащими в том числе и иркутским чиновникам. Программа перепрофилирования Байкальского ЦБК давно забыта, и теперь уже речь ведётся не об изменении профиля предприятия, а хотя бы о создании системы замкнутого водооборота для существующего целлюлозного производства. Но даже в реализацию этого единственного пункта из большой программы верится с трудом.

Перелопатив кучу всевозможных документов и поговорив со многими людьми — от активистов местных и общероссийских общественных организаций до ответственных работников нескольких федеральных министерств, имеющих отношение к экологическим проблемам, — убедился, что количество экологических угроз Байкалу как минимум не уменьшается. Скорее даже нарастает. А нынешняя история с проектом Транснефти по прокладке нефтепровода вдоль Байкала, по мнению Ирины Максимовой, секретаря научного совета по Байкалу Сибирского отделения РАН, наглядно продемонстрировала полную, абсолютную незащищённость озера со стороны российского и международного экологического права.

«Именно нынешний год стал кульминационным по выявившимся проблемам реализации природоохранного законодательства», — утверждала Ирина Ильинична на большой международной конференции, проведённой нынешним летом в Иркутске по инициативе Института географии СО РАН. И этот же 2006 год, по её оценке, «с максимальной наглядностью продемонстрировал миру реальную силу объединившихся за правое дело обыкновенных, нормальных российских (и не только российских) людей, науки, общественности и даже некоторых примкнувших к народу чиновников.»

Переполненный актовый зал Института географии, где проходила та конференция, прекрасно понимал, что, говоря эти слова, Ирина Максимова имела в виду эпопею с нефтяной трубой, которую предполагалось проложить по берегу Байкала. И каждый, находящийся в том зале, за исключением, может быть, некоторых иностранцев, мог поимённо перечислить «примкнувших к народу» чиновников, включая президента страны, который в последний момент и отвёл беду от Байкала парой коротких росчерков фломастера. Искренняя благодарность за реальное доброе дело ему лично, поскольку закон, который должен «стоять на страже», в то горячее время, увы, мирно посапывал во сне. Он, Закон российский природоохранный, и сейчас сладко дремлет, изредка приоткрывая глаза и добродушно грозя пальчиком некоторым чересчур расшалившимся природопользователям.

«Поэтому промежуточное положительное решение по проекту нефтепровода «Восточная Сибирь — Тихий океан» не должно заставить нас почивать на лаврах, — предупреждает Ирина Максимова. — И на-

ше продолжающееся фактическое бездействие может привести к новым проблемам».

Процесс принятия решения по изменению маршрута нефтепровода, по мнению И. Максимовой, стал фактическим показателем степени действенности (а скорее — бездейственности) и международного, и российского законодательства, касающегося объектов всемирного наследия. Она подчёркивает, что даже среди участков всемирного природного наследия Байкал является абсолютно уникальным объектом, потому что он единственный номинирован не по двум-трём, а по всем четырём критериям, обозначенным в конвенции. А ещё потому, что есть Федеральный закон о его охране. И потому, что он содержит в себе 20 процентов доступных человеку мировых запасов пресной воды. И даже потому, что Комитет всемирного наследия на протяжении пяти последних лет на каждой сессии обсуждал вопрос о возможности перевода Байкала в список «Природное наследие в опасности».

Между тем, и сегодня, когда всё громче слышны восторги по поводу темпов строительства того самого нефтепровода, который президент страны отодвинул от Байкала, окончательная точка в проекте ВСТО не поставлена. И совсем не случайно Ирина Ильинична назвала это решение промежуточным. Дело в том, что то скандальное заключение государственной экологической экспертизы, разрешившее прокладку нефтепровода по берегу Байкала, де-юре до сих пор считается действующим. Я, по крайней мере, не встречал официального документа об отмене того заключения. И руководители Ростехнадзора, бескорыстно обеспечившие нужный узкому кругу лиц результат государственной экологической экспертизы, сидят не где-нибудь, а в своих

креслах. Это значит, что можно в любой момент передумать и, добравшись с трубой до Усть-Кута или другой удобной точки, вновь направить трубу к Байкалу, вернувшись под любым предлогом к старому проекту.

«Российское законодательство просто не действует, — категорично констатирует ситуацию Ирина Максимова, которую многие считают ведущим специалистом в области экологического права. — При весьма красивых декларациях и заложенном потенциале в нём почти полностью отсутствуют нормы прямого действия».

Но кроме российского, существует ещё и международное право, под защиту которого Байкал был взят одновременно с присвоением ему официального статуса участка всемирного природного наследия. Неужели оно тоже дремлет?

«Если говорить прямыми словами, то Конвенция по охране всемирного культурного и природного наследия просто беззубая, — делает вывод И. Максимова, проанализировав ситуацию вокруг той злополучной трубы. — Было бы хорошо, если бы совместными действиями России, Германии и других стран были разработаны и внесены изменения в международное законодательство. В частности, необходимо внести изменения в Конвенцию о всемирном наследии.»

Предложения учёного секретаря научного совета по Байкалу Сибирского отделения РАН, в числе других предложений международной конференции, уже направлены в соответствующие российские и международные структуры. Но хочу заметить, что даже если они будут поддержаны всеми, на внесение изменений в международное экологическое право потребуется очень много времени. А в сегодняшних условиях наиболее надёжной защитой Байкала и всей сибирской природы остаётся наша гражданская позиция.

новости

РЕКОРДНОЕ КОЛИЧЕСТВО ВЫБРОСОВ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ЯПОНИИ

Министерство охраны окружающей среды Японии сообщило, что в 2005 финансовом году в стране было зафиксировано рекордное количество выбросов углекислого газа, превысив показатель предыдущего года на 0,6 процента. Министерство сообщает, что в Японии было выброшено около 1,4 миллиарда тонн углекислого газа и других видов газа, вызывающих парниковый эффект. Это на 8 миллионов тонн больше, чем в прошлом году. Эта сумма на 15 процентов больше определенных Киотским протоколом норм. Этот документ обязывает Японию сократить выброс газов, приводящих к «парниковому эффекту» на 6 процентов от уровня 1990 году к 2010 году. Министерство объясняет увеличение выбросов газа повышенным использованием электроэнергии из-за суровой зимы.

Министр охраны окружающей среды признал, что Япония сталкивается с трудностями в исполнении задач, поставленных Киотским протоколом. Он заявил, что министерство будет поддерживать меры для сокращения выбросов, включая развитие движения, призывающего людей теплее одеваться, чтобы сократить потребление электроэнергии для отопления.

«МЕРТВЫХ ЗОН» В МОРЯХ И ОКЕАНАХ СТАНОВИТСЯ ВСЕ БОЛЬШЕ

По данным специалистов ООН, число безжизненных зон, лишенных кислорода, за последние два года выросло более чем на треть. В список «мертвых зон», среди прочих, попали Балтийское и Черное моря и северная часть Адриатики. Такие зоны возникают благодаря попаданию в моря и океаны сточных вод, удобрений и прочих загрязняющих веществ.

КОМБИНИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ СПОСОБОВ ОЧИСТКИ КАПРОЛАКТАМ- СОДЕРЖАЩИХ СТОКОВ

А.Б. Соколов,
канд. хим. наук, доцент
Самарского государственного
технического университета
М.Г. Печатников,
канд. хим. наук,
старший научный сотрудник
Самарского государственного
технического университета
А.С. Крижановский,
директор проекта развития производства
капролактама, ОАО «КуйбышевАзот»
Г.Г. Петров,
консультант ОАО «КуйбышевАзот»

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОКОВ

Биологическая очистка — наиболее часто используемый процесс обработки муниципальных и промышленных сточных вод. Этот метод весьма эффективен для удаления многих растворимых и коллоидальных органических веществ из сточных вод. К достоинствам метода следует отнести его низкую стоимость. Применение биологического метода для очистки сточных вод, содержащих капролактамы, требует значительно больших усилий. Это связано с тем, что микроорганизмы, используемые для биологической очистки, могут быть легко уничтожены при быстром увеличении содержания ядовитых веществ в сточной воде, а для восстановления соответствующего количества микроорганизмов, необходимых для переработки отходов, может потребоваться значительное время [1, 2].

Большая часть имеющейся информации о биологической очистке относится к извлечению загрязнителей из бытовых отходов на муниципальных очистных сооружениях, а соответствующий опыт и рекомендации не всегда можно распространить на промышленные сточные воды [3–6].

Для биологической обработки используются микроорганизмы, которые усваивают органическое вещество сточных вод и тем самым обеспечивают энергией свою жизнедеятельность (синтез, движение и дыхание). Достаточно простые растворенные органические соединения, с небольшой молекулярной массой, непосредственно поглощаются клетками микроорганизмов и окисляются. Что касается сложных нерастворимых органических веществ, а это обычно соединения с длинной цепочкой углеродных атомов (C_6 и более), то при контакте с ними микроорганизмы выделяют ферменты, под действием которых эти вещества гидролизуются с переходом в растворимую фракцию, проникают через оболочку клеток микроорганизмов и поглощаются ими.

Таким образом, сложные органические соединения перерабатываются относительно медленно [7, 8].

Существуют органические соединения, которые не разлагаются с помощью биологического окисления.

Другие соединения могут поглощаться микроорганизмами при низкой концентрации, но при высокой концентрации являются для них токсичными. При наличии в сточных водах соединений такого рода часто требуется определенное время для приспособления микроорганизмов к этим соединениям [9–12].

Эффективный и успешный процесс биологического окисления требует определенного количества азота и фосфора для синтеза новых клеток микроорганизмов.

Кроме того, в малом количестве требуется ряд других элементов, в частности кальций и натрий [13–15].

Известно, что достаточность элементов питания при биологической очистке сточных вод определяется соотношением биологическое потребление кислорода (БПК): $N : P = 100 : 5 : 1$, которое считается оптимальным для микроорганизмов, использующихся в процессах биологической обработки отходов [1, 16]. (Напомним, что величина БПК характеризует содержание органического вещества в сточных водах и обычно определяется как количество кислорода, потребляемое микроорганизмами для биологического окисления определенного количества органического материала.) В сточных водах производств, связанных с капролактамом, данное соотношение обычно сдвинуто

в сторону увеличения содержания азота [11, 17–19]. Поэтому для достаточно полного удаления капролактама биологическими методами прибегают или к дополнительному внесению в сточную воду углеродсодержащих веществ (например метанола) [20], или к созданию технологических условий, обеспечивающих протекание в аэротенках процессов биологической нитрификации — денитрификации [21–24]. При этом подразумевается, что процесс гидролиза органических азотистых соединений прошел, и азот существует в виде аммиака или ионов аммония [25, 26].

Современный этап развития науки и техники в области очистки сточных вод характеризуется изменением приоритетов в целях и задачах механической и биологической очистки. Меньше уделяется внимания величине БПК и концентрации взвешенных веществ в очищенной воде и больше — количеству азота, обусловленного процессами эвтрофикации (бурное развитие водорослей, дефицит кислорода, замор рыб и других гидробионтов), интенсивно протекающими в водоемах. Поскольку аммонийный азот более подвижен и легко усваивается гидробионтами, отдается предпочтение глубокой нитрификации (перевод аммиака и солей аммония в соли азотной кислоты) в аэротенках, что обеспечивает снижение БПК до 10 мг/л и менее. Анализ результатов работы очистных сооружений в системах удаления азота показал, что для глубокой нитрификации необходимо предварительно изъять легкоокисляемые органические вещества и снизить нагрузку на активный ил по органическим веществам. Если в нормативных документах рекомендуется нагрузка на ил 300–500 мг/(г·сут.) по БПК, то для нитрификации ее следует уменьшить почти вдвое.

Ведение процесса биологической очистки с глубокой нитрификацией по традиционной схеме, когда последовательно окисляется 60–70 % органических веществ и затем осуществляется нитрификация, нерационально, так как значительно увеличивается продолжительность аэрации, возрастает расход воздуха и не происходит снижения массы общего азота. Разумно использовать органические вещества для денитрификации, которая протекает в отсутствие растворенного кислорода, и вместо дорогостоящей аэрации осуществлять простое перемешивание иловой смеси. Те же 60–70 % органических веществ, оцениваемых величиной БПК, расходуются на процесс восстановления нитратов.

Схема биологической очистки такова: иловая смесь из аэробной зоны смешивается со сточными водами и направляется в денитрификатор, где в аноксидальных условиях (без доступа воздуха, перемешивание) осуществляется восстановление азота и снижается БПК; затем иловая смесь направляется в аэробную часть, где происходит процесс нитрификации в самых благоприятных для нее условиях. На 1 г восстанавливаемого азота потребляется от 7 до 12 г органических веществ по БПК.

Если в осветленных стоках содержится 60–90 мг/л загрязнений (по БПК), то становится возможным удаление из сточных вод 5–7 мг/л общего азота [28].

На действующих в России производствах азотсодержащих органических соединений (капролактама, акрилонитрила и др.) образуется значительное количество жидких стоков, которые должны направляться на биологическую очистку, включающую стадии нитрификации и денитрификации [29–33]. Биологическая очистка имеет несомненные экономические и социальные преимущества перед термическими методами, однако ее реализация лимитируется

жесткими требованиями к химическому составу исходных стоков. В ряде случаев стоки, направляемые на очистку, не соответствуют современным экологическим нормам, предъявляемым к биоочистке, из-за повышенного содержания ионов аммония на выходе со стадии денитрификации.

Например, на производстве капролактама сточные воды содержат суммарно до 658 мг/л ионов аммония, что на несколько порядков выше нормы. Такое содержание аммония нарушает баланс жизнедеятельности микроорганизмов, меняется их видовое соотношение, что сказывается на качестве очистки в целом. Поэтому стоки с повышенным содержанием ионов аммония на производстве чаще всего сжигают.

Анализ, проводимый специалистами химической и родственных отраслей промышленности в разных странах, убедительно показывает необходимость и выгодность подхода, основанного на решении экологических проблем промышленности конкретно, на месте их возникновения. Для очистки сточных вод все более широко используют совмещение различных методов очистки: биологических и физико-химических (например, очистка в биоадсорберах и фильтротенках); биологических и химических, т. е. изменяют состав сточных вод химическими методами таким образом, чтобы подготовленные стоки соответствовали нормам, принятым для данного очистного сооружения.

В работе [11] показано, что капролактамы в концентрации более 200 мг/л и аммонийные соли в концентрациях от 10 до 150 мг/л оказывают ингибирующее действие на нитрифицирующие бактерии. Ингибирующее действие могут оказывать также аммиак и азотистая кислота. В результате лабораторных и промышленных исследований установлены границы концентрации аммиака и азотистой кислоты, оказывающих ингибирующее влияние на процесс [10]. При концентрациях NH_4^+ от 10 до 150 мг/л происходит ингибирование нитритных бактерий, а при концентрациях NH_4^+ от 0,1 до 1,0 мг/л — нитратных бактерий. Ингибирующей для нитратных бактерий является концентрация азотистой кислоты от 0,22 до 0,28 мг/л.

Практика эксплуатации современных сооружений биологической очистки сточных вод показывает, что эти комплексы без какой-либо дополнительной обработки очищенных стоков зачастую не могут обеспечить требуемого качества очистки. Если доочистка сточных вод осуществляется только в сооружениях механической и искусственной биологической очистки, то снижение загрязняющих взвешенных и органических (по БПК) веществ происходит до 15 мг/л, азота — в среднем на 40 %. Для очистки сточных вод до нормативных показателей, кроме механической и биологической очистки, проводят доочистку в специальных сооружениях [34].

КОМБИНИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ СПОСОБОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОКОВ, СОДЕРЖАЩИХ КАПРОЛАКТАМ

Стоки производства капролактама ОАО «Куйбышев-Азот» имеют следующий состав: 1,0–2,0 % капролактама, 2,0–3,0 % $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, химическое потребление кислорода (ХПК) в пределах 56 000–65 000 мг/л.

Обычно эти стоки направляются на сжигание, что нецелесообразно с экономической и экологической точек зре-

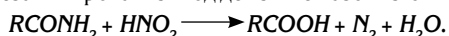
ния. Нами предложено использовать для их очистки биологический метод в сочетании с химическим. Поскольку стоки содержат значительные количества нитрит- и нитрат-ионов (что показывают высокие значения ХПК), их можно направлять только на вторую стадию биологической очистки — денитрификацию [31, 35, 36]. В то же время содержащийся в стоках капролактам будет вызывать повышенную концентрацию ионов аммония на выходе со стадии денитрификации [11, 17–19]. Таким образом, на биологическую очистку данные стоки можно направлять только после удаления из них капролактама, либо после связывания его в такие соединения, которые не дают аммонийную группу на выходе после стадии биоочистки.

Как известно, химические превращения лактамов могут происходить с раскрытием или без раскрытия цикла [37]. К первой группе реакций относятся кислотный и щелочной гидролиз, взаимодействие с аминами и гидросиламином, алкоголиз, полимеризация. Условия протекания этих реакций зависят от размера цикла, а также от количества и положения заместителей в нем.

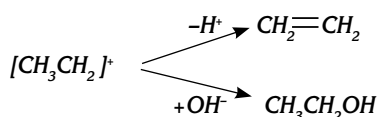
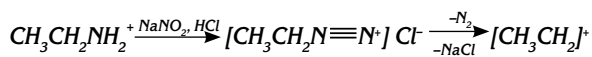
Полимеризация лактамов протекает под действием катализаторов катионного и анионного типов, легче всего полимеризуются семи- и девятичленные лактамы.

Лактамный цикл не раскрывается в реакциях алкилирования, ацилирования, галогенирования, нитрозирования и в различных превращениях, в которых участвует карбонильная группа [38].

С точки зрения очистки стоков наиболее перспективный подход — удаление группы NH₂ из молекул органических соединений путем замещения ее на другую группу или образования кратной связи. Данных по дезаминированию лактамов в литературе нами не обнаружено, но известно, что близкие по свойствам соединения — амиды карбоновых кислот — способны дезаминироваться под действием азотистой кислоты:



Сущность данного метода дезаминирования состоит в обработке кислых водных растворов аминов нитритом натрия или калия, в результате чего образуются соли диазония, причем диазониевые соли алифатических и ациклических аминов нестабильны и разлагаются с выделением азота. Генерируемый при этом карбокатион либо стабилизируется с образованием олефина, либо присоединяет гидроксильную группу и прочие нуклеофильные агенты:



На основании анализа литературных данных нами был предложен способ дезаминирования капролактамосодержащих стоков на стадиях их подготовки к биоочистке. Вместо дорогого и дефицитного нитрита натрия предложено использовать другой отход производства капролактама — азотнокислый конденсат с общим содержанием азотной и азотистой кислот 3,0–4,5 % (в пересчете на HNO₃).

При изучении процесса дезаминирования капролактамосодержащих стоков применяли химические и физико-химические методы анализа. Анализ бихроматной окисляемости вод (ХПК) и определение сульфата аммония в растворах про-

водили по стандартным методикам. Для определения капролактама в водных растворах применяли хроматографический метод анализа. Следует отметить, что этот метод весьма ограниченно применяется в производстве капролактама из-за быстрого выхода колонки из строя, другой его недостаток — размытость, несимметричность пика капролактама вследствие его высокой полярности. С целью изыскания возможностей использования хроматографического метода для анализа капролактамосодержащих стоков были опробованы различные варианты носителей и жидких фаз. Показано, что симметричность пика достигается только на сильно силанизированных носителях с большим количеством жидкой неполярной фазы. Наилучшие результаты получены для следующих условий анализа: длина колонки — 1 м, неподвижная фаза ApiezonL (15 %), нанесенная на твердый носитель Chromaton NAWDMCS, рабочая температура колонки — 170 °С, испарителя — 250 °С, газ-носитель — гелий, объемная скорость его подачи — 25 мл/мин. Колонка сохраняет стабильность в течение трех месяцев работы.

Анализ проводили на хроматографе «Цвет 100» с пламенно-ионизационным детектором. Для количественного расчета хроматограмм применялся метод внешнего стандарта. Продукты реакции идентифицировали методом прямого введения индивидуальных компонентов.

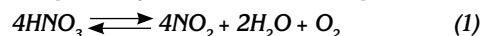
МЕТОД ПОДГОТОВКИ КАПРОЛАКТАМОСОДЕРЖАЩИХ СТОКОВ К БИООЧИСТКЕ

Метод подготовки стоков включает три стадии, это:

- 1) дезаминирование стоков азотнокислым конденсатом;
- 2) нейтрализация реакционной массы содовым раствором до pH = 9–10 и отдувка воздухом образующегося аммиака; абсорбция образующегося аммиака водой;
- 3) нейтрализация подготовленных стоков азотной кислотой или азотнокислым конденсатом до pH = 7–7,5.

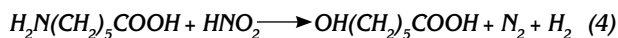
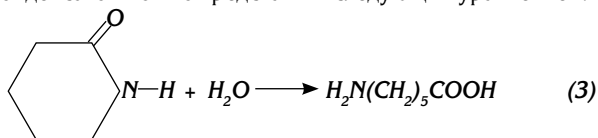
ДЕЗАМИНИРОВАНИЕ АЗОТНОКИСЛЫМ КОНДЕНСАТОМ

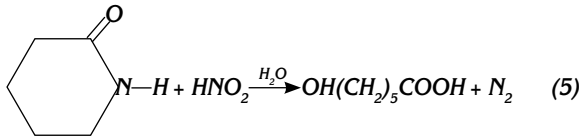
Установлено, что дезаминирование происходит под действием не только азотнокислого конденсата, но и чистой 2–3 %-ной азотной кислоты (рис. 1). Возможно, что при нагревании реакционной смеси азотная кислота переходит в азотистую, которая и осуществляет дезаминирование:



Образовавшаяся азотистая кислота быстро реагирует с капролактамом или с продуктами его окисления. Подобные реакции протекают и при кипячении стоков с азотнокислым конденсатом, при этом величина ХПК стоков заметно уменьшается. Так, величина ХПК стока после кипячения с двукратным объемом азотнокислого конденсата и последующей нейтрализацией одним объемом 3 %-ного раствора Na₂CO₃ снизилась с 56 000 мг/л до 4000 мг/л.

Процесс дезаминирования капролактама азотнокислым конденсатом можно представить следующим уравнением:





Капролактамы при нагревании как в кислой, так и щелочной среде подвергается гидролизу, в результате образуется ϵ -аминокапроновая кислота (уравнение 3), которая при взаимодействии с азотистой кислотой переходит в ϵ -гидроксикапроновую кислоту (уравнение 4) [39]. Капролактамы может непосредственно взаимодействовать с азотистой кислотой, превращаясь в ϵ -гидроксикапроновую кислоту. Таким образом, продуктами подготовки стоков могут быть натриевые соли аминокaproновой и изомерных гидроксикапроновых кислот.

При анализе кинетических кривых расходования капролактама отмечено, что в начальный момент времени (при смешении растворов капролактама с азотнокислым конденсатом) концентрация капролактама резко снижается (рис. 1 и 2). Величина снижения зависит прежде всего от соотношения объемов азотнокислый конденсат/раствор капролактама: при двух—трехкратном избытке конденсата до половины капролактама подвергается превращению сразу после смешивания растворов. В дальнейшем дезаминирование идет со скоростью, отвечающей реакции с чистой азотной кислотой (см. рис. 1). По-видимому, даже при 20–30 °С происходит полное исчерпание азотистой кислоты, содержащейся в азотнокислом конденсате. Затем процесс дезаминирования идет уже за счет превращений азотной кислоты.

Изучение зависимости скорости реакции дезаминирования от температуры (рис. 3) показало, что при снижении температуры от 100 до 70 °С скорость реакции уменьшается в 10–20 раз. Существенное влияние на скорость дезаминирования оказывает начальная концентрации капролактама. На основании опытов на модельных растворах с концентрацией капролактама 1–3 % (рис. 4) установлено, что порядки реакции по кислоте и капролактаму близки к единице.

Так как реальные стоки содержат до 3 % (масс.) сульфата аммония, были проведены опыты с введением сульфата ам-

мония в растворы капролактама. Установлено, что сульфат аммония ингибирует реакцию дезаминирования: уменьшается как начальная скорость, так и скорость вторичной реакции (рис. 5).

Уравнение скорости реакции дезаминирования имеет следующий вид:

$$r = k_1[\text{КЛ}][\text{NO}_3^-] - k_2[\text{NO}_3^-][\text{SO}_4^{2-}],$$

[КЛ] — концентрация капролактама.

На основании полученных экспериментальных данных (рис. 6) вычислены константы для уравнений скорости реакции дезаминирования капролактама содержащих стоков: $k_1 = 1,07 \cdot 10^{-2} \text{ мин}^{-1}$; $k_2 = 1,18 \cdot 10^{-3} \text{ мин}^{-1}$.

Опыты с добавками других неорганических соединений — нитрата аммония и сульфата натрия показали, что нитрат аммония не оказывает влияния на скорость реакции дезаминирования, а сульфат натрия ингибирует реакцию аналогично сульфату аммония (см. рис. 5). Таким образом, ингибирующее действие оказывают именно сульфат-ионы. На этом основании сделано заключение, что подготовку стоков производства капролактама, содержащих до 3–4 % сульфата аммония, нужно проводить с увеличением времени контакта до 10 часов и более.

Для проверки полученных результатов был проведен опыт на лабораторной установке непрерывного действия. Установка включала: реактор дезаминирования, реактор-нейтрализатор, систему обогрева реакторов, систему охлаждения, устройство для подачи исходной смеси, систему поглощения отходящих газов.

Смесь капролактама содержащих стоков и азотнокислого конденсата с помощью насоса подавалась в реактор дезаминирования, где выдерживалась до 10 часов.

Из реактора дезаминирования смесь поступала в реактор-нейтрализатор, куда для нейтрализации непрореагировавшего азотнокислого конденсата и удаления аммонийных солей добавляли 3 %-ный раствор Na_2CO_3 в количестве 1 мл/мл стоков. В реактор-нейтрализатор подавали также азот для удаления отработанных газов.

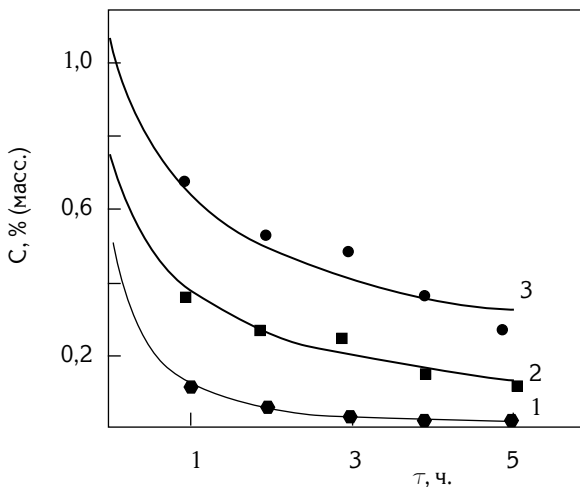


Рис. 1
Изменение во времени концентрации капролактама в стоках при их дезаминировании.

Дезаминирующий агент и начальная концентрация нитрат- и нитрит-ионов в стоке c_0 : 1 — азотнокислый конденсат, $c_0 = 0,38$ моль/л; 2 — азотнокислый конденсат, $c_0 = 0,19$ моль/л; 3 — азотная кислота, $c_0 = 0,19$ моль/л. Температура — 100 °С

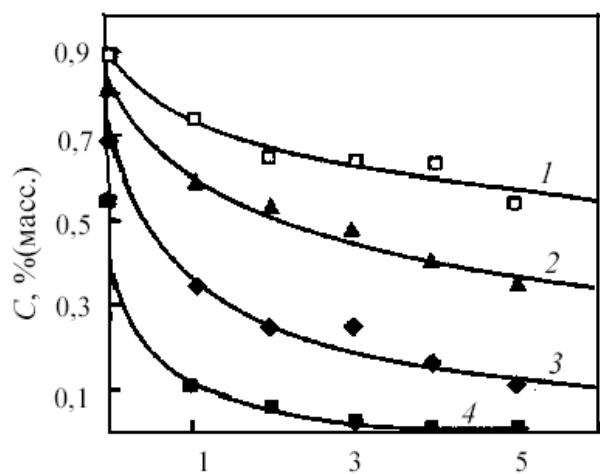


Рис. 2
Изменение во времени концентрации капролактама в стоках при их дезаминировании при различных соотношениях азотнокислый конденсат/раствор капролактама 1 — 0,56; 2 — 1,16; 3 — 2,23; 4 — 4,46. Температура — 100 °С

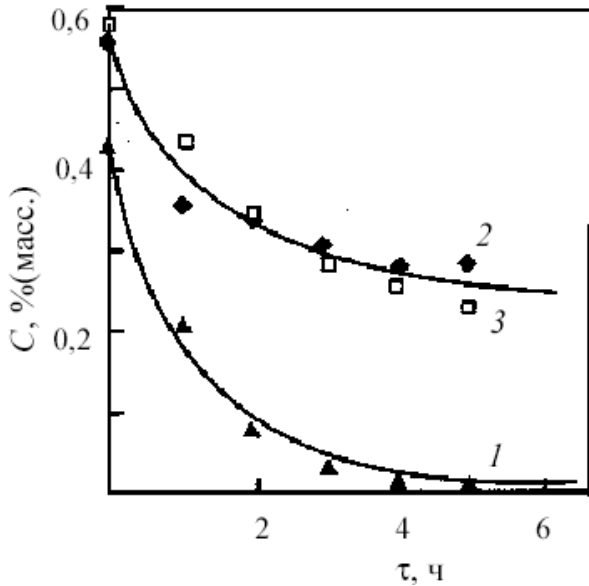


Рис. 3

Влияние температуры на скорость дезаминирования капролактамосодержащих стоков: 1 — 100 °С; 2 — 80 °С; 3 — 70 °С. Дезаминирующий агент — азотнокислый конденсат; начальная концентрация нитрат- и нитрит-ионов в стоке 0,38 моль/л

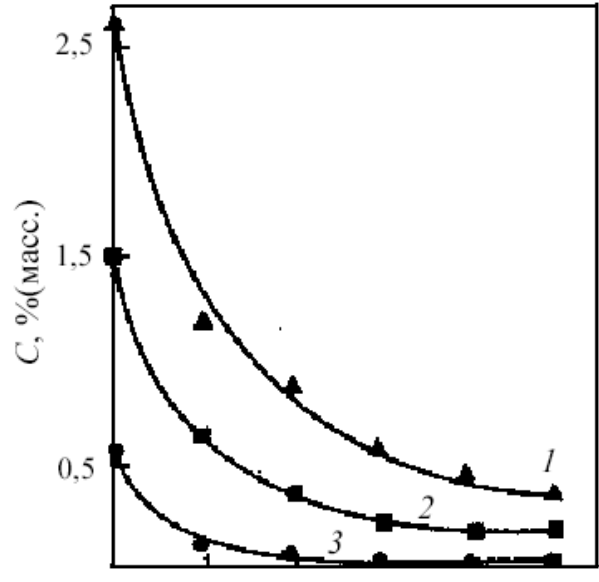


Рис. 4

Изменение во времени концентрации капролактама в стоках при их дезаминировании при различной начальной концентрации капролактама. 1 — 3 % (масс.); 2 — 1,8 %; 3 — 1 %. Дезаминирующий агент — азотнокислый конденсат; начальная концентрация нитрат- и нитрит-ионов в стоках — 0,38 моль/л. Температура — 100 °С

Время реакции — 2–3 часа. Отработанные газы из реакторов проходили через обратные холодильники и поступали в систему улавливания. Освобожденные от аммиака стоки из реактора-нейтрализатора направлялись на биоочистку. Конверсия капролактама составляла 98,0–98,5 % при полном отсутствии в стоках ионов аммония.

В промышленности полученную в результате абсорбции абгазов аммиачную воду можно направлять в цех производства аммиака.

Освобожденный от аммиака сток доводили до pH = 7 азотной кислотой. Ниже приведена характеристика подготовленных стоков (см. таблицу). Из таблицы видно, что в

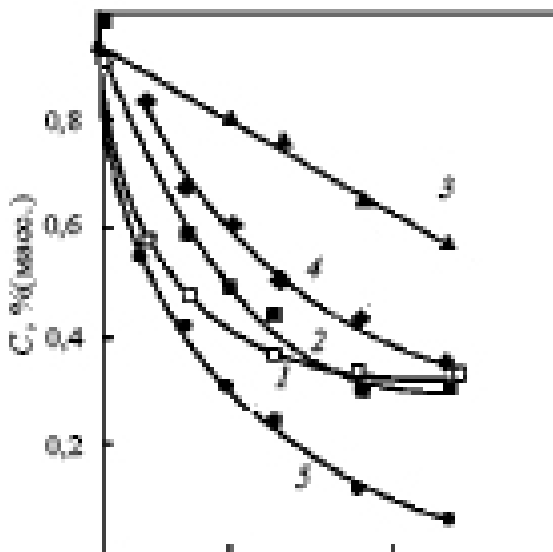


Рис. 5

Влияние на скорость дезаминирования капролактамосодержащих стоков содержания в них сульфатов: 1 — 1 % (масс.) $(NH_4)_2SO_4$; 2 — 3 % $(NH_4)_2SO_4$; 3 — 7 % $(NH_4)_2SO_4$; 4 — 3 % Na_2SO_4 ; 5 — без сульфата. Дезаминирующий агент — азотнокислый конденсат, начальная концентрация нитрат- и нитрит-ионов — 0,38 моль/л. Температура — 100 °С

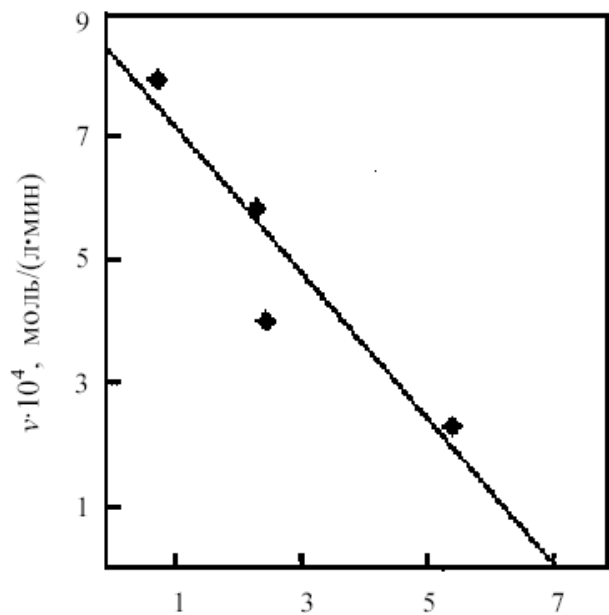


Рис. 6

Зависимость скорости дезаминирования капролактама от суммарной концентрации нитрит- и нитрат-ионов

Таблица

Характеристика капролактамосодержащего стока до и после химической подготовки

Компонент	Содержание компонента, мг /л	
	до подготовки	после
Капролактамы	10 421	200
SO ₄ ²⁻	14 764	5500
NO ₃ ⁻	0	15 000
NH ₄ ⁺	5537	0
ХПК	56 000	4000
pH	7-8	7,0

результате химической подготовки стоков содержание капролактама снижается в 52 раза, а ионов аммония — практически до нуля.

Подготовленные стоки можно подавать на биоочистку. Капролактамы в концентрации до 200 мг/л не оказывают ингибирующего влияния на процесс денитрификации. В процессе денитрификации нитрат-ионы восстанавливаются до свободного азота [6], при этом происходит окисление органических примесей за счет кислорода, содержащегося в нитрит- и нитрат-ионах.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований разработан эффективный и сравнительно недорогой метод подготовки капролактамосодержащих стоков для биоочистки, позволяющий отказаться от метода сжигания.

Подобраны оптимальные условия проведения процесса: температура — 100 °С, мольное соотношение азотнокислый конденсат/капролактамы = 4,5. Показано, что наличие сульфат-ионов в стоках оказывает ингибирующее действие на скорость реакции, что приводит к необходимости применения жестких режимов обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доусон Г., Мерсер Б. Обезвреживание токсичных отходов. М.: Стройиздат, 1996, 288 с.
2. Яковлев С.В., Карюхина Е.А. Биологические процессы в очистке сточных вод. М.: Стройиздат, 1980, 200 с.
3. Заявка ФРГ, Кл. CO2 F3/12, № DE 293688-4A1, 1979.
4. Бродач М.М., Шилкин. Н.В. Сантехника, 2002, № 6.
5. Инжиниринг и оборудование, 2003, сентябрь, № 9.
6. Rich L.G. 1963. Unit operations of sanitary engineering. New York: Wiley.
7. Leary R.H. Очистка сточных вод. Часть 2. Биологическая очистка и доочистка. «Jekt. Asia», 1980 г., № 11, p. 116–119.
8. Arthur D. Little. Physical, chemical and biological treatment techniques. U.S. Environmental Protection Agency report No. SW-148 с., 1976.
9. Патент Японии, Кл.91, С 912, № 54-42750, 1977, № 52127070, 1979.
10. Anthonisen A.C., Loehr R.C., Prakasam J.B., Srinath E.G. J. Water Pollut. Contr. Fed., 1976, v. 48, № 5, p. 835–852.
11. Златева П., Павлина О. Тр. «Водоснабжение, канализация и санитарная техника», 1974, т. 10, № 2, с. 175–182.
12. Foster R.J., Nitrogen, 1975, № 93, p. 40–41.
13. Коно Хидэо. Сигэн, 1975, № 193, p. 39–46.
14. Miyaji Y, Kato K. Water Res., 1975, v. 9, № 1, p. 95–101.
15. Стовер Э. Water Eng. and manag., 1981, Ref. number, p. 21– 23.
16. Яковлев С.В., Карелин Я.Н., Ласков Ю.М., Воронов Ю.В. Очистка производственных сточных вод. М.: Стройиздат, 1985.
17. Патент Японии, Кл. 36 (2) В 321, № 51-6233, 1972, № 4787121, 1976.
18. Колесов Ю.Ф. Хим. пром-сть, 1976, № 3, с. 206–209.
19. Колесов Ю.Ф. В сб.: Азотная промышленность, 1974, № 6, с. 81–84.
20. Тоя Ясунори. Ferment. and Ind., 1980, v. 38, № 1, p. 31–39.
21. Zink B., Schneider N. Wasserwirtschaft, 1979, Bd. 69, № 11, S. 357–362.
22. Бондарев А.А., Захватаева Н.В., Ильинская Н.М., Якунина Л.Н. В сб.: Научные исследования в области механической и биологической очистки промышленных сточных вод. М., 1979, с. 117–125.
23. Заявка Японии, Кл. С 02 F 3/34, № 55-121835, 1979, № 5429100, опубл. 19.09.1980.
24. Форд Д. ASChE symp. ser., 1981, v. 77, № 209, p. 159–170.
25. Патент США, Кл. 210-3, № 3824185, 1972.
26. Патент Японии, Кл.91C91 (CO2 C1/02), № 49–31226, 1970.
27. Мишуков Б.Г. Вода и экология: проблемы и решения, 2004, № 3, с. 15–18.
28. Мишуков Б.Г. Там же, 1999, № 1, с. 27–30.
29. Karnowsky F. Forum-Stadte-Hyg., 1978, v. 29, № 8, p. 199–201.
30. Ardaman J. Water Sci. and Technol., 1982, v. 14, № 1, p. 7– 20.
31. Патент Японии., Кл.9/C9, (CO2 C5/02), № 51-15651, 1972, № 47-58389, 1976.
33. Ardaman J. Water Res., 1981, v. 15, № 7, p. 841–847.
34. Абрамович И.А. Водоснабжение и санитарная техника, 1996, № 1, с. 17–18.
35. Авт. свид. СССР № 701958, 1977, № 2531230, 1979.
36. Патент Японии, Кл. CO2, F1/58, B01D 53/34, № 55–29748, 1975, № 50-18634, 1980.
37. Химическая энциклопедия. Т. 1. М.: Советская энциклопедия, 1988.
38. Общая органическая химия. Пер. с англ. А.М. Сахарова. Т. 4. М.: Мир, 1983.
39. Общая и органическая химия. Под ред. Д. Бартона, У.Д. Оллиса. Т. 3. Азотсодержащие соединения. Пер. с англ. Под ред. Н.К. Кочеткова, Л.В. Бакинского. М.: Химия, 1982, 736 с.

МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

А.Л. Сивков, канд. техн. наук,
начальник ОЭ ОАО «Генерирующая
компания»

И.Е. Панфилова, канд. хим. наук,
ведущий инженер
ОЭ ОАО «Сетевая компания»

Э.Л. Гоголашвили, канд. хим. наук,
начальник службы
химико-аналитических исследований
и разработок ООО «ИЦ Энергопрогресс»

Опыт эксплуатации ГРЭС, а также ТЭС и АЭС показывает, что удаление нефтепродуктов (мазута, масел) из воды является одной из наиболее сложных проблем в работе водо-химических систем. Концентрация нефтепродуктов в некоторых видах сточных вод может достигать 1000 мг/л, а при аварийных и залповых сбросах намного больше. Высокая их летучесть при выпаривании является причиной загрязнения дистиллята, в котором их может содержаться до 10 мг/л. К числу главных проблем при очистке замазученных (нефте содержащих) сточных вод относится выделение эмульгированных минеральных масел, мазута и других видов нефтепродуктов. Одними из наиболее распространенных и применяемых методов очистки сточных вод от указанных видов нефтепродуктов являются гидромеханические методы, включающие очистку с помощью песколовок, нефтеловушек, прудов дополнительного отстоя, фильтров.

Кроме того, мазуты и другие нефтепродукты, как правило, мало растворимы в воде и устойчивы к биохимическому окислению, что усиливает опасность загрязнения ими природных вод. Так, количество нефтепродуктов в воде при температуре до 5 °С уменьшается в течение 2–7 суток лишь на 15 %, а при температуре до 20 °С — на 40–50 %.

В песколовках улавливается, как правило, до 25 % нефтепродуктов, содержащихся в сточных водах совместно с мехпримесями.

Отстаивание стоков производится в специальных нефтеловушках. Распространенным недостатком применяемых в большинстве случаев конструкций нефтеловушек является их относительно недостаточная эффективность, не превышающая обычно 40–60 %.

В отечественной и зарубежной практике для дальнейшей очистки сточных вод, прошедших нефтеловушку, применяют пруды дополнительного отстоя. Опыт показывает, что целесообразно применение нескольких секций прудов, каждая из которых оборудуется устройством для рассредоточенного ввода и выпуска воды. Глубина прудов составляет до 4 м. Сбор и удаление нефтепродуктов с поверхности прудов осуществляется обычно с помощью нефтесборных труб и механическими методами.

Фильтрация сточных вод, загрязненных нефтепродуктами, обычно используется на заключительных стадиях их очистки, и на этом основании его часто относят к методам доочистки.

В качестве основной загрузки для фильтров используют кварцевый песок с крупностью частиц 0,5–2 мм. Высота слоя загрузки составляет, как правило, 1–2 м. На такие фильтры рекомендуется подавать сточную воду, содержащую в 1 л не более 2–50 мг нефтепродуктов. С увеличением концентрации нефтепродуктов в исходной воде эффективность очистки заметно снижается.

Кроме традиционных материалов для загрузки фильтров используются и такие, как сульфуголь, отработанный в Na-катионитных фильтрах, гидрофобный вспученный перлит, угольная пыль, древесные опилки, торф, полиуретан, пенополистирол, гидрофобный кремнезем и др. Значения поглощательной способности различных фильтрующих материалов составляют (кг/кг):

- для кварцевого песка — 0,11;
- антрацита — 0,2;
- сульфуголя — 0,22;
- нефтяного кокса — 0,23;
- горелой породы — 0,26;
- котельного шлака — 0,21;
- керамзита — 0,33;
- диатомита сырого дробленого — 0,83;
- активированного угля марки БАУ — 0,89.

Лучшие результаты по регенерации насыпных фильтров достигаются не отмывкой водой, а подачей горячего водяного пара давлением 0,03–0,04 МПа через верхнее распределительное устройство. Пар разогревает уловленные нефтепродукты, и они под давлением вытесняются из слоя. Пар при этом конденсируется. Расход пара на регенерацию составляет (в пересчете на конденсат) не более 1–2 объемов фильтрующего слоя. Длительность регенерации зависит от вида нефтепродуктов и степени загрязнения фильтра и не превышает 2–3 часов. Вытеснение нефтепродуктов из фильтра сопровождается сначала ростом его концентрации в конденсате, а затем ее снижением.

Конденсат может сбрасываться на вход в нефтеловушку, что практически не увеличивает расход воды через очистные сооружения.

С помощью физико-химических методов очистки (например, коагуляции, флокуляции, реагентной флотации, озонирования, адсорбции и др.) из сточных вод удаляются эмульгированные и суспензированные частицы (размером менее 100 мкм), а также растворенные примеси.

Совершенствование этих методов, в частности, основанных на использовании эффектов флотации, привело к созданию многокамерных флотационных установок. Нашли распространение системы флотации, в которых нефтесодержащие стоки с помощью гидроэлеватора, потребляющего до 50 % рециркуляционного расхода, поднимаются в камеру грубой очистки, в центре которой установлен гидроциклон, а затем проходят через три флотационных отделения и отстойную камеру. Флотационные отделения рассчитываются на 5–15 мин. пребывания стоков, в каждое отделение подается 15–20 % рециркуляционного расхода. Общая продолжительность обработки стоков — 25–60 мин. На подобных установках достаточно успешно очищаются сточные воды, содержащие не только малые концентрации нефтепродуктов, но и превосходящие 50–100 мг/л. Наилучшей конструкцией такого рода флотационной установки явилась камера с вращающимся водораспределителем, которая обеспечивает наиболее низкие остаточные содержания нефтепродуктов в воде — менее 10–20 мг/л.

Зарубежный опыт очистки сточных вод от нефтепродуктов напорной флотацией показывает, что в большинстве случаев остаточное содержание нефтепродуктов составляет 15–50 мг/л без применения реагентов и менее 5–15 мг/л с применением реагентов типа серноокислого алюминия. При невысоком начальном содержании нефтепродуктов в сточных водах (менее 50 мг/л) и более продолжительном времени флотации, повышенных расходах реагентов удается снизить остаточное содержание нефтепродуктов до уровня менее 3 мг/л.

В той или иной мере применимы на практике и методы электрофлотационной очистки сточных вод от нефтепродуктов. При наложении электрического поля частицы нефтепродуктов перемещаются к аноду. Выделяющиеся в процессе электролиза пузырьки газов флотируют эти частицы на поверхность жидкости. При использовании нескольких ступеней очистки электрофлотацией достижимо почти двадцатикратное снижение начального содержания нефтепродуктов в сточной воде. Однако такой эффект достигается при начальном относительно высоком содержании нефтепродуктов — на уровне 200 мг/л. Расход электроэнергии при этом составляет порядка 0,28–0,55 кВт на 1 м³ очищенной воды.

Следует отметить, что одновременно протекающие процессы окисления органических примесей при электро-

флотации сточных вод приводят к снижению величин таких показателей, как химическое потребление кислорода (ХПК) и биологическое потребление кислорода (БПК).

Одним из основных методов очистки сточных вод электростанций от эмульгированных и суспензированных частиц продолжает оставаться коагуляция. В качестве коагулянтов наиболее широкое применение имеют различные соли алюминия и железа. Для поддержания требуемого значения pH используется, как правило, известковое молоко. В процессе коагуляционной очистки происходит соосаждение части растворенных в воде примесей, поэтому достигается эффективное снижение ХПК и БПК сточных вод.

С целью повышения эффективности очистки сточных вод совместно с коагулянтами используют различные высокомолекулярные анионные флокулянты: полиакриламид, Налко-7716, Кронфлок и др.

Существует практика использования в качестве коагулянта и нетрадиционных реагентов, в том числе и отходов производства, например диоксида титана, основным компонентом которых являются соли двух- и трехвалентного железа, а также соединения титана в виде титанилсульфата (1–1,5 %).

Широкое распространение за рубежом имеют также схемы очистки сточных вод электростанций от мазута и других нефтепродуктов с использованием процесса озонирования.

Поскольку эффективность озонирования стоков, загрязненных нефтепродуктами, в значительной степени определяется составом примесей, целесообразность использования озона должна устанавливаться на основании пробных определений с учетом специфики конкретных стоков. Например, в случае озонирования при pH сточных вод 5–8, времени их контакта с озоном около 10 мин. и исходном содержании нефтепродуктов 19–33 мг/л остаточное их количество не превышало 2 мг/л. Расход озона составлял 0,52 мг на 1 мг нефтепродуктов. Высокая эффективность очистки наблюдается для широкого интервала pH (5,4–8,7) и температуры (5–50 °C).

Эффективность очистки на различных стадиях комбинированных процессов приведена в таблице 1.

Как следует из данных, приведенных в таблице, наилучшие относительные результаты достигаются применением схемы: отстой => фильтрация на антрацитовых фильтрах => двухступенчатая последовательная фильтрация на фильтрах активированного угля.

Таблица 1

Сравнительные показатели эффективности процессов очистки на различных ГРЭС

Технологический узел очистного оборудования	Литовская ГРЭС		Ириклинская ГРЭС		Конаковская ГРЭС				
	Содержание нефтепродуктов, мг/л	Эффективность очистки, %		Содержание нефтепродуктов, мг/л	Эффективность очистки, %		Содержание нефтепродуктов, мг/л	Эффективность очистки, %	
		узлом	нарастающим итогом		узлом	нарастающим итогом		узлом	нарастающим итогом
До нефтеловушек	21,0			15,0			29,9		
До флотатора	9,0	57,0	57,0	8,11	46,0	46,0	11	-	-
До механических фильтров	4,9	45,6	78,7	4,13	47,7	72,5	14,3	52,1	52,1
До фильтров активированного угля I ступени				2,10	49,2	86,4	2,8	80,4	90,6
После фильтров активированного угля I ступени				1,2	43,0	92,0	2,1	25,0	92,9
После фильтров активированного угля II ступени							1,8	14,3	94,3

Существуют и другие подходы к схемам очистки сточных вод от нефтепродуктов. Так, во ВНИИ ВОДГЕО разработана и применяется схема очистки следующего содержания:

отстаивание в объеме => отстаивание в тонком слое => реагентная коагуляция (или электрокоагуляция) => фильтрация через полимерную загрузку => озонирование => фильтрация через природные и искусственные угли.

Однако подобные схемы, в силу использования дорогостоящих устройств, к которым относятся аппараты для озонирования и фильтры с полимерными загрузками, нашли к настоящему времени ограниченное применение.

За рубежом имеется также тенденция к замене громоздких сооружений для биологической очистки адсорбционными установками для очистки сточных вод тепловых электростанций. Наиболее эффективная очистка сточных вод от нефтепродуктов осуществляется взвешенным слоем суспензионного сорбента в осветлителе. Взвешенный слой, образованный из минеральных солей в виде гидроксидных соединений, обладает большой сорбционной способностью.

Таким образом, совокупность рассмотренных способов обработки воды позволяет установить общие закономерности применяемых схем, характерных для очистки нефтесодержащих, замазученных стоков электростанций.

Первая стадия очистки — гравитационное отделение. Процесс осуществляется в нефтеловушках различных конструкций, не отличающихся по принципу действия.

Вторая стадия очистки — физико-химическая очистка сточных вод от сильно эмульгированных и коллоидных частиц посредством коагуляции, реагентной флотации и др.

Третья стадия ставит своей задачей очистку сточных вод от растворенных нефтепродуктов и прочих органических загрязнителей, оставшихся в воде после первых двух стадий очистки. Среди перспективных методов:

- жидкостное окисление нефтепродуктов и других органических примесей методами озонирования;
- интенсификация работы сооружений биологической очистки с использованием технического кислорода в окситенках, повышение дозы активного ила, применение комбинированных сооружений.

Следует отметить и то, что многочисленные данные по очистке нефтесодержащих сточных вод как в лабораторных условиях, так и на действующих конкретных предприятиях свидетельствуют о необходимости внедрения новых и совершенствовании существующих конструкций сооружений.

Об этом же свидетельствуют и результаты, полученные в Институте водных проблем (ИВП). Работами этого института была выявлена высокая степень токсичности брызгоноса из градирен, подпитываемых водой, содержащей нефтепродукты. Связано это с тем, что нефтезагрязненные сточные воды могут содержать такие довольно сильно канцерогенные вещества, как бензопирен, бензопирилен, ПДК которых в атмосферном воздухе и хозяйственно-питьевой воде составляет 0,001 мкл/м³ (или 0,0004 мг/л). Согласно предварительным рекомендациям, ИВП в воде, используемой для пополнения оборотных систем водоснабжения с градириями, должно содержаться не более 2–5 мг/л нефтепродуктов.

Кроме того, рекомендуются и используются в промышленных целях для очистки природной и доочистки сточных вод фильтры с плавающей полистирольной загрузкой из вспенивающегося полистирола марок ПСБ, ПСБ-С. В связи с высокой адгезионной способностью их применяют и для разделения водонефтяных эмульсий. Плавающая загрузка

позволяет значительно увеличить скорость фильтрования, начальное содержание примесей и упростить регенерацию фильтра. Для фильтрования загрязненная вода подается снизу вверх. Нижний и верхний слои пенополистирола всплывают к удерживающим сеткам и уплотняются. Регенерация фильтра осуществляется обратным током воды с интенсивностью 18–22 л/(м·с). При этом фильтрующий слой расширяется на 25–30 %, что способствует интенсивной промывке гранул.

ФИЛЬТРЫ С ЭЛАСТИЧНОЙ ЗАГРУЗКОЙ

Для очистки нефтесодержащих сточных вод разработана новая технология с использованием полимерных материалов, в частности, эластичного пенополиуретана. Этот материал имеет открытую ячеистую структуру со средним размером пор около 0,8–1,2 мм и кажущуюся плотность 25–60 кг/м³. Эластичный пенополиуретан характеризуется высокой пористостью, механической прочностью, химической стойкостью, гидрофобными свойствами, что обеспечивает значительную поглощающую способность по нефтепродуктам. В процессе фильтрования по мере насыщения загрузки нефтепродуктами оно периодически цепным ковшовым элеватором может подаваться на отжимные барабаны для регенерации с последующим возвратом в емкость фильтра. Отжатые нефтепродукты и прочие загрязнители по сборному желобу отводятся в нефтеловушку или разделочную емкость.

Общим недостатком всех рассмотренных фильтров (кроме пенополиуретановых) является то, что в результате их регенерации образуются высокоэмульгированные и весьма стойкие эмульсии, существенно затрудняющие утилизацию выделенных нефтепродуктов или их обезвоживание.

КОАЛЕСЦИРУЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ

Под коалесценцией понимается процесс слияния частиц дисперсной фазы эмульсии, в том числе и нефтепродуктов, с полной ликвидацией первоначально разделяющей частицы межфазной поверхности. Это приводит к изменению фазово-дисперсного и укрупнению капель исходной эмульсии. Система становится кинетически неустойчивой и быстро расслаивается.

Были предприняты попытки создания условий для межкапельной коалесценции эмульгированных веществ в свободном потоке жидкости с помощью различных гидродинамических насадок. Однако использование таких устройств и приемов неизбежно приводило к увеличению дисперсности эмульсии. Положительный эффект был получен только с винтовыми насадками. Но и в этом случае правильнее говорить не о коалесценции, а о концентрировании эмульсии в центробежном поле.

Наиболее широкое распространение получил метод коалесценции при фильтровании эмульсии через различные пористые материалы. В принципе, любой из рассмотренных ранее фильтров при соответствующих технологических параметрах и конструктивных изменениях может работать в режиме коалесценции. В этом случае назначение фильтрующего слоя принципиально изменяется. В обычных фильтрах он выполняет функцию удерживающей среды, назначение загрузки в коалесцирующих фильтрах — укрупнение мелких эмульгированных капель нефтепродуктов в более крупные. Последнее обстоятельство и определяет свойства материала загрузки коалесцирующих фильтров.

Отличительные и весьма существенные особенности коалесцирующих фильтров — высокие эффективность разделения эмульсий и удельная пропускная способность; устойчивость технологического процесса при значительных колебаниях концентрации нефтепродуктов и расхода сточных вод; простота изготовления, эксплуатации и автоматизации; длительный межрегенерационный период. Метод коалесценции можно отнести к регенеративным методам, так как в результате протекающих процессов эмульсия разделяется на две фазы, одна из которых представляет собой нефтепродукты.

Теоретически и экспериментально метод коалесценции исследован значительно меньше, чем другие методы. Это является следствием сложности протекающих физико-химических процессов и трудности их моделирования.

Тем не менее, анализируя опубликованные данные и материалы исследований, процесс коалесценции нефтепродуктов на зернистых гидрофобных материалах можно разделить на следующие этапы:

1. Частицы нефтепродуктов контактируют с поверхностью загрузочного материала и за счет адгезионного воздействия образуют на нем пленку. Закрепление частиц зависит от кинетической энергии (которая определяется размерами частиц, плотностью и скоростью их движения), устойчивости эмульсии (временем жизни капли при контакте с поверхностью загрузки или уже образовавшейся пленки) и свойств загрузочного материала (размеров гранул, их формы, поверхностных свойств).

2. Увеличение толщины пленки, заполнение наиболее узких поровых каналов и связывание нефтепродуктами основной массы частиц загрузки в единую гидравлическую систему за счет соприкосновения гранул, а следовательно, и образовавшихся пленок. На толщину образовавшихся пленок основное влияние оказывают скорость жидкости в поровом пространстве загрузки и вязкость нефтепродуктов. Этот этап завершает «зарядку» фильтрующей загрузки.

3. Перетекание нефтепродуктов по поверхности гранул и наиболее узким поровым каналам по траектории, являющейся результирующей направления потока жидкости и подъемной силы скоалесцированных нефтепродуктов. При фильтровании эмульсии сверху вниз (с учетом скорости подъема нефтепродуктов и подъема жидкости) нефтепродукты вытесняются вниз и образуют слой, или глобулы воды, покрытые пленкой нефтепродуктов. При горизонтальном фильтровании нефтепродукты перемещаются в направлении потока со смещением вверх. При фильтровании снизу вверх и в горизонтальном направлении пленочный поток нефтепродуктов отрывается от последних гранул загрузочного материала в виде капель, которые уносятся потоком профильтрованной жидкости. Крупность отрываемых капель зависит от крупности загрузочного материала, скорости потока жидкости и вязкости нефтепродуктов.

Первый этап является основным, который определяет эффективность и скорость процесса коалесценции.

Простота конструктивного оформления, высокая эффективность и экономичность ставят метод коалесценции в ряд наиболее перспективных методов очистки сточных вод от нефтепродуктов. Сдерживающий фактор его широкого применения — недостаточная изученность при отсутствии конкретных рекомендаций по применению. Это относится к выбору коалесцирующих материалов. Попытки использования материалов, выпускаемых для иных целей, приводят к

тому, что возникает проблема подготовки всего технологического процесса и конструкции установки именно к этому материалу.

Это противоречит принятым правилам разработки оборудования, которые базируются на основных технологических параметрах будущей установки (требуемая эффективность, пропускная способность, габариты и т. п.). Вместе с тем принятая загрузка налагает ограничения на указанные параметры.

Так, наиболее часто применяемые полимерные гранулированные материалы (полиэтилен, полипропилен и др.) не могут обеспечить высокую степень очистки вследствие того, что по имеющейся технологии их выпускают в виде гранул с оплавленной гладкой поверхностью размерами 2–4 мм. Это оказывает решающее влияние на остаточную концентрацию нефтепродуктов в очищенной воде независимо от всех технологических параметров работы фильтра. Обладая низкой грязеемкостью по отношению к механическим примесям, такая загрузка имеет значительный межрегенерационный период. Однако вынос взвешенных веществ с адсорбированными на их поверхности нефтепродуктами также снижает эффективность работы фильтра.

Анализ полученных экспериментальных результатов показывает, что коалесцирующие фильтры с учетом их относительной простоты, компактности и в высокой пропускной способности обеспечивают значительный эффект разделения водонефтяных эмульсий. Они достаточно устойчиво работают при изменении исходных концентраций в широких пределах. При увеличении исходных концентраций нефтепродуктов эффект очистки стабилизируется и находится в практически приемлемых пределах, более 75 %. При относительно низких исходных концентрациях эффект очистки незначительно снижается.

Одним из последних достижений в области разделения водонефтяных эмульсий следует признать разработку нового класса материалов «Полисил» с уникальными физико-химическими свойствами. Они представляют собой химически инертные неокрашенные мелкодисперсные порошки-наполнители на основе двуокиси кремния с частицами микронного и субмикронного размера. Поверхность частиц порошка химически модифицирована по разработанной технологии. Частицы порошка легко проникают в пористую поверхность при обработке ее суспензией «Полисил» в растворителе. После обработки поверхности конструкций приобретают заданные суперфильные, фобные и дефильные свойства, способные активно воздействовать на водо-нефтяные эмульсии, обеспечивать наиболее эффективную коалесценцию тонкодисперсных частиц нефтепродуктов на уровне, недостижимом для других материалов. Сочетание гидрофобности к воде и леофильности к нефтепродуктам приводит к интенсивной коалесценции их микрокапель на такой поверхности. В качестве коалесцирующих элементов могут быть использованы объемные сотовые конструкции, плавающая загрузка и т. п.

Поверхностно активные материалы «Полисил» пожаро- и взрывобезопасны, химически инертны и экологически безвредны.

Таким образом, наиболее эффективными и перспективными методами очистки сточных вод электростанций от нефтепродуктов являются: гравидинамический, физико-химические и, в частности, основанные на применении коагулянтов и флокулянтов, а также методы, использующие реакции окисления нефтепродуктов, в том числе озонирование.

ФЛОКУЛИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА АКВАКЛЕР

В.Е. Суворов
ООО «Гидрофлоу»

В № 9'2006 мы рассказывали о противонакипных и антикоррозионных устройствах Гидрофлоу. Сегодня наш рассказ посвящен другому продукту компании — флокулирующим устройствам.

Флокулирующие устройства Акваклер (AquaKLEAR) предназначены для защиты систем холодного и горячего водоснабжения, систем охлаждения, теплообменников, газоочисток, градилен от образования новых отложений и удаления имеющихся, удаления биологических отложений, а также для модернизации традиционных систем водоподготовки плавательных бассейнов с применением хлорсодержащих реагентов.

Акваклер, как и противонакипные устройства Гидрофлоу, также состоит из управляемого микропроцессором высокочастотного электромагнитного генератора, магнитопровода из ферритовых пластин, который собирается вокруг трубы и блока питания. У Акваклер другая программа микропроцессора, есть и некоторые иные конструктивные особенности.

Главное отличие состоит в том, что Гидрофлоу создает множество центров кристаллизации, на которых при последующем нагреве будут образованы взвешенные кристаллы. Акваклер же создает устойчивые хлопья из взвешенных и коллоидных частиц.

Создаваемое Акваклер электромагнитное поле сначала стягивает коллоидные, взвешенные в воде частицы, микрочастицы отложений со стенок труб по направлению к оси трубы, затем собранные вместе частицы выстраиваются полем в более прочные структуры, начинают действовать силы электрического взаимодействия между частицами. Образуются мостики между поверхностями частиц, связывая отдельные частицы в большие агломераты. Образуются устойчивые взвешенные хлопья. Развитая поверхность хлопьев адсорбирует микрочастицы, микроскопические водоросли и органические вещества из воды.

Хлопья в дальнейшем осаждаются на поверхности фильтров, поэтому они легко смываются водой во время промывки, а сами промывки можно делать реже — вода относительно свободно проникает через хлопьеобразную массу, фильтр не блокируется как при обычной работе.

В результате значительно повышается эффективность работы фильтров, отстойников, снижается расход воды для промывки фильтров, улучшаются органолептические свойства воды, снижается скорость зарастания трубопроводов.

Акваклер убивает некоторые бактерии (стафилококк, кишечная палочка, легионелла). Переменное высокочастотное поле вызывает колебания стенок бактерий, вследствие чего внутри них резко повышается осмотическое давление, что и приводит к разрыву стенок бактерий.



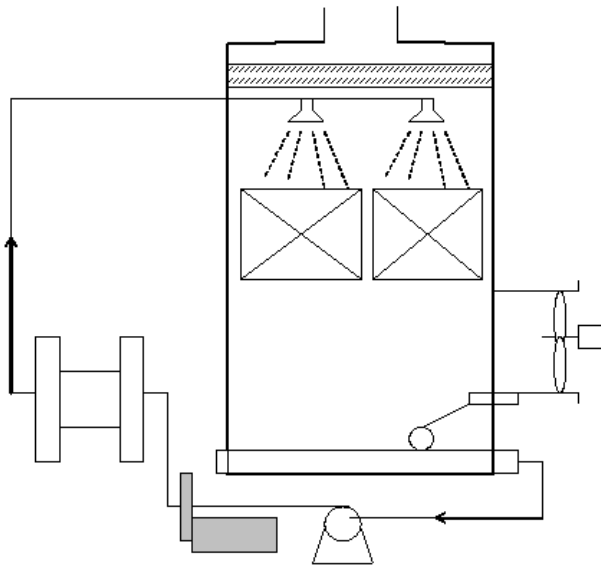
Рис. 1

Как и Гидрофлор, Акваклер работает в широком диапазоне скоростей потока воды, эффективность работы слабо зависит от сезонных колебаний состава воды, имеются модели для установки на трубы диаметром до 1219 мм.

ПРИМЕНЕНИЕ АКВАКЛЕР ДЛЯ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ

Для оборотных циклов место установки устройства — после насоса, перед нагреваемым участком, градирней.

Пример 1. Система охлаждения



Данную схему следует рассматривать применительно к контуру охлаждения, где вода не нагревается выше +50–60 °С, присутствует градирня (место размножения бактерий и микроскопических водорослей), в контуре используется неподготовленная вода.

Акваклер ставится в данном случае после насоса, перед нагреваемым оборудованием. Процесс флокуляции занимает определенное время, поэтому образовавшиеся хлопья осаждаются в отстойнике градирни.

Пример 2. Система газоочистки металлургического предприятия

В этом случае расстояния велики, они составляют 300–2000 м, схема сложнее, поэтому устанавливается несколько устройств:

1. Перед камерой предварительного охлаждения.
2. Перед трубой Вентури.
3. На трубы после трубы Вентури и песколовками.
4. На трубы между радиальными отстойниками и градирнями.

В результате использование Акваклер на подобных системах снижается уровень отложений в трубах, повышается эффективность работы газоочисток, песколовок, радиальных отстойников, снижается уровень биологических объектов в отстойниках и градирнях.

Применение Акваклер для модернизации систем водоподготовки плавательных бассейнов.

Благодаря высокой эффективности хлорирование воды для ее обеззараживания получило широкое распространение во всем мире. Хлор и хлорсодержащие соединения в воде долго сохраняют свою активность, поэтому хлорированная вода обладает бактерицидными свойствами. В чистом виде хлор химически очень активен и может вызвать

Рис. 2

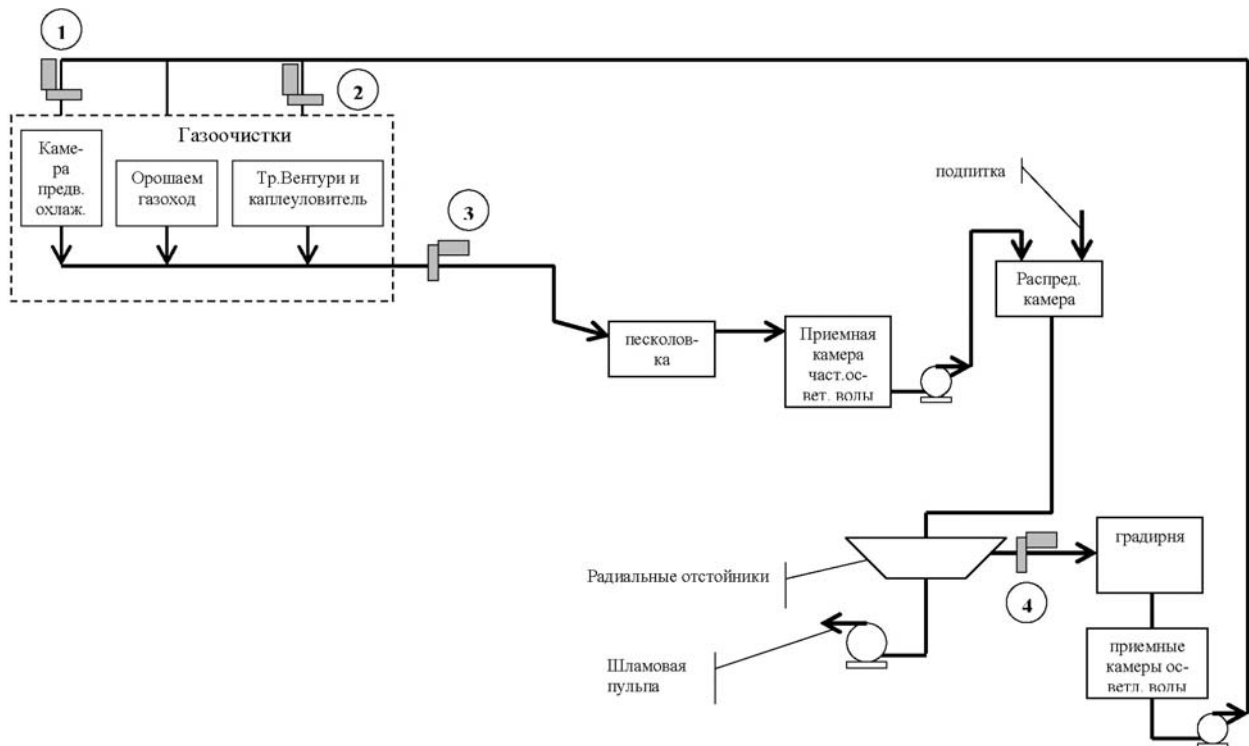


Рис. 3

сильные отравления. В связи с чем в традиционных системах водоподготовки плавательных бассейнов хлор используется в химически связанном виде (гипохлорит кальция, натрия, хлорамины и пр.). Акваклер разрушает эти вещества, при этом происходит более активное высвобождение свободного хлора.

В результате, чтобы достигнуть той же степени содержания хлора в воде, расходуется на 35–65 процентов меньше реагентов. Как следствие, в воде снижается уровень хлороформа и трихалометанов.

Т. к. Акваклер вызывает продолжительный хлопьеобразующий эффект, можно снизить количество подаваемого в систему флокулянта. Созданные устойчивые хлопья имеют развитую поверхность и адсорбируют органические вещества, микроскопические водоросли и бактерии. Полученная хлопьеобразная масса легко задерживается песком фильтра. Она скапливается на поверхности, а не проникает вглубь песка. При промывке фильтра хлопьеобразная масса смывается в разы быстрее и в разы меньшим количеством воды, чем при обычном засорении. В ряде случаев расход воды для промывки снизился в 5 раз. Снижение потребления воды уменьшает затраты на ее подогрев, плату за воду, за сточные воды и пр. На многих бассейнах срок окупаемости Акваклер составил 7–8 месяцев.

Таким образом, Акваклер позволяет просто и эффективно улучшить органолептические свойства воды, полностью сохранив технологию водоподготовки, и в полной мере использовать преимущества хлорирования воды в бассейне.

Место установки Акваклер в плавательных бассейнах: поверх трубы между насосом и фильтрами. Для флокуляции необходимо время, поэтому расстояние между устройством и фильтром должно быть не менее 5 метров.



Рис. 4

Пример 3. Акваклер на открытом бассейне, удаление микроскопических водорослей

Микроскопические водоросли доставляют много хлопот при эксплуатации открытого бассейна.

На снимке видны колонии микроскопических водорослей.

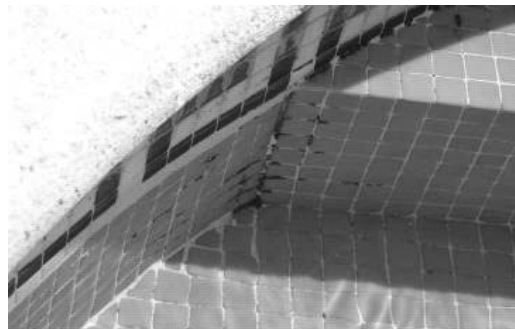


Рис. 5-1

Через 10–15 дней водоросли перестали размножаться, начали отмирать — теряют цвет.

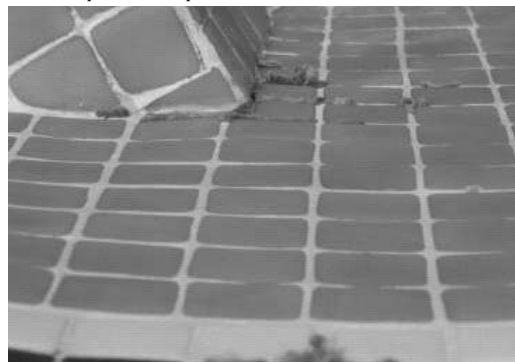


Рис. 5-2

Снимок еще через 2 недели. Вода стала заметно прозрачнее, колоний водорослей на швах между плиткой нет.

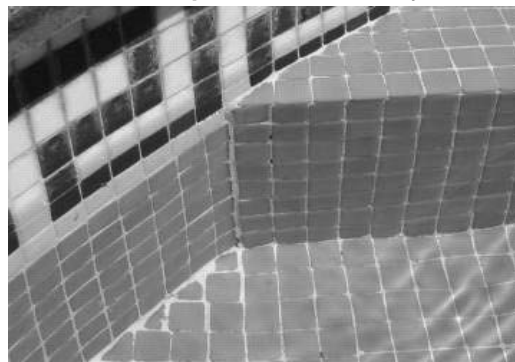


Рис. 5-3

Важное замечание. Удаление водорослей, отложений означает, что оборудование, бассейн теперь не нуждается в очистке. Очистки необходимы.

С Акваклером очистки можно делать реже (бассейна — в 2–3 раза, теплообменного оборудования — в 3–8 раз), к тому же сама очистка занимает в разы меньше времени — отложения на стенках труб не жесткие, часто просто смываются водой из шланга. В бассейнах стенки легко моются с минимальным количеством моющих средств, т. к. отложения на них напоминают налет пыли, а не плотную пленку, как было раньше.

Приглашаем оценить эффективность работы Гидрофлоу на вашем оборудовании.

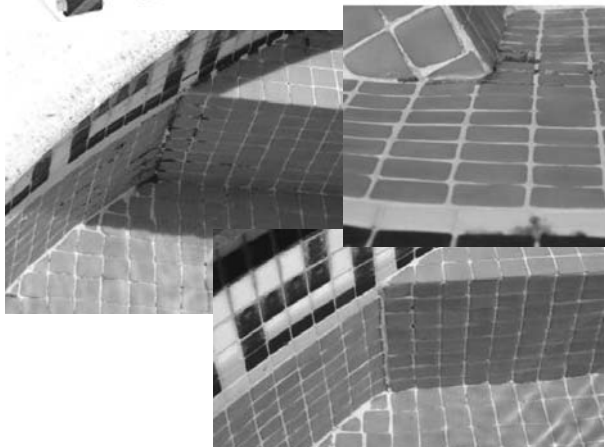
ООО «Гидрофлоу»

НОВАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА ВОДОПОДГОТОВКИ



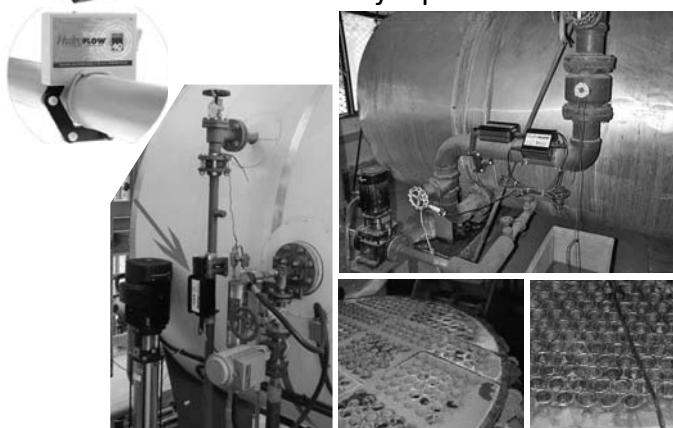
AquaKLEAR

Акваклер
флокулирующее
устройство



HydroFLOW

Гидрофлоу
противонакипное и
антикоррозионное
устройство



- существенное снижение расхода флокулянтов
- повышает эффективность работы фильтров, отстойников и пр.
- созданные устройством хлопья адсорбируют коллоидные и взвешенные частицы, микроскопические водоросли
- после фильтрации улучшаются органолептические свойства воды
- убивает бактерии (стафилококк, легионелла, кишечная палочка)

- снижается скорость зарастания трубопроводов
- удаление до 95 % имеющихся отложений, предотвращение образования новых
- эффективно для удаления солей кальция, магния, сульфатных, силикатных, илистых, железистых отложений, пленок микроорганизмов
- увеличение в 3–8 и более раз интервалов между очистками поверхностей нагрева
- замедление внутренней коррозии
- слабая зависимость от скорости потока воды
- дальность действия до 2 x 700 метров

<http://www.nakipinet.ru>

e-mail: info@nakipinet.ru

Москва (495) 22-33-593

Екатеринбург (343) 216-11-55

Дилеры:

Москва:	ЗАО «СИТЭКО»	(495) 428-48-34,
Бийск:	ЗАО «БЭМ-Трубный завод»	(3854) 39-16-32, 24-24-77
Екатеринбург:	Группа «Техмаш»	(343) 214-08-60, 214-08-61
Калининград:	ООО «Аллерус»	(4012) 71-67-15, 43-65-52
Красноярск:	ООО «Техэнерго»	(3912) 23-46-85, 47-71-35
Новосибирск:	ООО «Компания Бао Ли»	(383) 210-10-36, 291-65-69
Пермь:	ООО «СТТК»	(342) 224-13-23
Тюмень:	ООО «Мегаполис энергосервисная компания»	(3452) 74-65-50, 73-02-85
Челябинск:	ООО «Торговый Дом СпецМашЭкспорт»	(351) 790-92-81, 790-59-50
Казахстан:	ТОО «НПК АЗИЯ СТРИМЕР»	(3182) 51-16-10
Узбекистан:	Компания «КИТЕК»	+998 (71) 135-03-17, 135-00-77, (93) 172-44-36, (90) 168-64-89

ПОГРУЖНЫЕ НАСОСЫ. ПРЕИМУЩЕСТВА, ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПОДБОРА

Повышение качества жизни, условий охраны труда, стихийные бедствия, вандализм, терроризм, а также рост цен на энергоносители, электроэнергию и перебои ее подачи предъявляют новые требования к выбору насосов для станций перекачки сточных вод.

Сегодня необходимо обеспечивать надежность, бесперебойность и гибкость работы агрегатов и систем, в том числе при аварийных и стихийных затоплениях насосных станций, недоступность к оборудованию посторонних лиц при минимуме штатного персонала, высокую энергоэффективность и минимум шума, исключить аварийные сбросы загрязненных сточных вод.

Наиболее полно отвечают этим требованиям центробежные погружные электронасосы, поэтому ведущие компании все больше ориентируются на их производство. Самые крупные из 10 тысяч существующих фирм (рис. 1) контролируют 1/3 насосного рынка [1]. 20 последующих компаний в рейтинге реализуют насосов на сумму 240 млн, а последующие 100 фирм и того меньше — лишь \$40 млн. 50 лет назад погружные канализационные насосы выпускала только одна из этих фирм. 15–20 лет назад — стали все ведущие. И, если сбыт классических агрегатов вырос за этот период в разы, то погружных насосов — в десятки раз.

С другой стороны, наиболее прогрессивные потребители также предпочитают использовать «погружники» при строительстве новых и модернизации старых канализационных насосных станций (КНС). Например, водоканал города Стокгольма обслуживает 350 КНС и ни на одной (!) из них не осталось традиционных насосов — все погружные (98 % — марки Flygt). Эти станции обслуживают лишь четыре сменные мобильные бригады, каждая по два человека.

За счет каких технических отличий погружные канализационные насосы наиболее соответствуют требованиям сегодняшнего дня? Прежде всего, это герметичность электрических узлов агрегата, что позволяет ему, в отличие от классических (рис. 2), **бесперебойно работать под уровнем жидкости**, независимо от того, подводное ли место установки (рис. 3) или сухое. Тем самым обеспечивается также экономия 30–60 % инвестиционных затрат за счет **сокращения строительных объемов** (приемное и машинное отделение совмещаются) и исключения — при мокрой установке насосов, систем отопления, вентиляции, технической воды.

Не менее важное преимущество «погружников» кроется в особенностях закона сохранения.

Дело в том, что 10–20 % количества электрической энергии, подводимой к насосу, теряется в нем (рис. 4). Всего 1кВт потерь (это 10 % от агрегата мощностью 10 кВт) продуцирует за 1 час столько тепла, что его хватает на нагрев 100 кг электродвигателя насоса до 100 °С!

Высокая температура — главный враг электродвигателя, — поэтому необходимо постоянное охлаждение. В традиционных насосах оно воздушное, в погружных — более эффективное, водяное. Соответственно, их **ресурс** больше и допустимая **частота пусков** значительно выше, чем воздухоохлаждаемых. Так, если для современных сухих электродвигателей рекомендовано [2] максимум: 6 пусков при мощности до 20 кВт, 4 пуска при 20–75 кВт и 2 пуска в час при 100–200 кВт, то погружные допускают в этих границах мощностей, как правило, до 15 включений в час. Тем самым «погружник», по сравнению с классическим, приспособлен работать в гораздо более широком диапазоне колебаний притока.

Погружной насос, в отличие от традиционного, совмещен с электродвигателем в компактный агрегат с максимально коротким единым валом. Благодаря этому энергия передается от ротора рабочему колесу с **минимальными потерями**, также минимизированы несоосность и, соответственно, вибрация, шум, воздействие на подшипники и механические уплотнения. Видно, что монета, поставленная ребром на

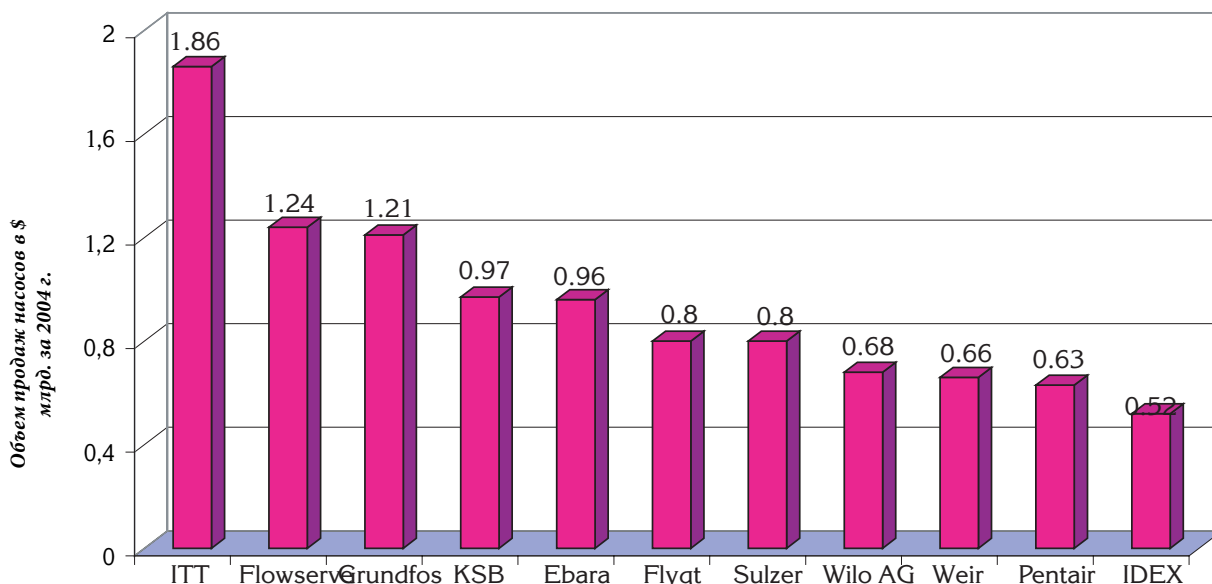


Рис. 1

Рейтинг фирм, охватывающих 1/3 насосного рынка. Продажи за 2004 год, \$ млрд

корпус действующего «погружника», не падает — наглядная демонстрация этого.

Пожалуй, приведенных аргументов в пользу преимущества погружных насосов перед традиционными достаточно.

Но, даже выбрав превосходные погружные агрегаты, мы обязаны соблюсти определенные правила расчета и проектирования объекта (станции), где насосы предстоит использовать.

Прежде всего необходимо уяснить, на какой расчетный срок службы следует запроектировать объект.

При определении этого срока нужно принять во внимание следующее:

- ожидаемое устаревание и износ на механическом оборудовании;
- возможность необходимости расширения объекта в будущем;
- легкость или трудность осуществления такого расширения;
- эффективность работы системы в течение ее начальных лет эксплуатации, когда она не может еще работать в полную производительность.

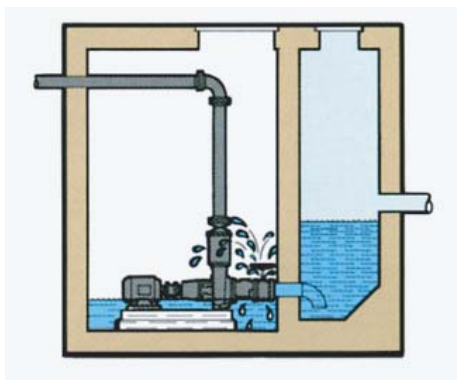


Рис. 2

Классическая насосная станция затратна в строительстве и выводится из строя при затоплениях

При выборе срока жизни проекта нужно избежать чрезмерной финансовой нагрузки на существующих пользователей системы. Очень долгий расчетный срок жизни проекта потребует строительства более дорогих сооружений и, возможно, затрат на техническое обслуживание. Выбор слишком короткой жизни проекта может нести дополнительные затраты на расширение сооружения скорее, чем хотелось бы. Важен осторожный выбор жизни проекта, чтобы гарантировать, что стоимость системы будет спра-

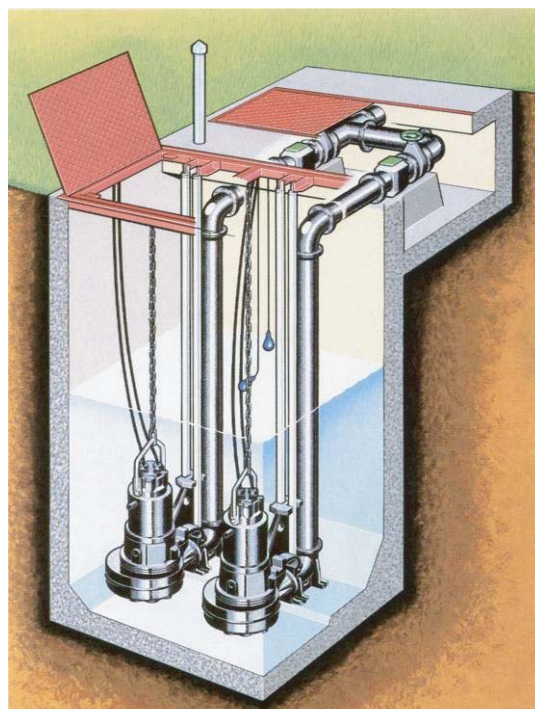


Рис. 3

Станция на погружных насосах — сокращение строительных затрат и работа в затопленном и сухом состоянии

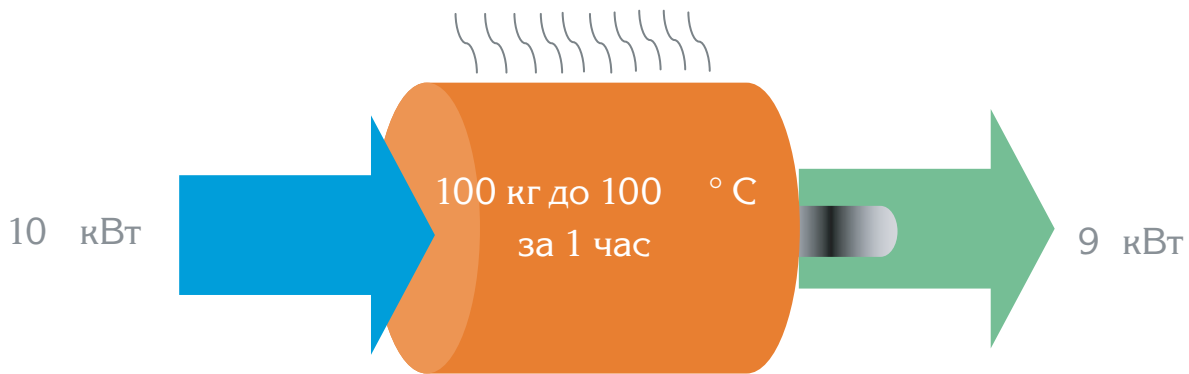


Рис. 4

10 % потеря в электродвигателе мощностью всего 10 кВт — это 1 кВт. 1 кВт нагревает за 1 час 100 кг до 100 °C

ведливо разделена между существующими и будущими пользователями.

В США, например, общий срок службы КНС принимают 30 лет [3], а оборудование подбирают на ближайшую перспективу 10–15 лет с возможностью увеличения количества устанавливаемых агрегатов или их производительностей.

Исходя из жизненного срока станции, определяют ее максимальную производительность на ближнюю и дальнюю перспективы и рассчитывают неравномерность поступления жидкости, величины среднего и минимального притоков.

О следующем этапе, в виду его важности, подробнее.

Необходимо построить характеристику системы и наложить на нее характеристику предполагаемых насосов.

Осознаем ли мы, подбирая насосы, что в действительности нам нужны не насосы — нам нужна доставка жидкости? При этом жидкость должна достигать самой неудобной (диктующей) точки в любое время дня и года. Доставка жидкости осуществляется через систему трубопроводов. Насосы, наряду с задвижками, клапанами, вантузами и т. п., являются лишь элементами системы. И именно система диктует своему элементу — насосу, какими должны быть его параметры.

Многие знают, что насос радиатора автомобиля или насос бытового холодильника будут работать без проблем 18–20 лет. Подобная долговечность для агрегатов водопроводных и канализационных станций — большая редкость.

Объясняется это, прежде всего тем, что первые подобраны в четком соответствии с потребностями системы. Для второй такую привязку сделать труднее, так как система имеет многие переменные.

Таким образом, проектирование станции проводится с обязательным построением характеристик совместной работы насосов и напорных водоводов и их скрупулезным анализом. В ходе последнего нередко возникают сложности с рациональным подбором насосов как по количеству, так и по их параметрам.

Сложности здесь, как правило, обусловлены существенной разницей величин минимальной и максимальной производительности насосной станции. Эта разница усугубляется требованием [4] обеспечения пропускания 100 % максимального расхода стоков на случай аварийного отключения одного из напорных трубопроводов. Поэтому расчетный диапазон Q-H параметров единичного насоса нередко расширяется настолько, что обеспечить его работу в зоне оптимума по КПД и не вывести агрегат за пределы ограничений по мощности или кавитационному запасу весьма и весьма трудно. Некоторые рекомендации о том, как лучше приспособить агрегаты к переменным величинам системы, приведены примерами в Приложении 1.

Размеры насосной станции зависят от количества монтируемых в ней резервных агрегатов. Способность насосов погружной установки к простому и оперативному демон-

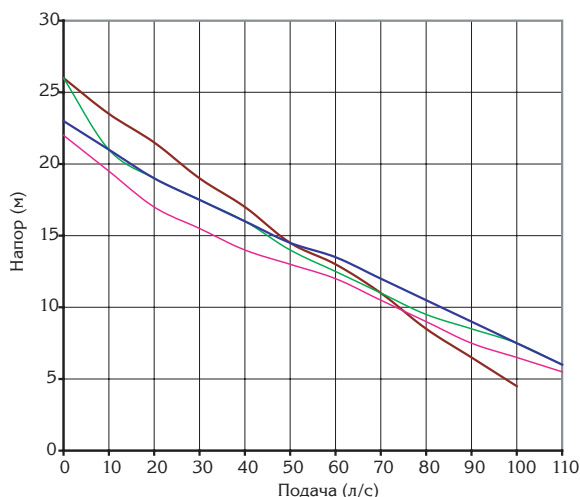


Рис. 5

Характеристики насосов фирм x, y, z, w для Q=200м³/ч, H = 13 м



Рис. 6

Диаграмма составляющих суммы затрат за весь срок службы (LCC) по канализационным насосам

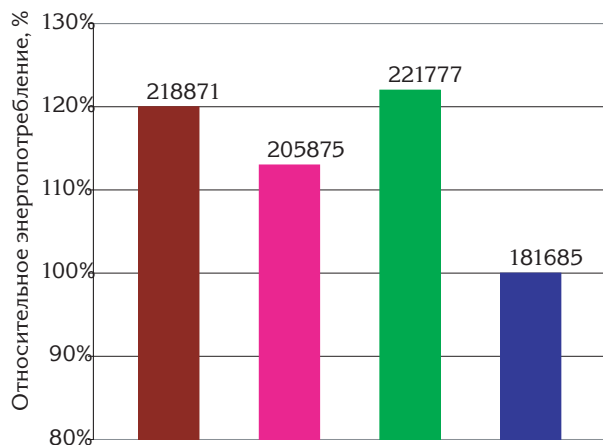


Рис. 7

Относительное энергопотребление насосов x, y, z, w на перекачку равных объемов (цифры — в кВт.ч)

тажу/монтажу (ввиду автоматического разъема), неопасность для них аварийных затоплений определяют достаточность размещения резерва на складе, а не в станции. МУП «Салаватводоканал», например, успешно эксплуатирует семь КНС, на которых с конца 1990 задействованы 20 погружных насосов. Резервные агрегаты (всего 2 шт. — на складе). Их перемещают от станции к станции, обеспечивая ремонт и профилактику 20 смонтированным. Тем самым, используя достоинства «погружников», удалось снизить общее количество резервных насосов с 14, нормируемых СНиПом для классических насосов, до двух.

Предположим, искомые параметры насоса Q и H подобраны правильно. Имея количественные данные, необходимо оценить качество перекачиваемых сточных вод. Это может повлиять на состав и выбор оборудования в целом. Должны быть учтены следующие основные компоненты: плотность, вязкость, агрессивность жидкой среды, абразивность взвешенных веществ, образование осадков и вредных газов, их взрывоопасность, воспламеняемость, токсичность, а также крупность и специфика (волокнистость, клейкость и т. п.) содержащихся в воде частиц. Последнее задает необходимость установки решеток в приемных резервуарах или перед ними. (В случае применения незасоряющихся насосов или насосов с режущим колесом (насосы-дробилки) допускается не устанавливать решетки перед ними, а предусматривать устройства (приямки и др.) для задержания недробящихся частиц [5]). Это определяет преимущество незасоряющихся агрегатов, так как отсутствие решетки — уже экономия, но при том, если насосы погружной установки, на КНС не потребуются еще и отопление, принудительная вентиляция, водопровод.

Небесполезно в этой связи учитывать рекомендации, изложенные в Европейском Стандарте на проектирование и строительство сооружений для сточных вод [6].

Действующим EN 12050 предписано: минимальный проход в насосном агрегате (т. е. в рабочем колесе) должен быть не менее 40 мм. Характерно, что в предшествующем стандарте эта величина устанавливалась не менее 80 мм. Столь существенная поправка объясняется тем, что большой проход уже не рассматривается как решающий параметр для незасоряемости. Связано это с появлением в конце



Рис. 7

Результаты испытаний насосов x, y, z, w на устойчивость к засорам при подачах = 60 л/с и = 80 л/с

1990 так называемых N-насосов, отличающихся своей особой устойчивостью к засорам, несмотря на вдвое меньшее сечение прохода по сравнению с известными конструкциями (подробнее см. [7]).

Итак, подобраны требуемые параметры насосов, составлено техническое задание, отправлены запросы поставщикам насосного оборудования.

На заявленные параметры (предположим Q = 200 м³/ч, H = 13 м) получены, например, предложения от 4 известных фирм: ABS, Grundfos, ITT Flygt и KSB на агрегаты марок соответственно: AFP 1541, S1 124BM, N 3153 и KRT E 150 315.

Характеристики насосов (рис. 5) оказались очень близкими (для анонимности обозначены в иной очередности — x, y, z и w). И здесь бы остановить свой выбор, основываясь на самом недорогом из представленных.

Но согласитесь! Разве, покупая себе, например, автомобиль с двигателем 2 л, вы будете выбирать его из самых дешевых двухлитровых? Наверное, не только и не столько цена, но и другие факторы повлияют на ваш выбор.

Так и по насосам существуют иные критерии, определяющий из которых — сумма затрат за весь срок службы (на Западе его называют LCC). Цена в LCC канализационного насоса по расчетам специалистов [8] составляет всего 3% (рис. 6), в то время как затраты на электроэнергию занимают 53%, на ремонт и прочистку — 19%, потери электроэнергии (производительности), связанные с преодолением засоров — 17%.

Если подсчитать, используя характеристики (рис. 5) и паспортные данные фирм, сколько каждый из насосов потребует электроэнергии на перекачку одинакового объема воды (скажем, 240 тыс. м³, что займет от 16,5 до 17,5 тыс. моточасов), то наиболее эффективный агрегат «съест» до 22% меньше (рис. 7).

При работе насоса со сточными водами высока вероятность засорений, которые сводят на нет любую энергоэффективность. О том, что засоростойчивость насосов весьма различна, свидетельствуют результаты опытов, проведенных с теми же насосами x, y, z, w.

В прозрачную емкость с водой вводили лоскуты размером 20x20 см из текстиля, каучука и пластика — по 50 штук каждого материала на испытуемый насос. После одинаково-

вого периода работы (по 30 минут) подсчитывали количества перекаченных насосами лоскутов и определяли, таким образом, устойчивость к засорам в % %. Диаграмма (рис. 8) иллюстрирует результаты испытаний. Разница существенна. Наилучшие показатели обнаружили насосы упоминавшейся N-конструкции.

Затраты на обслуживание любой техники весьма различаются.

Немецкое объединение автотехобслуживания проанализировало 7,5 млн автомобилей наиболее популярных марок. Согласно этим данным [9], число дефектов, обнаруженных у оказавшихся менее надежных марок (12–15 %), превышает количество поломок более надежных автомашин в 6–7 раз!

По насосам подобных масштабных исследований не было, но разница в затратах на ремонт и запчасти, как свидетельствуют эксплуатационщики, еще разительнее. Тем более, что интенсивность нагрузок (число отработываемых часов в сутки) и продолжительность использования насосов в годах значительно выше, чем автомобилей. Поэтому обязательно поинтересуйтесь перед выбором насоса у своих коллег — каковы затраты на обслуживание насоса той или иной марки.

Насосный агрегат состоит из гидравлической и электрической частей. Не менее важно учитывать и вторую составляющую.

Последние 2–3 года фирмы, заботящиеся об уровне надежности производимого оборудования, комплектуют свои насосы электродвигателями высшего класса изоляции Н (180 °С). Но большинство производителей все еще исполь-

зуют более дешевые электродвигатели класса F (155 °С), температурный предел которых на 25 °С ниже. Между тем каждые 10 ° теплого запаса, как считают специалисты и подтверждает практика, почти удваивают срок службы электродвигателя. Это обстоятельство следует учитывать при выборе оборудования.

Излечить болезнь всегда легче и дешевле в зачатке, пока она не прогрессирует. Так и с техникой. Поэтому, рассматривая насосы-аналоги, необходимо сравнить системы мониторинга, которыми они оснащены. В последние годы появились многофункциональные системы, позволяющие, помимо передачи аварийных сигналов с датчиков по теплу, току, вибрации и т. д., регулярно снимать показания с них, накапливать и хранить в «защитом» в агрегат блоке памяти 20 лет и более.

Естественно, это отяготит цену насоса, но ощутимо снизит последующие расходы.

ВЫВОДЫ

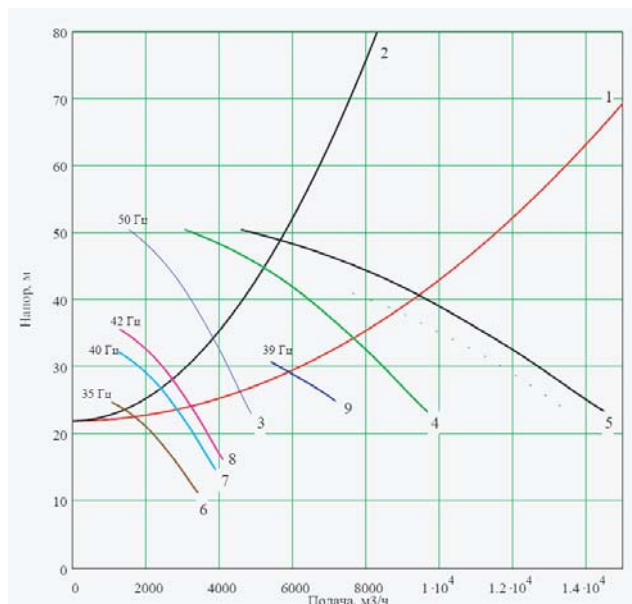
Современным требованиям наиболее отвечают погружные насосы. Динамика их сбыта возросла за последние 20 лет в десятки раз, тогда как непогружных — только в разы.

При подборе насосов необходимо учитывать, что они лишь часть системы (водоводы, арматура и т. п.) доставки жидкости, поэтому определять параметры агрегатов без привязки к системе недопустимо. Главный критерий сравнения насосов — сумма затрат за весь период их службы. Цена в сумме затрат по канализационному насосу является по весомости лишь четвертым компонентом после расходов на электроэнергию, на потери энергии из-за засоров и на ремонт-обслуживание.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ПРИМЕР № 1

Расчетная производительность КНС, $Q = 5560 \text{ м}^3/\text{ч}$. Требуемый напор при аварийном отключении одного из водоводов $H = 50 \text{ м}$. Минимальный реальный приток на станцию $Q_{\text{min}} = 900 \text{ м}^3/\text{ч}$.



Первоначально были предложены 4 погружных насоса (два из них резервные) мощностью 490 кВт, подачей в номинале $Q = 4100 \text{ м}^3/\text{ч}$, напором $H = 37 \text{ м}$ с частотным преобразователем, регулирующим работу одного из насосов. Графики совместной работы насосов, «частотника» и водоводов представлены на рис. 1.

- 1- характеристика системы при работе двух трубопроводов
- 2- характеристика системы при работе одного трубопровода
- 3- характеристика насоса мощностью, 490 кВт, 50 Гц
- 4- график совместной работы двух насосов 490 кВт, 50 Гц
- 5- график совместной работы трех насосов 490 кВт, 50 Гц
- 6- характеристика насоса 490 кВт при частоте 35 Гц
- 7- характеристика насоса 490 кВт при частоте 40 Гц
- 8- характеристика насоса 490 кВт при частоте 42 Гц
- 9- график совместной работы насоса 490 кВт, 50 Гц и насоса 490 кВт, 39 Гц

Рис. 1

График совместной работы трубопроводов и погружных насосов мощностью 490 кВт (4 шт., 2 резервных) с частотным преобразователем на 1 насос

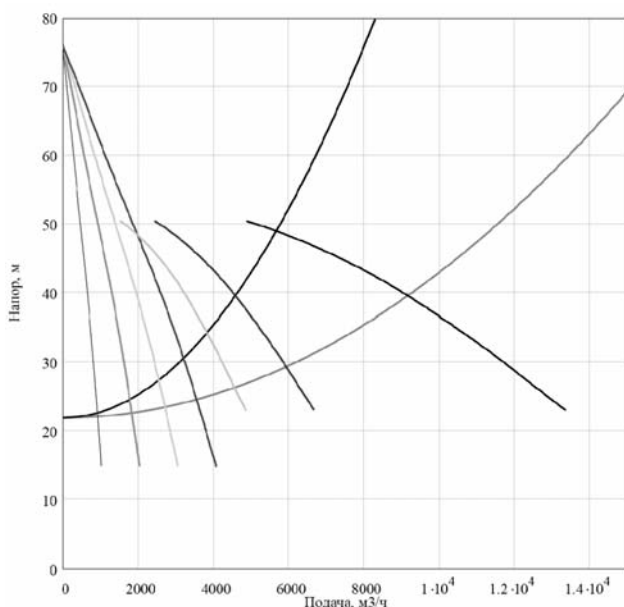
Заказчик, признав это предложение лучшим среди других (назовем его вариантом № 1), попросил найти возможность удешевления.

Задачу удалось решить посредством подбора двух групп агрегатов мощностями по 490 и по 125 кВт (Вариант № 2), отличающихся по величинам единичных подач приблизительно в той же пропорции, в которой соотносятся величины минимального и расчетного притоков.

Из графиков совместной работы насосов и водоводов (рис. 2) видно, что, комбинируя количества работающих агрегатов в зависимости от притока, КНС справится с перекачкой стоков во всем диапазоне как в нормальном, так и в аварийном режимах.

Анализ графиков по рис. 1, 2 позволяет сделать следующие выводы:

- оба варианта подбора оборудования, как № 1 (однотипные насосы плюс частотный преобразователь), так и № 2 (две группы насосов, отличающихся по подаче, без «частотника») обеспечивают аналогичную откачку, адекватную притоку на КНС;
- насосы по вариантам № 1 и № 2 справятся с откачкой 100 % расчетного притока по одной нитке водовода при подключении резервных агрегатов, установленных на КНС;
- вместе с тем недостатком варианта № 1 (см. рис. 1) является то, что большую часть своего времени (при притоках КНС менее 3000 м³/ч) агрегаты должны будут работать на частотах ниже 40 Гц. Но в этом диапазоне скоростей вращения повышается опасность засорения рубашки охлаждения и рабочего колеса насоса содержимым стоков, а КПД собственно частотного привода заметно падает.



- 1- характеристика системы при работе двух трубопроводов
- 2- характеристика системы при работе одного трубопровода
- 3- характеристика насоса CP 3231/705, 125 кВт
- 4- график совместной работы двух насосов мощностью 125 кВт
- 5- график совместной работы трех насосов мощностью 125 кВт
- 6- график совместной работы четырех насосов мощностью 125 кВт
- 7- характеристика насоса CP 3531/935, 490 кВт
- 8- график совместной работы одного насоса 490 кВт и двух 125 кВт
- 9- график совместной работы двух насосов 490 кВт и четырех 125 кВт

Рис. 2

График совместной работы трубопроводов и погружных насосов мощностью 490 кВт (2 шт.) и насосов 125 кВт (4 шт.)

Кроме того, меньшие насосы по варианту № 2 имеют более низкое расположение патрубков к уровню воды в приемном резервуаре, и потому fuller используют его емкость, чем крупные агрегаты.

Наконец, комплект оборудования по варианту № 2 оказался в ценовом выражении на 30 % ниже, чем по варианту № 1 с «частотником».

Таким образом, погружные насосы, подобранные в соответствии с колебаниями притока, группами разных типоразмеров, способны производить откачку в более экономичном режиме, чем одноразмерные агрегаты с частотным регулированием. Диапазон подач и напоров при этом оказался шире, чем по варианту № 1 с «частотником».

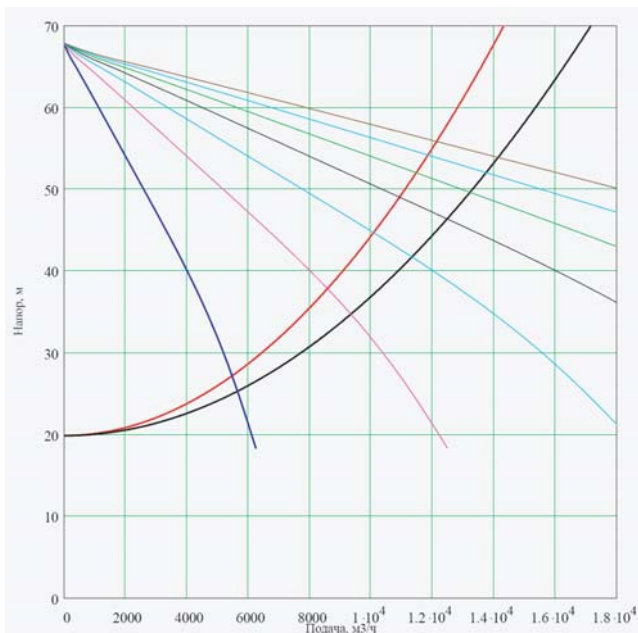
Таким образом, погружные насосы, подобранные в соответствии с колебаниями притока, группами разных типоразмеров, способны производить откачку в более экономичном режиме, чем одноразмерные агрегаты с частотным регулированием. Диапазон подач и напоров при этом оказался шире, чем в варианте с «частотником».

Вместе с тем на особо крупных насосных станциях рациональной является совместная установка погружных и классических насосов разных производительностей.

ПРИМЕР № 2

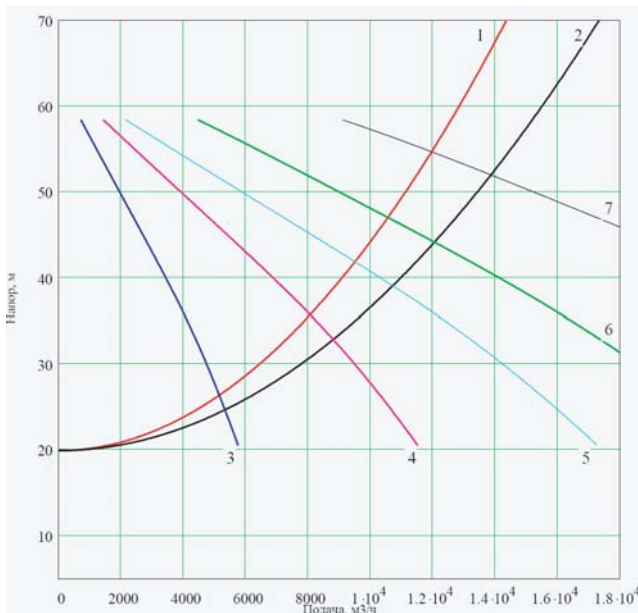
Расчетная подача насосной станции — 12 000 м³/ч, напор — 45 м, напор для прокачки 100 % расчетного расхода при отключении одного из водоводов — 55 м, минимальный приток — 5500 м³/ч, средний приток — 8750 м³/ч.

Проектом (вариант № 1) предусматривалось оснащение данной КНС семью погружными агрегатами мощностью 560 кВт каждый. Подобранные насосы хорошо вписывались в рабочие параметры станции, но оказывались на пределе своих возможностей в случае аварии на напорной линии (рис. 3).



- 1- характеристика системы при работе одного трубопровода
- 2- характеристика системы при работе двух трубопроводов
- 3- характеристика насоса
- 4- график совместной работы двух насосов
- 5- график совместной работы трех насосов
- 6- график совместной работы четырех насосов
- 7- график совместной работы пяти насосов
- 8- график совместной работы шести насосов
- 9- график совместной работы семи насосов

Рис. 3
График систем трубопроводов и работы семи погружных насосов 560 кВт



- 1- характеристика системы при работе одного трубопровода
- 2- характеристика системы при работе двух трубопроводов
- 3- характеристика насоса 470 кВт
- 4- график совместной работы двух насосов по 470 кВт
- 5- график совместной работы трех насосов по 470 кВт
- 6- график совместной работы трех насосов, 470 кВт и одного насоса 600 кВт
- 7- график совместной работы трех насосов, 470 кВт и трех насосов по 600 кВт

Рис. 4
График систем трубопроводов и совместной работы 3 погружных насосов, 470 кВт и 3 «сухих» насосов по 600 кВт

Номенклатура всех известных фирм производителей погружных агрегатов не позволяла на тот момент найти более подходящий «погружник», чем заложенный по проекту. А поскольку опасность аварийных затоплений станции имела место, то применение погружных насосов являлось необходимым условием.

Тогда пришла идея (вариант № 2) совместной установки трех классических агрегатов с сухими двигателями большей мощности (по 600 кВт) с тремя погружными (по 470 кВт) — меньшей, чем по проекту. Подачи насосов при расчетном напоре — 2650 и 1260 м³/ч — соотносятся в той же пропорции, что и величины максимального и минимального притоков.

На рис. 4 представлен график совместной работы этих агрегатов на систему двух напорных водоводов, а в таблице 1 приведено сравнение параметров насосной станции, оснащенной по проектному и комбинированному вариантам.

Как видно из таблицы 1, разнотипные насосы по варианту № 2 обеспечивают перекачку по четырем основным точкам работы станции с экономией в среднем 9,3%. Так, среднегодовой объем КНС будет подан ими, по сравнению с агрегатом по проектному варианту № 1, с экономией 7,7 млн кВт·ч, что при цене 0,8 рублей за кВт составит 6,1 млн рублей в год. Это сопоставимо с ценой одного из рассмотренных насосов.

Кроме того, инвестиционные затраты на закупку шести разнотипных агрегатов, против семи погружных для данной станции, оказались на 20% ниже. При этом требование СНиП об установке на КНС двух насосов с наибольшей подачей (строка 3, столбцы 6, 7 таблицы 1) также выдерживается по варианту № 2.

Наконец, установка трех погружных насосов по варианту № 2 является достаточной для обеспечения бесперебойной работы станции в случае ее затопления, поскольку при их параллельной работе объем перекачки составляет 10 700 м³, т. е. 90% максимального притока.

Таблица 1

Результаты анализов работы насосов по вариантам 1 и 2

№№ режимов работы	Характерные величины притоков на КНС, м ³ /ч	Комбинации работы оборудования по вариантам					
		Вар. 1. Однотипные насосы по 560 кВт (7 шт.) плюс «частотник»		Вар. 2. Две группы насосов по 470 кВт (3 шт.) и по 600 кВт (3 шт.)			
		количество одновременно работающих насосов, шт.	удельная мощность (на валу) на перекачку 1000 м ³ стоков в кВт-ч	работающие насосы мощностью 470 кВт, шт.	работающие насосы мощностью 600 кВт, шт.	удельная мощность на перекачку 1000 м ³ в кВт-ч	экономия энергии по отношению к варианту 1, %
1	5500	1	90,54	1	-	827,8	9,4 %
2	8750	2	110,26	2	-	100,22	10,0 %
3	12 000	4	147,22	3	1	142,8	3,1 %
4*	12 000	7	227,78	3	3	195,0	16,8 %

*Примечание: режим 4 — перекачка по 1 водоводу.

ВЫВОДЫ

Погружные насосы наиболее отвечают современным требованиям для станций перекачки стоков. Одновременное использование в КНС насосов разных производительностей и даже типов может оказаться рациональнее применения одинаковых по подачам и типам агрегатов, управляемых частотным преобразователем. Рекомендуемое соотношение величин подач насосов при этом должно быть приблизительно равным соотношению объемов максимального расчетного и минимального фактического притоков на КНС.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Bob Mcilvaine. Pumps World Markets. www.mcilvainecompany.com.
2. T.Krause. Design of Wastewater and Stormwater Pumping Stations. США, 1993, 282 стр., с. 51.
3. T.Krause. Design of Wastewater and Stormwater Pumping Stations. США, 1993, 282 стр., с. 7.
4. СНиП 2.04.03.85, и 5.8.
5. Проект СНиПа 40.03.99. Канализация. Наружные сети и сооружения. Госстрой России. М., 1999.
6. European Standard EN 12050-1. Wastewater lifting plants for buildings and sites — Principles of constructions and testing — Part 1. Январь 2001.
7. Березин С.Е., Баженов В.И. и др. Новое поколение погружных насосов. ВСТ, № 12, 2001, стр. 28.
8. Welcome to the world of blockage — free pumping. World Pumps. Февраль 2004, стр.17.
9. Журнал «Огонек», № 7, 2005.

новости

ВЫРАСТУТ ЦЕНЫ НА ВОДУ

С января 2007 года существенно вырастут цены на воду как для граждан, так и для промышленных потребителей. А это потянет за собой все прочие цены и тарифы: на свет, на транспорт, на товары. «Ставка на стоимость забора воды из реки или озера для промышленных предприятий увеличится на 10-15 процентов. Такое повышение для промышленного предприятия практически незаметно. Вода в кране сопряжена со стоимостью воды, которую забирает водоканал из реки. Но раз в год цена на воду повышается в пределах инфляционного роста и в тех же пределах и ежегодно эта услуга, как и весь жилищно-коммунальный пакет, дотируется государством. То есть население, как и промышленность, остро это не почувствуют», — заявил руководитель Федерального агентства водных ресурсов Рустэм Хамитов.

С НАЧАЛА 2006 ГОДА В ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ БЫЛО ВЫЯВЛЕНО СВЫШЕ 400 НАРУШЕНИЙ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

С начала 2006 года, в ходе проверок, сотрудниками Волжской межрегиональной природоохранной прокуратуры было выявлено свыше 400 нарушений, связанных с подачей населению некачественной питьевой воды. Как сообщили в пресс-службе Волжской межрегиональной природоохранной прокуратуры, в Тверской области имеется 110 коммунальных и 2214 ведомственных водопроводов общей протяженностью 5448 км, а ежегодно на нужды населения и коммунальные нужды расходуется 108 млн кубометров воды. Прокуратурой создана практика расследования и рассмотрения уголовных дел по ст. 238 УК РФ о подаче населению некачественной воды, когда негативные последствия для здоровья еще не наступили. В период с конца 2003 по первое полугодие 2006 года в суд было направлено 24 таких дела, причем по 23 рассмотренным делам, виновность подсудимых была признана судебными решениями. В 2006 году к дисциплинарной и административной ответственности были привлечены свыше 40 лиц, а в суды направлены 48 исковых заявлений.

В Тверской области уголовные дела по фактам подачи некачественной воды были возбуждены в Андреапольском, Старицком, Торжокском районах, а также в поселке Максатиха и городе Твери.

СОСТОЯНИЕ, ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА АЭС

В.Ф. Тяпков, канд. техн. наук (ВНИИАЭС),

Р.Б. Шарафутдинов, канд. техн. наук
(НТЦ ЯРБ Госатомнадзора России)

Водно-химический режим (ВХР) АЭС является одним из важнейших факторов, влияющих на надежную, экономичную и безопасную эксплуатацию АЭС. Начиная с ввода в эксплуатацию первых блоков АЭС до настоящего времени остается актуальной проблема создания и поддержания таких физико-химических свойств теплоносителей, которые бы предотвращали коррозионные повреждения конструкционных материалов оборудования и образование отложений на его поверхностях. Для решения этой проблемы как в России, так и за рубежом проведено и проводится большое число научно-исследовательских работ по химии теплоносителей и исследованию коррозионных процессов различных конструкционных материалов АЭС. В результате проведенных работ установлены показатели качества теплоносителей и рабочих сред АЭС. В статье рассмотрены современное состояние вопросов поддержания ВХР на эксплуатируемых в Российской Федерации АЭС с ВВЭР и РБМК и основные направления его совершенствования.

НОРМИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА

С начала эксплуатации первых блоков АЭС и до начала 70 годов прошлого столетия ВХР АЭС регламентировался лишь проектной и конструкторской документацией. На начальном этапе разработки проектно-конструкторской документации АЭС и показателей качества ВХР были проведены фундаментальные исследования по выбору конструкционных материалов основного оборудования АЭС. В результате выбраны конструкционные материалы оболочек твэлов, корпусов реакторов и внутрикорпусных устройств, парогенераторов (ПГ), барабанов-сепараторов и другого основного оборудования, а также установлены требуемые, по имевшимся на тот период времени представлениям, нормы качества теплоносителей [1, 2, 3, 4, 5, 6]. При выборе конструкционных материалов и установлении показателей ВХР вторых контуров АЭС был использован имевшийся опыт тепловой энергетики. Дальнейшие работы по нормированию показателей качества ВХР проводились в основном по пути обобщения опыта эксплуатации и анализа отказов в работе оборудования, вследствие нарушения норм качества технологических сред, т. е. по пути увеличения надежности работы оборудования. Такой подход к нормированию показателей качества теплоносителя, рабочих и технологических сред существовал вплоть до середины 90 годов.

Аналогичный подход к нормированию ВХР существовал определенное время и в зарубежных странах. Однако, уже начиная со второй половины 70 годов, в ряде западных стран, имеющих развитую атомную энергетику (США, Франция, Германия и др.), были начаты работы по вопросам, связанным с влиянием ВХР на обеспечение безопасности АЭС. В результате были разработаны основные положения по поддержанию ВХР АЭС, которые реализованы при разработке норм ВХР в указанных странах, а также изложены в публикациях МАГАТЭ [7, 8].

На основе анализа опыта эксплуатации отечественных АЭС, норм ВХР ряда зарубежных стран и рекомендаций МАГАТЭ Госатомнадзор России при участии специалистов научных организаций Минатома России разработал руководство по безопасности, определяющее основные требования к установлению, организации и поддержанию ВХР, направленные на сохранение целостности защитных барьеров и обеспечение радиационной безопасности АЭС с реакторами различного типа [9]. Руководство по безопасности устанавливает ряд основных требований к ВХР АЭС, в том числе:

- ВХР АЭС следует устанавливать, организовывать и поддерживать таким образом, чтобы обеспечивалась целостность защитных барьеров (оболочек тепловыделяющих элементов, границы контура теплоносителя, герметичных ограждений локализирующих систем безопасности);
- коррозионное и коррозионно-эрозионное воздействие теплоносителя и других рабочих сред на конструкционные материалы оборудования и трубопроводов систем АЭС не должно приводить к нарушению пределов и условий безопасной эксплуатации АЭС;
- ВХР АЭС должен обеспечивать минимальное количество отложений на теплопередающих поверхностях оборудования и трубопроводов;
- ВХР АЭС должен быть направлен на снижение радиационных полей, возникающих в результате ионизирующего излучения активированных продуктов коррозии, образующих отложения на поверхностях оборудования и трубопроводов систем АЭС, с учетом массопереноса активированных продуктов коррозии в оборудовании и трубопроводах.

За период эксплуатации АЭС в Российской Федерации установлена достаточно обширная нормативная база, регламентирующая ВХР АЭС. Целый ряд федеральных норм и правил в области использования атомной энергии регламентирует отдельные требования к ВХР АЭС и системам его поддержания [10–19]. Конкретные методы и средства поддержания качества теплоносителя и других рабочих сред, а также нормы их качества для АЭС с реакторами различного типа установлены в стандартах и нормативных документах Минатома России и эксплуатирующей организации концерн «Росэнергоатом» [20–35].

Накопленный опыт эксплуатации АЭС в России и за рубежом обуславливает необходимость пересмотра ряда норм ВХР, в том числе:

- Временных норм на ведение ВХР первого контура атомных электростанций с реакторами типа ВВЭР-440, имеющими корпус с коррозионно-стойкой наплавкой;
- Норм качества воды первого контура реакторов типа ВВЭР. РТМЗ-02-73.

В целях совершенствования ВХР АЭС требуется дальнейшее совершенствование нормативной базы. Для эксплуатируемых блоков АЭС необходима разработка:

- типовых регламентов контроля коррозионного состояния оборудования и трубопроводов АЭС;
- типовых регламентов технологий дезактивации и промывок оборудования и контуров.

В последние годы актуальной задачей является обоснование возможности безопасной эксплуатации блоков АЭС в период дополнительного сверх назначенного проектом срока эксплуатации. В связи с тем, что проектный срок эксплуатации для блоков АЭС устанавливался без учета влияния на ресурс оборудования возможных отклонений показателей ВХР от нормируемых и их продолжительности, а также не разработаны методы оценки влияния отклонений показателей ВХР на снижение ресурса оборудования, требуется проведение научно-исследовательских работ с целью разработки новых подходов к нормированию показателей ВХР. Отдельные работы в данном направлении уже проводятся [36–40].

ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ПЕРВОГО КОНТУРА АЭС С ВВЭР

В первом контуре при работе блока АЭС с ВВЭР на мощности применяется слабощелочной восстановительный аммиачно-калиевый ВХР с борной кислотой.

ВХР первого контура должен обеспечивать:

- подавление образования окислительных продуктов радиолиза теплоносителя при работе реактора на мощности;
- проектную коррозионную стойкость конструкционных материалов активной зоны реактора, оборудования и трубопроводов;
- минимальное количество отложений на поверхностях тепловыделяющих сборок активной зоны реактора и теплообменных поверхностях парогенераторов;
- минимизацию накопления активированных продуктов коррозии на поверхностях оборудования и трубопроводов первого контура.

Нормы качества теплоносителя первого контура АЭС с блоками ВВЭР-440 и ВВЭР-1000 при работе реактора на мощности приведены в табл. 1 и 2.

На АЭС с ВВЭР обеспечивается достаточно стабильное поддержание установленных норм качества теплоносителя первого контура. ВХР основных технологических контуров

и систем, важных для безопасности, блоков с ВВЭР-1000 и ВВЭР-440 в целом поддерживается в соответствии с требованиями нормативной документации. Периодически отмечаются непродолжительные отклонения от нормируемых показателей по суммарной концентрации щелочных металлов в теплоносителе, концентрации водорода в теплоносителе, а также концентрации кислорода в подпиточной воде из-за неравномерности дозирования аммиака, а также ошибок персонала при химической коррекции теплоносителя. Указанные отклонения от норм ВХР находятся в пределах первого уровня действия, не носят продолжительный характер и происходят в основном в переходные режимы работы блока [41]. Для исключения указанных отклонений от норм ВХР целесообразны разработка и внедрение специальных расчетных программ массопереноса компонентов теплоносителя в системах первого контура, подпитки-продувки, установок очистки и химической коррекции теплоносителя.

Существенную роль для поддержания нормируемых показателей ВХР играют системы очистки теплоносителя. Низкотемпературные ионообменные фильтры установки СВО-1 и СВО-2 имеют достаточно высокую эффективность очистки теплоносителя по ионным примесям. Для очистки теплоносителя от дисперсных загрязнений радиоактивных продуктов коррозии размером 0,2–0,4 мкм проектом блоков АЭС с ВВЭР-1000 с реакторными установками В-320 предусмотрена высокотемпературная очистка теплоносителя на четырех фильтрах с фильтрующей загрузкой из губчатого титана с расходом 100 т/ч через каждый (0,5 % от общего расхода теплоносителя в первом контуре). Результаты проведенных исследований показали, что при переходных режимах работы реакторной установки высокотемпературные фильтры (ВТФ) могут обеспечить эффективную очистку теплоносителя от взвесей и адсорбированных на них радионуклидов. Однако отсутствие эксплуатационного контроля за эффективностью работы фильтров, несоблюдение установленного проектом регламента обслуживания фильтров (периодическая отмывка сорбента, дезактивация или замена сорбента) значительно снижают эффективность ВТФ [42].

Проблемы поддержания ВХР первого контура АЭС с ВВЭР-440 (с реакторными установками В-230) обусловлены недостаточной оснащенностью блоков техническими средствами для химической коррекции теплоносителя и устаревшей нормативной документацией. Отсутствие пробоотбора подпиточной воды первого контура усложняет выполнение химического контроля. Наиболее характерным отклонением от норм ВХР для блоков АЭС с ВВЭР-440 (1, 2 блоки Кольской АЭС и 3, 4 блоки Нововоронежской АЭС) является снижение прозрачности воды в реакторе и в бассейне выдержки ядерного топлива до 70–86 %, что затрудняет перегрузку ядерного топлива. Указанные нарушения прежде всего связаны с недостаточной эффективностью проектных средств очистки воды бассейна выдержки (СВО-4). Требуется разработка тщательного регламента очистки воды при перегрузке ядерного топлива и при необходимости реконструкции систем поддержания ВХР при перегрузке.

На блоках 1–4 Кольской АЭС взамен аммиака, вводимого в первый контур на других АЭС с ВВЭР, осуществляется дозирование гидразин-гидрата с целью снижения накопления радиоактивных загрязнений, улучшения радиационной обстановки и снижения доз облучения персонала. Накопленный на Кольской АЭС 20-летний опыт ведения ВХР требует проведения детального анализа.

С точки зрения формирования жидких радиоактивных отходов (ЖРО) слабощелочной восстановительный аммиачно-калиевый ВХР не является самым оптимальным, поскольку использование аммиака приводит к накоплению ЖРО, связанному с необходимостью достаточно частой регенерации фильтров установок спецводоочистки. При проектировании блоков нового поколения целесообразно проанализировать возможность использования водорода для подавления радиолитического разложения теплоносителя взамен аммиака, как это осуществлено на зарубежных блоках АЭС с РВР.

ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ВТОРОГО КОНТУРА АЭС С ВВЭР

Для АЭС с ВВЭР в настоящее время предусматривается ВХР второго контура с коррекционной обработкой питательной воды и конденсата гидразин-гидратом и аммиаком. Нормы качества рабочей среды второго контура АЭС с ВВЭР устанавли-

вают предельно допустимый уровень загрязнений, влияющих на безопасность, надежность и экономичность работы ПГ и оборудования второго контура при различных режимах эксплуатации АЭС. ВХР второго контура должен обеспечивать:

- минимальное количество отложений на теплообменной поверхности ПГ, в проточной части турбин и в конденсатно-питательном тракте;
- предотвращение коррозионных и коррозионно-эрозийных повреждений конструкционных материалов ПГ, оборудования и трубопроводов второго контура;
- минимально достижимый объем сбросов с концентрацией содержащихся в них примесей, не превышающей предельно-допустимой концентрации для водоемов.

Для предотвращения коррозионного растрескивания конструкционных материалов ПГ и коррозионно-эрозийного износа оборудования второго контура с точки зрения технологии ведения ВХР должно быть обеспечено:

Таблица 1

Нормы качества теплоносителя АЭС с блоками ВВЭР-440 при работе реактора на мощности

Показатель	РТМ 3-02-73 (1984 г.) [28]	ОСТ 10165-85	ОСТ 10301-87	Временные нормы на ведение ВХР первого контура АЭС с ВВЭР-440 (1993 г.)
Показатель pH при 25 °С	Не менее 6	5,7–10,2	6,0–10,2	5,7–10,2
Суммарная концентрация хлоридов и фторидов, мг/дм ³ , не более	0,1	0,1	0,1	0,1
Концентрация растворенного водорода, мг/дм ³ (нмл/кг)	(30–60)	(30–60)	2,7–5,4 (30–60)	2,7–5,4
Концентрация растворенного кислорода, мг/дм ³ , не более	0,01	0,005	0,005	0,005
Концентрация железа, мг/дм ³ , не более	0,2	0,2	0,2	-
Концентрация аммиака, мг/дм ³ , не менее	5	5	5	5
Концентрация борной кислоты, г/дм ³	0–8	0–9	0–9	0–9
Концентрация меди, мг/дм ³ , не более	-	0,02	0,02	0,02
Концентрация калия, мг/дм ³	2–16,5	-	-	-
Суммарная молярная концентрация щелочных металлов (K+Li+Na), ммоль/дм ³ (в зависимости от концентрации борной кислоты)	-	0,05–0,42	0,05–0,45	0,02–0,5
Концентрация нефтепродуктов, мг/дм ³ , не более	0,05	-	-	-
Суммарная активность радионуклидов йода 131–135I, ГБк/дм ³ , не более	0,37	0,37	0,37	-

Таблица 2

Нормы качества теплоносителя АЭС с блоками ВВЭР-1000 при работе реактора на мощности

Показатель	ОСТ 962-82 (1982 г.)	ОСТ 962-82 (1988 г.)	Временные нормы на ведение ВХР первого контура АЭС с ВВЭР-1000 (1992 г.)	СТП ЭО 0004-00
Показатель pH при 25 °С	5,7–10,2	5,7–10,2	5,7–10,2	5,7–10,2
Суммарная концентрация хлоридов и фторидов, мг/дм ³ , не более	0,1	0,1	0,1	-
Концентрация хлорид-иона, мг/дм ³ , не более	-	-	-	0,1
Концентрация нитрат-иона, мг/дм ³ , не более	-	-	-	0,2
Концентрация растворенного водорода, мг/дм ³	2,7–5,4	2,7–5,4	2,7–5,4	2,2–4,5
Концентрация растворенного кислорода, мг/дм ³ , не более	0,01	0,005	0,005	0,005
Концентрация железа, мг/дм ³ , не более	0,2	0,2	-	-
Концентрация аммиака, мг/дм ³ , не менее	5	5	5	3
Концентрация борной кислоты, г/дм ³	0–13,5	0–13,5	0–10	0–10
Концентрация меди, мг/дм ³ , не более	-	0,02	0,02	0,02
Суммарная молярная концентрация щелочных металлов (K+Li+Na), ммоль/дм ³ (в зависимости от концентрации борной кислоты)	0,05–0,35	0,05–0,45	0,05–0,5	0,02–0,5
Концентрация нефтепродуктов, мг/дм ³ , не более	-	-	0,05	0,05

снижение общего содержания котловой воды в ПГ и особенно содержания хлоридов и сульфатов;

- эквивалентность концентраций катионов и анионов для стабильного поддержания величины pH продувочной воды в слабощелочной области во всех режимах работы ПГ;
- низкое содержание кислорода в конденсате и питательной воде;
- стабильное поддержание величины pH питательной воды.

Основными возможными источниками загрязнения среды второго контура являются:

- добавочная вода после химводоочистки;
- присосы воздуха через неплотности в вакуумной части конденсатного тракта;
- присосы охлаждающей воды через неплотности в конденсаторах турбины;
- протечки сетевой воды в бойлерах теплосети;
- конденсат дренажных баков;
- продукты коррозии конструкционных материалов оборудования и трубопроводов второго контура.

В связи с тем, что наиболее значимым с точки зрения безопасности является обеспечение надежной эксплуатации ПГ, основные нормируемые показатели ВХР второго контура установлены для продувочной воды ПГ. Нормы качества продувочной воды ПГ для АЭС с ВВЭР-440 и ВВЭР-1000 приведены в табл. 3. Для сравнения в табл. 3 приведены нормы качества продувочной воды АЭС с PWR Westinghouse (США) и EDF (Франция).

Как видно из табл. 3, по солевым примесям продувочной воды ПГ EDF на АЭС с PWR Франции нормы в 10 — 100, а на АЭС США — в 5 — 15 раз жестче, чем на АЭС с ВВЭР. Следует отметить, что применяемые для трубной системы ПГ АЭС с PWR конструкционные материалы инконель-600 и инколой-800 имеют склонность к межкристаллитному щелочному растрескиванию металла, поэтому наиболее существенное различие в нормировании концентрации натрия в продувочной воде ПГ (в 100 раз). На АЭС с ВВЭР для трубной системы ПГ применяется аустенитная нержавеющая сталь типа 08-X18H10T, не подверженная щелочному растрескиванию.

Коллекторы ПГ на АЭС с ВВЭР выполнены из углеродистой стали, которая в кислой среде имеет высокую скорость общей и локальных видов коррозии. В то же время нормируемые в продувочной воде концентрации анионов (хлоридов и сульфатов) на АЭС Франции в 20 раз меньше, чем на российских АЭС. В основном эта разница определяется различием в величине присосов охлаждающей воды в конденсаторах турбины. В настоящее время на большинстве АЭС с PWR присосы охлаждающей воды в конденсаторах турбины не превышают 40–60 мл/ч. На российских АЭС в соответствии с техническими условиями завода-изготовителя турбин присосы охлаждающей воды составляют 36 л/ч, а на некоторых блоках АЭС и эта величина остается недосягнутой (табл. 4). Разработка и внедрение мероприятий по снижению величины присосов охлаждающей воды в конденсаторах турбин существенно повлияют на увеличения ресурса работы основного оборудования АЭС.

Таблица 3

Нормы качества продувочной воды парогенераторов АЭС с ВВЭР и АЭС с PWR

Показатель	Продувочная вода ПГ АЭС с ВВЭР					Продувочная вода ПГ АЭС с PWR	
	187.01.00.00.000ТУ2	8.05-Пр-2298	ОСТ34-37-769-85	«Временные нормы.»	СТП-ЭО-0003-99* [25]	Westinghouse (США)	EDF (Франция)
Удельная электрическая проводимость Н-катионированной пробы, при 25 °С, мкСм/см, не более	10	2,0	3,0	5,0	5,0	0,8	0,5
Концентрация хлоридов, мкг/кг, не более	500	500	500	150	100	20	5
Концентрация натрия, мкг/кг, не более	100	Не норм.**	1000	300	300	20	3
Концентрация сульфатов, мкг/кг, не более	Не норм.	Не норм.	Не норм.	Не норм.	200	20	10
Общая жесткость, мкг-экв/кг, не более	50	Не норм.	Не норм.	Не норм.	Не норм.	Не норм.	10*
Кремниевая кислота, мкг/кг, не более	5000	Не норм.	Не норм.	Не норм.	Не норм.	300	Не норм.
Величина рН25	7,0–8,5	Не норм.	7,8–8,8	8,0–9,2	8,5–9,2	8,5–9,0	9,0–9,3
Общая электропроводимость, мкСм/см, не более	Не норм.	Не норм.	Не норм.	Не норм.	Не норм.	1	2 0,5–5,0

* Нормы качества продувочной воды ПГ АЭС с ВВЭР приведены для солевого отсека холодного торца ПГ.

** Не нормируется.

Таблица 4

Величина присосов охлаждающей воды в конденсаторах турбин АЭС с ВВЭР

Наименование АЭС	Расчетно-допустимая величина присосов с учетом содержания охлаждающей воды, л/ч	Средняя величина присосов в 2002 г., л/ч
Балаковская АЭС	30	8
Калининская АЭС	520	500
Нововоронежская АЭС (5 блок)	85	45
Нововоронежская АЭС (3, 4 блоки)	120	Не более 20
Волгодонская АЭС	32	17
Кольская АЭС	280	105

Проведенный ВНИИАЭС анализ данных о ведении ВХР второго контура на АЭС с ВВЭР-1000 за 2002 г. показал, что в основном уровень эксплуатационных значений нормируемых и диагностических показателей качества питательной и продувочной воды ПГ поддерживался на уровне в 2 раза ниже регламентируемых по стандарту значений. Периодические кратковременные ухудшения показателей качества продувочной воды ПГ связаны в основном с поступлением солевых примесей во второй контур с присосами охлаждающей воды в конденсаторах турбин [43].

На блоках 1–4 Балаковской АЭС за счет выполнения в 2000–2001 гг. комплекса мероприятий по уплотнению конденсаторов, внедрения автоматического химического контроля за величиной присосов, своевременного поиска и глушения дефектных трубок в конденсаторах достигнуты минимальные для АЭС с ВВЭР-1000 значения величины присосов охлаждающей воды в конденсаторах (от 2 до 14 кг/ч). Это позволило, наряду с заменой ионообменных смол в фильтрах блочных обессоливающих установок высококачественными импортными ионообменными смолами, поддерживать концентрацию примесей в продувочной воде ПГ блоков 1–4 Балаковской АЭС в 2002 г. на уровне 10–40 мкг/кг.

Низкое солесодержание охлаждающей воды на Калининской АЭС позволяет эксплуатировать блоки с повышенными величинами присосов в конденсаторах турбин, не нарушая норм ВХР. Однако непринятие своевременных мер по обнаружению и глушению дефектных трубок в конденсаторах и несвоевременные действия персонала при критических величинах присосов приводили к отклонениям показателей качества продувочной воды ПГ.

В качестве превентивной меры для предупреждения коррозионного повреждения коллекторов ПГ на всех блоках ВВЭР-1000 предусмотрено периодическое дозирование в питательную воду гидроксида лития.

Опыт эксплуатации блоков АЭС с ВВЭР показал, что ключевая проблема ВХР второго контура — поддержание условий надежной и безопасной эксплуатации ПГ. В последние годы это связано с коррозионным износом теплообменных трубок ПГ, приводящим к нарушениям их целостности, связанным с подшламовой коррозией и коррозионным растрескиванием под напряжением [37].

Коррозионное состояние теплообменных трубок ПГ зависит от количественного и качественного состава отложений на них. Наиболее радикальным из существующих в настоящее время методов предотвращения коррозионного износа теплообменных трубок ПГ является проведение периодических химических промывок ПГ со стороны второго контура. Впервые такие промывки эффективно были проведены на 1–3 блоках АЭС «Козлодуй» в Болгарии с участием российских специалистов в середине 80 годов прошлого столетия. В дальнейшем после ряда технологических усовершенствований промывка ПГ осуществляется как на российских АЭС с ВВЭР (блоков 1–4 Балаковской АЭС, блоков 3–5 Нововоронежской АЭС, блока 2 Кольской АЭС), так и на АЭС с ВВЭР на Украине [44, 45]. Эффективным методом промывки ПГ может служить разработанная в последние годы промывка ПГ при расхолаживании реакторной установки [46, 47].

Однако химические промывки ПГ влияют на коррозионное состояние конструкционных материалов ПГ, а также приводят к образованию значительных объемов трудноперерабатываемых жидких радиоактивных отходов, поэтому принятие решения об их проведении должно быть основано

на всестороннем анализе состояния поверхностей теплообменных трубок ПГ, их удельной загрязненности и составе отложений. В этой связи установленная из опыта эксплуатации барабанных котлов тепловых электростанций предельная величина удельной загрязненности теплообменных трубок ПГ, равная 150 г/м², требует обоснования. Необходимо также усовершенствование методов ее контроля.

Разработанные и реализуемые в последние годы мероприятия по совершенствованию ВХР второго контура, такие как коррекционная обработка рабочей среды второго контура гидроокисью лития [37], морфалином [48, 49], этаноламином [50], консервация пленкообразующими аминами [51], наряду с повышением плотности конденсаторов турбин и вакуумной части конденсатного тракта, внедрением автоматического химического контроля, могут существенно повлиять на процесс образования отложений на теплообменных поверхностях ПГ.

Сложность поддержания ВХР второго контура связана с применением для оборудования и трубопроводов второго контура различных конструкционных материалов: аустенитные хромоникелевые стали (08Х18Н10Т), углеродистые стали (ст. 20, 16 ГС, 10ГН2МФА), медные сплавы (МНЖ 5-1, Л 68).

При модернизации эксплуатируемых блоков АЭС с ВВЭР целесообразно проанализировать возможность и экономическую целесообразность замены медных сплавов в подогревателях низкого давления и в конденсаторах турбин, а при проектировании блоков нового поколения — отказ от использования медных сплавов в оборудовании второго контура.

ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ АЭС С РБМК-1000

Для блоков АЭС с РБМК-1000 поддерживается бескорректный ВХР. ВХР АЭС с РБМК должен решать следующие задачи:

- обеспечение проектной коррозионной стойкости используемых конструкционных материалов активной зоны реактора, контура многократной принудительной циркуляции (КМПЦ) и конденсатно-питательного тракта (КПТ);
 - концентрации примесей в теплоносителе КМПЦ и КПТ должны поддерживаться на практически достижимом минимальном уровне.
- Средствами поддержания ВХР основного технологического контура блока АЭС с РБМК-1000 являются:
- непрерывная очистка воды КМПЦ на установке байпасной очистки воды;
 - 100 %-ная очистка конденсата турбин и всех потоков теплоносителя, поступающих в конденсатор турбин, на конденсатоочистке;
 - подготовка добавочной воды требуемого качества на установках спецводоочистки для заполнения и подпитки контура.

Нормы качества теплоносителя основного технологического контура АЭС с реактором РБМК-1000 для энергетического режима приведены в табл. 5.

Накопленный опыт эксплуатации действующих блоков АЭС с реакторами РБМК-1000 позволил существенно улучшить качество теплоносителя основного технологического контура и добавочной воды в различных режимах эксплуатации по сравнению с требованиями действующего нормативного документа даже без модернизации технических средств поддержания ВХР. В течение последних 5–7 лет достигнут заметный прогресс в организации химической

технологии и контроля на АЭС за счет реализации ряда технических мероприятий по совершенствованию ведения ВХР, включая:

- повышение оперативности обнаружения и устранения прорывов охлаждающей воды в конденсаторах турбин;
- повышение эффективности очистки установки очистки турбинного конденсата и байпасной очистки воды КМПЦ (за счет регулярного эксплуатационного контроля качества ионитов, их своевременной замены);
- предотвращение загрязнения теплоносителя органическими веществами (продуктами измельчения ионообменных смол, дезактивирующими растворами и т. д.).

Отклонения показателей качества воды КМПЦ от установленного уровня, как правило, носят эпизодический характер и отмечаются в переходных режимах реакторной установки, при повышенных присосах охлаждающей воды в конденсаторах турбин, а также при недостаточных отмывах ионообменных смол конденсатоочистки после их регенерации.

В 1997–1999 гг. выявлены однотипные коррозионные повреждения опускных трубопроводов из аустенитных сталей Ду300 КМПЦ на всех энергоблоках РБМК-1000. Согласно результатам фрактографических и других металлографических исследований, трещины имеют межкристаллитный характер и развивались по механизму межкристаллитного коррозионного растрескивания под напряжением (МКРПН) в зоне термического влияния (ЗТВ) сварного соединения с внутренней стороны при влиянии коррозионной водной среды КМПЦ [52, 53].

Аналогичные проблемы в 70 годах возникли на АЭС с корпусными кипящими реакторами типа BWR, где цирку-

ляционные трубопроводы изготовлены из нестабилизированной аустенитной стали. На АЭС с реакторами РБМК России, Украины и Литвы повреждения сварных соединений обнаружены значительно позже. Столь значительное различие наработки на отказ (10–15 лет), так же, как и на АЭС с кипящими реакторами BWR Германии, в значительной степени обусловлено изготовлением циркуляционных трубопроводов из более устойчивой к данному повреждению стабилизированной аустенитной стали. На зарубежных АЭС с кипящими реакторами проблема предотвращения межкристаллитного коррозионного растрескивания под напряжением циркуляционных трубопроводов в значительной степени решена за счет совершенствования ВХР. В качестве одной из первых основных мер по предотвращению развития МКРПН был рекомендован и в течение более 15 лет используется водородный ВХР взамен бескоррекционного ВХР. Основным результатом реализации водородного ВХР заключается в смещении коррозионного потенциала стали в пассивную область (менее 230 мВ) за счет дозирования водорода в питательную воду [54, 55]. В настоящее время отсутствуют работы по возможности реализации водородного режима для РБМК-1000, однако очевидно, что его внедрение требует серьезной реконструкции целого ряда систем, в том числе систем газоудаления.

Выполненный анализ эксплуатационных режимов энергоблоков РБМК-1000 показал, что наиболее опасными для развития коррозионного растрескивания под напряжением трубопроводов КМПЦ является режим пуска блока и гидропрессовки без предварительной деаэрации и очистки теплоносителя, когда при достаточно высокой темпера-

Таблица 5

Значения показателей качества воды КМПЦ, конденсата после конденсатоочистки, питательной воды, воды контура СУЗ, воды заполнения и подпиточной воды контуров в энергетическом режиме работы энергоблоков (СТП ЭО 0005-01)

Показатель	Значения показателей качества								
	Вода КМПЦ		Конденсат после конденсатоочистки		Питательная вода		Вода контура СУЗ		Вода заполнения и подпиточная вода контуров
	нормируемые	диагностические	нормируемые	диагностические	нормируемые	диагностические	нормируемые	диагностические	
Удельная электрическая проводимость, мкСм/см, не более	0,3–0,4 (ЛАЭС)*	-	0,1	-	0,1	-	-	-	1,3
Водородный показатель pH	6,5–8,0	-	-	6,8–7,1	-	6,8–7,1	4,5–6,5	-	5,5–7,2
Массовая концентрация меди, мкг/дм ³ , не более	10	-	-	2	-	2	-	-	-
Массовая концентрация хлорид-ионов, мкг/дм ³ , не более	2025 (ЛАЭС)	-	-	2	-	2	20	-	10
Массовая концентрация растворенного кислорода, мкг/дм ³ , не более	-	-	-	50	20	-	-	-	-
Массовая концентрация кремниевой кислоты, мкг/дм ³ , не более	-	500	-	-	-	-	-	-	-
Массовая концентрация железа, мкг/дм ³ , не более	-	20	-	5	-	5	-	20	30
Массовая концентрация натрия, мкг/дм ³ , не более	-	-	-	2	-	-	-	-	10
Массовая концентрация нефтепродуктов, мкг/дм ³ , не более	-	100	-	80	-	80	-	-	100
Массовая концентрация алюминия, мкг/дм ³ , не более	-	-	-	-	-	-	-	15	-

* Ленинградская АЭС

туре (150–200 °С) в теплоносителе присутствует растворенный кислород в значительных концентрациях (более 100 мкг/дм³), удельная электропроводимость воды находится в интервале 0,7–1,5 мкСм/см, а водородный показатель рН не превышает 6. По оценкам, основанным на результатах исследований скорости роста трещин в аустенитных трубопроводах КМПЦ, снижение в периоды пусков удельной электропроводимости реакторной воды до 0,2–0,3 мкСм/см и концентрации кислорода менее 100 мкг/дм³ может обеспечить замедление роста трещин на действующих энергоблоках РБМК-1000. В связи с изложенным одним из способов предотвращения рассматриваемого вида коррозионных повреждений является осуществление «деаэрированного» пуска, обеспечивающего снижение концентрации растворенного кислорода до достижения температуры теплоносителя более 130 °С [56]. На блоках Ленинградской, Смоленской и Курской АЭС в 2001–2003 гг. проведены опытно-промышленные испытания «деаэрированного» пуска. Анализ результатов показал возможность достижения низких концентраций растворенного в воде КМПЦ кислорода (до 50 мкг/дм³) и удельной электропроводимости (до 0,3 мкСм/см) еще до разогрева КМПЦ до 130 °С.

Для снижения риска инициирования и роста коррозионных трещин в сварных соединениях аустенитных трубопроводов КМПЦ АЭС с РБМК в периоды проведения «горячих» гидропрессовок целесообразно также рассмотреть возможность снижения их количества и температуры проведения. Регулярное проведение деаэрации теплоносителя в периоды пусков обеспечит снижение риска инициирования и скорости роста трещин в сварных соединениях трубопроводов КМПЦ во время эксплуатации энергоблоков АЭС с реакторами РБМК. В дальнейшем необходимо выполнить количественную оценку взаимосвязи между проведением деаэрации в периоды пусков и ростом трещин на блоках.

Предусмотренные проектом АЭС с РБМК-1000 системы поддержания ВХР и организация химического контроля на АЭС были направлены на снижение концентрации хлоридов. Сульфат-ион рассматривался как коррозионно-неактивная примесь. Внедрение метода ионной хроматографии подтвердило прогресс в устранении хлоридов, но выявило наличие в теплоносителе других примесей, таких как сульфаты, нитраты и карбоновые кислоты. Для надежного прогнозирования ресурса оборудования необходимо пересмотреть существующие показатели качества теплоносителя АЭС с РБМК. В настоящее время проводится разработка требований к контролю и обоснованию предельно допустимой концентрации сульфат-иона в теплоносителе [57]. Для реализации данной работы необходимо оснащение АЭС современными жидкостными хроматографами.

Для предотвращения МКРПН электрохимический потенциал аустенитной стали в эксплуатационных условиях должен поддерживаться менее критического уровня, соответствующего области иммунности стали к данному виду коррозии. Для контроля за протеканием МКРПН по опыту зарубежных АЭС необходимо обеспечить непрерывное измерение электрохимического потенциала аустенитной стали в контакте с теплоносителем. В настоящее время с целью непрерывного контроля за коррозионным состоянием сварных соединений на действующих РБМК-1000 проводятся работы по внедрению систем измерения высокотемпературного электрохимического потенциала. На блоке 3 Ленинградской АЭС смонтированы и подготовлены к опыт-

но-промышленной эксплуатации системы коррозионного мониторинга и автоматического химического контроля теплоносителя. Планируется внедрение данных методов измерения на Курской АЭС и Смоленской АЭС [58].

Одной из важных задач ведения ВХР является снижение накопления радиоактивных отложений на поверхностях оборудования. В условиях ведения нейтрального бескоррекционного ВХР АЭС с РБМК-1000 в результате коррозии основного технологического контура в реактор с питательной водой ежегодно поступает до 200 кг продуктов коррозии, где они активируются с образованием радионуклидов коррозионного происхождения. Сложная разветвленная технологическая схема циркуляционного контура охлаждения канального реактора РБМК-1000 с большим количеством запорно-регулирующей арматуры и контрольно-измерительной аппаратуры обуславливает значительный объем ремонтных работ в зоне воздействия ионизирующего излучения, что приводит к существенным коллективным дозам персонала и привлекаемых работников при ежегодных планово-предупредительных ремонтах и проведении реконструкций. Для снижения коллективных доз персонала осуществляются предремонтные дезактивации оборудования КМПЦ с использованием гидравлических и химических методов очистки [59, 60].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Надежность работы любого теплоэнергетического оборудования определяется в основном взаимным влиянием трех факторов:

- конструкционный материал оборудования;
- конструкция оборудования;
- физико-химические свойства рабочей среды.

На эксплуатируемых блоках АЭС, по существу, единственным фактором, который можно при умеренных затратах оптимизировать для повышения надежности оборудования, является последний из вышеуказанных, т. е. ВХР. И, наоборот, последствия применения необоснованного ВХР могут оказать самые серьезные негативные последствия на надежность оборудования и безопасность блока АЭС в целом. Таким образом, ВХР АЭС является одним из инструментов управления сроком службы АЭС. Однако только средствами ВХР кардинально повысить надежность оборудования в принципе невозможно.

НАПРИМЕР:

- без обеспечения необходимой плотности конденсаторов турбин любые, самые современные технологии очистки турбинного конденсата не обеспечат требуемого качества питательной воды;
- применение разнородных конструкционных материалов не позволяет поддерживать величину рН воды второго контура, соответствующую минимальной скорости коррозии каждого из них, что вынуждает устанавливать оптимальный рН только для определенной группы оборудования;
- снижение скорости эрозионно-коррозионного износа оборудования и трубопроводов пароводяного тракта (ПВД, трубопроводов влажного пара) методами оптимизации ВХР достигается лишь частично, для радикального решения этой проблемы необходимо применение сталей с содержанием хрома около 2 %;
- снижение накопления активированных продуктов коррозии на поверхностях оборудования и трубопро-

водов первого контура АЭС с ВВЭР методами оптимизации pH теплоносителя может быть достигнуто частично, для радикального решения необходимо применение стальной с низким содержанием кобальта.

То есть совершенствование ВХР как фактора повышения надежности оборудования и соответственно обеспечения безопасной эксплуатации АЭС имеет свои объективные ограничения. С момента пуска первых блоков АЭС в России нормы ВХР основных контуров неоднократно пересматривались и предельные величины нормируемых показателей постоянно снижались. Так, за 15 лет во втором контуре АЭС с ВВЭР допустимая концентрация хлорид-иона в продувочной воде ПГ была постепенно снижена в 5 раз, концентрация натрия — более чем в 3 раза, концентрации меди и железа в питательной воде — в 1,5–2 раза. Аналогичное положение и с нормами ВХР на АЭС с РБМК. В действующем нормативном документе предельный уровень удельной электропроводимости снижен с 1 до 0,3 мкСм/см, снижены максимально допустимые концентрации хлорид-иона со 100 до 20 мг/дм³, меди — с 20 до 10 мг/дм³, железа — с 50 до 20 мг/дм³. Ужесточение норм в основном достигалось проведением организационно-технических мероприятий за счет повышения уровня эксплуатации и культуры безопасности при минимальном объеме реконструкций оборудования. В настоящее время этот ресурс практически исчерпан, и, тем не менее, качество теплоносителя российских АЭС, особенно по второму контуру ВВЭР, на порядок хуже, чем на зарубежных АЭС с РWR.

Таким образом, повышение надежности оборудования АЭС и безопасности эксплуатации АЭС должно осуществляться на основе многофакторного анализа. Такой подход возможен в полном объеме при проектировании блоков АЭС следующего поколения. На эксплуатируемых же блоках такой подход может быть осуществлен лишь частично. При реконструкции и модернизации блоков АЭС должны быть рассмотрены следующие направления работ по повышению надежности и безопасности:

- частичная замена конструкционных материалов (ПНД, конденсаторы турбин);
- реконструкция систем поддержания ВХР (установки приготовления добавочной воды, установки очистки турбинного конденсата, узлы реагентов и установки коррекции химического состава теплоносителя, системы технического

водоснабжения ответственных потребителей, установки спецводоочистки и т. д.);

- оснащение АЭС системами автоматического химического контроля.

За последние годы для совершенствования ВХР эксплуатируемых блоков АЭС выполнен целый комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также проведены организационно-технические мероприятия по следующим основным направлениям:

- научно-техническое обоснование, разработка и внедрение новых нормативных документов и пересмотр действующих стандартов по ВХР АЭС;
- создание во ВНИИАЭС Центра химической поддержки по вопросам ведения химической технологии на АЭС с ВВЭР;
- снижение присосов охлаждающей воды в конденсаторах турбоагрегатов;
- внедрение новых технологий дезактиваций, химических отмылок и консервации оборудования и очистки технологических сред.

Планируется дальнейшее развитие работ по совершенствованию ВХР АЭС в направлениях, достаточно полно рассмотренных на международном научно-техническом совещании «Водно-химический режим АЭС» на Смоленской АЭС в октябре 2003 г. [60].

ВЫВОДЫ

1. На блоках АЭС с ВВЭР и РБМК в основном обеспечивается стабильное поддержание ВХР основных и вспомогательных контуров в соответствии с требованиями нормативных документов.

2. В целях совершенствования ВХР АЭС научно-исследовательскими, опытно-конструкторскими и проектными организациями осуществляется комплекс работ, направленных на обеспечение безопасной, надежной и экономичной эксплуатации блоков АЭС.

3. ВХР АЭС, являясь одним из важнейших инструментов повышения надежности оборудования и управления сроком службы эксплуатируемых блоков, имеет свои объективные ограничения, вызванные конструкционными особенностями оборудования и используемыми конструкционными материалами. Повышение надежности оборудования АЭС должно осуществляться на основе многофакторного анализа.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Коррозионная стойкость реакторных материалов. Справочник. — М.: Атомиздат, 1976.
2. В.В. Герасимов. Коррозия реакторных материалов. — М.: Атомиздат, 1980.
3. В.В. Герасимов. Коррозия сталей в нейтральных водных средах. — М.: Металлургия, 1981.
4. В.Л. Богоявленский. Коррозия сталей на АЭС с водным теплоносителем. — М.: Энергоатомиздат, 1984.
5. В.В. Герасимов, А.И. Касперович, О.И. Мартынова. Водный режим атомных электростанций. — М.: Атомиздат, 1976.
6. М.С. Шкроб и Ф.Г. Прохоров. Водоподготовка и водный режим паротурбинных электростанций. — М.: Государственное энергетическое издательство, 1951.
7. Operational Limits and Conditions for Nuclear Power Plants, A Safety Guide, Серия изданий по безопасности N 50, МАГАТЭ, Вена, 1979.
8. Safety aspects of water chemistry in light water reactors. A technical document issued by the IAEA, IAEA –TECDOC-489, Vienna, 1988.
9. Водно-химический режим атомных станций. Основные требования безопасности. РБ-002-97.
10. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. ОПБ-88/97, НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97).
11. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (ПНАЭ Г-7-008-89).
12. Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций. ПБЯ РУ АС-89 (ПНАЭ Г-1-024-90).
13. Правила безопасности при хранении и транспортировке ядерного топлива на объектах атомной энергетики ПБ-ЯТ-ХТ-90 (ПНАЭ Г-14-029-91).
14. Требования к содержанию отчета по обоснованию безопасности атомной станции с реакторами типа ВВЭР. НП-006-98 (ПНАЭ Г-01-036-95).
15. Типовое содержание технического обоснования безопасности атомных станций. ТС ТОб АС-85 (ПНАЭ Г-1-001-85).
16. Требования к программе обеспечения качества для атомных станций. НП-011-99.
17. Правила устройства и эксплуатации локализирующих систем безопасности атомных станций. НП-010-98.
18. Правила обеспечения водородной взрывозащиты на атомной станции. НП-040-02.

19. Правила безопасности при обращении с радиоактивными отходами атомных станций. НП-002-97 (ПНАЭ Г-14-41-97).
 20. Водно-химический режим основного технологического контура и вспомогательных систем атомных электростанций с реакторами РБМК-1000. СТП ЭО 0005-01.
 21. ГОСТ 26841-86. Режим атомных электростанций с кипящими реакторами большой мощности водно-химический. Нормы качества водного теплоносителя основного контура и контура системы управления и защиты, средства их обеспечения.
 22. РД ЭО 00047-95 «Деактивация оборудования и трубопроводов АЭС с РБМК-1000. Типовая программа».
 23. Водно-химический режим первого контура энергоблоков атомных электростанций с реакторами ВВЭР-1000. Нормы качества теплоносителя и средства их обеспечения. СТП ЭО 0004-00.
 24. Водно-химический режим второго контура атомных электростанций с реакторами ВВЭР-1000 при вводе энергоблока в эксплуатацию. Нормы качества рабочей среды и средства их обеспечения. СТП ЭО 0006-02.
 25. Водно-химический режим второго контура атомных электростанций с реакторами типа ВВЭР-1000. Нормы качества рабочей среды и средства их обеспечения. СТП-ЭО-0003-99.
 26. Водно-химический режим второго контура атомных электростанций с реакторами типа ВВЭР-440. Нормы качества рабочей среды и средства их обеспечения. СТП-ЭО-0035-95.
 27. Временные нормы на ведение ВХР первого контура атомных электростанций с реакторами типа ВВЭР-440, имеющими корпус с коррозионно-стойкой наплавкой.
 28. Нормы качества воды первого контура реакторов типа ВВЭР. РТМ 3-02-73.
 29. Приборы и средства автоматизации для атомных станций. Общие технические требования (ОТТ) 08042462.
 30. Специальные условия поставки оборудования, приборов, материалов и изделий для объектов атомной энергетики, 1987 г.
 31. Основные правила обеспечения эксплуатации атомных станций. РД ЭО 0348-02.
 32. Консервация оборудования и трубопроводов вторых контуров АЭС с ВВЭР с использованием аминов. РД ЭО 0408-02.
 33. Средства измерительной техники в составе систем химического контроля водно-химического водного теплоносителя на атомных станциях. Общие технические требования. РД ЭО 0418-02.
 34. РД ЭО 0161-99. Требования к входному и эксплуатационному контролю ионообменных смол для атомных электростанций с реактором типа ВВЭР.
 35. РД-ЭО 0368-02. Методики входного и эксплуатационного контроля ионитов на атомных электростанциях.
 36. Локальная коррозия металла теплоэнергетического оборудования // Под ред. В.П. Горбатов. — М.: Энергоатомиздат, 1992. 37. О подходе к нормированию водного режима второго контура АЭС с ВВЭР-1000 // В.А. Мамет, С.Ф. Ерпылева, Г.Ф. Банюк, Ю.В. Харитонов, Р.Б. Шарфутдинов // Теплоэнергетика, 1998. № 11.
 38. Павлишин Н.Б. О регламентировании показателей ВХР и воздействии нарушений на ресурс реакторной установки / Второе научно-техническое совещание «Проблемы и перспективы развития химического и радиохимического контроля в атомной энергетике», 16–18 сентября, 2003 г.
 39. Герасимов В.В., Горбатов В.П., Морозов А.В. Некоторые аспекты управления сроком службы металла теплоэнергетического оборудования АЭС // Теплоэнергетика. — 2000. № 8.
 40. Хемометрический анализ связи надежности элементов оборудования АЭС со значениями нормируемых показателей качества ВХР / П.С. Стяжкин, В.Г. Крицкий и др. // Международное научно-техническое совещание «Водно-химический режим АЭС», Смоленская АЭС, 13–17 октября 2003 г. Тез. докл. // ВНИИАЭС, 2003.
 41. Анализ ведения водно-химического режима первых контуров АЭС России с реакторами ВВЭР-1000 / В.Ф. Тяпков, В.А. Юрманов, С.И. Брыков и др. // Международное научно-техническое совещание «Водно-химический режим АЭС», Смоленская АЭС, 13–17 октября 2003 г. Тез. докл. // ВНИИАЭС, 2003.
 42. Ефимов А.А., Гусев Б.А. Анализ работы высокотемпературных фильтров очистки теплоносителя АЭС с ВВЭР // Международное науч. техн. совещание «Водно-химический режим АЭС», Смоленская АЭС, 13–17 октября, 2003 г. Тез. докладов // ВНИИАЭС, 2003.
 43. Анализ ведения водно-химического режима второго контура АЭС с ВВЭР-1000 России / В.Ф. Тяпков, С.Ф. Ерпылева и др. // Международное научно-техническое совещание «Водно-химический режим АЭС», Смоленская АЭС, 13–17 октября 2003 г. Тез. докладов // ВНИИАЭС, 2003.
 44. Совершенствование технологии химических промывок парогенераторов АЭС с ВВЭР / О.П. Архипов, С.И. Брыков, Л.А. Сиряпина и др. // Теплоэнергетика. — 2001. — № 8.
 45. Ермолаев Н.П., Смыков В.Б., Иванов В.Н. Новая технология эксплуатационной химической промывки парогенераторов ВВЭР // Теплоэнергетика. — 2002. — № 7.
 46. Опыт-промышленное проведение химической отмычки парогенератора ПТВ-1000 при расхолаживании энергоблока / С.И. Брыков, Г.Ф. Банюк, С.Ф. Ерпылева, Н.С. Круглов // Теплоэнергетика. — 1993. — № 7.
 47. Опыт проведения химических промывок парогенератора ПГВ-1000 при расхолаживании реакторной установки / О.П. Архипов, С.И. Брыков, Г.Ф. Банюк, Н.В. Замфираки // Теплоэнергетика. — 2000. — № 2.
 48. J. Stevens, B. Fellers, S. Orbon. «Steam Generator Deposit Control Program Assessment at Comanche Peak». International Conference «Chemistry in water reactors», SPEEN, Avignon, France, 22–26 April 2002.
 49. Архипенко А.В. Состояние водно-химических режимов основных и вспомогательных контуров АЭС Украины и основные направления их совершенствования // Международное научно-техническое совещание «Водно-химический режим АЭС», Смоленская АЭС, 13–17 октября 2003 г. Тез. докладов // ВНИИАЭС, 2003.
 50. Smiesko, J. Bystriansky, A. Szalo «Use of Ethanolamine for Alkalisiation of Secondary Coolant First Experience at VVER Reactor. International Conference «Chemistry in water reactors», SPEEN, Avignon, France, 22–26 April, 2002.
 51. К вопросу о консервации оборудования ТЭС и АЭС с использованием пленкообразующих аминов / Г.А. Филиппов, О.И. Мартынова, А.Н. Кукушкин и др. // Теплоэнергетика. — 1999. — № 4.
 52. Исследование причин растрескивания околошовных зон трубопроводов Ду300 и разработка мероприятий по их предотвращению / В.Г. Крицкий, В.И. Лебедев и др. // Атомное энергомашиностроение. Труды ЦКТИ. Выпуск 282 // СПб, 2002.
 53. Исследование причин и разработка мероприятий по предотвращению причин растрескивания околошовных зон трубопроводов Ду300 / В.Г. Крицкий, С.Л. Буторин и др. // The International conference material issues in design, manufacturing and operation of nuclear power plant equipment, 17–21 June 2002 // St.-Petersburg, RUSSIA.
 54. Andersen P.Z. Effect of transients in water chemistry, temperature and loading on intergranular stress corrosion cracking of AISI304 stainless steel. Corrosion (USA). 1986. T. 42. № 3. С. 169–180.
 55. BWR Water Chemistry Guidelines — 2000 Revision. EPRI. May. 2000.
 56. Отработка технологии деаэрированных пусков АЭС с РБМК / В.Ф. Тяпков, В.Н. Белоус и др. // Международное научно-техническое совещание «Водно-химический режим АЭС», Смоленская АЭС, 13–17 октября 2003 г. Тез. докладов // ВНИИАЭС, 2003.
 57. Юрманов В.А. Белоус В.Н. Анализ влияния сульфатов на коррозионное растрескивание аустенитных сталей на АЭС с РБМК // Международное научно-техническое совещание «Водно-химический режим АЭС», Смоленская АЭС, 13–17 октября 2003 г. Тез. докладов // ВНИИАЭС, 2003.
 58. Анализ ведения водно-химического режима основного технологического контура и вспомогательных систем АЭС с РБМК и основные направления совершенствования ВХР / Т.М. Егорова. В.Г. Крицкий и др. // Международное научно-техническое совещание «Водно-химический режим АЭС», Смоленская АЭС, 13–17 октября 2003 г. Тез. докладов // ВНИИАЭС, 2003.
 59. Деактивация оборудования и систем 1 контура блока ЛАЭС при выходе их из эксплуатации / В.М. Симановский, Н.И. Ампелогова и др. // Атомная энергия. — 1998 — Т. 85. — Вып. 2.
 60. Опыт проведения дезактивации КМПЦ энергоблоков с РБМК / А.М. Алешин, Б.А. Гусев и др. // Международное научно-техническое совещание «Водно-химический режим АЭС», Смоленская АЭС, 13–17 октября 2003 г. Тез. докладов // ВНИИАЭС, 2003.
- Тезисы докладов международного научно-технического совещания «Водно-химический режим АЭС», Смоленская АЭС, 13–17 октября 2003 г. // ВНИИАЭС, 2003.

НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ВОДОПОДГОТОВКИ

В.Ф. Очков, канд. техн. наук
Московский энергетический институт (ТУ)

В Московском энергетическом институте совместно с ООО «Триеру» разработан комплекс программ и специализированный сайт (www.vpu.ru/mas) для информационной и прочей поддержки специалистов, работающих в области водоподготовки для энергетики и коммунального хозяйства.

Многие страницы сайта отформатированы так, что на них можно заходить не только с обычного, но и с карманного компьютера, с сотового телефона (SmartPhone). Доступ к сайту свободный, но отдельные компоненты требуют предварительной регистрации.

САЙТ СОДЕРЖИТ СЛЕДУЮЩИЕ РАЗДЕЛЫ

1. СЕТЕВАЯ ВЕРСИЯ СПРАВОЧНИКА ХИМИКА-ЭНЕРГЕТИКА

Справочник входит в состав сетевой версии четырехтомника «Теплотехника и теплоэнергетика» — <http://twf.mpei.ac.ru/ТТНВ>.

На рис. 1 в качестве примера отображен сайт в Интернете, по которому можно узнать технологические параметры воды основных источников водоснабжения России и ближнего зарубежья. В обычных (бумажных) справочниках эти данные представлены в виде таблиц, которые часто приходится дополнительно обсчитывать — переводить числа из одной размерности концентрации в другую. В Интернете же достаточно «щелкнуть» мышью по интересующему источнику водоснабжения и тут же будут выданы не только колонки чисел, которые допустимо копировать в другие документы, но и проведена некая обработка чисел — определение типа и класса воды, ее солесодержание, построение круговой диаграммы и др. Кроме того, данные в «бумажных» справочниках часто устаревают. Сетевая версия справочника непрерывно дополняется и исправляется, в том числе и за счет обновленной информации, присылаемой посетителями сайта.

Подобные справочные сайты созданы и открыты в Сети по материалам и реагентам, используемым при водоподготовке, хранении и приготовлении реактивов, обработке стоков и др.

2. СЕТЕВЫЕ РАСЧЕТНЫЕ МЕТОДИКИ ПО ПРОЦЕССАМ, АППАРАТАМ И ТЕХНОЛОГИЯМ ВОДОПОДГОТОВКИ

На описываемом сайте www.vpu.ru/mas собраны и открыты в Сети различные документы, связанные с расчетами и оптимизацией процесса водоподготовки. На рис. 2 в качестве примера показан сетевой расчет равновесных концентраций воды после добавления в нее гашеной извести ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) и соды (Na_2CO_3) в целях ее умягчения и снижения щелочности. При выполнении расчета решается система нелинейных алгебраических уравнений. На сайте само решение не отображается, но показано, что оно сделано правильно: в воде наблюдается равновесие по ионному составу (электронейтральность), выверяются термодинамические константы (ионное произведение воды, константы диссоциации угольной кислоты по двум ступеням и др.).

Подобные расчетные документы созданы и выложены в Сети и по другим процессам водоподготовки: известкование и коагуляция (расчет равновесных и реальных концентраций), Na-катионирование, обессоливание и т. д. Многие расчеты имеют и экономическую составляющую — выдают, например, себестоимость обработанной воды. Особо следует отметить сетевой расчетный документ, размещенный по адресу http://twf.mpei.ac.ru/MAS/Worksheets/New_VPU/Anketa.mcd, по которому ведется технико-экономическая оценка (предпроектирование) реконструкции или нового строительства водоподготовительной установки для тепловой электростанции.

Расчеты выложены в Сети с использованием технологии Mathcad Application Server, имеющей то неоспоримое преимущество, что она опирается на математический пакет Mathcad, хорошо известный многим разработчикам.

3. НАБОР ТРЕХМЕРНЫХ ГРАФИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Эти модели предоставляются пользователям как на дисках, так и открытыми в Интернете. На рис. 3 в качестве примера показана трехмерная модель осветлителя, открытая в Интернете. Посетитель данного

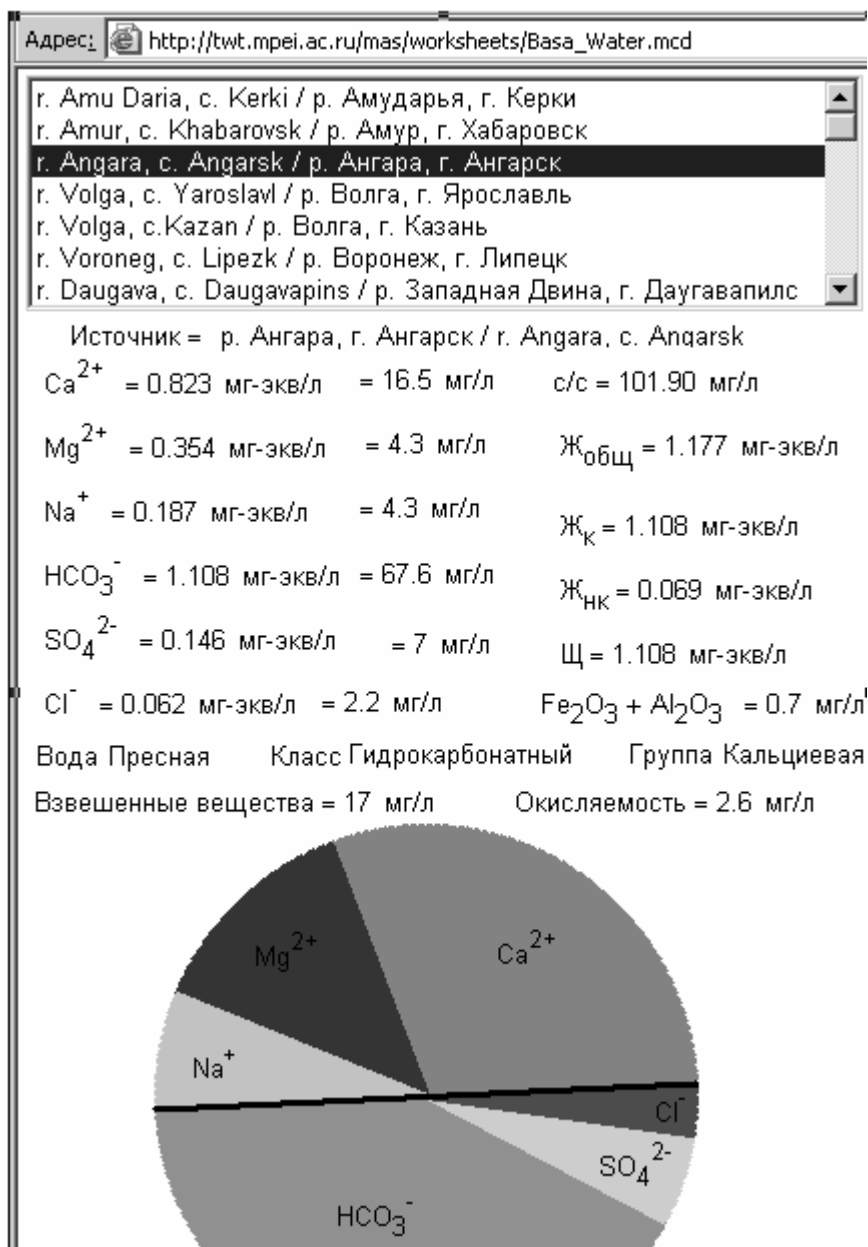


Рис. 1
Сайт с параметрами источников водоснабжения
(http://twf.mpei.ac.ru/mas/worksheets/Basa_Water.mcd)

сайта имеет возможность через кнопки управления менять ориентацию объекта в пространстве и делать другие действия с ним. На сайте также выложены анимационные клипы, иллюстрирующие процессы водоподготовки, протекающие в соответствующем водоподготовительном оборудовании.

4. ПАКЕТ ПРОГРАММ ПО СВОЙСТВАМ ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА (WATERSTEAMPRO)

Пакет программ WaterSteamPro (www.wsp.ru) предназначен для вычислений теплофизических свойств воды и водяного пара, воздуха и дымовых газов в широком диапазоне исходных данных.

В программе определено более 300 функций для вычислений свойств воды и водяного пара по формулам,

предложенным Международной Ассоциацией по Свойствам Воды и Водяного Пары (www.iapws.org). Термодинамические свойства вычисляются по формулам IAP-97 для технических расчетов, а остальные свойства — по соответствующим им формуляциям (наборам уравнений).

Пакет программ WaterSteamPro официально зарегистрирован в Российском Агентстве по Патентам и Товарным Знакам (свидетельство № 2000610803), в Госстандарте России (свидетельство № АК-35/4 от 16.04.2001) и рекомендован Департаментом генеральной инспекции по эксплуатации электрических станций и сетей РАО «ЕЭС России» для использования в энергетике (информационное письмо ИП-14-27-2001 от 03.08.2001).

Адрес: http://twf.mpei.ac.ru/mas/worksheets/Calc_SI_Ravnov_Progr.mcd

Расчет равновесных концентраций ионов при содоизвестковании

Состав исходной воды, мг-экв-л

Na⁺ Ca²⁺ Mg²⁺

Cl⁻ SO₄²⁻ HCO₃⁻

Углекислота, мг/л t °C

Доза извести мг-экв/л Доза соды мг-экв/л

Равновесные концентрации ионов после содоизвесткования, мг-экв/л

Na⁺ = 1.8 Ca²⁺ = 1.842 Mg²⁺ = 1.3 Cl⁻ = 1.6 SO₄²⁻ = 0.9

HCO₃⁻ = 2.4143 CO₃²⁻ = 0.02607 OH⁻ = 1.57593 × 10⁻³ H⁺ = 1.77731 × 10⁻⁵

Выпадает CaCO₃ = 1.558 мг-экв/л f1 = 0.86 f2 = 0.548

Проверка расчета

Na⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺ + H⁺ = 4.942 мг-экв/л Сумма катионов

Cl⁻ + SO₄²⁻ + HCO₃⁻ + CO₃²⁻ + OH⁻ = 4.9419 мг-экв/л Сумма анионов

$K_w(t) = 2.0727 \times 10^{-14} \quad \frac{H^+ \cdot f1}{1000} \cdot \frac{OH^- \cdot f1}{1000} = 2.0727 \times 10^{-14} \quad a_{H^+} \cdot a_{OH^-} = K_w$

$K_1(t) = 4.7847 \times 10^{-7} \quad \frac{\frac{H^+}{1000} \cdot f1 \cdot \frac{HCO_3^-}{1000} \cdot f1}{\frac{CO_2}{1000}} = 4.7847 \times 10^{-7} \quad \frac{a_{H^+} \cdot a_{HCO_3^-}}{CO_2} = K_1$

$K_2(t) = 5.2541 \times 10^{-11} \quad \frac{\frac{H^+}{1000} \cdot f1 \cdot \frac{CO_3^{2-}}{2 \cdot 1000} \cdot f2}{\frac{f1 \cdot HCO_3^-}{1000}} = 5.2541 \times 10^{-11} \quad \frac{a_{H^+} \cdot a_{CO_3^{2-}}}{a_{HCO_3^-}} = K_2$

$PPCaCO_3(t) = 3.5997 \times 10^{-9} \quad \frac{Ca^{2+} \cdot f2}{2 \cdot 1000} \cdot \frac{CO_3^{2-} \cdot f2}{2 \cdot 1000} = 3.5997 \times 10^{-9}$

Рис. 2
Сетевой расчет равновесных концентраций ионов в воде после содоизвесткования (http://twf.mpei.ac.ru/mas/worksheets/Calc_SI_Ravnov_Progr.mcd)

Программа WaterSteamPro может быть подключена практически ко всем программным средам (Microsoft Excel, Mathcad, Fortran, C++, Visual Basic, Delphi и т. д.), используемых для инженерно-технических расчетов.

Многие компоненты пакета WaterSteamPro выложены в Интернете и, как отмечено выше, доступны даже через PDA и SmartPhone. Так, на рис. 4 показано, как через карманный компьютер ведется расчет параметров воды и водяного пара по заданным значениям давления и температуры. Выведены

значения изобарной и изохорной теплоемкости и теплопроводности воды или водяного пара. Остальные параметры можно получить через прокрутку экрана карманного компьютера.

5. НАБОР ТИПОВЫХ ТРЕНАЖЕРОВ ДЛЯ ПЕРСОНАЛА УСТАНОВОК ВОДОПОДГОТОВКИ И ИНСТРУМЕНТОВ ПО ИХ СОЗДАНИЮ

Опыт совершенствования приемов эксплуатации оборудования химцехов на основе переработанных инструк-

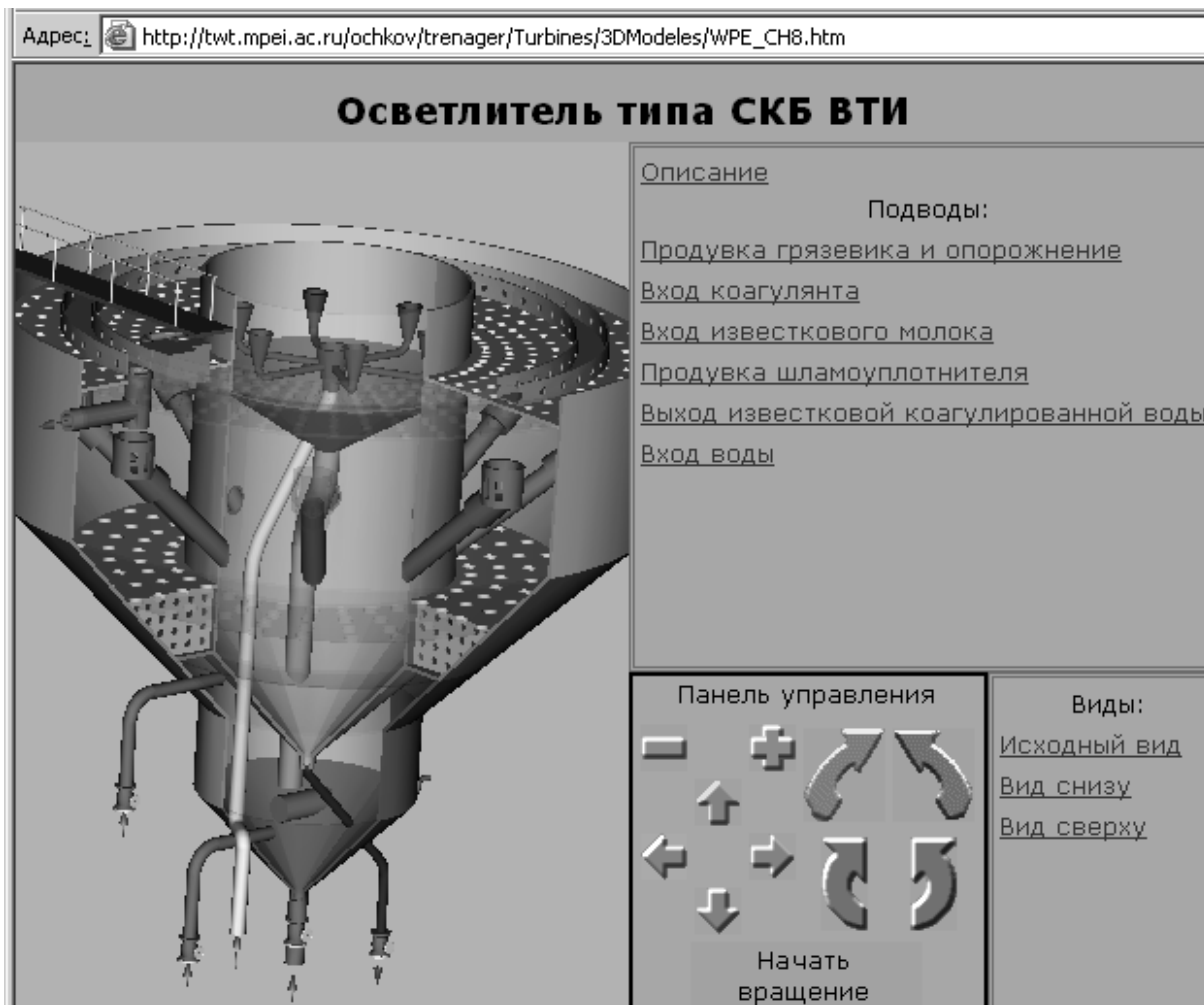


Рис. 3

Трехмерная модель осветлителя в Интернете (см. http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/trenager/Turbines/3DModeles/WPE_CH8.htm)

ций и компьютерных тренажеров позволяет разработчикам сценариев и программистам кафедры Технологии воды и топлива (<http://twf.mpei.ac.ru>) Московского энергетического института (www.mpei.ru) продолжать работы по внедрению в практику эксплуатации комплексных компьютерных тренажеров. Для ускорения и совершенствования конечного продукта — компьютерных тренажеров для персонала, обслуживающего водоподготовительные установки (ВПУ), — предлагается заинтересованному персоналу химцехов детально ознакомиться с конструкцией тренажеров по «Энциклопедии физико-химических технологий в энергетике» или по материалам, выложенным на сайте www.vpu.ru, и представить в электронном виде для использования в окончательном варианте тренажеров, сценарии тренажеров, чертежи технологических схем или узлов, инструкции и режимных карт. На отмеченном сайте персонал химцехов может выбрать шаблоны инструкций. Данные мультимедийные инструкции и тренажеры позволяют эффективно готовить персонал химцехов к надежной, экономичной и безаварийной работе на технологических установках ВПУ, а также к быстрой и грамотной ликвидации аварийных ситуаций. Кроме того, мультимедийные инструкции позволяют инженерно-техническому персоналу иметь всегда на компьюте-

ре хорошо документированный сборник инструкций и схем, в который при необходимости можно вносить изменения и дополнения, утверждая их у руководства электростанции. Кроме тренажеров по уже действующим установкам водоприготовления разрабатываются тренажеры и обучающие курсы по строящимся или проектируемым установкам.

На рис. 5 отображен один из экранов тренажера аппаратчика ВПУ ГРЭС-24 (г. Новомичуринск Рязанской обл.), примечательный тем, что исходной водой для нее служит конденсат, получаемый из дымовых газов самой электростанции.

6. НАБОР ТИПОВЫХ ТРЕНАЖЕРОВ ПО ВОДНО-ХИМИЧЕСКОМУ РЕЖИМУ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Деятельность персонала ТЭС, в том числе и их химических цехов, характеризуется рядом особенностей: большим потоком информации, ограниченным временем принятия решения при взаимодействии работников различных цехов, повышенной ответственностью за результаты деятельности и т. д. Поддержание качественного водно-химического режима (ВХР) и ликвидация нарушений являются одним из основных путей снижения повреждаемости основного те-

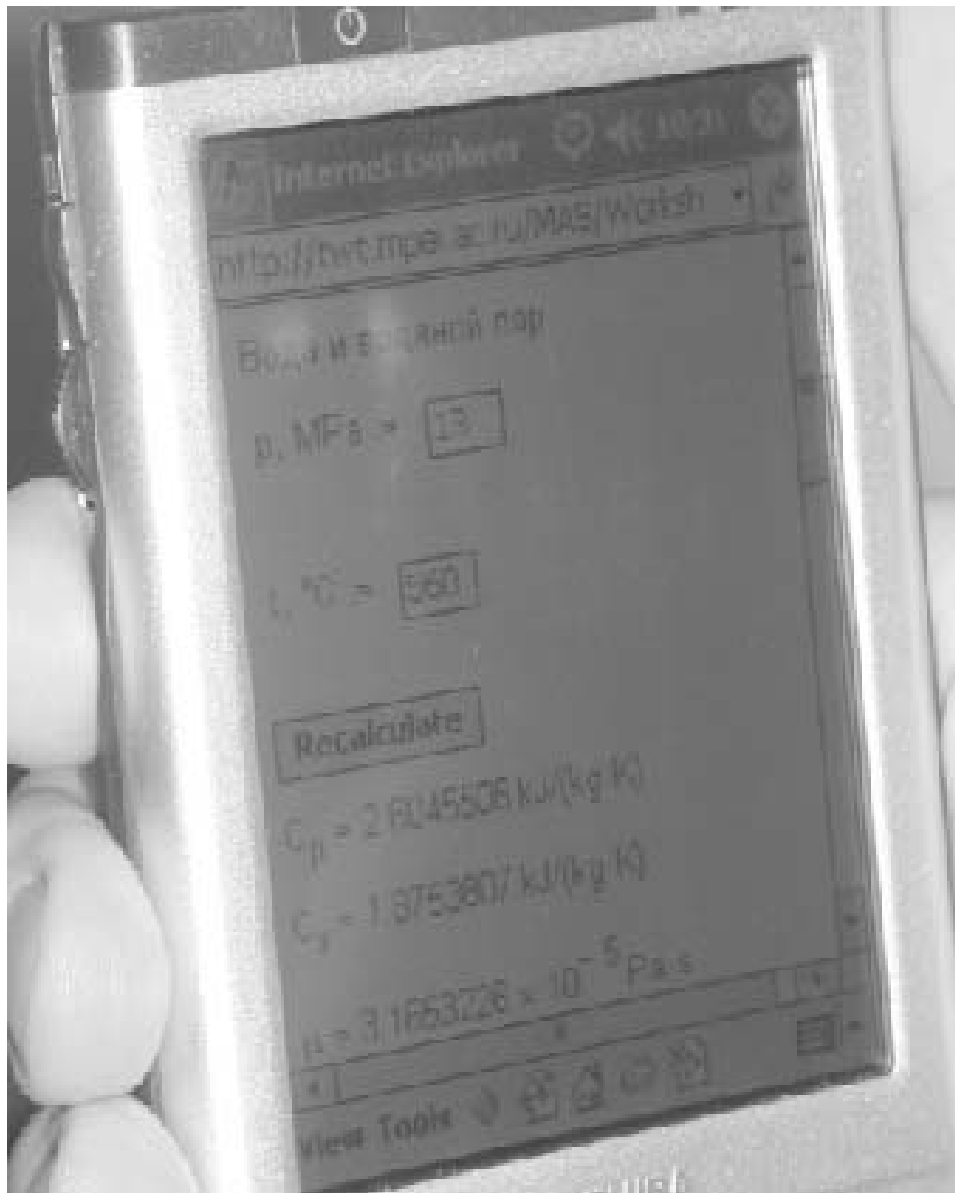


Рис. 4

Свойства воды и водяного пара на карманном компьютере, имеющем проводной или беспроводной (Bluetooth, Wi-Fi и т. д.)

плоэнергетического оборудования ТЭС и во многом зависят от уровня квалификации персонала химических цехов. В этой связи необходимо большое внимание уделять текущей подготовке персонала — поддержанию, восстановлению и коррекции навыков и умений, приобретенных в процессе обучения и работы, в том числе по четкому взаимодействию в своей деятельности с персоналом смежных цехов, используя современные технологии и технические средства.

Для реализации этих задач кафедрой Технологии воды и топлива МЭИ при консультации высококвалифицированных специалистов ряда энергетических предприятий были разработаны компьютерные программы-тренажеры. Компьютерные программы-тренажеры моделируют ведение водного режима электростанции и его контроль, типичные

неполадки, связанные с ВХР, а также они акцентированы на комплексное действие персонала различных цехов в процессе оперативной ликвидации возникающих нарушений.

7. КОМПЛЕКС «КНИГА ПО ВОДНОЙ ПРОБЛЕМЕ + САЙТ ИНТЕРНЕТА»

Издательство Московского энергетического института (www.mpei-publishers.ru) возродило практику выпуска качественной научно-технической литературы, включая и литературу по проблеме водопотребления и водоотведения на электрических станциях. При этом книги стали дополняться сайтами в Интернете. В качестве примера можно привести сайт книги «Водоподготовка в энергетике» (www.vpu.ru), вышедшей в 2003 году, охватывающей следующие веб-страницы (разделы):

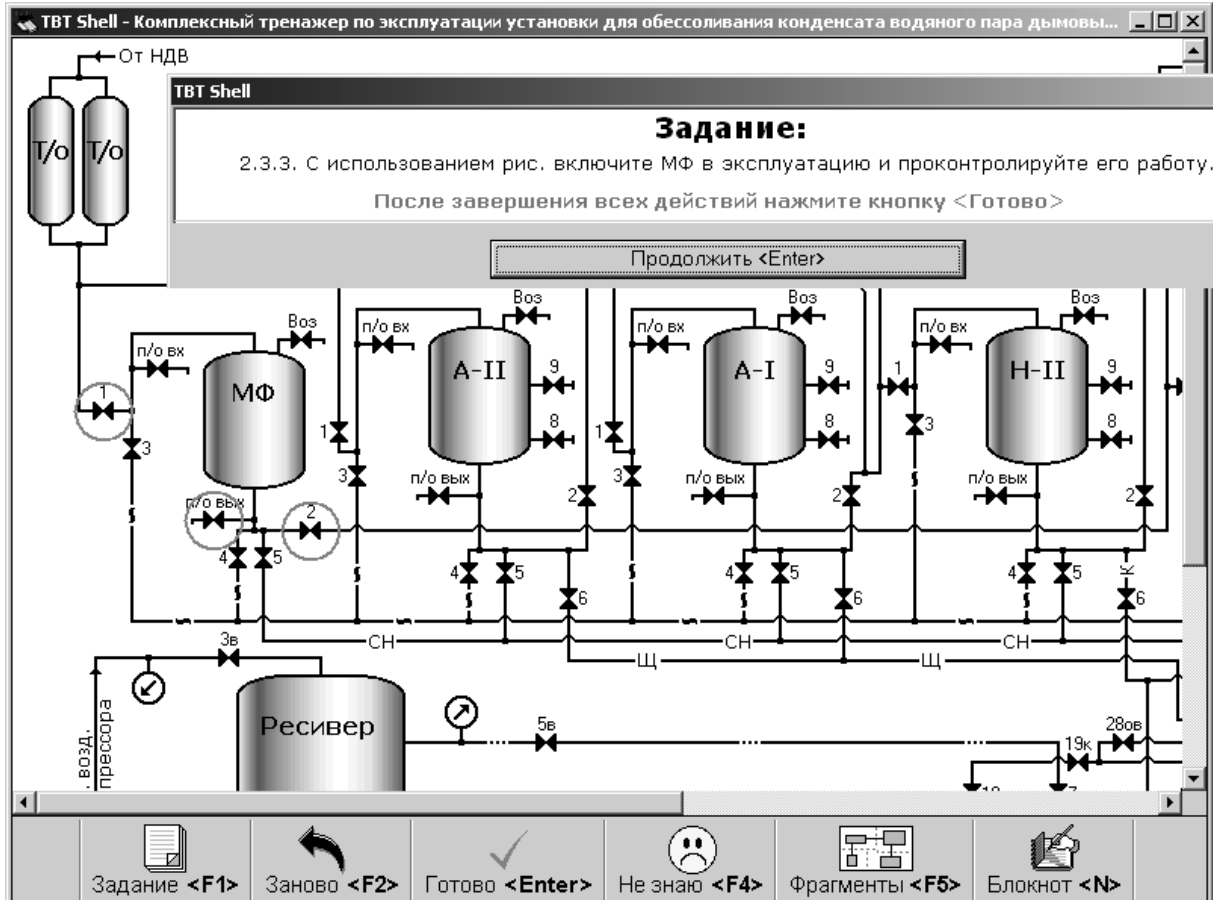


Рис. 5
Одна из экранных форм тренажера аппаратчика обессоливающей установки
(http://twl.mpei.ac.ru/ochkov/trenager/Koml_Tren/Table.html)

- Примеры книги, решаемые в on-line режиме (см. п. 2 выше).
- Тестовые задания по теме книги.
- Анимации по теме книги.
- Mathcad-документы книги.
- Excel-документы книги.
- Сайт «Кто есть кто в водоподготовке России и стран СНГ».
- Сайт «Фирмы, поставляющие оборудование и материалы для водоподготовки».
- Литература по водоподготовке, начиная с 1924 года.

- Сайт «Тренажеры персонала водоподготовительных установок».
 - Сайт «Тренажеры по водно-химическим режимам энергоблоков».
- Сайт, по своей сути стал «родным» для работников, связанных с водоподготовкой и водно-химическим режимом электростанций.
- Подобные страницы создаются и для других книг водной тематики, издаваемых в МЭИ:
- Химический анализ в водоподготовке.
 - Водный режим энергоблоков.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Мартынова О.И., Никитин А.В., Очков В.Ф. Водоподготовка: Расчеты на персональном компьютере. М.: Энергоатомиздат, 1990.
2. Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике. М.: Изд-во МЭИ, 2003.
3. Очков В.Ф. Открытые расчеты процессов водоподготовки в Интернете // Энергосбережение и водоподготовка, № 3, 2004.
4. Александров А.А, Очков В.Ф., Орлов К.А. Уравнения и программы для расчета свойств газов и продуктов сгорания // Теплоэнергетика, № 3, 2005.
5. Очков В.Ф. Mathcad 12 для студентов и инженеров. С-Пб.: БХВ-Петербург, 2005.
6. Очков В.Ф., Пильщиков А.П., Чудова Ю.В. Открытые расчеты по ионитам // Энергосбережение и водоподготовка. 2006. № 1.
7. Очков В.Ф. Математические пакеты и сетевой интерактивный теплотехнический справочник: проблемы и решения // Теплоэнергетика. 2006. № 6.

МИКРОФИЛЬТРАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОСВЕТЛЯЮЩЕЙ И ОБЕСПЛОЖИВАЮЩЕЙ ФИЛЬТРАЦИИ МИНЕРАЛЬНЫХ И ПИТЬЕВЫХ ВОД

С помощью микрофильтрационного оборудования эффективно решаются практические задачи, связанные с очисткой натуральных и подготовленных вод от механических примесей, удалением болезнетворных микроорганизмов, а также с обезжелезиванием воды. При фильтрации природных минеральных вод химический состав воды, за исключением общего содержания железа, остается без изменений, что и является основным требованием при подготовке к розливу лечебно-столовых и лечебных вод.

ООО «Экспресс-Эко» осуществляет производство и поставку комплектовных фильтрационных установок производительностью от 1,5 м³/час до 40 м³/час и широкого круга глубинных и мембранных фильтроэлементов для решения вопросов осветляющей и обеспложивающей фильтрации минеральных и питьевых вод.

ФИЛЬТРУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ОСВЕТЛЯЮЩЕЙ И ОБЕСПЛОЖИВАЮЩЕЙ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ

Качество фильтрации в первую очередь определяется качеством применяемых фильтрующих материалов и фильтроэлементов, изготавливаемых на их основе.

ООО «Экспресс-Эко» имеет в своем предложении весь необходимый ассортимент фильтрующих элементов для фильтрации вод с широким диапазоном по рейтингам фильтрации от 0,2 до 50 мкм (см. табл. 1).

Принципиальная схема фильтрации минеральных вод и питьевых вод, предназначенных для расфасовки в бутылки, состоит из 2–3 последовательных ступеней фильтрации.

1. На первой ступени (фильтре предварительной очистки) используются глубинные фильтроэлементы с рейтингом 5–10 мкм. Наиболее целесообразно использовать на этом этапе очистки фильтроэлементы из сверхмолекулярного полиэтилена с рейтингом 5 или 10 мкм. Материал фильтроэлементов имеет твердую структуру с высокой пористостью, химически инертен, не выделяет примесей в фильтрат, имеет температурный режим работы до 100 °С. Фильтроэлементы изготавливаются многослойными (т. е. в одном фильтроэлементе сочетаются предфильтр и финишный фильтр), что обеспечивает их повышенную грязеемкость и продолжительный ресурс работы. Существует возможность частичной регенерации и повторного использования фильтроэлементов.

Наибольший ресурс работы данных фильтров достигается при использовании системы промывки элементов непосредственно в фильтродержателе. Для этого рядом устанавливается фильтродержатель с фильтроэлементами для фильтрации промывочной технической воды и промывка «рабочих» элементов ведется обратным током с большим расходом воды при максимально возможном давлении. Данная система оправдала себя при фильтрации минеральных вод, особенно при высоком содержании коллоидного железа. Для растворения гидроо-



Фото 1
Фильтроэлементы глубинного типа

Характеристики фильтрующих элементов

Тип элемента	Глубинные				Гофрированные		
					Пленочные		Мембранные
Фильтрующий материал	Полипропилен (ПП)	Полиэтилен (ПЭ) Фторопласт-4 (Ф4) Фторопласт-4 (Ф4Г)			Ненаполненный и наполненный сорбентами картон (К, КС)	Нержавеющая сетка (НС)	Полиамид, фторопласт-42, полиэфирсульфон, ацетат целлюлозы
Назначение фильтроэлемента	Предварительная фильтрация воды Предварительная и финишная фильтрация вин, водок, цветных изделий, пара, газов, воды на моечных машинах				Фильтрация напитков с высоким содержанием коллоидов	Фильтрация вязких растворов	Обеспложивающая фильтрация
Эффективность удержания частиц, %	95–98		99–99,9		98	80	99,9–99,996
Тонкость фильтрации, мкм	1–50		0,2–20	0,45–5	1–10	5–500	0,15–1,0
Макс. температура, °С	50	100	170	135	80	100 (250)	50 (80)

киси железа, задержанной фильтрами, можно использовать периодическое замачивание в растворах органических или минеральных кислот.

При загрязнении фильтроэлементов микроорганизмами, веществами белковой или полисахаридной природы наиболее эффективной является регенерация с помощью замачивания на несколько часов в растворах щелочи или перекиси водорода с последующей промывкой.

2. На второй ступени (фильтре тонкой очистки) используются глубинные или пленочные фильтроэлементы с рейтингом 1 мкм. При повышенной мутности воды рекомендуем использовать фильтроэлементы с гофрированным фильтровальным картоном. Фильтроэлементы имеют достаточно высокий первоначальный ресурс работы, но практически не подлежат регенерации из-за невысокой механической прочности картонов. В зависимости от характера загрязнения используются картонные как ненаполненные, так и наполненные различными сорбентами. Применение различных сорбентов позволяет существенно улучшать органолептические свойства продукта и добиваться высокой степени обеспложивания воды даже при уровне фильтрации 1 мкм.

При осветляющей фильтрации минеральной газированной воды фильтрация на уровне 1 мкм может являться финишной, поэтому необходимо использовать элементы с высокой эффективностью удержания частиц, чтобы обеспечить розливостойкость и отсутствие болезнетворных бактерий, водорослей и т. п. Для этих целей наиболее целесообразно использовать глубинные и пленочные фильтрующие элементы из фторопласта-4. Высокая эффективность фильтрации (99–99,9 %), способность к многократным химическим регенерациям, отмывке в направлении, противоположном направлению фильтрации, устойчивость к обработке острым паром в линии, — все эти преимущества в эксплуатации позволяют получить

оптимальное соотношение по показателю цена/качество при использовании данных фильтрующих элементов.

3. На третьей ступени (обеспложивающем (стерилизующем) фильтре) устанавливаются мембранные фильтроэлементы с рейтингом фильтрации 0,25–0,45 мкм. В настоящее время ООО «Экспресс-Эко» предлагает несколько типов мембранных элементов: с мембраной из полиамида (капрона), гидрофильного фторопласта-42, полиэфирсульфона, ацетата целлюлозы. Выбор материала производится в зависимости от режима эксплуатации, условий стерилизации и регенерации фильтрующих элементов. Фильтрационные методы очистки рекомендуется сочетать с обеззараживанием воды ультрафиолетовым излучением. При этом необходимо помнить, что, помимо фильтрации, стерильный розлив обеспечивается соблюдением целого ряда условий, в частности стерильностью трубопроводов, емкостей, бутылок, воды для ополаскивания, надлежащей чистотой сервировочных средств.



Фото 2
Фильтроэлементы гофрированного типа

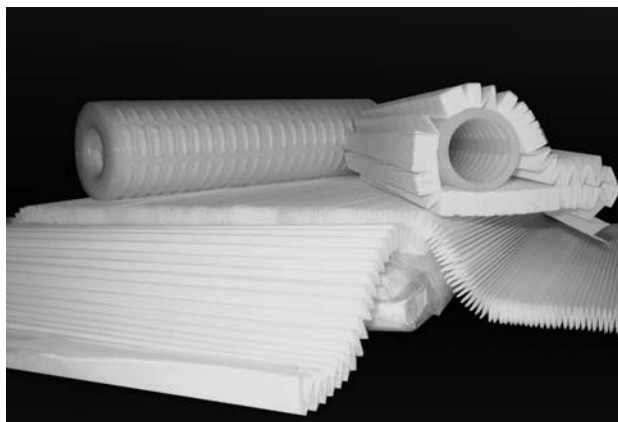


Фото 3

Мембрана из фторопласта – 4

НОВАЯ РАЗРАБОТКА — ПАТРОННЫЙ СОРБИРУЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ С ПЫЛЕВИДНЫМ АКТИВНЫМ УГЛЕМ

Заслуживает отдельного упоминания новая разработка специалистов ООО «Экспресс-Эко» — патронного сорбирующего элемента с пылевидным активным углем в качестве сорбента.

Адсорбционные методы с применением в качестве адсорбента активного угля (АУ) широко используют для глубокой очистки воды от растворенных органических веществ природного и не природного происхождения. Содержание в питьевой воде органических веществ природного происхождения нормировано только косвенно (по цветности, запахам и привкусам воды). Цветность воды обычно достаточно хорошо снижается коагулированием и хлорированием. Активный уголь применяется главным образом для удаления веществ, обуславливающих запахи и привкусы воды (например, после хлорирования), а также для удаления из воды органических загрязнений не природного происхождения — различных детергентов, пестицидов, нефтепродуктов и других токсичных веществ [1].

Активный уголь (активированный уголь) — пористый адсорбент, скелет которого построен из рыхлых и неправильно упакованных пакетов, состоящих из слоев гексагональных углеродных колец, менее упорядоченных, чем в графите, и ковалентно связанных с углеродными радикалами, с водородом, а часто и с кислородом. Плотность графита равна 2,265 г/см³; плотность сажи, по структуре более схожей с АУ, составляет 1,80–1,95 г/см³. Размеры пакетов находятся в пределах 1–3 нм, т. е. они образованы 13–20 гексагональными углеродными кольцами. Ориентация отдельных колец в пакетах-микрористаллитах углерода довольно часто нарушена и отдельные кольца беспорядочно сдвинуты относительно друг друга, почти не сохраняя параллельное взаимное расположение. Такая структура называется турбостратной.

Вследствие того, что на границах углеродных микрористаллитов могут находиться углеводородные радикалы или кислородсодержащие функциональные группы, расстояния между плоскостями колец от — 0,344 до 0,356 нм. Общая толщина пакета плоскостей, образующих микрористаллиты, составляет 1–1,3 нм, следовательно, каждый микрористаллит образован всего 3–4 плоскими слоями гексагональных ароматических колец.

АУ изготавливают из углеродсодержащих материалов: угля, антрацита, древесины, торфа, полипропилена, отходов

пищевой, целлюлозно-бумажной и других отраслей промышленности. Размолотое сырье карбонизируют обычно в барабанных печах без доступа воздуха при температуре 700–800 °С, в результате чего из угля выделяются летучие соединения, он уплотняется, приобретает прочность и макропористую структуру. Активируют уголь газами (СО₂, SO₂, O₂) и солями (K₂CO₃, ZnCl₂, K₂S и др.) при температуре 750–1000 °С. Неорганические активирующие добавки вымывают. Чаще других применяют комбинированный парогазовый способ с использованием топочных газов состава СО₂+H₂O+O₂.

Обычно АУ обладают неоднородной поверхностью и пористостью. Различают микропоры размерами <3 нм объемом до 0,6 см³/г с сильно развитой поверхностью до 1000 м²/г; мезопоры 3–200 нм объемом до 0,5 см³/г с поверхностью до 400 м²/г и макропоры с размерами более 200 нм объемом до 1,2 см³/г и малой поверхностью около 1 м²/г. Сильная адсорбция по механизму объемного заполнения происходит в микропорах. В мезопорах происходит полимолекулярная адсорбция и капиллярная конденсация паров. Макропоры служат в основном транспортными каналами, подводящими молекулы газа и растворенных веществ к внутренним частям АУ.

Существует еще один уровень масштаба, а именно — дисперсный состав частичек угля. Различают высокодисперсные (порошкообразные) угли с размерами частиц менее 0,1 мм, а иногда и менее 0,04 мм; мелкофракционные АУ с размерами 0,25–0,5 или 0,5–1,5 мм; гранулированные (дробленые) угли с размерами гранул (частиц) 1–5 мм.

СОРБИЦИОННЫЕ СВОЙСТВА АУ

Обобщая данные о сорбируемости на АУ низкомолекулярных органических соединений, можно сделать вывод, что менее других сорбируются структурно простые вещества в ионной форме, лучше — в молекулярной.

АУ сильно адсорбируют (физически) органические вещества — углеводороды и многие их производные, слабее — низшие спирты и особенно плохо — воду.

Сорбируемость органических веществ возрастает в ряду: *Гликоли < Спирты < Кетоны < Сложные эфиры < Альдегиды < Недиссоциированные кислоты < Ароматические соединения*

Сорбируемость органических веществ возрастает с увеличением длины углеродной цепи, если она не ограничена размером пор сорбента.

Способность к сорбции возрастает с ростом молекулярной массы органических веществ, особенно выше 30 000. Аналогична зависимость при росте мицеллярной массы коллоидов. Присутствие в воде неорганических солей, способствующих укрупнению ассоциатов молекул красителей или гуматов, приводит к их полному сорбционному выделению.

АУ обладают определенной избирательностью адсорбции. Вещества, имеющие повышенную гидрофильность, т. е. хорошо растворимые в воде и легко гидратирующиеся, сорбируются хуже (алифатические спирты, альдегиды, кетоны, летучие жирные кислоты), чем гидрофобные вещества, слабо растворимые в воде и плохо гидратирующиеся в водных растворах (хлорфенолы, галоидированные углеводороды и др.).

С повышением степени диссоциации растворенных в воде веществ их сорбируемость падает. С этим связана роль pH в процессе адсорбции. Оптимальными для адсорб-

ции являются такие значения pH растворов, при которых сорбируемые вещества находятся в неионизированном состоянии [2].

В присутствии механических примесей сорбционная емкость активного угля снижается. Поэтому поступающая на обработку АУ вода должна содержать не более 10 мг/л взвешенных веществ. Коллоидные частицы типа гидрооксида Fe³⁺, осаждаясь на угле, закрывают поры, снижая сорбцию и затрудняя процесс регенерации.

МАРКИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ АУ

Ведущим российским производителем АУ является ОАО «Сорбент». Его дочерним предприятием, работающим в области водоподготовки и для пищевой промышленности, является ЗАО «Техносорб». ЗАО «Техносорб» выпускает два десятка марок углей, в оное которых лежат 3 марки углей из древесины березы — БАУ, ДАК и ОУ, и 1 марка из скорлупы фруктовых косточек, кокосовых орехов — КАУ. Каждая из 4 марок имеет модификации, отличающиеся по дисперсности и назначению. Кроме того, 7 из 20 марок составляют АУ, импрегнированные сербром.

ПРОМЫШЛЕННЫЕ СПОСОБЫ АДСОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ

Процесс адсорбционной очистки ведут по одному из двух способов: при интенсивном перемешивании адсорбента с жидкостью (статическая адсорбция или статический способ) или при фильтровании жидкости через слой адсорбента (динамическая адсорбция или динамический способ). Очень часто первый способ называют углеванием жидкости.

1. При углевании жидкости используют порошкообразный активный уголь (ПАУ) в виде частиц 0,1 мм и меньше. Процесс проводят в одну или несколько ступеней. Вводят столько адсорбента, сколько необходимо для снижения концентрации загрязнений до определенного уровня, затем адсорбент отделяют отстаиванием или фильтрованием.

Вследствие сильного пыления и взрывоопасности ПАУ в сухом виде в воду вводят редко. Обычно предварительно готовят суспензию 2–10 % ПАУ в воде, которую и направляют в основной поток обрабатываемой воды. Дозу ПАУ выбирают с учетом загрязненности воды и сорбционных свойств угля. В нашей стране (1982 г.), как правило, Су = 1–5 мг/дм³, в Финляндии — 5–15 мг/дм³, в ФРГ (водозаборы на Рейне) — 25–40 мг/дм³, во Франции — 5–40 мг/дм³, в Англии и США — 5–30 мг/дм³.

В [3] показано, что введение угля (ОУ-Ашел, МД, БАУ, КАД) в дозах до 10 мг/л обеспечивает дезодорацию воды, загрязненной пахнущими веществами биологического происхождения. Изменение pH раствора в пределах 3,2–12, ионного состава (Cl⁻, HCO³⁻) и температуры от 10 до 35 °С практически не сказывалось на адсорбции. АУ дал хорошие результаты при удалении из воды фенолов, СПАВ, крезоло, метиленового синего и др. веществ.

Расходы АУ для удаления фенолов из воды могут быть различными. Это зависит от степени активности угля и интенсивности загрязнения обрабатываемой воды другими органическими веществами. По данным [3], для снижения содержания фенола в воде от 0,1 до 0,01 мг/л требуется угля от 18 до 55 мг/л. Известны случаи, когда при содержании фенола в воде от 2,5 до 3 мг/л расходы угля возрастали до 200 мг/л.

Были проведены опыты по выяснению оптимальной дозировки угля — ОУ (кислый) и А (щелочной), при обработке воды, содержащей фенола до 0,1 мг/л. Снижение содержания фенола от 0,1 до 0 мг/л обеспечивалось при расходе угля от 15 до 18 мг/л; при удалении болотных запахов интенсивностью 3–4 балла — 10–15 мг/л; для устранения нефтяных запахов — 10–15 мг/л [3].

2. При динамическом способе процесс очистки проводят фильтрованием жидкости через слой адсорбента. Скорость фильтрования зависит от концентрации растворенных веществ и колеблется от 2–4 до 5–6 м³/(м²·ч). При высоте слоя адсорбента в колонне 2 метра время контакта воды составляет от 20 до 60 минут.

Жидкость в колонне движется снизу вверх, заполняя все сечение. Адсорбент применяют в виде частиц размером в пределах 1–5 мм. При более мелких зернах возрастает сопротивление фильтрованию жидкости. Уголь укладывают на дно, имеющее дренаж. Во избежание забивки адсорбента сточная вода не должна содержать твердых взвешенных примесей.

ПАТРОННЫЕ ФИЛЬТРЫ МИНИ-КОЛОНКИ

Известны разные конструкции патронных элементов, представляющие собой угольные колонки с засыпкой углем между внутренним и внешним корпусами и таким устройством, что поток жидкости направлен вертикально вверх, параллельно оси симметрии патронного элемента.

Конструкция ООО «Экспресс-Эко» отличается от аналогичных конструкций использованием пылевидного порошка и организацией потока в радиальном направлении снаружи-внутри (рис. 1). О том, какие преимущества обеспечивает данная конструкция, говорится в следующем разделе.

В стандартный патронный элемент марки ЭСП-АУ-250 высотой 250 мм, внешним и внутренним диаметром засыпки 58 и 32 мм помещается 220 г активного угля с плотностью 0,5 г/см³.

При производительности фильтров, равной Q, время движения жидкости составляет

$$t_1 = t_2 = \frac{4\pi(R_{out}^2 - R_{in}^2)H}{Q}$$

где R_{out} и R_{in} — наружный и внутренний радиусы фильтра, H — высота фильтра, Q — производительность.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОРБЦИИ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ СПОСОБЕ

Произведем оценку эффективности сорбции при обработке жидкости методом пропускания через колонку (динамический способ) в зависимости от среднего размера частиц (D) и времени контакта жидкости с сорбентом (t).

Процесс адсорбции состоит из трех стадий: перенос органических молекул из объема жидкости к поверхности зерен сорбента вследствие движения жидкости в колонке или относительного перемещения жидкости и зерен сорбента при углевании (внешний транспорт), адсорбция молекул из жидкости в твердое тело на границах зерен (собственно акт сорбции) и передача молекул в глубину зерен адсорбента (внутренняя диффузия).

Внешний транспорт лимитируется временем доставки молекул примесей из объема жидкости к поверхности сорбента. При стационарном способе это время определяется степенью перемешивания суспензии угля в жидкости, дисперсностью угля (D), концентрацией угля (САУ) и временем контакта угля с жидкостью (t). При динамическом способе фиксируется

скорость движения жидкости в колонке и время доставки молекул примесей из объема жидкости к поверхности сорбента определяется дисперсностью угля (D), концентрацией угля (САУ) и временем контакта угля с жидкостью (t). Под дисперсностью в обоих случаях понимается размер частиц, вокруг которых осуществляется движение жидкости.

Будем считать, что внутренняя диффузия, определяемая главным образом соотношением размеров пор угля и размеров адсорбируемых молекул, для низкомолекулярных примесей не лимитирует скорость процесса.

Движение молекул сорбируемого вещества, как при динамическом способе, так и при углевании можно считать хаотичным. В этом случае можно воспользоваться кинетической теорией газа и считать, что скорость адсорбции пропорциональна количеству столкновений молекул со стенками зерен сорбента.

В таком случае скорость адсорбции можно описать кинетическим уравнением второго порядка:

$$\frac{dC}{dt} = -K \times [C] \times [S_v]$$

где K — эффективная константа реакции; C — концентрация адсорбируемого органического вещества в объеме жидкости; SV — удельная поверхность транспортных пор (макропор) в единице объема адсорбента;

Выразим SV, представленную в [м²/м³] через удельную поверхность SM, выраженную в [м²/кг].

$$S_v = \frac{m \times S_M}{V} = C_{Ao} \times S_M$$

Считаем, что транспорт жидкости осуществляется между частицами засыпки в динамическом случае и тем более между плавающими частицами в случае углевания. Удельная поверхность SM связана известным соотношением со средним размером частиц:

$$S_M = \frac{6}{\rho_{Ao} \times D}$$

где ρАУ — плотность частиц АУ, D — средний размер частиц, а коэффициент «6» появляется в предположении шарообразной формы частиц.

Решение уравнения (2) с учетом (3) и (4) выглядит:

$$N = N_0 \times \exp[-K_1 \times \tau_1]$$

Где K1 — эффективная константа, равная:

$$E_1 = -\frac{E \times 6 \times C_{Ao}}{\rho_{Ao}}$$

а τ1 — новая переменная, пропорциональная времени:

$$\tau_1 = -\frac{t}{D}$$

Таким образом, как видно из формул (5–7) при близких значениях САУ и ρАУ для разных марок порошкообразных и гранулированных углей, уменьшение концентрации примесей тем быстрее происходит, чем больше время контакта жидкости с углем и меньше средний размер частичек угля.

В невыделенных столбцах таблицы 2 представлены параметры процессов обработки воды активными углями. В выделенных столбцах приведены рассчитанные нами значения t, D и τ1.

В последней строке таблицы 2 приведены для сравнения те же параметры для патронных миниколонок фирмы «Экспресс-Эко».

Из формулы (1) время протекания через колонку фирмы «Экспресс-Эко» составляет 1–3 мин. Средняя скорость движения жидкости при высоте слоя 0,015 м равна (0,9–0,3) м/ч.

Очевидно, что чем больше параметр τ1 в таблице 2, тем более эффективно происходит сорбция.

Таблица 2

Сравнительные данные для патронных миниколонок разных производителей

Фирма	Применение	Активированный уголь	Грануло-метрия (мм)	Высота слоя угля (м)	Скорость потока (м/ч)	Средний размер, мм	Время контакта, мин.	Значение τ1 из формулы (7)
DONAU CARBON	Удаление веществ, влияющих на запах и вкус	Hydraffin XC 30	0,6–2,36	1–2,5	10–30	1	6–15	6–15
		Hydraffin DG 47	0,5–1,6 1–3 2–5					
	Дехлорирование	Hydraffin DG 47	0,6–1,6	около 2	10–15	1	8–12	8–12
		Hydraffin CC 8x30	0,6–2,36					
	Адсорбция растворимых орган. веществ из питьевой и технической воды	Hydraffin XC 30	0,6–2,36	2–4	5–15	1	16–48	16–48
		Hydraffin CC 8x30	0,6–2,36					
Очистка сточных вод	Hydraffin 30 N	0,6–2,36	2–5	5–15	1	20–60	20–60	
ООО «Экспресс-Эко»		УАИ	0,01–0,1	0,015	0,3–0,9	0,05	1–3	20–60

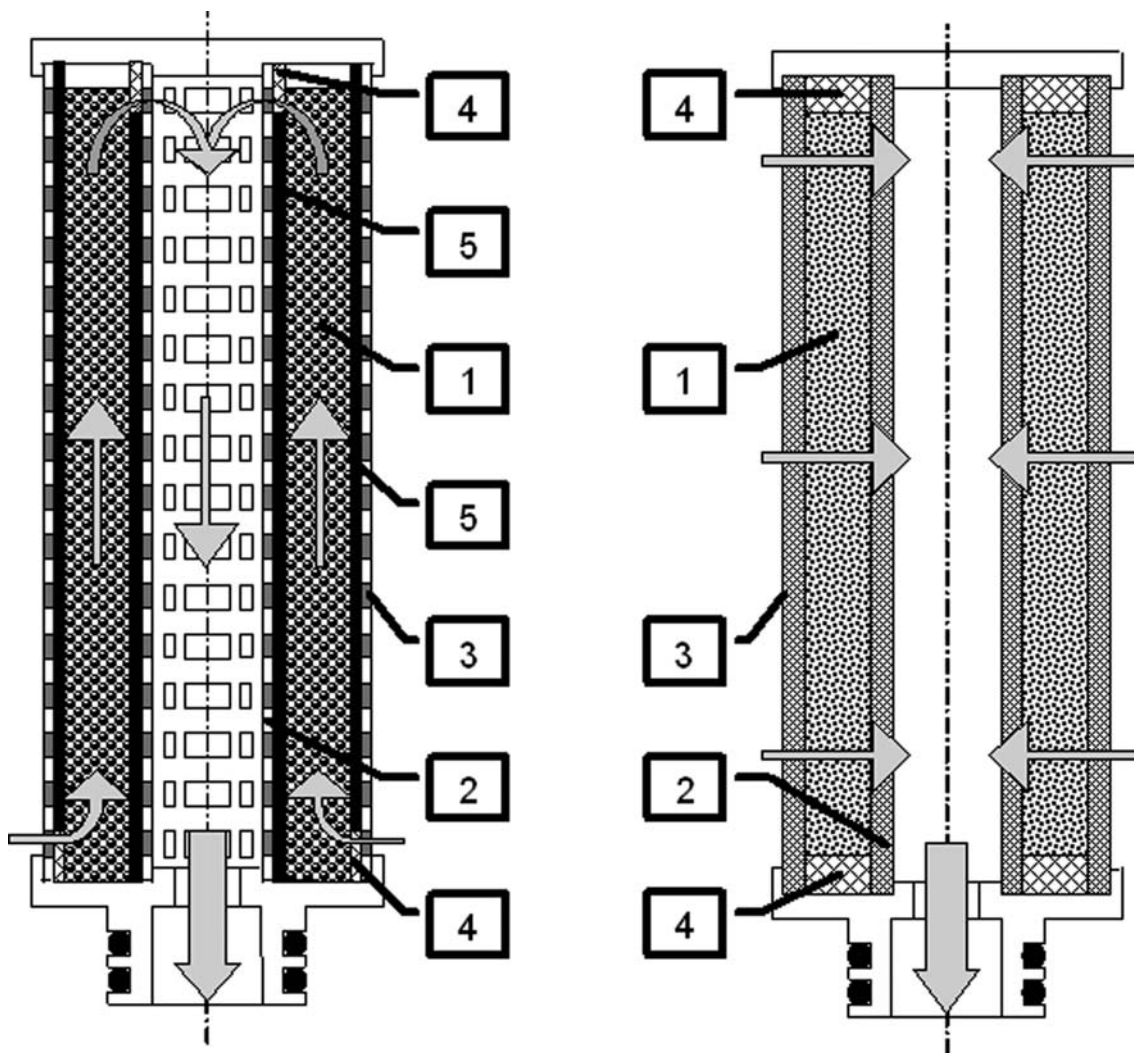


Рис. 1
Схемы патронного фильтроэлемента другого производителя (слева)
и патронного фильтроэлемента ООО «Экспресс-Эко»

РЕГЕНЕРАЦИЯ УГОЛЬНЫХ КОЛОНН

Адсорбированные вещества из сорбентов извлекают десорбцией насыщенным или перегретым паром, либо нагретым инертным газом. После десорбции пары конденсируют и вещество извлекают из конденсата.

В некоторых случаях перед регенерацией адсорбированное вещество путем химического превращения переводят в другое вещество, которое легче извлекается из адсорбента.

Режим регенерации древесного активного угля заключается в обработке чистым паром при температуре 115–130 °С из расчета 3 кг пара на 1 кг угля и последующей продувке чистым воздухом при 50–60 °С [5].

Как видно из рисунка 1, в конструкции фильтрующего элемента используются термостойкие материалы, которые позволяют производить обработку фильтра острым паром при температуре 115–130 °С, что является отличительным достоинством данного фильтрующего элемента.

Таким образом, широкий выбор фильтрующих материалов позволяет в зависимости от поставленной задачи подобрать оптимальную систему фильтрации.

Для обеспечения требуемой производительности по фильтрату может быть предложена фильтрационная система, выполненная с учетом требований потребителя.

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ

При выборе оборудования всегда возникает ряд вопросов, которые необходимо учесть:

- а) подача продукта из напорной емкости в автомат розлива будет осуществляться самотеком или с помощью насоса, и как согласовать работу узла фильтрации с автоматом розлива;
- б) наличие зон обслуживания оборудования;
- в) выбор необходимых фильтрующих материалов, обладающих достаточной химической (и термической) стойкостью в фильтруемом продукте и обеспечивающих качественное удержание посторонних частиц;
- г) выбор рейтингов фильтрации (номинальной тонкости фильтрования) на стадиях предварительной и финишной фильтрации;
- д) наличие подготовленного персонала и т. д.

Все эти пункты взаимосвязаны между собой и являются граничными условиями при выборе подходящего оборудования и принятии решения о покупке.

Помимо необходимых фильтродержателей выпускаемые нами фильтрационные установки оснащаются насосным агрегатом, комплектом запорно-регулирующей

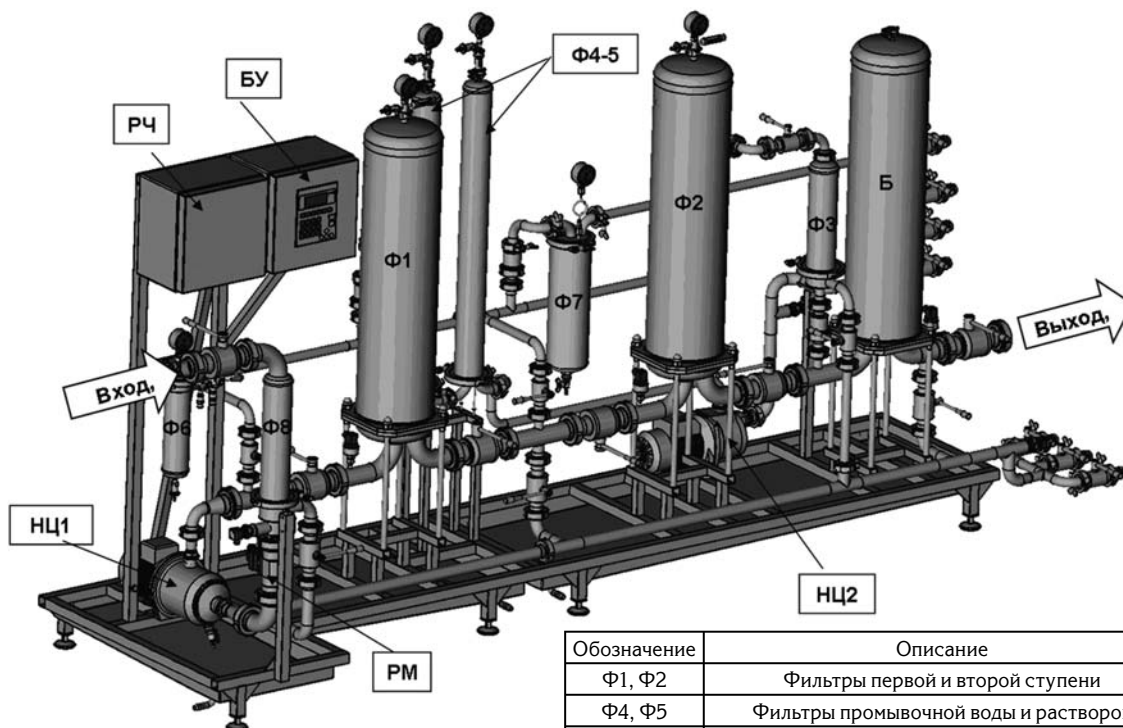


Рис. 2
Фильтрационная установка серии «Каскад»

Обозначение	Описание
Ф1, Ф2	Фильтры первой и второй ступени
Ф4, Ф5	Фильтры промывочной воды и растворов
Ф3	Фильтр «дожима» продукта
Ф8	Фильтр азота
Ф7	Фильтр пара
Ф6	Грязевой фильтр на входе
НЦ1	Основной насос
НЦ2	Насос для воды и моющих растворов
Б	Емкость буферная 5–30 л
РМ	расходомер
БУ	Блок управления
РЧ	Регулятор частоты

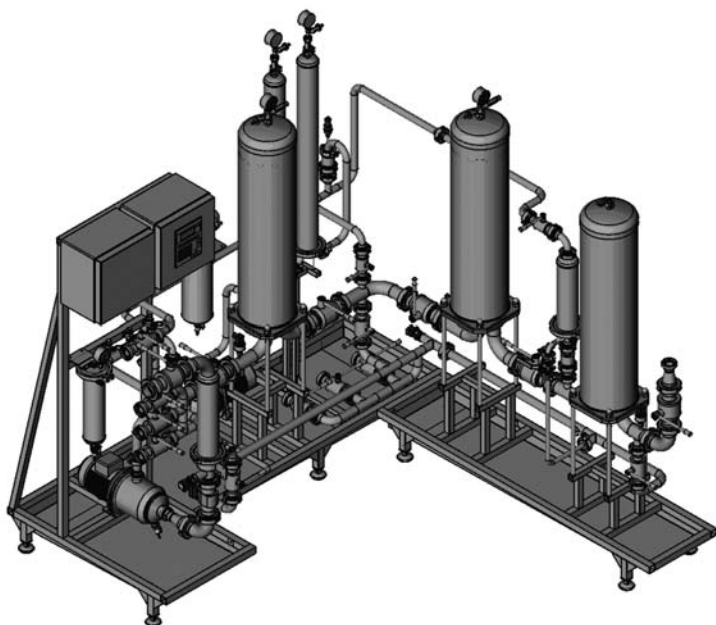


Рис. 3
Фильтрационная установка серии «Каскад», угловое расположение

арматуры, а согласование работы узла фильтрации с автоматом розлива осуществляется одним из двух способов:

- вручную за счет регулировки потока жидкости с помощью вентиля на байпасной линии, соединяющей нагнетательный и всасывающий трубопроводы насоса;
- автоматически за счет регулировки оборотов двигателя через частотный регулятор (инвертор фаз).

Наличие насоса, с нашей точки зрения, оправдано технико-экономическими соображениями: любой фильтр — это гидравлическое сопротивление, и движущей силой процесса фильтрации является избыточное давление. Обычно напорные емкости находятся на высоте 4–6 м, т. е. высота столба жидкости создает напор 0,4–0,6 атм, тогда как фильтроэлементы практически всех производителей выполняют заявляемые характеристики по качеству фильтрации при перепаде давления на фильтре до 2,5–3,5 атм. Таким образом, наличие насоса дает возможность более полной выработки ресурса фильтроэлементов, что позволяет снижать затраты на фильтрацию.

Опции автоматических фильтрационных установок серии «Каскад»

№ п/п	Наименование опции (операции)	Примечание
1	Промывка системной водой и моющими растворами до и после фильтрации, моющие растворы и вода фильтруются в двухкаскадном режиме, при этом предусмотрен возврат моющих растворов в сборники, а вода сливается в канализацию	Открытие кранов в определенной последовательности может осуществляться как вручную, так и автоматически
2	Стравливание воздуха из фильтродержателей при заполнении системы	Может осуществляться вручную или автоматически
3	Проверка на целостность финишного (мембранного) фильтроэлемента	а) опция встроена в случае полной автоматизации установки б) в случае полуавтоматической установки определение целостности осуществляется с помощью прибора-приставки. Прибор поставляется бесплатно
4	Фильтрация в режиме каскадного фильтрования, при этом предусмотрена возможность первоначальной работы системы в режиме рецикла для того, чтобы фильтроэлементы приработались. Предусмотрено автоматическое (или ручное) стравливание воздуха при заполнении системы продуктом	Установка может работать в режиме поддержания постоянного давления или постоянного расхода
5	Автоматическое поддержание давления подаваемой жидкости на выходе в автомат розлива — имитация самотечного истечения — обеспечивается частотным регулятором через обратную связь от датчика давления. Плавный пуск и остановка двигателя. Датчик уровня — защита от «сухой» эксплуатации	
6	В режиме реального времени информирование пользователя о степени выработки ресурса фильтроэлементов в каждой ступени. На дисплее контроллера высвечивается информация о текущем расходе, объеме жидкости, который прошел через установку за период работы, а также информация о режиме работы, перепаде давления на фильтре каждой ступени и степени загрязненности фильтроэлементов	а) в случае автоматической установки роль контроллера — информационно-управляющая б) в случае полуавтоматической установки роль контроллера — информационная
7	По окончании фильтрации продукт выдавливается из коммуникаций и дофильтровывается на однопатронном фильтре ФЗ с установленным в него мембранным фильтроэлементом	Отказ от этой опции предусматривает ручной слив остатков продукта из коммуникаций
8	Санитарная обработка оборудования фильтрованным острым паром, при этом корпус фильтра пара выполнен в термозащищенном исполнении	
9	Имеется звуковая сигнализация об аварийных режимах работы (отсутствия вина, азота, воды и т. п.)	
10	Возможность управлять процессом с удаленного компьютерного терминала	

Вместе с тем в последнее время с появлением современного оборудования розлива, а также новыми требованиями к качеству выпускаемой продукции появились новые дополнительные требования к узлам финишной фильтрации. ООО «Экспресс-Эко» предлагает новое поколение фильтрационных установок серии «Каскад» с номинальной производительностью 2, 5, 10, 16 м³/час, в которых учтены и могут быть автоматизированы (т. е. осуществлены без участия оператора) все функции, которые необходимо выполнять при фильтрации как минеральных вод, так и ликероводочных изделий.

Установки серии «Каскад» (см. рис. 2) представляют собой сборную конструкцию и, по сути, являются комбинацией линии фильтрации продукта с линией очистки сервисных сред. Установка оснащена насосными агрегатами для подачи как продукта, так и моющих средств, запорно-регулирующей арматурой и смонтирована на единой раме с поддоном, имеющим слив в канализацию. При этом запорная арматура может быть как ручной, так и с пневмоуправляемыми проводами, управляющий сигнал на которые подается от контроллера. По согласованию с заказчиком дополнительно монтируется линия подачи пара (с фильтром) для проведения паровой санитарно-химической

обработки. На входе в установку монтируется «грязевой» фильтр для предотвращения попадания крупных частиц в установку.

Технические характеристики некоторых установок и описание опций, которые могут быть реализованы в этих установках, приведены в таблице 3.

При необходимости установки могут стерилизоваться любым способом, в том числе острым паром согласно внутренней инструкции заказчика по использованию оборудования.

Широкая степень автоматизации стала возможной благодаря разработанному нашими специалистами специальному программному обеспечению.

В настоящее время нами разработана документация на более чем 10 вариантов компоновки установок серии «Каскад» с различной степенью автоматизации, часть из этих установок изготовлена и успешно эксплуатируется.

Работа над установкой начинается с составления технического задания, в котором заказчик описывает желаемые опции и степень их автоматизации, технико-эксплуатационные требования к установке, фильтроэлементам и т. п., а также рассматривается ситуационный план размещения будущей установки с указанием зон обслуживания. На ри-

сунках 3 и 4 представлены два варианта компоновки конструктором одинаковых установок, вписанных в две разные зоны обслуживания.

Важным элементом в технологии фильтрации является возможность проверки на целостность финишного мембранного фильтра. Прежде пользователи при оценке целостности мембран полагались на опыт или интуицию. Специалистами ООО «Экспресс-Эко» разработана собственная схема определения целостности мембранных элементов, и мы готовы принимать заказ на изготовление и поставку такого прибора с обучением персонала заказчика навыкам работы. Более того, в алгоритм работы полностью автома-

тической установки (все краны пневмоуправляемые автоматически) эта опция включается в обязательном порядке, а аппаратурное оформление позволяет сделать это без дополнительных затрат.

Таким образом, предлагаемый набор опций, которые могут быть автоматизированы, исключает возможное негативное влияние на процесс фильтрации человеческого фактора, позволяет вести управление процессом с удаленного рабочего места и контролировать целостность системы, а также более гибко и полно использовать возможности фильтрующих элементов, что приводит не только к повышению качества, но и снижению затрат на фильтрацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды. Л.: Химия. 1982, 168 с.
2. Когановский А.М., Клименко Н.А. и др. «Адсорбция органических веществ из воды». Л. Химия. 1990.
3. Кульский Л.А. «Основы химии и технологии воды». Киев, «Наукова думка», 1991.
4. Безруков Н.Е., Буховец Е.Г. и др. «Очистка водки от альдегидов». Производство спирта и ликероводочных изделий. № 1, 2005.
5. Петров А.Н., Лимонов Н.В. «Регенерация древесных активных углей». Ликероводочное производство и виноделие. № 8 (68), 2005.

рекорды промышленности

ПАРОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Старейшим паровым двигателем в рабочем состоянии является поршневой балансирный двигатель 1812 г. фирмы «Боултоп и Уотт». Его мощность — 26 л.с., ход поршня — 1066 мм. Находится он в Грейт-Бедуине, Великобритания, на канале, соединяющем реки Эйвон и Кеннет. Двигатель был восстановлен в 1971 г. обществом «Крофтон» и до сих пор время от времени запускается.

Самый большой одноцилиндровый паровой двигатель был сконструирован Метью Лоумом из графства Корнуолл, Великобритания, и построен на литейном заводе «Хеил» в 1849 г. для дренажных работ в Харлеме, Нидерланды. Размер поршня — 3,65 м в диаметре. Каждый ход поршня (длина хода также 3,65 м) поднимал 60 т воды.

Самым экономичным был паровой двигатель Тейлора, изготовленный Майклом Лоумом для угледобывающей компании «Юнайтед майнз» в Гуэннапе, графство Корнуолл, Великобритания в 1840 г. Он потреблял всего 0,77 кг угля на 1 л. с. в час.

САМАЯ БОЛЬШАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

Самая большая гидроэлектростанция современности находится в Гранд-Кули, штат Вашингтон, США, введенная в строй в 1942 г. Ее мощность — 7,4 млн кВт•ч (максимальная — 10 830 МВт). Гидроэлектростанция Итайпу (стоимость строительства — 11 млрд долл.) на реке Парана, на границе Бразилии и Парагвая, начала вырабатывать ток 25 октября 1984 г. Ее 18 турбин достигнут мощности 13 320 МВт. Строительство, в котором участвуют 28 тыс. рабочих, началось в 1975 г.

В феврале 1982 г. Совет Министров СССР объявил о проекте строительства ГЭС мощностью 20 000 МВт на реке Нижняя Тунгуска, Красноярский край. В случае реализации проекта эта ГЭС могла бы стать крупнейшей в мире. Однако в результате тщательной экологической и финансовой экспертизы в конце 1980 гг. строительство гидроэлектростанции признали нецелесообразным.

В мае 1982 г. в Экибастузе, Казахстан, СССР, начал функционировать крупнейший в мире угольный энергетический комплекс Экибастузская ГРЭС-1, состоящий из 8 блоков общей проектной мощностью 4000 МВт. В настоящее время максимальная мощность достигаемая ЭГРЭС-1, составила 3364 МВт.

ПЕРВЫЙ ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР

Первый ядерный реактор был сооружен на заброшенном теннисном корте Чикагского университета в Стагг-Филде, штат Иллинойс, США. Он достиг критической точки в 3 ч. 25 мин. по полудни 2 декабря 1942 г.

АТОМНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

Первой атомной электростанцией, давшей ток 20 декабря 1951 г., была ERR-1 в США. Первой атомной электростанцией в СССР стала Обнинская АЭС проектной мощностью 5 МВт в городе Обнинске, Калужская обл., давшая ток в 1954 г. Самой крупной в мире атомной электростанцией является АЭС в Фукусиме, Япония, имеющая 10 реакторов общей мощностью 9096 МВт.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛОПАСТНЫМИ НАСОСНЫМИ АГРЕГАТАМИ В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ НАГРУЗКЕ

В.Г. Николаев, доцент, канд. техн. наук
Московский институт коммунального хозяйства и строительства

Большинство энергоемких технологических процессов, используемых в коммунальном хозяйстве, являются нестационарными. К таковым, например, относятся холодное и горячее водоснабжение, водоотведение, теплоснабжение и пр. Поскольку перечисленные нестационарные процессы носят, как правило, случайный, вероятностный характер, то текущие параметры нагнетателей (напор, подача, давление), поддерживающих эти процессы, в течение времени подвержены существенным колебаниям. Это обстоятельство значительно затрудняет правильный выбор лопастных нагнетателей (насосов, вентиляторов, воздуходувных машин), а также существенно усложняет управление ими.

Для большинства лопастных нагнетателей (более 95 %) в качестве привода применяют асинхронные двигатели, работающие с постоянной частотой вращения. Это обстоятельство значительно усложняет регулирование режимов работы нагнетателей при переменной нагрузке. Появление в последние годы на рынке частотных преобразователей зарубежного и отечественного производства открывает перспективы перевода нерегулируемых асинхронных двигателей в разряд регулируемых и тем самым обеспечивает возможность применения новых энергосберегающих технологий и способов управления лопастными нагнетателями.

Анализ литературных источников [1–5] показывает, что наибольшее распространение в нашей стране получил такой способ управления лопастными нагнетателями, как стабилизация давления на выходе насосной установки. Значительно реже применяется минимизация избыточных давлений в диктующей точке водопроводной сети или в напорном коллекторе насосной станции. В некоторых случаях при стабилизации устанавливается несколько значений давления, одно — в дневное время, другое — в ночное, т. е. используется ступенчатая стабилизация.

При минимизации избыточных напоров давление в напорном коллекторе насосной станции устанавливается, как правило, не автоматически, в зависимости от изменяющейся во времени подачи, а вручную задатчиком давления. Это обстоятельство делает минимизацию в данном случае разновидностью ступенчатой стабилизации.

Насколько эффективно применение перечисленных способов управления насосным оборудованием? Какую роль и место они занимают по степени энергоэффективности в сравнении с другими, альтернативными способами применения частотно-регулируемого привода (ЧРП)? Публикуемые результаты экономии энергии в случае применения ЧРП каждый раз были получены для различных реальных условий эксплуатации, которые, как правило, не сопоставимы друг с другом. В этой связи проведение объективного сравнения эффективности применения различных способов управления насосным оборудованием без использования единой методики оценки энергоэффективности не представляется возможным.

Анализ публикуемых методов оценки эффективности применения ЧРП [1, 2, 6] показывает, что они содержат некоторые допущения, искажающие реальную картину работы насосных установок. Наиболее существенным из них является допущение о постоянстве КПД насоса, вне зависимости от частоты вращения рабочего колеса и развиваемого им напора. Указанное допущение значительно упрощает решение задачи определения эффективности применения ЧРП, однако существенно искажает получаемые результаты и делает их не вполне корректными. Следует отметить, что как стабилизация давления, так и минимизация избыточных напоров являются лишь способами приспособления подобранного по устаревшим энергозатратным методикам оборудования к новым условиям его эксплуатации. При этом ни стабилизация, ни минимизация напоров не решают главную задачу, а именно: оптимизацию затрат энергии при работе насосного оборудования с изменяющейся во времени нагрузкой. Кроме того, существующие методы оценки эффективности применения ЧРП рассматривают работу только одиночного насоса, тогда как на практике достаточно широко используется работа групп параллельно подключенных лопастных нагнетателей. Предпринимаемые некоторыми исследователями попытки распространения результатов использования ЧРП, полученных для одного нагнетателя, на группу насосов без математи-

ческого моделирования процесса путем простого введения поправочных коэффициентов на их количество, представляется не достаточно корректными.

В связи с возрастающей актуальностью проблемы энергосбережения в стране на кафедре гидравлики Московского института коммунального хозяйства и строительства в течение ряда лет ведутся исследования для разработки новых энергосберегающих технологий с применением частотно регулируемого привода лопастных нагнетателей, работающих в нестационарных технологических процессах.

Анализ экспериментальных записей подачи насосных станций показывает, что расход насосов хотя и изменяется во времени, но происходит это достаточно медленно, за исключением пусков (остановок) отдельных насосных агрегатов (переходный процесс). Поэтому, рассматривая нестационарный технологический процесс как квазистационарный, суммарные годовые затраты энергии при работе группы параллельно подключенных насосных агрегатов составят:

$$S_w = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \frac{\gamma Q_{ij} H_j}{1000 \eta_{ij}} p_j T, \quad (1)$$

где m — число членов статистического ряда, ($1 \leq m$);
 n — число параллельно подключенных насосов, ($1 \leq n$);
 γ — удельный вес жидкости, Н/м^3 ;
 Q_{ij} — подача i насоса при работе в j интервале расхода, $\text{м}^3/\text{с}$;
 H_j — напор насоса в j интервале, м ;
 η_{ij} — КПД i насоса в j интервале;
 p_j — вероятность появления подачи Q_j ;
 T — число часов работы насоса в году.

Решение задачи оптимизации связано с минимизацией функционала (1). Для этого необходимо раскрытые зависимости напора насоса и КПД от текущего значения частоты вращения рабочего колеса, характеризующей коэффициентом изменения частоты $K = n_r/n_n$, где n_r , n_n — текущее и номинальное значение частоты вращения соответственно. Выполненный нами анализ зависимостей $H_j = f_1(Q_j, K_{ij})$ и $\eta_{ij} = f_2(Q_j, K_{ij})$ показывает, что они существенно нелинейны и достаточно громоздки, что требует применения численных методов для решения задачи оптимизации.

Поэтому для минимизации функционала (1) нами разработаны математические модели, имитирующие работу водопроводных и канализационных насосных станций. Поскольку силами инерции при движении жидкости в трубопроводе можно пренебречь, математические модели представляют собой систему нелинейных алгебраических уравнений с рядом жестких и полужестких ограничений, а также уравнением баланса расхода: $SQ_i = Q_{\text{н.с.}}$, где SQ_i — сумма подач i числа насосов, $Q_{\text{н.с.}}$ — подача насосной станции.

В случае работы одиночного насоса функционал (1) упрощается и приводится к виду:

$$S_w = \sum_{j=1}^m \frac{\gamma Q_j H_j}{1000 \eta_j} p_j T, \quad (2)$$

где Q_j — подача насоса в j интервале, задаваемая потребителем.

Минимизация зависимостей (1) и (2) позволяет определить минимальные затраты энергии как при работе группы насосов, так и в случае работы одного насоса. Основное отличие двух приведенных случаев состоит в том, что в формуле (2) расход задается потребителем и является управляемым параметром, тогда как в формуле (1) суммарная

подача насосной станции задается потребителем, в то время как оптимальное распределение нагрузки между насосами может быть получено только применением одного из оптимизационных методов.

Проведенные нами теоретические исследования с использованием математического моделирования, численных методов и специальных компьютерных программ позволили впервые решить задачу одновременной оптимизации выбора состава и режимов работы для группы параллельно подключенных лопастных нагнетателей, работающей при переменной нагрузке [7].

Результаты исследований показывают, что максимальную энергоэффективность при переменной нагрузке можно достичь, лишь изменив традиционный способ подбора оборудования. В основу разработанного нами метода двойной (долговременной и кратковременной) оптимизации положен следующий принцип: энергетически наиболее выгодные характеристики предполагаемого для установки оборудования определяются не механическим перебором характеристик выпускаемых промышленностью насосов, а рассчитываются теоретически с увязкой их со статистическими данными технологического процесса. Затем характеристики реального оборудования принимаются равными или максимально близкими к полученным ранее теоретическим характеристикам. При таком подходе максимальная нагрузка насосов покрывается путем увеличения частоты вращения их рабочих колес выше номинальной, а минимальная — путем ее снижения.

В этом случае большую (основную) часть времени оборудование работает в области высоких значений КПД и с минимально-допустимым давлением, т. е. с наибольшей энергоэффективностью.

Формулы (1) и (2) позволяют не только минимизировать энергозатраты при решении задачи оптимизации, но и определить затраты энергии как при стабилизации давления, так и при минимизации напоров. При этом вместо напора H_j в указанных выражениях принимаются либо давление стабилизации, либо минимально-допустимые напоры.

Таким образом, представляется возможным сопоставить энергоэффективность применения таких методов управления насосным оборудованием, как стабилизация давления, минимизация избыточных напоров и оптимизация. Для проведения сравнительного анализа, на наш взгляд, представляется целесообразным использование рекомендуемого рядом авторов [3] понятия «потенциал энергосбережения». Под ним рекомендуется понимать максимальные потери энергии (механической, тепловой, электрической), которые можно полностью или частично вернуть в энерготехнологический цикл с помощью соответствующих энергосберегающих мероприятий.

Минимизация функционала (1) показывает, что оптимум энергозатрат достигается в том случае, когда напор насоса H_j на всем диапазоне изменения нагрузки будет минимально допустимым, а КПД максимально близким к оптимальному значению. При этом теоретически минимальное значение целевой функции оптимизации достигается в том случае, когда напор на всем диапазоне подач будет минимально допустимым, а КПД — максимальным для установленного типа оборудования. Теоретически максимальное значение целевой функции оптимизации может быть легко связано с понятием потенциала энергосбережения. Известно, что основная проблема определения потенциала энергосбере-

Таблица 1

Сопоставление энергоэффективности различных способов управления насосным оборудованием

№ п/п	Способ управления насосными агрегатами	Затраты энергии тыс. кВт•ч за год	Экономия энергии за год		Степень использования потенциала энергосбережения, %	Диапазон изменения параметров					
			тыс. кВт•ч	%		КПД		Кэф-фициент частоты вращения		Потребляемая мощность, Н, кВт•ч	
						мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.
1	Дросселирование трубопроводов (насос Д-6300-80, Д2 = 990мм, n = 575 об/мин)	5493	0	0	0	0,22	0,86	1	1	474	793
2	Стабилизация давления на выходе насосной установки (насос Д-6300-80, Нстаб = 52 м)	4876	617	11	28	0,25	0,86	0,93	0,99	353	741
3	Минимизация избыточных напоров в напорном коллекторе насоса Д-6300-80	3687	1806	32,8	81	0,28	0,86	0,76	0,97	220	741
4	Оптимизация состава насосного оборудования с заменой насоса на Д-4000-95 (Д2 = 825 мм, n = 730 об/мин)	3577	1916	34,8	86	0,40	0,86	0,76	1,02	149	921
5	Оптимизация состава насосного оборудования с заменой на виртуальный насос	3520	1973	36	89	0,33	0,86	0,79	1,06	186	774
6	Минимально-возможные затраты энергии (расчетное значение целевой функции оптимизации)	3270	2223	40,5	100	0,86	0,86	0,79	1,06	73	742
7	Минимизация избыточных напоров (по методике профессора Б.С. Лезнова)	4488	1005	18,3	45	0,84	0,84	0,76	0,97	220	765
8	Минимизация избыточных напоров (по инструкции Минтопэнерго РФ)	1797	3693	67	166	0,84	0,84	0,13	0,93	1,7	685
9	Приведение в соответствие характеристик насоса путем обрезки рабочего колеса	5300	193	3,5	8,7	0,22	0,84	1	1	367	614

жения заключается в выборе базового значения, некоего эталона максимальной энергоэффективности, с которым производится сравнение фактического показателя расхода энергоресурса. В наибольшей степени такому показателю соответствует теоретическое значение целевой функции оптимизации.

Если принять за точку отсчета такой наиболее широко распространенный способ управления насосным оборудованием, как дросселирование трубопроводов, то потенциал энергосбережения может быть вычислен в данном случае по формуле:

$$\Pi_e = S_w^{dr} - S_w^{theor} \quad (3)$$

где S_w^{dr} — годовые затраты энергии при дросселировании;

$S_w^{теор}$ — минимально возможное значение целевой функции оптимизации.

Наибольший интерес с точки зрения сравнительного анализа энергоэффективности применения тех или других энергосберегающих мероприятий представляет не сам потенциал, а степень его использования, т. е.:

$$\Pi_e = \frac{S_w^{dr} - S_w}{\Pi_e} \quad (4)$$

где S_w — годовые затраты энергии для выбранного энергосберегающего мероприятия.

Результаты сопоставления энергоэффективности различных способов управления приведены в таблице, а также на рис. 1. В качестве примера для расчетов был принят насос Д-6300-80. Статистика водопотребления за год (рис. 2) была взята для микрорайона Митино (Москва). В таблице приведены также основные технические параметры (КПД, коэффициент изменения частоты вращения, потребляемая мощность), характеризующие работу насоса на всем диапазоне изменения нагрузки. Кроме того, в таблице приведены

результаты определения энергоэффективности, вычисленные по инструкции Минтопэнерго РФ и методике проф. Б.С. Лезнова, а также результаты экономии энергии от приведения в соответствие характеристик насоса и водовода путем обрезки рабочего колеса.

Анализ результатов, приведенных в таблице и на рис. 1, показывает, что наиболее эффективным способом управления насосным оборудованием с помощью ЧРП является оптимизация, позволяющая получить до 36 % экономии энергии, что соответствует наиболее полному (до 95 %) использованию потенциала энергосбережения.

Приведенные нами теоретические исследования с решением задачи оптимизации и математическим моделированием динамической системы «резервуар — насос — трубопровод» показывают, что в отличие от широко распространенной в технической и нормативной литературе точки зрения, характеристики включаемых в параллельную работу нагнетателей при переменной нагрузке должны быть различными по напору и подаче.

Указанное обстоятельство требует для управления группой нагнетателей с различными характеристиками предварительной проверки их на совместимость для каждого значения подачи, приведенной в статистическом ряду наблюдений. В случае совместимости решается оптимизационная задача распределения нагрузки с использованием методов проекций градиента или неопределенных множителей Лагранжа. На основе проведенных исследований составлены специальные компьютерные программы, которые позволяют:

- определить затраты энергии для традиционно используемого метода управления — дросселирования (базовый вариант);
- рассчитать теоретическое значение целевой функции оптимизации для заданных условий эксплуатации и характеристик системы «нагнетатель — трубопровод»;

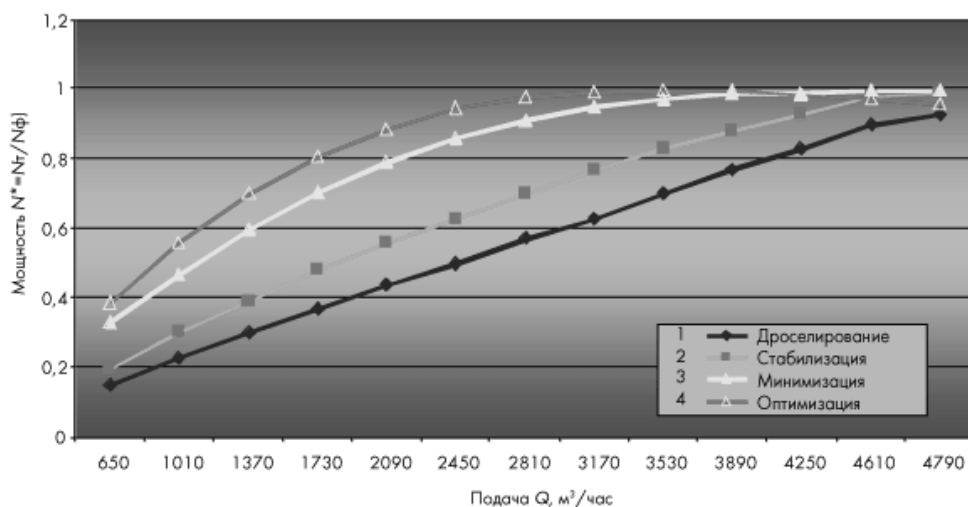


Рисунок 1
Зависимость мощности насоса от подачи для различных способов управления

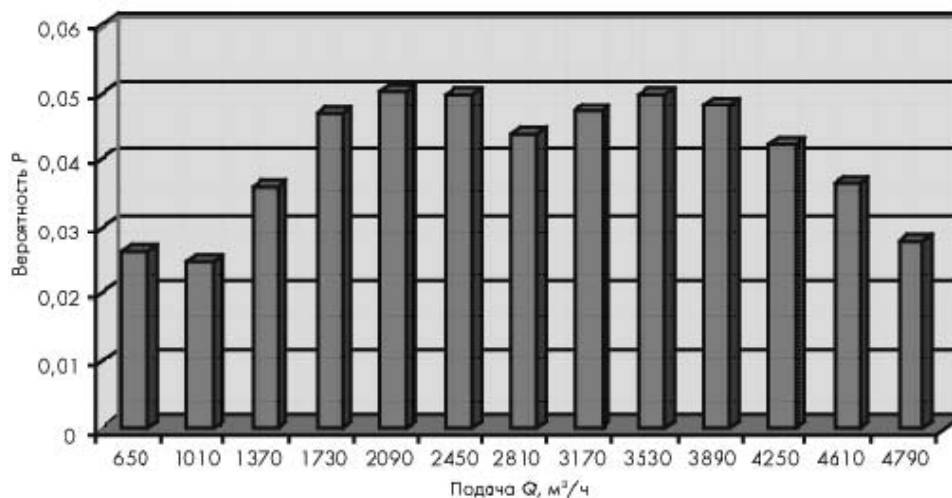


Рисунок 2
Статистика потребления воды за год

- выявить и раскрыть имеющийся потенциал энергосбережения;
- сопоставить энергоэффективность различных способов управления насосными агрегатами с помощью ЧРП, таких как стабилизация давления, минимизация избыточных напоров, одновременная оптимизация состава и режимов работы группы нагнетателей;
- оптимизировать соотношение между числом регулируемых и нерегулируемых насосных агрегатов;
- сравнить эффективность применения группового и индивидуального частотного привода;
- оценить эффективность применения других альтернативных способов энергосбережения (обрезка рабочих колес, замена насосного оборудования и др.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных установках. М., 1998.
2. Лезнов Б.С. и др. Окупаемость регулируемого электропривода в насосных установках // Водоснабжение и санитарная техника. 2002. № 12.
3. Куряпов В.Н., Мальцев А.П. и др. Потенциал энергосбережения и его практическая реализация // Энергоназор и энергоэффективность. 2003. № 3.
4. Шкредин Д.Г. Преобразователи частоты в энергосберегающих приводах насосов // Водоснабжение и санитарная техника. 2004. № 7.
5. Шишков А.А., Андрианов В.А. Применение частотно-регулируемого привода в энергосберегающих системах управления насосными установками // Водоснабжение и санитарная техника. 2004. № 7.
6. Инструкция по расчету экономической эффективности применения частотно-регулируемого электропривода. М., 1997.
7. Николаев В.Г. Способ регулировки системы лопастных нагнетателей при переменной нагрузке. Патент РФ на изобретение № 2230938 от 20.06.2004.
8. Николаев В.Г., Тихоненко Ю.Ф. Способ оценки эффективности применения частотно-регулируемого привода при работе групп лопастных нагнетателей в нестационарных технологических процессах // Энергоназор и энергоэффективность. 2003. № 3.

ОЦЕНКА БЕЗОТКАЗНОСТИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ ПОДЗЕМНОЙ ПРОКЛАДКИ

В.М. Калинин,
доцент МГСУ

Безотказность и долговечность являются основными параметрами надежности, в определенной мере управляемыми при эксплуатации инженерных систем. Применительно к трубопроводам подземной прокладки рассматриваемые параметры определяются следующим образом:

– безотказность — свойство трубопроводов непрерывно обеспечивать пропуск воды с расчетными параметрами (давление, расход, качество и т. д.) и сохранять герметичность в течение заданного промежутка времени;

– долговечность — свойство трубопроводов выполнять свои функции с возможными отключениями для осуществления ремонтов до наступления предельного состояния.

Любые показатели (или формы количественного представления), определяющие безотказность, основываются на теоретическом или статистическом определении функции распределения времени безотказной работы, которая показывает вероятность того, что на отрезке времени $[0, t]$ не произойдет отказ трубопровода, имеющего наработку X :

$$\bar{F}(t) = P(X > t). \quad (1)$$

Большинство современных исследований надежности трубопроводов в качестве показателей безотказности используют вероятность безотказной работы (1) или производный от него показатель — интенсивность отказов $\lambda(t)$:

$$\lambda(t) = \frac{d(1 - \bar{F}(t))}{dt \bar{F}(t)}. \quad (2)$$

Физический смысл интенсивности отказов — это мера, выражающая склонность трубопровода к отказу в зависимости от времени его эксплуатации.

Как видно из формул (1) и (2), вероятность безотказной работы и интенсивность отказов трубопроводов являются функциями времени. Причем вероятность безотказной работы — всегда убывающая функция, а интенсивность отказов может быть как возрастающей функцией, так и неизменной (рис. 1). Интенсивность отказов трубопроводов постоянна тогда и только тогда, когда функция распределения наработки $F(t) = 1 - \bar{F}(t)$ распределена по экспоненциальному закону:

$$\begin{aligned} F(t) &= 1 - e^{-\alpha t}, \\ \alpha &= \lambda(t), \end{aligned} \quad (3)$$

где α — параметр функции распределения, часто называемый параметром потока отказов.

Последнее обстоятельство имеет принципиальное значение. Из теории восстановления известно, что экспоненциальное распределение неприменимо для систем, в которых существенны явления старения (очевидно, что к подобным системам относятся трубопроводы), приводящие к значительному изменению интенсивности отказов во времени. Кроме того, для систем, имеющих экспоненциально распределенную наработку, выполнять планово-предупредительные замены нецелесообразно, что противоречит нашим представлениям об эксплуатации трубопроводов. Поэтому применение экспоненциального распределения наработки и, соответственно, предположение о постоянстве интенсивности отказов трубопроводов возможно лишь в следующих ситуациях:

– при исследовании безотказности на относительно малых интервалах времени в предположении о классической схеме эксплуатации трубопроводов (рис. 2), состоящей из трех этапов: периода приработки, в течение которого выявляются дефекты материалов и монтажа, периода нормальной работы, когда наступление отказов обусловлено, прежде всего, случайными внешними воздействиями, и периода старения, при котором явно начинают проявляться результаты износа трубопроводов;

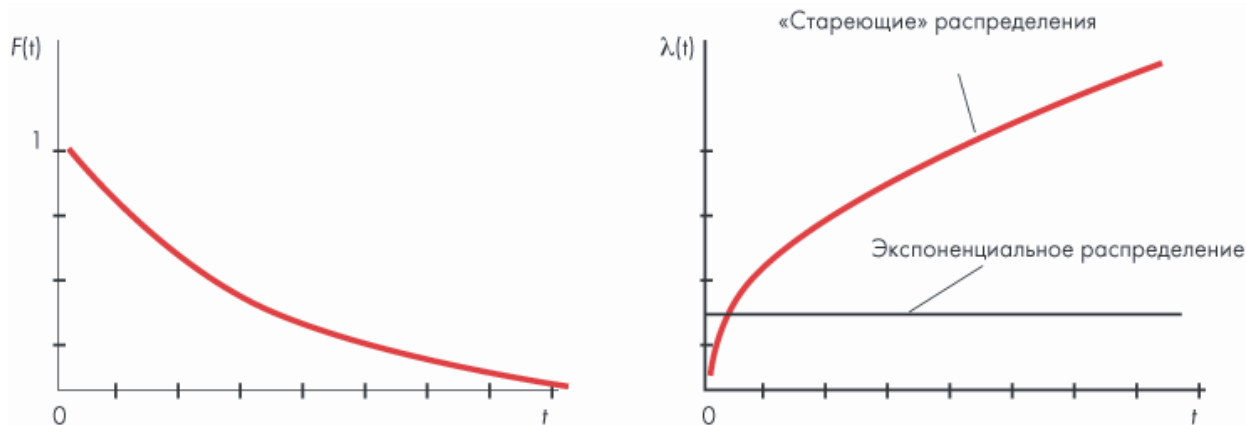


Рисунок 1
Изменение вероятности безотказной работы и интенсивности отказов трубопроводов в зависимости от времени их эксплуатации

- при исследовании безотказности большого числа трубопроводов, например систем водоснабжения города. В этом случае можно считать, что режим эксплуатации является установившимся и своевременно и в полном объеме проводятся плановые ремонты. Тогда вероятность отказа отдельных участков трубопроводов мала. С учетом того, что число участков в системе достаточно большое и отказы отдельных элементов практически независимы, по теореме А.Я. Хинчина и Б.И. Григелиониса суммарный поток отказов стремится к стационарному $P(t) = e^{-\lambda t}$. Таким образом, при значительном упрощении статистической обработки данных об отказах трубопроводов могут быть получены корректные результаты для прогнозирования требуемых объемов реновации, мощности и материально-техническом обеспечении аварийных служб для водопроводного предприятия города в целом.

Однако оценка безотказности водоснабжения конкретных потребителей, в значительной мере определяемая безотказностью трубопроводов, посредством рассмотренных показателей крайне затруднительна. Система водоснабжения от источника до потребителя состоит из большого числа участков трубопроводов, каждый из которых имеет свои, от-

личные от других, технические и технологические характеристики, эксплуатируется в своих «индивидуальных» условиях и имеет свой возраст эксплуатации. Безотказность и интенсивность отказов каждого участка трубопровода (1), (2) изменяется во времени и зависит от условий эксплуатации, а также от имеющих случайный характер реновации и санации участков. Поэтому вычисление результирующей безотказности водоснабжения потребителей и представление результатов (безотказность водоснабжения на отдельных интервалах времени в течение долгосрочного периода) труднообозримо. Это обстоятельство делает практически невозможным установление договорных отношений в части безотказности водоснабжения между потребителем и предприятием водоснабжения города.

Для того чтобы устранить переменное и случайное временное влияние на безотказность, предлагается показатель, определяющий количество случаев невыполнения системой водоснабжения своих функций по отношению к потребителю за заданный (или расчетный) $T_{рас}$ период времени, называемый частотой отказов:

$$I_{отк} = \sum_{j=1}^n \frac{\int_0^{T_{рас}} \lambda_j(t) dt}{T_{рас}} \quad (4)$$

Числитель в приведенной формуле определяет ожидаемое количество отказов j участка трубопровода за расчетный период.

Формально частота отказов зависит от функции распределения времени безотказной работы участков трубопроводов, но в расчетном периоде является стационарной величиной. Это обстоятельство делает подобный показатель универсальным и доступным для восприятия и принятия решений относительно эксплуатации систем водоснабжения. Во-первых, он позволяет однозначно оценивать качество водоснабжения. Например, предприятие водоснабжения в договоре с потребителем заявляет, что в течение года возможно не более двух (или трех) отключений, связанных с авариями в водопроводных

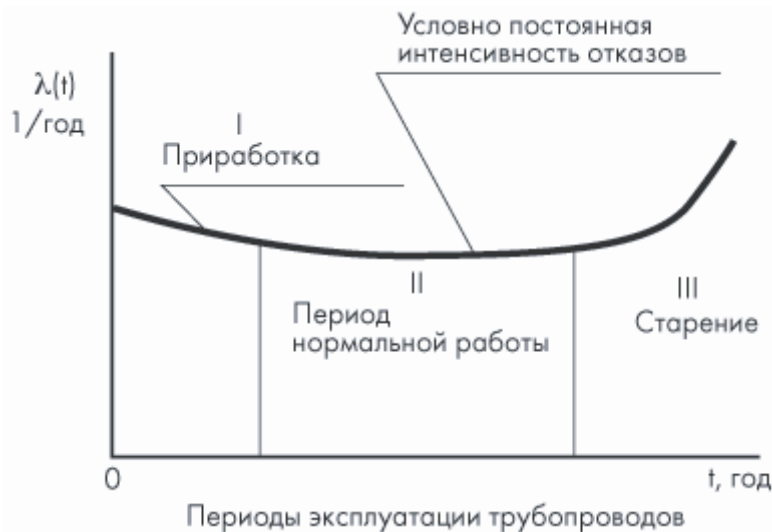


Рисунок 2
Классическая схема эксплуатации трубопроводов

сетях. Если оговоренное число отключений не будет превышено, то потребитель, естественно, не будет иметь никаких претензий.

Во-вторых, использование предлагаемого показателя позволяет нормировать качество водоснабжения с учетом технического состояния трубопроводов, а также финансовых и материально-технических возможностей предприятий водоснабжения. По среднему числу возникающих аварий (например, 0,4–0,7 аварий/км*год.), количеству и протяженности участков трубопроводов по формуле (4) определяется частота отключений потребителей в каждой точке системы. Зная перспективу реновации и санации участков трубопроводов, приводящих к изменению интенсивности отказов, достаточно легко рассчитать потенциально достижимый уровень частоты отключений потребителей и, таким образом, нормировать безотказность водоснабжения.

Наконец, предлагаемый показатель является мощным инструментом для выработки стратегии эксплуатации трубопроводов. Он позволяет выявить первоочередные участки, подлежащие замене или восстановлению, а также выбирать оптимальные условия и время их проведения. Например, если рассматриваются плановые стратегии восстановления трубопроводов, задаваясь (k) различными межремонтными периодами ($T_{\text{план}}^k$), определяются значения частоты отключений потребителей и затраты, связанные с эксплуатацией системы ($C_{\text{экспл}}^k$). И из всех вариантов выбирается тот, при котором частота отказов не меньше нормативного значения, а эксплуатационные затраты наименьшие:

$$\left\{ \begin{aligned} I_{\text{ОТК}}^k &= \sum_{j=1}^n \frac{\int_0^{T_{\text{план}}^k} \lambda_j(t) dt}{T_{\text{план}}^k} \leq I_{\text{НОРМ}} \\ C_{\text{экспл}}^k &= \frac{C_{\text{ВОССТ}}}{T_{\text{план}}^k} + I_{\text{ОТК}}^k C_{\text{ОТК}} + \frac{C_{\text{ОСТ}}(T_{\text{план}}^k)}{T_{\text{план}}^k} \rightarrow \min \end{aligned} \right. \quad (5)$$

В эксплуатационных затратах учитываются стоимости восстановления ($C_{\text{восст}}$), издержки, связанные с авариями, включая потери воды ($C_{\text{отк}}$), а также неполное использование ресурса заменяемого в плановом порядке участка трубопровода $C_{\text{ост}}(T_{\text{план}}^k)$. Причем использование в формуле значения частоты отказов и числа плановых ремонтов в единицу времени позволяет рассчитывать приведенные затраты (или интенсивность эксплуатационных затрат — совокупности всех затрат в единицу времени). Это значительно упрощает экономические отношения предприятия водоснабжения и потребителя, делает их «прозрачными» — обеспечение уровня качества требует оплаты определенной суммы рублей в год с учетом всех издержек, включая потери воды при авариях на участках трубопроводов.

На точность определения частоты отказов участков трубопроводов оказывают влияние множество случайных факторов. Недоучет их или использование усредненных значений (например, среднее значение в масштабах района водопроводной сети) приводит к недопустимым погрешностям в определении частоты отключения потребителей и, соответственно, к неверной оценке интенсивности эксплуатационных затрат. Ситуация осложняется тем, что для трубопроводов подземной прокладки сегодня практически нет средств диагностики их состояния до наступления отказа, т. е. нет возможности инструментально оценивать

наработку и остаточный ресурс участков трубопровода. Единственным способом получения информации о состоянии объекта в таких случаях является сбор и обработка статистических данных о его функционировании. Однако при подобном подходе имеются значительные сложности. Во-первых, трубопроводы достаточно долговечны. Срок их полезной эксплуатации измеряется десятилетиями (например, в Москве есть отдельные участки функционирующих трубопроводов, проложенных в начале прошлого столетия). Период сбора статистических данных об изменении свойств трубопровода может оказаться слишком большим, что обесценивает их использование для нормирования качества водоснабжения и оптимизации эксплуатационного процесса. Кроме того, за столь значительное время изменяются технологии и используемые материалы. Для участка трубопровода, эксплуатирующегося в одних и тех же внешних условиях, после очередной реновации невозможно или весьма ограниченно использование статистической базы прошлых лет.

Выходом из описанной ситуации может служить следующая методика. Известно, что объект, находящийся в эксплуатации $t_{\text{экспл}}$ лет, имеет остаточную наработку $T_{\text{ост}}$ (т. е. ожидаемый срок службы до отказа), определяемую из следующего выражения:

$$T_{\text{ост}} = \int_0^{\infty} \frac{\bar{F}(t_{\text{экспл}} + x)}{\bar{F}(t_{\text{экспл}})} dx. \quad (6)$$

Оцениваемыми интервалами времени, определяющими продолжительность эксплуатации, являются периоды между аварийными ремонтами участка трубопровода, т. е. продолжительность безотказной работы до 1, 2 и т. д. аварийного ремонта. Естественно, эти интервалы времени имеют тенденцию к сокращению. С учетом формул (2) и (6) ожидаемое время функционирования участка трубопровода до k отказа рассчитывается по формуле:

$$t_0^k = t_0^{k+1} - \int_0^{\infty} \frac{(\Lambda(t))^k}{k!} e^{-\Lambda(t)} dt. \quad (7)$$

Получив информацию об авариях на участке трубопровода за ограниченное время и используя формулы (2), (4), (7) и (8), можно достаточно точно вычислить частоту отказов участка трубопровода, эксплуатирующегося в конкретных условиях.

Практическая реализация предлагаемой методики осуществляется следующим образом. При определении частоты отказов и других показателей безотказности достоверно оцениваемыми являются факты отказов и моменты их наступления. Причины, определяющие продолжительность периода времени между отказами, в принципе являются неизвестными. Однако выполненные исследования позволяют утверждать, что по совокупному воздействию все они могут быть объединены в две группы — собственные свойства износоустойчивости участка трубопровода (в первую очередь, качество используемых материалов и выполнения строительно-монтажных работ) и воздействие внешней среды (параметры воды в трубопроводе, свойства грунтов, наличие блуждающих токов и т. д.). Между рассматриваемыми параметрами могут быть получены математические зависимости, например, в виде диаграмм, два параметра которых определяют свойства трубопроводов и условия их эксплуатации и в пересечении — продолжительность времени до наступления 1, 2, ... k отказов. Очевидно, что

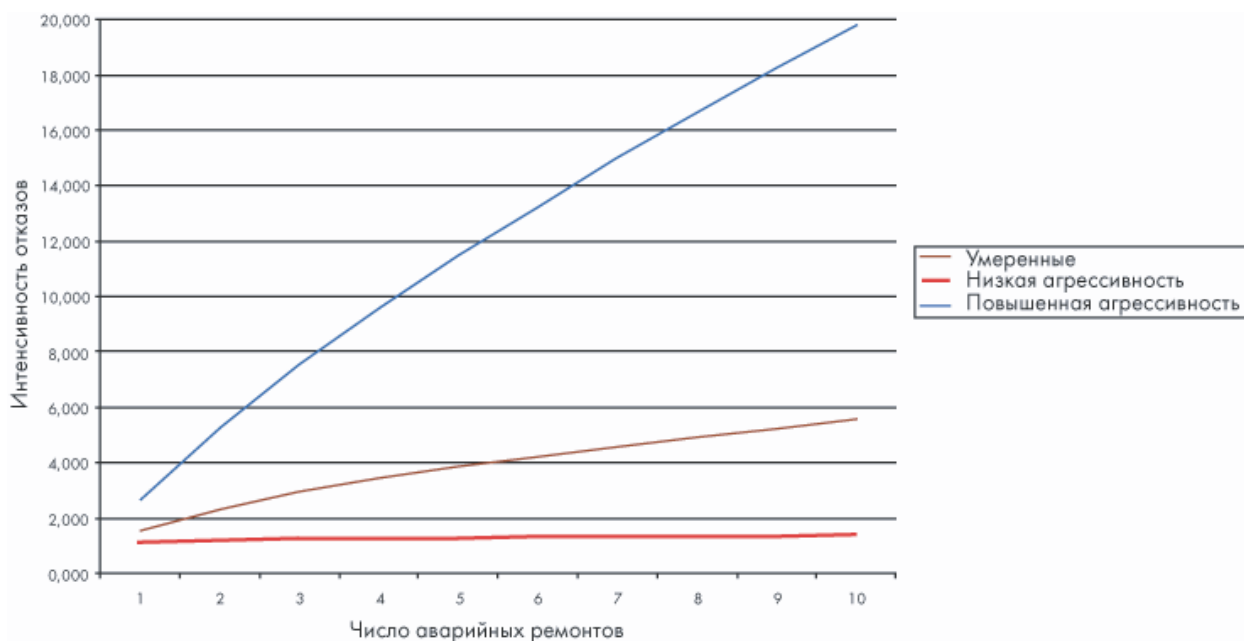


Рисунок 3
Зависимость интенсивности отказов участков трубопровода, эксплуатирующегося в различных условиях, от выполненного ранее числа аварийных ремонтов

собственные свойства участков трубопроводов определяют «потенциальную скорость старения», т. е. форму закона распределения времени безотказной работы, а внешние условия — «ускорение старения», т. е. являются масштабным параметром. Основываясь на опыте эксплуатации, рассматриваются возможные значения одного из неизвестных параметров и, после определения количества отказов, произошедших на известном интервале времени, вычисляется значение второго неизвестного параметра. Т. е. становятся известными характеристики функции распределения времени безотказной работы участков трубопроводов (1) и (2), что позволяет выполнять дальнейшие расчеты. Технически проще установить характеристики внешней среды — величину и колебание давления в трубопроводе, кислотность грунта, наличие блуждающих токов и т. п. Поэтому даль-

нейшая реализация методики выполняется по следующему алгоритму.

1. Выявляются основные внешние факторы, оказывающие существенное влияние на безотказность участка трубопровода в конкретных условиях его эксплуатации и выполняется количественная оценка величины их влияния. Для упрощения изложения дальше будут использоваться три группы — умеренные условия эксплуатации, повышенно агрессивные условия и условия эксплуатации с низкой агрессивностью окружающей среды.

2. Используя упомянутые выше диаграммы, определяются показатели безотказности участков трубопроводов, эксплуатирующихся в тех или иных условиях (рис. 3–6) (значения показателей безотказности на рисунках приведены в относительных единицах).

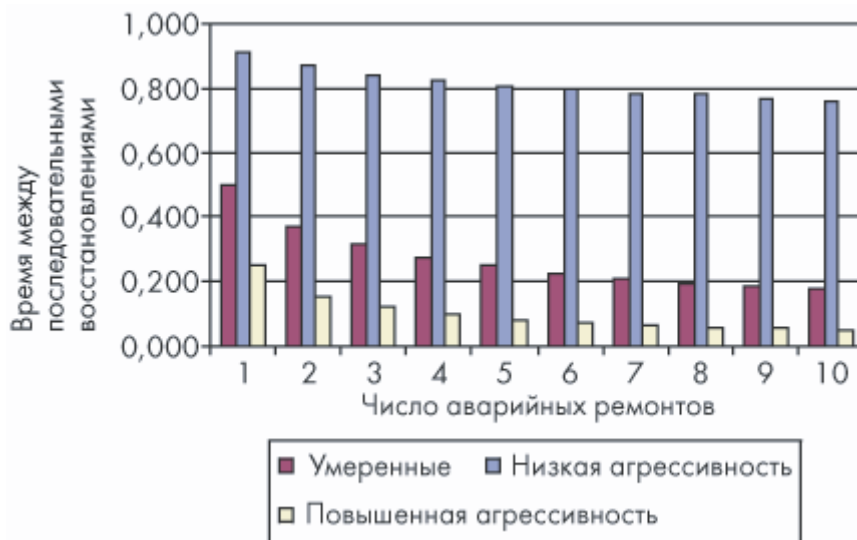


Рисунок 4
Зависимость продолжительности времени между последовательными отказами участка трубопровода, эксплуатирующегося в различных условиях, от выполненного ранее числа аварийных ремонтов



Рисунок 5
Зависимость частоты отказов участка трубопровода, эксплуатирующегося в различных условиях, от выполненного ранее числа аварийных ремонтов

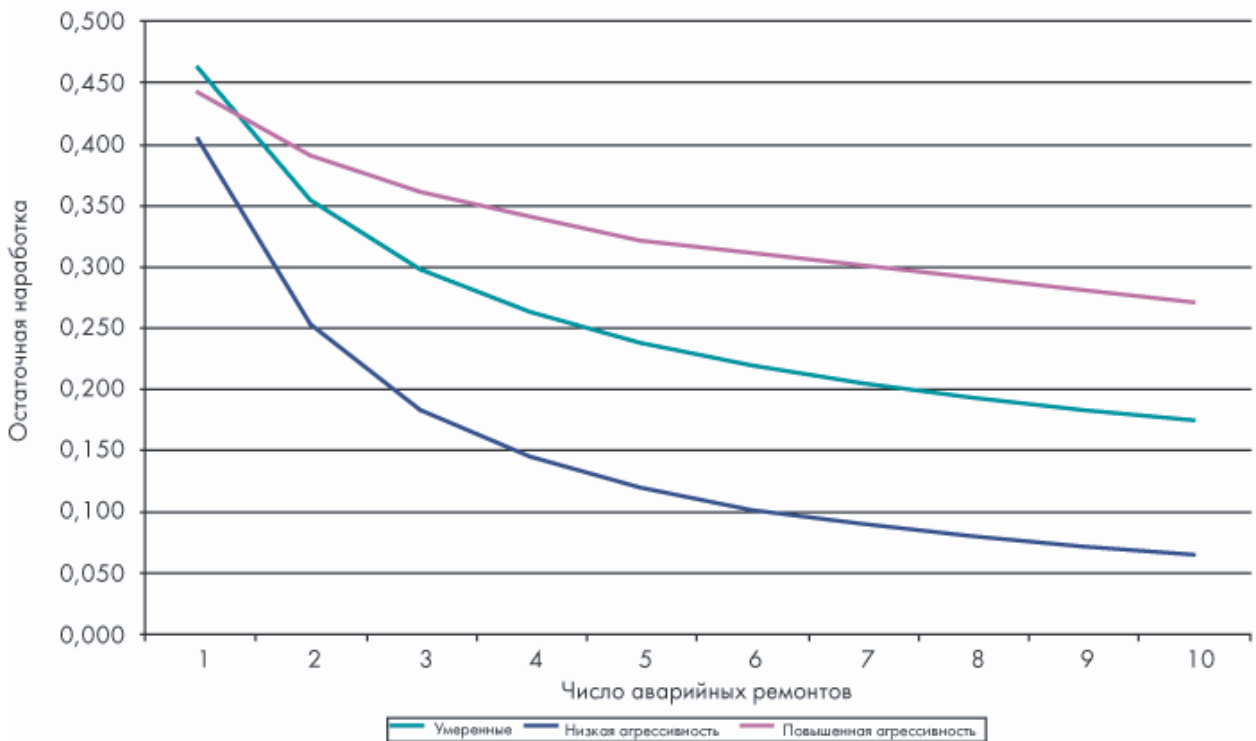


Рисунок 6
Зависимость остаточной наработки участка трубопровода, эксплуатирующегося в различных условиях, от выполненного ранее числа аварийных ремонтов

Таблица 1

Соотношение затрат на восстановление и аварийные ремонты	1	2	3	4	5	6	8	10
Условия эксплуатации	Экономически оптимальное число аварийных ремонтов							
Умеренные	1	2	3	4	5	6	8	10
Низкая агрессивность	1	11	21	31	41	51	71	91
Повышенная агрессивность	1	1	1	2	2	2	3	4

3. Как интуитивно предполагалось, показатели безотказности участка трубопровода ухудшаются при увеличении допускаемого числа аварийных ремонтов. Поэтому выбор дальнейшей стратегии эксплуатации должен основываться либо на допустимом (нормированном или желаемом) уровне значения частоты отказов и продолжении аварийных ремонтов до его достижения, либо на назначении моментов реновации или санации в плановом порядке.

4. Выполняется экономический анализ стратегий эксплуатации на основании исследования функции интенсивности эксплуатационных затрат. Если в качестве основной рассматривается стратегия по числу выполненных ранее аварийных ремонтов и продолжительности безаварийного функционирования участка трубопровода, то экономически оптимальное число допускаемых аварийных ремонтов $K_{\text{ОПТ}}^{\text{эконом}}$ можно определить в зависимости от соотношения затрат, связанных с реновацией $C_{\text{ренов}}$ и аварийными ремонтами $C_{\text{авар}}$, а также от фактора влияния внешних условий β по формуле (без учета остаточной стоимости трубопровода при его замене):

$$K_{\text{ОПТ}}^{\text{эконом}} = \left[\frac{1}{\beta - 1} \left(\frac{C_{\text{РЕН}}}{C_{\text{АВАР}}} - 1 \right) \right] + 1. \quad (8)$$

Для некоторых случаев значения экономически оптимального числа аварийных ремонтов приведены в таблице.

Как следует из приведенных данных, только в условиях повышенной агрессивности окружающей среды экономически оптимальное число аварийных ремонтов ограничено. Стоимость производства аварийных работ многократно меньше стоимости перекладки участка трубопровода. Потери воды

при аварии, в соответствии с публикуемыми данными, составляют от 28 до 1500 м³, что в денежном выражении значительно меньше стоимости производства аварийных работ.

Таким образом, ориентируясь на известные данные о затратах, связанных с эксплуатацией трубопроводов, можно считать, что в большинстве случаев экономически оправдано значительное число их аварийных ремонтов.

5. Заключительным этапом рассматриваемой методики является анализ сложившихся условий эксплуатации участков трубопроводов, выбор оптимальной стратегии их восстановления, а также нормирование качества водоснабжения потребителей. Здесь, наряду с результатами пп. 3 и 4, дополнительно учитываются:

- экологическая безопасность, выражающаяся в обеспечении состояния защищенности жизненно важных интересов человека-потребителя, связанных с потреблением водных ресурсов, рациональностью их использования, а также минимизации экологического риска и ущерба от нарушения состояния компонентов природной среды, природно-антропогенных и антропогенных объектов, возникающих вследствие аварий и плановых работ (при раскопке участков);

- уточнение реальных потерь воды при авариях — не только за время локализации, а с момента возникновения до устранения отказа. По имеющимся данным, потери, вызванные разгерметизацией трубопровода в результате образования свища, по объему значительно превосходят приведенные выше данные;

- перспективы внедрения новых материалов и технологий при реновации и санации трубопроводов.

рекорды промышленности

ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР

Самый крупный ядерный реактор запущен в январе 1984 г. на полную мощность (1450 МВт) на Игналинской АЭС в Литве.

ЭНЕРГИЯ ЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

В январе 1982 г. советский академик Е.П. Велихов сообщил, что в СССР введена в действие экспериментальная энергетическая термоядерная установка ТОКАМАК-7, безотказно действующая в течение многих месяцев. Однако появление технологичных термоядерных реакторов в ближайшем будущем не предвидится. В 1989 г. сообщалось, что такой реактор будет создан к 2030 г.

10 октября 1988 г. на совместной европейской установке «Торус» в Калеме, Великобритания, была получена температура в 100 000 000 °С.

СОЛНЕЧНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

В апреле 1982 г. были проведены первые испытания крупнейшей в мире солнечной электростанции «Солар-1» в 193 км к юго-востоку от Барстоу, штат Калифорния, США. Стоимость ее строительства — 141 млн долл. Станция мощностью 10 МВт состоит из 1818 зеркал в концентрических кругах, сфокусированных на бойлере, расположенном на 77,7-метровой башне. Солнечный свет, отраженный 222 гелиостатами, концентрируется на мишени, находящейся в энергобашне на высоте 34,7 м. В январе 1984 г. на заводе «Бельвью» компании «Пейкерленд пакинг» в Грин-Бей, штат Висконсин, США, закончено строительство энергосистемы, аккумулирующей солнечную энергию. Установка стоимостью 30 млн долл. включает в себя 9750 термоэлементов размером 1,21x2,43 м каждый, занимающих площадь в 28 985 м². Проектная мощность электростанции — 2,344 кВт в месяц.

ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕТА СТОЧНЫХ ВОД

**А.П. Зайцев, начальник управления
главного метролога, главный метролог ГУП
«Водоканал Санкт-Петербурга»**

**А.В. Озеров, начальник базовой
метрологической службы в составе Центра
техдиагностики МГУП «Мосводоканал»**

**М.А. Мордясов, канд. техн. наук,
заведующий лабораторией НИИ КВОВ**

**М.Н. Шафрановский, канд. техн. наук,
директор фирмы «Сигнур», Москва**

Водоотведение является одной из базовых составляющих процесса жизнеобеспечения населения и других водопользователей. В крупных городах и малых поселениях значимость учета принимаемого в канализационную сеть и отводимого на очистку стока постоянно возрастает. Это связано с рядом социальных, экологических и других вопросов, которые трансформируются в конкретные затраты организаций, сбрасывающих и принимающих отводимый сток. Адекватность этих затрат определяется наличием и правильностью приборного учета отводимого стока.

Прошло более пяти лет после вступления в действие новых Правил пользования городской канализацией. Одним из важных аспектов этого документа является требование оснастить приборами учета все абонентские выпуски в городскую канализационную сеть. И хотя вопросы учета сточных вод решаются в России с начала 90 годов прошлого века, появление данного документа должно было придать этому процессу соответствующее ускорение. Руководители водопроводно-канализационных хозяйств ряда городов России издали постановления, обязывающие почти всех абонентов в короткие сроки установить узлы учета отводимого стока.

Однако дефицит современных руководящих материалов и методик по использованию тех или иных средств приборного учета (в зависимости от конкретных условий), а также сложности реального технического состояния канализационных сетей и условий их эксплуатации не позволили сделать этот процесс быстрым и легким. Кроме того, отсутствие общедоступной информации о приборах учета отводимого стока и реальном опыте их эксплуатации привело к большому количеству ошибок при выборе технических средств и соблюдении регламентов обустройства соответствующих узлов учета.

Комментируя управленческие аспекты, следует отметить, что организация приборного учета стока может быть весьма полезна и для совершенствования функционирования ЖКХ. Это важно и для определения тарифов на централизованную подачу питьевой воды, и на прием сточных вод. Как показывает практика, сравнение объемов водопотребления и водоотведения обособленных объектов дает неочевидные результаты, которые подлежат серьезному анализу. Так, например, если объем водопотребления жилого комплекса значительно превышает объем водоотведения, то это свидетельствует о больших потерях на внутренних водопроводных сетях и, соответственно, об оплате утечек населением. Если объем отводимого стока превышает объем водопотребления, то это свидетельствует о дренаже и сбросе в хозяйственно-бытовую канализацию ливневых стоков, дренажных и талых вод. Это влияет на величину оплаты услуг по канализированию сточных вод и на работу соответствующих очистных сооружений.

Цель данной статьи — попытка обобщения практики приборного учета хозяйственно-бытового стока, полученной на самотечных сетях и коллекторах за последние годы.

Методические вопросы измерения расхода сточных вод в безнапорных коллекторах были впервые сформулированы в МИ 2220-92 «ГСИ. Расход жидкости в безнапорных трубопроводах. Методика выполнения измерений», разработанными НИИ КВОВ (более поздняя редакция — МИ 2220-96). Суть этой методики состоит в реализации известного метода «площадь смоченного сечения \times скорость потока» с учетом большого объема экспериментальных данных, полученных специалистами НИИ КВОВ. Эти данные получены на реальных канализационных сетях, что составляет основную ценность методики. Калибровку мерного сечения трубопровода (расчет напорно-расходной характеристики) предложено производить по измерению скорости потока в одной точке гидрометрического створа. А приборный учет расходов отводимого стока осуществляется по калибровочной кривой с помощью процессора прибора. То есть прибор постоянно фиксирует наполнение (смоченное сечение) трубопровода и пересчитывает его в расход с учетом данных калибровки.

С учетом положений этой методики в 1993 году фирмой «Сигнур» был разработан и внесен в Государственный реестр средств измерений первый отечественный расходомер-счетчик сточных вод ЭХО-Р. Принцип действия прибора основан на бесконтактном измерении уровня заполнения коллектора и пересчете его в мгновенное значение расхода по рассчитанной характеристике с последующим интегрированием. В период до конца 2005 года было выпущено и установлено более 2000 расходомеров (ЭХО-Р, ЭХО-Р-01 и ЭХО-Р-02). При нормальных условиях эксплуатации, оговоренных в технической

Таблица

Количество узлов учета на самотечных коллекторах и используемых приборов в Москве и Санкт-Петербурге

Название организации	ЭХО-Р-01, ЭХО-Р-02, шт.	Другие отечественные приборы, шт.	Зарубежные приборы, шт.
МГУП «Мосводоканал»	32	-	-
Природоохранные структуры Москвы	16	-	Нет данных
Природоохранные структуры Санкт-Петербурга	23	-	-
ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»	21	6 (Взлет РСЛ)	5 (ISCO 4250) 1 (Mainstream)

документации, расходомеры показали хорошие метрологические характеристики и высокую надежность, обусловленную бесконтактным методом измерения. В первые годы эксплуатации были выявлены и устранены технические недостатки приборов. Так, основной проблемой, влияющей на надежность работы приборов, является периодическое затопление канализационных колодцев, где установлены узлы учета. Акустические датчики расходомеров ЭХО-Р выходили из строя в течение 10–12 ч., в зависимости от агрессивности стоков. Благодаря использованию современных герметизирующих материалов акустические датчики расходомеров ЭХО-Р-02 могут находиться под водой до полумесяца и сохранять работоспособность после восстановления режима эксплуатации сети.

По отзывам эксплуатационных служб, расходомеры ЭХО-Р-02 являются в настоящее время самыми простыми в монтаже и эксплуатации среди приборов аналогичного назначения. Кроме того, для проведения периодических метрологических проверок не требуется специальное оборудование.

Главным результатом, полученным за годы эксплуатации приборов, является подтверждение правильности метода, заложенного в МИ 2220-96, и определение границ его применимости. Штатные метрологические характеристики расходомеры-счетчики типа ЭХО-Р показывают на прямолинейных участках самотечных коллекторов со свободным режимом течения и правильно откалиброванным мерным сечением. При возникновении в водоводах засоров, гидравлических подпоров и т. п. погрешность приборов существенно возрастает, и показания становятся не достоверными. Внештатные режимы течения в канализационных сетях возникают из-за недостаточного финансирования служб эксплуатации, а также из-за ошибок, допущенных при их проектировании и строительстве. Если строительный уклон коллектора меньше нормативного, то выпадение осадка неизбежно, а механическая очистка трубопровода дает лишь кратковременный результат. Также и при несогласованных диаметрах предыдущего и последующих участков трубопроводов или уровнях их залегания гидравлические подпоры неизбежны. Таким образом, на канализационных сетях с нестабильной вариацией гидродинамики (нет самоочищающих скоростей и т. п.), где напорно-расходная характеристика «плывет», методика МИ 2220-96 имеет соответствующие ограничения, и установка узлов учета на базе расходомеров типа ЭХО-Р не рекомендуется.

При трендовых режимах потока, аккумулирующих осадок в лотке трубопровода, а также при частом возник-

новении нештатных эксплуатационных ситуаций на сети, целесообразно использование расходомеров, которые выполняют одновременное измерение уровня потока (смоченного сечения) и его скорости. Российским потребителям известны три типа таких приборов: ISCO 4250 (США), ADS 3600 (США) и MAINSTREAM III (Франция). Принцип действия этих приборов заключается в измерении скорости потока доплеровским методом с помощью ультразвукового датчика, закрепленного в потоке на дне водовода. Измерение уровня осуществляется с помощью встроенного датчика давления или навесного ультразвукового уровнемера.

Широкое применение подобных расходомеров сдерживается их высокой стоимостью, которая превышает 15 000 долл. США, что более чем в 15 раз больше стоимости приборов ЭХО-Р-02. Кроме того, как следует из материалов экспертизы, проведенной в ГНЦ РФ НИИТеплоприбор по заявке Мосводоканала, заявленные метрологические характеристики этих приборов выдерживаются только при измерении расхода «условно чистой» воды (ливневые стоки, техническая вода). При фиксации расхода хозяйственно-бытовых стоков погрешность таких приборов начинает существенно увеличиваться в зависимости от физико-химических параметров стока и значительно отличается от паспортных данных прибора. Увеличение погрешности обусловлено зависимостью доплеровской частоты от скорости ультразвука в жидкости, зависящей от ее химического состава. Экспериментально этот результат подтвержден в СМНУ «Мосводоканал» и в ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга».

Реально в большинстве случаев этот тип приборов используется для аудита канализационных сетей, а не для учетных операций в системах водоотведения.

ВЫВОДЫ

К сожалению, можно констатировать, что работа по организации учета в системах канализации идет очень медленно. Это связано как с техническими трудностями, так и с нежеланием водопроводно-канализационных хозяйств переходить на реальные рыночные отношения, причем в крупных городах работа движется значительно медленнее, чем в небольших и в сельской местности.

При организации узлов учета сточных вод в настоящее время наиболее часто используются расходомеры-счетчики ЭХО-Р-02. Это связано как с простотой монтажа, технического обслуживания и высокой надежностью, так и с самой низкой стоимостью по сравнению с приборами аналогичного назначения.

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ МИГРАЦИИ ПЛАНКТОНА СПОСОБСТВУЮТ ПЕРЕМЕШИВАНИЮ ОКЕАНА



Рачок Euphasia pacifica. Его длина — около 2 см. Именно эти рачки, поднимаясь в темное время суток к поверхности в бухте Саанич, способствуют перемешиванию водной толщи

Уже давно высказывалось предположение, что планктонные животные, совершающие регулярные суточные миграции (поднимаясь к поверхности вечером и опускаясь на глубину утром), могут вносить свой вклад в перемешивание разных слоев, а тем самым способствовать обогащению поверхностных вод биогенными элементами и повышению продукции фитопланктона. Однако только недавно в одной из бухт на юго-западном побережье Канады удалось инструментально зафиксировать резкое повышение турбулентности в период массового подъема к поверхности воды рачков *Euphasia pacifica*.

Водная толща океана только на первый взгляд кажется гомогенной и равномерно перемешиваемой. На самом деле в любом более или менее крупном водоеме ветровое перемешивание обычно затрагивает только поверхностный слой. Ниже этого слоя, который к тому же хорошо прогревается солнечными лучами, идет зона термоклина (thermocline) — соприкосновения теплого и холодного слоев воды, — где с глубиной резко снижается температура (и, соответственно, увеличивается плотность). А еще ниже располагается огромная масса глубинных вод, слабо перемешиваемых и отличающихся низкой температурой, почти одинаковой на очень большом протяжении.

Поскольку освещенность в толще воды быстро убывает с глубиной, фотосинтез возможен только в поверхностных слоях. В океане это верхние 50–100 м. Именно здесь сконцентрирована основная масса фитопланктона — микроскопических водорослей и цианобактерий, создающих то органическое вещество, за счет которого существует великое множество организмов — от мелких планктонных рачков до громадных китов. Однако развитие фитопланктона ограничивается не только недостатком света, но и нехваткой некоторых необходимых для его роста химических элементов. И если углерода (в виде CO_2) в воде обычно бывает с избытком, то азота и фосфора в минеральной (то есть пригодной для использования водорослями и цианобактериями форме) в поверхностных водах нередко не хватает. В глубинных водах азота и фосфора содержится гораздо больше, а там, где они поднимаются к поверхности, например в районах апвеллинга (upwelling), наблюдается высокая продукция фитопланктона.

То, что крупные животные своим движением способствуют перемешиванию водной толщи, не вызывало сомнений (см., например, о нырянии кашалотов — Кашалот добывает пищу щелканьем и жужжанием, «Элементы», 10.05.2006). Но то, что заметный вклад в этот процесс могут вносить планктонные ракообразные, казалось маловероятным, хотя и в морях, и в озерах эти мелкие животные ежесу-



Общий вид бухты Саанич (пролив Джорджия, юго-западная часть Канады), где изучалось влияние планктонных рачков на интенсивность турбулентного перемешивания

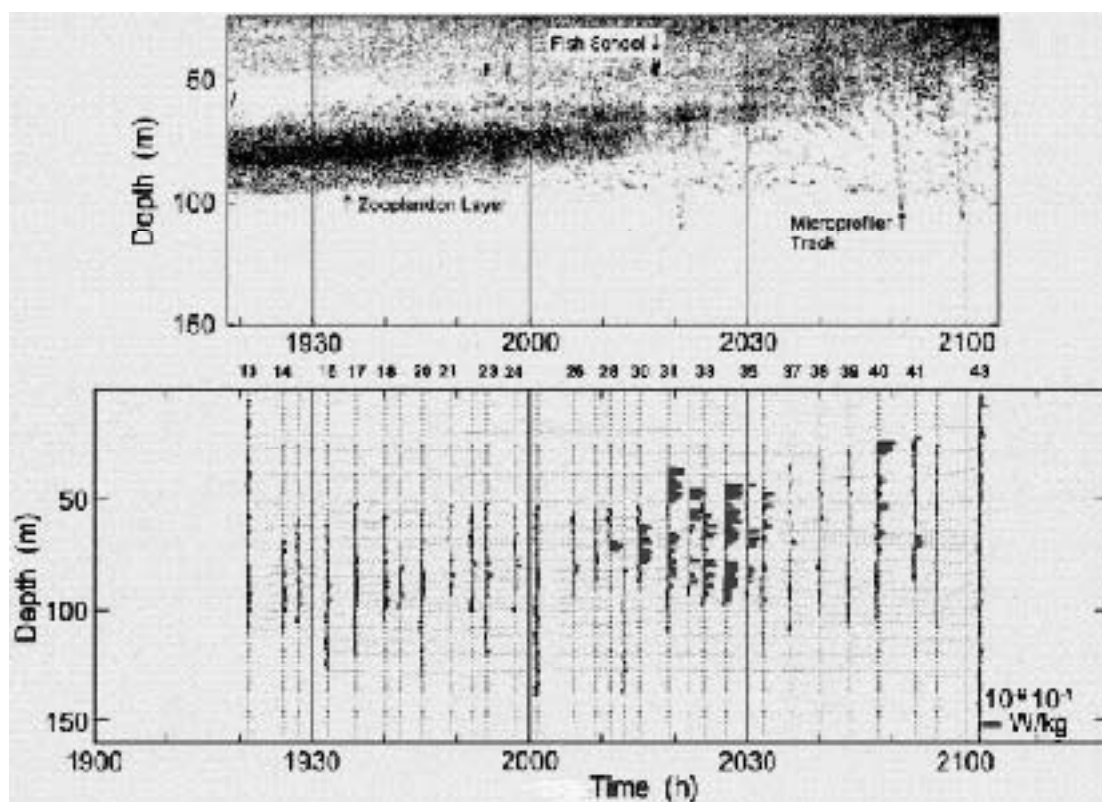
точно совершают вертикальные миграции — поднимаются к поверхности ночью (в темное время суток) и опускаются в более глубокие слои воды днем (в светлое время суток). Смысл подобных миграций планктонных животных в том, чтобы оказаться в тех слоях водной толщи, где много пищи (фитопланктона), но только в то время суток, когда это безопасно, когда невелики шансы самим стать жертвами хищников — мелких рыб. Поскольку рыбы в процессе охоты на зоопланктон полагаются прежде всего на зрение, наиболее безопасное для зоопланктона время — это темные ночные часы. Самым планктонным животным свет для питания не нужен. С равным успехом они отфильтровывают фитопланктон и в полной темноте.

Значимость вертикальных миграций планктонных ракообразных для усиления турбулентного перемешивания показал недавно Эрик Кунзе (Eric Kunze) со своими коллегами из Школы наук о земле и океане при Университете Виктории (Британская Колумбия, Канада). Работа, опубликованная в одном из последних номеров журнала Science, суммирует результаты исследований, проведенных на юго-западе Канады в бухте Саанич (Saanich Inlet), отходящей от пролива Джорджия (он отделяет остров Ванкувер от города Ванкувер). Сама бухта довольно глубокая (240 м), но от моря ее отгораживает узкое горло с мелководьем. Поэтому толща воды в бухте очень плохо перемешивается, а ниже глубины 100 м простирается анаэробная (лишенная кислорода) зона. В зоопланктоне, который встречается только в верх-

них 100 метрах водной толщи, доминируют крупные (длиной 0,5–2 см) рачки из семейства эуфазиид *Euphasia pacifica*, известные широкой публике под названием «криль». Днем они держатся на глубине 70–80 м — над анаэробной зоной, но с наступлением сумерек поднимаются к поверхности, где находится основная масса их пищи — фитопланктон.

Используя эхолоты, а также датчики, измеряющие интенсивность турбулентности, Кунзе с коллегами показал, что при вечернем подъеме и утреннем опускании рачков в течение 10–15 минут интенсивность турбулентности на некоторых глубинах возрастает в 100–1000 раз. Задача будущих исследований — рассчитать тот вклад, который вносит вызванное рачками перемешивание слоев в увеличение продукции фитопланктона. Однако не следует думать, что рачки специально совершают миграции ради увеличения своей кормовой базы. Всё же это только побочное следствие их поведения, направленного на то, чтобы обеспечить себя пищей и не стать при этом добычей рыб. Необходимо также иметь в виду, что эуфазииды — довольно крупные рачки. Эффект от миграций веслоногих ракообразных (представителей отряда Соропода), распространенных более широко и достигающих более высокой численности, видимо, гораздо слабее в силу их небольших размеров.

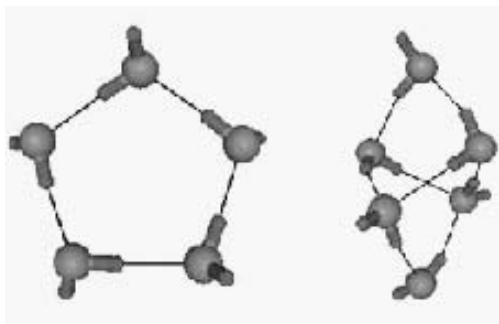
Источник: Eric Kunze, John F. Dower, Ian Beveridge, Richard Dewey, Kevin P. Bartlett. Observations of biologically generated turbulence in a coastal inlet // Science. 2006. V. 313. P. 1768–1770



Подъем зоопланктона к поверхности в вечернее время, по данным съемки эхолота (верхняя панель), и интенсивность турбулентного перемешивания (нижняя панель). Красные столбики — резкое повышение турбулентности, связанное с прохождением через данные слои скопления рачков. Рис. из статьи Eric Kunze et al.

ПРОДОЛЖАЕТСЯ ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ ВОДЫ

И. Иванов



Молекулы воды могут объединяться в небольшие группы — кластеры. Их жизнь быстротечна, и потому они с трудом поддаются изучению. Только недавно выяснилось, что водные кластеры обладают большими электрическими дипольными моментами.

Тонкий эксперимент однозначно доказал, что кластеры воды обладают большими электрическими дипольными моментами. Попутно выяснилось, что отдельные кластеры не замерзают даже при минус 150 градусах Цельсия. Структура воды становится еще более интересной, чем считалось ранее.

Несмотря на простую химическую формулу, вода — вещество с очень нетривиальными свойствами. Причина этого в том, что молекулы воды связаны друг с другом водородными связями. В жидком состоянии вода представляет собой не просто мешанину молекул, а сложную и динамически меняющуюся сеть из водных кластеров. Каждый отдельный кластер живет очень небольшое время, однако именно поведение кластеров влияет на структуру воды.

Свойства и динамика водных кластеров (H_2O)_n — предмет активных исследований. В отличие от металлических кластеров с их фиксированной пространственной структурой, водные кластеры размером от нескольких единиц до нескольких десятков молекул даже при температурах ниже комнатной остаются жидкими: у таких кластеров есть много равноправных форм, между которыми они непрерывно перескакивают.

Такая особенность водных кластеров отражается и на их электрических свойствах. Как известно уже более полувека, молекула воды — полярна. Положительные и отрицательные заряды в ней слегка смещены друг относительно друга, и в результате она обладает довольно большим дипольным моментом и создает вокруг себя электрическое поле. Если взять очень много молекул (например, стакан воды), то дипольные моменты отдельных молекул скомпенсируются, и суммарное электрическое поле исчезнет, в чём нас убеждает и повседневный опыт. При каком именно числе молекул происходит этот переход? Обладают ли сами кластеры дипольными моментами?

До сих пор четких ответов на эти вопросы не было. Экспериментальные данные, полученные за последние 20 лет, противоречили друг другу. Главное препятствие заключалось в том, что во всех этих экспериментах изучались кластеры в толще воды, в их непосредственной «среде обитания». «Вытащить» же отдельный кластер и изучить его электрические свойства до сих пор не удавалось.

Эксперименты, проведенные исследовательской группой из Университета Южной Калифорнии, положили конец разногласиям. Их результаты, опубликованные в недавней статье R. Moro et al., *Physical Review Letters*, 97, 123401 (18 September 2006), доказали, что кластеры, содержащие от 3 до 18 молекул воды, тоже обладают большим дипольным моментом.

Впечатляет эксперимент, позволивший прийти к такому выводу. Герметичный сосуд с водой помещался в вакуумную камеру и из него через очень узкое отверстие вода испарялась наружу, в вакуум. Отверстие имело форму миниатюрного реактивного сопла, и, выходя через него, струйка пара разгонялась до сверхзвуковой скорости. Такая схема испарения, избегающая нагрева, позволяет получить пар, состоящий не только из отдельных молекул воды, но и из разнообразных водных кластеров. Струйка пара проходила через камеру метровой длины с неоднородным электрическим полем, слегка отклонялась в электрическом поле, а затем попадала в масс-спектрограф, который расщеплял ее на несколько отдельных пучков в соответствии с количеством молекул в кластере. По отклонению струйки в электрическом поле и измерялся дипольный момент кластеров.

Непосредственное измерение дипольного момента кластеров разного размера уже само по себе имеет большое значение для понимания структуры воды. Действительно, получается, что когда кластеры воды «складываются» в сплошную среду, они чувствуют друг друга не только через непосредственный контакт, но и через электрическое взаимодействие диполей. Однако эксперимент калифорнийских физиков позволил определить не только это.

Во-первых, данные свидетельствуют о том, что крупные кластеры (содержащие больше восьми молекул) электрически более упорядочены, чем маленькие. Этот любопытный переход никем не был предсказан, и как его интерпретировать — пока не известно. Во-вторых, экспериментаторам удалось провести опыты в двух разных температурных режимах: когда температура внутри кластеров была

около 200 К (-70°C) и около 120 К (-150°C). Некоторые теоретические расчеты предсказывали, что при таких температурах водные кластеры должны уже замерзнуть, что сильно изменило бы зависимость дипольного момента от количества молекул. В эксперименте, однако, подобное изменение свойств не обнаружилось, из-за чего приходится делать вывод, что и при таких температурах кластеры остаются жидкими.

Это исследование лишний раз доказало, что система, состоящая из очень простых элементов, — например, вода — может обладать очень нетривиальными свойствами. Для детального понимания структуры и динамики воды требуются новые эксперименты и новые теоретические исследования. Остается лишь сожалеть, что именно нетривиальные свойства воды стали пищей для псевдонаучных спекуляций, доходящих порой до абсурда.

рекорды промышленности

ПРИЛИВНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

Первой в мире крупной приливной электростанцией является «Юзин маремотрис де ля Ранс». Она была официально открыта 26 ноября 1966 г. в устье реки Ране, залив Сен-Мало, провинция Бретань, Франция. Строительство объекта стоило 420 млн франков и длилось 5 лет. Годовая мощность ПЭС — 544 млн кВт•ч. На 804-метровой плотине установлены 24 турбогенератора.

Реализация экспериментального проекта «Аннаполис ривер» (строительство приливной электростанции стоимостью 46 млн долл. для залива Фанди, штат Мэн, США) началась в 1981 г.

САМЫЙ БОЛЬШОЙ БОЙЛЕР

Самый большой бойлер мощностью 1330 МВт и паропроизводительностью 4232 тыс. кг пара в час был заказан у американской компании «Бабкок энд Уилкокс».

САМЫЙ БОЛЬШОЙ ГЕНЕРАТОР

Самый большой действующий турбогенератор (1450 МВт) установлен на Игналинской атомной электростанции в Литве, СССР. В настоящее время в Великобритании и США находятся в стадии проектирования генераторы мощностью до 2 тыс. МВт.

САМЫЕ КРУПНЫЕ ТУРБИНЫ

Самыми большими гидравлическими турбинами являются турбины, рассчитанные на мощность 815 тыс. кВт (соответствует 1,1 млн л. с.), диаметром 9,7 м, весом ротора 407 т и весом вала 317,5 т. Эти турбины установлены компанией «Аллис Чалмерс» на ГЭС в Гранд-Кули, штат Вашингтон, США.

Крупнейшая паровая турбина типа GT 13E мощностью 140 МВт разработана фирмой «БЭС Браун Бовери». Первая турбина в настоящее время монтируется в Голландии для увеличения мощности тепловой электростанции (мощность — 500 МВт) «Хемвег-7» более чем на 46 %.

АККУМУЛЯТОРЫ

Крупнейший. 10-мегаватный свинцовый (кислотный) аккумулятор в Чайно, штат Калифорния, США, имеет проектную емкость в 40 МВт•ч. Он будет использоваться в качестве электрической подстанции для компенсации пиковых нагрузок. Этот проект стоимостью 13 млн долл. осуществляется совместно с компанией «Сазерн Калифорния Эдисон» Научно-исследовательским институтом электроэнергии и Международной организацией по изучению свинца и цинка.

Самый долговечный. Батареи из сухих серно-цинковых элементов, изготовленные в Лондоне в 1840 г. Уотлином и Хиллом, до настоящего времени продолжают питать электрический звонок в Кларендонской лаборатории в Оксфорде.

КРУПНЕЙШИЕ ПЕРЕБОИ В ПОДАЧЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Крупнейший в истории выход из строя энергосети произошел 9.10 ноября 1965 г. в северо-восточных штатах США, а также в провинции Онтарио в Канаде. Около 30 млн человек на территории 207 200 км² оказались в полной темноте. Только 2 человека погибли. В Нью-Йорке энергия отключилась в 17 ч. 27 мин. и была частично восстановлена за 13,5 ч. 13 июля 1977 г. материальные потери Нью-Йорка, включая грабежи, в результате 52-минутного отключения энергии составили 1 млрд долл.

ВЕТРЯНЫЕ МЕЛЬНИЦЫ

Первое упоминание о ветряных мельницах, используемых в Иране для измельчения зерна, относится к VII в. н. э. Старейшая ветряная мельница находится в Нидерландах и расположена в Зеддаме, Геддерланд. Она построена приблизительно в 1450 г.

Самый большой размах лопастей. Мельница «Дийкполдер» в Маасланде, Нидерланды, построенная в 1718 г., имеет размах лопастей в 29 м.

Самая высокая в Европе. Высота ветряной мельницы «Де-Норд» в Схидаме, Нидерланды, составляет 33,33 м.

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ВОДНЫХ ОТНОШЕНИЙ

А.Н. Шпагина,
канд. экон. наук ВИЭМС МПР России

Комментарий к Водному кодексу РФ
от 03.06.2006 № 74-ФЗ

В соответствии с новой редакцией Водного кодекса РФ экономический механизм водных отношений, основой которого является платное водопользование, будет регулироваться ст. 20 «Плата за пользование водными объектами», в которой сказано:

1. Договором водопользования предусматривается плата за пользование водным объектом или его частью.

2. Плата за пользование водными объектами устанавливается на основе следующих принципов:

1) стимулирование экономного использования водных ресурсов, а также охраны водных объектов;

2) дифференциация ставок платы за пользование водными объектами в зависимости от речного бассейна;

3) равномерность поступления платы за пользование водными объектами в течение календарного года.

3. Ставки платы за пользование водными объектами, находящимися в федеральной собственности, собственности субъектов Российской Федерации, собственности муниципальных образований, порядок расчета и взимания такой платы устанавливаются соответственно Правительством Российской Федерации, органами государственной власти субъектов Российской Федерации, органами местного самоуправления.

С 2007 г., когда вступит в действие новая редакция Водного кодекса РФ (ВК РФ), предусматриваются договорные отношения при пользовании водными объектами в соответствии с гл. 28, 34 Гражданского кодекса РФ. При этом, как видно из ст. 20 ВК РФ, плата устанавливается за те виды пользования водными объектами, по которым заключаются договора водопользования.

В соответствии с п. 1 ст. 11 ВК РФ на основании договоров водопользования водные объекты предоставляются в пользование для:

- забора (изъятия) водных ресурсов из поверхностных водных объектов;

- использования акватории водных объектов, в том числе для рекреационных целей;

- использования водных объектов без забора (изъятия) водных ресурсов для целей производства электрической энергии.

Пользование водными объектами, предоставляемое на основании решения или предоставляемое без договора и решения, в соответствии с новой редакцией ВК РФ оплате не подлежит (п. 1 ст. 20), ввиду того что плата за пользование водным объектом или его частью предусматривается только договором водопользования.

Исходя из сказанного, в соответствии с п. 2, 3 ст. не подлежат оплате такие виды водопользования, при которых водный объект используется для:

- сброса сточных и (или) дренажных вод;

- размещения причалов, судоподъемных и судоремонтных сооружений;

- размещения стационарных и (или) плавучих платформ и искусственных островов;

- размещения и строительства гидротехнических сооружений (в том числе мелиоративных систем), мостов, подводных и подземных переходов, а также трубопроводов, подводных линий связи, других линейных объектов, подводных коммуникаций;

- разведки и добычи полезных ископаемых;

- проведения дноуглубительных, взрывных, буровых и других работ, связанных с изменением дна и берегов водных объектов;

- подъема затонувших судов;

- сплава леса в плотках и с применением кошелей;
- забора (изъятия) водных ресурсов для орошения земель сельскохозяйственного назначения (в том числе лугов и пастбищ);
- забора (изъятия) из подземного водного объекта водных ресурсов;
- забора (изъятия) водных ресурсов судами в целях обеспечения работы судовых механизмов, устройств и технических средств;
- воспроизводства водных биологических ресурсов;
- рыболовства, рыбоводства, охоты;
- разведки и добычи полезных ископаемых, размещения и строительства трубопроводов, дорог и линий электропередачи на болотах, за исключением болот, отнесенных к водно-болотным угодьям, а также болот, расположенных в поймах рек;
- полива садовых, огородных, дачных земельных участков, ведения личного подсобного хозяйства, а также водопоя, проведения работ по уходу за сельскохозяйственными животными.

В соответствии с подп. 4 п. 1 ст. 13 в договоре водопользования указываются размер платы за пользование водным объектом или его частью, а также условия и сроки внесения данной платы.

Договором водопользования будут установлены штрафы за превышение объема забора воды, установленного договором, и за несвоевременное внесение платы за пользование водным объектом.

Так, ст. 18 новой редакции ВК РФ предусмотрено, что «несвоевременное внесение водопользователем платы за пользование водным объектом влечет за собой уплату пеней в размере одной стопятидесятой действующей на день уплаты пеней ставки рефинансирования Центрального банка Российской Федерации, но не более чем в размере двух десятых процента за каждый день просрочки. Пена начисляется за каждый календарный день просрочки исполнения обязанности по внесению водопользователем платы за пользование водным объектом, начиная со следу-

ющего за определенным в договоре водопользования днем внесения платы за пользование водным объектом».

«За забор (изъятие) водных ресурсов в объеме, превышающем установленный договором водопользования объем забора (изъятия) водных ресурсов, водопользователь обязан уплатить штраф в пятикратном размере ставки платы за пользование водным объектом».

Водным кодексом РФ (подп. 15 ст. 3) установлено экономическое стимулирование охраны водных объектов: при определении платы за пользование водными объектами учитываются расходы водопользователей на мероприятия по охране водных объектов. Экономическое стимулирование водопользователей будет осуществляться в порядке, установленном Министерством природных ресурсов Российской Федерации.

В соответствии с п. 2 ст. 13 Федерального закона «О введении в действие Водного кодекса Российской Федерации» от 03.06.2006 № 73-ФЗ «не признаются налогоплательщиками организации и физические лица, осуществляющие водопользование на основании договоров водопользования или решений о предоставлении водных объектов в пользование, соответственно заключенных и принятых после введения в действие Водного кодекса Российской Федерации». Отсюда следует, что в 2007 г., а может быть и далее, пока со всеми водопользователями не будут заключены договора водопользования, будут действовать и водный налог, и плата за пользование водными объектами.

Администратором платы за пользование водными объектами в соответствии с Федеральным законом «О бюджетной классификации Российской Федерации» от 15.08.1996 № 115-ФЗ является Федеральное агентство водных ресурсов.

В настоящее время для реализации п. 3 ст. 20 ВК РФ в Министерстве природных ресурсов Российской Федерации разрабатывается проект постановления Правительства РФ об утверждении ставок платы за пользование водными объектами и об утверждении порядка расчета и взимания такой платы.

рекорды промышленности

ВЕТРЯНОЙ ГЕНЕРАТОР

Самый мощный в мире ветряной генератор — это турбина мощностью 3000 кВт и высотой 150 м — построен компанией «Гроссе виндэнерджи-анлаге» в 1982 г. на Фрисландском побережье Западной Германии. 10 ноября 1987 г. вступил в строй сооруженный компанией «Тейлор Вудроу» в Бергар-Хилл, Великобритания, ветродвигатель LS-1 стоимостью 12 млн ф. ст. Его мощность — 3000 кВт, длина лопастей — 60 м, он производит 9 млн кВт•ч в год, что достаточно для обеспечения электроэнергией 2 тыс. домов. В марте 1984 г. началось сооружение установки GEC MOD-5A на северном побережье острова Оаху, Гавайи. Стоимость установки — 14,2 млн долл., мощность — 7300 кВт при скорости ветра 51,5 км/ч. Размер роторов — 122 м.

МЕСТОРОЖДЕНИЕ ГАЗА

Крупнейшее в мире газовое (метановое) месторождение открыто в 1966 г. и находится в Уренгое, Тюменская обл., СССР. В год оно дает 261,6 млрд м³ газа. Объем начальных разведанных запасов оценивается в 7 трлн м³. Триллионный (1012) кубический метр метана был получен 23 апреля 1986 г.

ПОЖАРЫ НА ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Самым крупным был пожар в Гасси-Туиль, алжирская Сахара, продолжавшийся с полудня 13 ноября 1961 г. до 9:30 утра 28 апреля 1962 г. Столб пламени поднялся на 137 м, дым достигал высоты 182 м. Пожар был в конце концов потушен Полем Адэром (род. в 1932 г.) из Хьюстона, штат Техас, США, использовавшим направленный взрыв 245 кг динамита. Ему компенсировали все расходы и назначили вознаграждение в 1 млн долл.

УДК 663.6:006.354 Н08
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОДА ПИТЬЕВАЯ. ОТБОР ПРОБ

DRINKING WATER. SAMPLING

ОКП 01 3100
ОКС 13.060.20

Дата введения: 2001.07.01

ПРЕДИСЛОВИЕ

- 1 **Разработан** Техническим комитетом по стандартизации ТК 343 «Качество воды».
- Внесен** Управлением продукции сельскохозяйственного производства, пищевой, легкой и химической промышленности Госстандарта России.
- 2 **Принят и введен в действие** Постановлением Госстандарта России от 21 апреля 2000 г. № 118-ст.
- 3 Разделы 1, 4–7 настоящего стандарта учитывают требования ИСО 5667-5–91 «Качество воды. Отбор проб. Часть 5. Руководство по отбору проб питьевой воды и воды, используемой в технологии производства пищевых продуктов и напитков».
- 4 **Введен впервые.**

1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящий стандарт устанавливает требования к отбору проб питьевой воды, производимой и подаваемой централизованными системами питьевого водоснабжения и предназначенной для потребления в питьевых и бытовых целях, в том числе используемой для производства пищевых продуктов и напитков (далее — вода), которыми следует руководствоваться при разработке программ и методов отбора проб, подготовке проб к определению состава и свойств и при транспортировании и хранении.

Настоящий стандарт применяют при оценке стабильности технологических процессов водоподготовки, контроле отдельных операций технологических процессов водоподготовки, оценке качества воды перед поступлением в распределительную сеть, в распределительной сети, в том числе внутренних водопроводных сетях домов, поиске причин загрязнения сетей.

Требования настоящего стандарта могут быть использованы при контроле загрязнения воды продуктами коррозии; оценке влияния материалов, контактирующих с водой, на качество воды; контроле качества воды, проводимом на различных стадиях технологических процессов производства пищевых продуктов и напитков.

Настоящий стандарт не распространяется на отбор проб воды из подземных водоисточников, поверхностных водоемов и водотоков, а также родников.

Требования к отбору проб включают составной частью в рабочие программы производственного контроля качества воды.

2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

- ГОСТ 18963—73 Вода питьевая. Методы санитарно-бактериологического анализа.
ГОСТ 23268.0—91 Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Правила приемки и методы отбора проб.
ГОСТ Р 51232—98 Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества.
ГОСТ Р 51592—2000 Вода. Общие требования к отбору проб.

3 ТРЕБОВАНИЯ К ОБОРУДОВАНИЮ ДЛЯ ОТБОРА ПРОБ

Общие требования к оборудованию для отбора проб и материалам, применяемым для конструирования составных частей оборудования, контактирующих с пробой воды, должны соответствовать ГОСТ Р 51592, ГОСТ 18963.

Общие требования к подготовке емкостей (устройств) для отбора проб должны соответствовать ГОСТ Р 51592, ГОСТ 18963.

4 ТРЕБОВАНИЯ К ОТБОРУ ПРОБ

4.1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Место и время отбора проб определяют в зависимости от цели анализа в наиболее характерных точках системы водоснабжения: перед поступлением воды в распределительную сеть, наиболее удаленных от насосной станции, на возвышенных и тупиковых участках сети, а также в точках, в которых качество воды вызывает сомнение.

Пробы воды распределительной сети отбирают в периоды наибольшего расхода воды.

Требования к выбору места отбора проб и обеспечению представительности отбора проб должны соответствовать ГОСТ Р 51232 [1].

Перед отбором проб, в соответствии с программой отбора проб, определяют номенклатуру показателей (характеристик) состава и свойств воды, которые подлежат анализу незамедлительно после отбора проб на месте отбора. Показатели (характеристики), подлежащие анализу на месте отбора проб, должны быть указаны в нормативных документах (НД) на метод определения показателя.

Методы отбора, подготовки к определению состава и свойств, транспортированию и хранению проб воды должны обеспечивать неизменность состава проб в интервале времени между отбором проб и их анализом.

При отборе проб в одной и той же точке для различных целей первыми отбирают пробы для бактериологического анализа.

4.1.1 Отбор проб из резервуара

Отбор проб воды из резервуара перед поступлением в распределительную сеть проводят через специальные пробоотборники из кранов на водоводах, по которым осуществляется подача воды из резервуара.

Пробы отбирают в местах, размещенных как можно ближе к резервуару. Перед отбором проб следует не менее 10 мин. сливать застоявшуюся воду. В технически обоснованных случаях следует определить объем воды, который необходимо слить перед отбором пробы, определив (приблизительно) необходимое для этого время истечения объема воды при существующем расходе, и затем установить время, равное пятикратному времени истечения этого объема.

4.1.2 Отбор проб при контроле стабильности технологических процессов водоподготовки

Для контроля различных стадий водоподготовки отбор проб следует проводить до и после соответствующей стадии (например, коагуляции, фильтрования). Отбор проб для контроля качества воды на различных стадиях водоподготовки (в том числе на входе и выходе из водоочистных устройств) проводят в соответствии с технологическим регламентом на процесс водоподготовки.

4.1.3 Отбор проб при контроле обеззараживания

Пробы воды, поступающей на обеззараживание, следует отбирать из крана на водоводе, расположенном на входе в установку обеззараживания. Пробы воды, выходящей из установки по обеззараживанию, отбирают на выходе из установки по истечении установленной в НД продолжительности контакта воды и обеззараживающего вещества. Допускается (в технически обоснованных случаях) для оценки стабильности процесса обеззараживания воды отбирать пробы обработанной воды из распределительной сети или непосредственно из обеззараживающей установки. При этом способ отбора проб должен исключать возможность внесения загрязняющих компонентов в воду; используемое оборудование перед отбором проб должно быть простерилизовано.

4.1.4 Отбор проб из распределительной сети

Отбор проб из распределительной сети проводят из уличных водоразборных устройств на основных магистральных линиях, на наиболее возвышенных и тупиковых ее участках, а также из кранов внутренних водопроводных сетей, гидрантов.

Пробы отбирают в различных местах распределительной сети на входах перед поступлением воды потребителю. При отборе проб из гидрантов поверхности гидранта, которые контактируют с водой, следует очистить, продезинфицировать, многократно ополоснуть исследуемой водой, чтобы исключить наличие дезинфектанта в пробе.

Точку отбора проб и ее расположение устанавливают в зависимости от указанной в программе цели.

Если целью отбора проб является оценка влияния материалов, контактирующих с водой, на качество воды или оценка оброста материалов микроорганизмами, то пробы следует брать из первой порции слива воды.

Длина водовода, подводящего воду к крану отбора проб, должна быть как можно короче.

Для получения представительной пробы необходимо отбирать воду в точке, где исследуемые компоненты распределены равномерно. Для этого пробу отбирают из систем с перемешивающимся потоком на расстоянии, максимально удаленном от различных препятствий, таких как изгибы или задвижки. Отбирать пробу следует на прямом участке трубопровода.

При необходимости отбора проб из тупиковых участков трубопровода время слива застоявшейся воды может достигать 30 мин.

При отборе проб не допускается взмучивание осадка.

4.1.5 Отбор проб воды из крана потребителя

Отбор проб воды проводят на выходе из кранов внутренних водопроводных сетей домов.

При отборе проб из крана потребителя время слива воды перед отбором проб зависит от цели отбора проб. Если целью отбора проб является оценка влияния материалов, контактирующих с водой, на качество воды, то пробы следует отбирать без предварительного слива воды. Для других целей для установления условий равновесия перед отбором проб достаточно 2–3 мин. слива воды. При отборе проб для определения микробиологических показателей металлические краны следует предварительно простерилизовать путем обжига, а пластмассовые краны следует продезинфици-

ровать, как указано в 4.1.4, и произвести спуск воды продолжительностью не менее 10 мин. при полностью открытом кране.

4.1.6 Отбор проб воды, расфасованной в емкости, а также разлитой в большие контейнеры, предназначенные для хранения в поездах, самолетах, судах

Отбор проб воды, расфасованной в емкости, проводят по ГОСТ 23268.0.

Отбор проб воды из контейнеров проводят в соответствии с требованиями 4.1.1.

4.1.7 Отбор проб воды, используемой для приготовления пищевых продуктов и напитков

В технологических процессах производства пищевых продуктов и напитков, включающих одну или несколько установок для водоподготовки, обеспечивающих ряд специальных требований к воде (например, умягчение), должна быть предусмотрена возможность отбора проб воды до и после каждой стадии водоподготовки.

Отбор проб проводят в соответствии с требованиями 4.1.2.

4.2 ПЕРИОДИЧНОСТЬ И ЧАСТОТА ОТБОРА ПРОБ

Периодичность и частоту отбора проб воды устанавливают в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51232 [1], в зависимости от цели отбора проб и следующих факторов:

- числа обслуживаемых потребителей;
- объема распределяемой воды;
- качества необработанной воды;
- выявленных отклонений от качества необработанной воды;
- наличия выявленного содержания загрязняющих компонентов, опасных для здоровья;
- способа очистки воды;
- сложности и специфических особенностей распределительной системы;
- особенностей определяемых показателей.

4.3 СТАТИСТИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ ДАННЫХ ПО ОТБОРУ ПРОБ ПРОВОДЯТ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ГОСТ Р 51592

5 ОТБОР ПРОБ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВИДА ПРОВОДИМОГО АНАЛИЗА

5.1 ОТБОР ПРОБ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ХИМИКО-АНАЛИТИЧЕСКОГО И РАДИОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Пробы отбирают в емкости, изготовленные из химически стойкого стекла с притертыми пробками или из полимерных материалов, разрешенных для контакта с водой. Допускается использовать корковые или полиэтиленовые пробки.

Пробы, предназначенные для определения содержания органических веществ в воде, отбирают только в стеклянные емкости.

Требования к подготовке емкостей для отбора проб должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 51592 и стандартам на метод определения показателя.

Перед отбором пробы емкости для отбора проб не менее двух раз ополаскивают водой, подлежащей анализу, и заполняют ею емкость до верха. При отборе проб, подлежащих хранению, перед закрытием емкости пробкой верхний слой воды сливают так, чтобы под пробкой оставался слой воздуха и при транспортировании пробка не смачивалась.

Для определения в пробе кислорода или других растворенных газов при отборе проб необходимо использовать шланг, прикрепленный к крану или выходному отверстию насоса и достигающий дна емкости с пробой, чтобы избежать контакта пробы воды с атмосферным воздухом. Вода должна медленно течь в емкость через шланг.

Для получения представительных проб необходимо руководствоваться требованиями 4.1.4.

Вода должна быть подвергнута анализу в день отбора пробы. Если это невозможно, отобранную пробу охлаждают и (или) консервируют.

Требования к консервации и хранению проб должны соответствовать установленным в ГОСТ Р 51592 и стандартах на метод определения показателя.

5.2 ОТБОР ПРОБ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПАРАЗИТОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ

При необходимости проведения паразитологического контроля качества воды отбирают не менее 50 дм³ воды.

Отбор проб проводят в чистые (желательно стерильные) емкости с плотно закрывающимися крышками. Большие емкости — молочные фляги, металлические ведра и т. п. должны быть предварительно простерилизованы путем обжига их внутренней поверхности.

Для облегчения транспортирования больших объемов воды для анализа в паразитологическую лабораторию пробы могут быть отфильтрованы на месте отбора или в лаборатории водопроводной станции с целью концентрирования материала пробы. Перед фильтрованием фильтры кипятят в дистиллированной воде не менее 10 мин. После филь-

трования фильтры помещают в емкость с широким горлом, добавляют 10–15 см³ исходной воды, закрывают завинчивающейся или притертой крышкой, маркируют, указывая дату, место отбора, количество профильтрованной воды, и транспортируют в соответствующую лабораторию для исследования. Анализ проб, по возможности, проводят в день отбора проб.

Пробы, не прошедшие фильтрацию, хранят при 15–20 °С не более 2 сут. Пробы, прошедшие фильтрацию, хранят при 4 °С не более 1 сут.

Если нет необходимости определения жизнеспособности цист кишечных простейших и яиц гельминтов, пробу хранят не более 3–4 сут. после добавления в нее формалина с таким расчетом, чтобы концентрация формалина в суспензии составляла 2 %.

Транспортирование проб осуществляют в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51592.

5.3 ОТБОР ПРОБ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Пробу отбирают непосредственно из пробоотборного крана. Не допускается использовать шланги, водораспределительные сетки, насадки и т. п.

При отборе проб вода должна свободно вытекать из пробоотборного крана и заполнять емкость для отбора проб струей.

Для предотвращения вторичного загрязнения пробы воды пробоотборный кран стерилизуют путем обжига.

Перед отбором проб воду из простерилизованного крана сливают не менее 10 мин. при полностью открытом кране. При отборе пробы напор воды может быть уменьшен.

Для отбора проб используют стеклянные емкости с широким горлом вместимостью не менее 300 см³ с плотно закрывающимися пробками на шлифе или с завинчивающимися крышками (стеклянными, силиконовыми или из других материалов, не оказывающих влияние на жизнедеятельность микроорганизмов) с защитными колпачками (из алюминиевой фольги, плотной бумаги). Стерилизацию емкостей для отбора проб проводят в соответствии с ГОСТ Р 51592.

Допускается использовать одноразовые стерильные емкости.

Пробу отбирают в емкости с соблюдением стерильности. Емкость открывают непосредственно перед отбором пробы, удаляя пробку вместе со стерильным колпачком. Во время отбора пробы следует избегать загрязнения горловины емкости и пробки. Ополаскивать емкости не допускается.

Если через пробоотборный кран происходит постоянный излив воды, отбор проб проводят без предварительной стерилизации крана, не изменяя напора воды и существующей конструкции крана.

Если отбирают воду после обеззараживания ее химическими веществами, то для нейтрализации остаточного количества дезинфектанта в емкость, предназначенную для отбора проб, вносят до стерилизации серноватистокислый натрий в виде кристаллов или концентрированного раствора из расчета 10 мг на 500 см³ воды.

После наполнения емкость закрывают стерильной пробкой и колпачком.

При заполнении емкостей должно оставаться пространство между пробкой и поверхностью воды, чтобы пробка не смачивалась при транспортировании.

Анализ проб в лаборатории необходимо провести как можно быстрее от момента отбора.

Транспортируют пробы в контейнерах-холодильниках при 4–10 °С. В холодный период года контейнеры должны быть снабжены термоизолирующими прокладками, обеспечивающими предохранение проб от промерзания. При соблюдении указанных условий продолжительность от момента отбора проб до начала испытаний не должна превышать 6 ч.

Если пробы нельзя охладить, их анализ следует провести в течение 2 ч. после отбора.

Пробы должны транспортироваться в специально продезинфицированных контейнерах.

5.4 ОТБОР ПРОБ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ВИРУСОВ

Конкретные требования к отбору проб и (или) способам концентрирования вирусов в пробе устанавливают в соответствии с НД на методы определения вирусов в воде.

5.5 ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕДУРЫ ОТБОРА ПРОБ ПО 5.1–5.4 УСТАНАВЛИВАЮТ В НД НА МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ; ВСЕ ОТСТУПЛЕНИЯ ОТ ПРОЦЕДУРЫ ДОЛЖНЫ БЫТЬ УКАЗАНЫ В АКТЕ ОБ ОТБОРЕ ПРОБ.

6 ТРЕБОВАНИЯ К ОБЪЕМУ ПРОБ, ПОДГОТОВКЕ ИХ К ТРАНСПОРТИРОВАНИЮ И ХРАНЕНИЮ

6.1 ОБЪЕМ ПРОБЫ

Объем пробы устанавливают в зависимости от числа определяемых показателей и вида анализа в соответствии с НД на метод определения показателя.

6.2 ПОДГОТОВКА ПРОБ К ТРАНСПОРТИРОВАНИЮ И ХРАНЕНИЮ

Для сведения к минимуму изменений состава проб воды в течение времени, необходимого на отбор, подготовку, упаковку, транспортирование и хранение проб, эти процедуры следует выполнять в возможно короткий промежуток времени.

Если контакта пробы с воздухом следует избегать, емкость следует заполнить водой полностью и затем немедленно герметично закрыть.

Если пробу требуется энергично перемешать, прежде чем взять порцию для анализов, емкость не следует заполнять полностью.

Если проба подлежит фильтрованию сразу же после ее отбора (чтобы предотвратить любые возможные изменения в составе пробы), используют методы фильтрования, которые должны соответствовать НД на метод определения показателя. При этом следует избегать загрязнения горловины емкости и пробки.

В случае консервации проб воды в протоколе испытаний делается отметка о способе консервации.

Для доставки в лабораторию емкости с пробами упаковывают в тару, обеспечивающую их сохранность и предохраняющую от резких перепадов температур.

Упаковка отобранных проб должна соответствовать условиям транспортирования.

Требования к упаковке пробы воды должны соответствовать ГОСТ Р 51592 и НД на метод определения показателя.

Условия хранения должны исключать воздействие света и повышенных температур на пробы воды. Не допускается совместное хранение проб воды и химических веществ.

Условия и сроки хранения проб должны соответствовать ГОСТ Р 51592 и НД на метод определения показателя. О длительности хранения проб воды делается отметка в протоколе анализа.

7 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ОТБОРА ПРОБ

7.1 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ОТБОРА ПРОБ ДОЛЖНЫ СООТВЕТСТВОВАТЬ ГОСТ Р 51592.

7.2 СВЕДЕНИЯ, КОТОРЫЕ ДОЛЖНЫ БЫТЬ УКАЗАНЫ В АКТЕ ОБ ОТБОРЕ ПРОБ, ПРИВЕДЕНЫ В ПРИЛОЖЕНИИ А.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(рекомендуемое)

Сведения, которые должны быть указаны в акте об отборе проб

В акте об отборе проб должны быть указаны следующие сведения:

Цель отбора проб _____

Расположение и наименование места отбора проб _____

Дата отбора _____

Время (начало и окончание) отбора проб _____

Климатические условия окружающей среды на месте отбора проб:

температура воздуха _____

температура воды _____

Стадия обработки воды:

обеззараживание _____

окисление _____

умягчение _____

другие виды обработки _____

Определения, выполненные на месте отбора пробы:

Способ консервации _____

Особенности отбора и хранения пробы _____

Продолжительность хранения _____

Оборудование, используемое для отбора проб _____

Емкости для отбора проб (материал) _____

Должность, фамилия, имя, отчество лица, отобравшего пробу, и его подпись.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. СанПиН 2.1.4.559—96 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.

БАРСИК

К. Москаленко

В 2000 году у нас в семье помер кот. Его звали Ландыш. Такое необычное имя он получил потому, что когда-то моя супруга прочитала книгу воспоминаний поэта Вадима Шефнера, где он рассказывает о своей няне — одинокой женщине, радостью и утехой которой был кот Василий. И няня, глядя кота, пела песенку:

«Вася, Васенька, Васюта,
Вася — ландыш у ручья».

И когда у нас в доме появился котенок, моя супруга назвала его Ландышем. Он был самостоятельным, серьезным котом. За свою семилетнюю жизнь Ландыш поменял вместе с нами четыре или пять мест обитания. Потом он заболел, мы возили его в специальной клеточке в ветеринарную лечебницу, там ему ставили капельницу, но, к сожалению, ничего не помогло. Наш Ландыш умер. Мы похоронили его в лесу, под деревьями. На душе было тяжело — любим мы все-таки братьев наших меньших.

Вскоре наши знакомые из соседней деревни предложили котенка — от большого кота, сказали они. Через несколько дней, как и обещали, эти люди привезли котенка и отдали нам. Он был дымчато-черный, крохотный, правый глазик у него слезился; он всё время жалобно мяукал и прижимался к груди супруги, которая тут же взяла его на руки. Назвали котенка Графитом. В нашем деревенском домике, где мы тогда жили, Графит скоро освоился, ходил по дому и двору с поднятым хвостом: хозяин! А потом, примерно через полгода, к нашему домику приблизилась черная зеленоглазая кошка. Шла мимо, и видно было, что она как будто не уверена, растеряна. Супруга моя позвала ее, и кошка пришла к нам на двор, а потом и в дом. Мы назвали ее Муркой, так она у нас и прижилась.

Графит против появления Мурки не возражал. Во-первых, он был еще молодой котенок, а, во-вторых, — Мурка все-таки была кошечкой. В общем, они подружались.

Так и шла их кошачья жизнь: кушали, играли, гуляли, спали... За эту вот их понятность, предсказуемость жизни мы и любим своих питомцев. Правда, Графит ростом не вышел — или не в папу пошел, или тот большой кот вовсе и не был ему папой — оставался котик совсем небольшой, и глазик у него по-прежнему слезился.

Однажды ночью нас разбудили громкие кошачьи мяуканья, какой-то грохот и злое шипение. Мы спустились из мансарды, где спали, на первый этаж. В углу сидели Мурка и Графит, а господствующую позицию у лестнички в подвал занимал большой серый полосатый кот. Он угрожающе мяукал и, видно, готовился вцепиться в нашего Графита. Мы стали кричать на наглого серого пришельца, и тот с достоинством покинул поле боя, отправившись по лестничке в подвал, откуда был лаз во двор.

Однако не тут то было — чужак, затаившийся в темном углу подвала, вскоре вновь атаковал наших четвероногих домочадцев. Это было уже слишком, и нам пришлось выгнать его и из подвала. Как ни странно, кот, выдворенный из дома, не удрал на улицу — он остался во дворе и, судя по всему, решил жить у нас.

«Серый», как мы вначале прозвали его между собой, был, безусловно, хорош: крепко сбитый, с широкой круглой мордой, толстыми усами, желтыми глазами, всегда по-боевому поднятым хвостом. Но, как мы заметили, одного зубика у него не было, и поймать мышь или птичку и съесть ее ему, наверное, было бы сложно. Прогнать серого нам почему-то стало жалко — все-таки кот как бы доверился нам. Короче, назвали мы его Барсиком и оставили жить у нас.

И тут для нас наступила «веселая» жизнь. Каждый день мы «разруливали» кошачьи ссоры и драки. Наглый Барсик, правда, безуспешно, стал приставать к Мурке, а Графита он просто терроризировал. Поселился Барсик в подвале, а это значит, что выход Графиту на улицу ночью, когда дверь в дом заперта, был перекрыт. Мы проделали другой лаз, но и там Барсик доставал нашего черненького котика. Часто мы заставляли Графита сидящим на почтительном расстоянии от лестницы в подвал, где «проживал» Барсик, и напряженно глядящим в темную глубь подпола. Всё чаще Графит бродил по двору, опустив хвост, что, несомненно, говорило о его душевном надломе — он был вынужден сдать свои позиции хозяину. И без того тощий, котик стал совсем худым. И Мурка всё чаще убегала со двора на улицу, — а ведь раньше, с тех пор как она забрела к нам, никуда не уходила, наверное, боялась потеряться.

По всему было видно, что положение в кошачьей среде складывалось серьезное. Надо было что-то предпринимать.

Стал я спрашивать коллег на работе — не нужен ли кому хороший кот. Но, как это всегда бывает, кто-то не хотел брать животное, а кто-то хотел, да не мог. И вот случайно дошла очередь в моих вопросах до новенькой нашей сотрудницы, тихой и печальной Вики. Жила она одна и далеко от места работы, добиралась с трудом, и зарплата у нее была не из высоких. Но, как оказалось, вот она-то и мечтала о большом котике. Я показал ей фото Барсика, и Вика сразу согласилась его взять.

Через несколько дней Вика приехала к нам в гости, чтобы «познакомится» с нашим котом-разбойником. Встреча прошла, как говорится, в дружественной обстановке. Вскоре взяли мы Барсика на руки, упаковали лоток для кошачьего туалета, несколько упаковок корма на первое время, и вместе с Викой поехали к ней домой.

Ехали долго, девушка жила далеко от города — километров сорок, дорога плохая. Наконец, приехали. Маленький поселок древних двухэтажных домов. Ее квартира — комнатка, кухня, совмещенный санузел — на втором этаже. Выгрузились, поднялись в дом. Барсик обошел «хоромы» и сразу улегся отдыхать на Викин топчан. Значит, всё в порядке. Вика его гладит, радуется. И я рад — свирепый наш Барсик принял свою новую хозяйку. Говорю ей: «Вика, ты знаешь, а Барсик мясо любит». Вика сразу загрустила, говорит: «Я-то мясо не ем, у меня даже холодильника нет». Что делать — пообещал я Вике холодильник, и через неделю обещание свое сдержал — привез маленький «Саратов» Вике с Барсиком в их квартиру на втором этаже.

Через некоторое время поинтересовался у Вики — как там Барсик поживает? Всё оказалось хорошо. Кот освоился, на ночь в ноги к Вике спать ложится, гуляет, где хочет, познакомился с поселковыми кошками, а котов гоняет. Но домой к Вике приходит каждый день — и покушать, и отдохнуть, и побыть с хозяйкой. Вика была очень довольна. Барсик, наверное, тоже.

Ну, и у нас дома кошачья жизнь наладилась. Графит снова осмелел, поднял хвост как хозяин, но еще долго с опаской подходил к лестнице, ведущей в подвал.