

Чистая вода — в борьбе за энергоэффективность

Геннадий Самцов

Российскими разработчиками апробирован новый экономически эффективный способ очистки технической и питьевой воды

Вода широко используется в современном производстве. На химическом предприятии она применяется в качестве реагента, растворителя, теплоносителя и пр. Обеспечить потребительские свойства воды, необходимые для надежного функционирования как биологических, так и техногенных систем — задача крайне важная, а в конечном итоге — довольно дорогая. Поэтому способам очистки воды посвящены усилия разработчиков по всему миру.

Структура воды

Без понимания свойств и структуры воды невозможно научное решение проблем, связанных с поддержанием качества технологических вод, особенно в условиях оборотного водоснабжения химических производств.

В настоящее время принципиальных изменений в представлениях о строении жидкой воды нет — по-прежнему считается, что в воде молекулы соединены водородными связями, образующими непрерывную трехмерную сетку. Это было убедительно доказано работами Стенли, в которых при изучении воды была применена теория перколяции и установлено, что порог перколяции для трехмерной сетки, в

каждом узле которой сходятся 4 связи, лежит в пределах 1,6–1,7. Знания о том, что представляет собой трехмерная сетка, появились с развитием мощной компьютерной базы, численного моделирования и непосредственно связанного с ними прорыва в экспериментальной технике — появления фемтосекундной спектроскопии.

С точки зрения проблемы очистки наиболее важными являются следующие сведения о структуре воды:

- очевидность рыхлой структуры. При нормальных условиях объем молекул воды составляет менее 40 % от общего объема системы, структура пустого пространства позволяет размещать в нем молекулы других веществ;
- все молекулы в водной системе объединяются в ветвящиеся кластеры, пронизывающие пространство. При этом образуются подсистемы из молекул, связанных сильными или слабыми водородными связями, тела глобулярной формы отсутствуют, а области с флуктуацией плотности представлены в виде бесконечных ветвящихся кластеров;
- время жизни разорванной водородной связи в воде (время жизни свободного протона) составляет ≈ 200 фс. Время жизни молекул, связанных долгоживущей водородной

связью и составляющих ветвящийся кластер составляет 10–30 пс.

Воду можно считать восприимчивой субстанцией. Ее молекулярная структура способна трансформироваться, под действием энергии вибраций окружающей среды молекулярный состав воды может меняться. Другими словами, вода не только внешне, но и на молекулярном уровне отражает состояние окружающей среды, и ее структура реагирует на различные физические воздействия.

Таким образом, имеющиеся на сегодняшний день данные о структуре и динамике воды позволяют переосмыслить имеющийся опыт по разработке методов очистки воды и создавать новые высокоэффективные методы, основанные на резонансном воздействии на молекулярные составляющие водных систем (нанотехнологические методы).

Методы безреагентной обработки H₂O

Последние 20 лет общие принципы, заложенные в методах очистки воды, практически не менялись. Развитие шло в направлении автоматизации процессов или замены отдельных элементов систем на более современные.

Общая схема водоочистки и водоподготовки включает в себя ряд последующих операций:

- **аэрация** — предназначена для обезжелезивания воды путем окисления низшего оксида железа и марганца в нерастворимую оксидную форму, осуществляется нагнетанием воздуха в напорный трубопровод перед осветительным фильтром и позволяет существенно снизить нагрузку на последующее водоочистное оборудование.
- **отстаивание** (гравитационная седиментация) — предназначено для выделения дисперсий из водной среды под действием гравитационных сил либо земного тяготения в отстойниках различной конструкции, либо в центробежном поле (центрифугирование).
- **флотация** — операция, в которой органические соединения (нефтепродукты, жиры, поверхностно-активные вещества и т. п.) адсорбируются в виде пленки на поверхности пузырьков воздуха, при слиянии (коалесценции) пузырьков воздуха органическая пленка утолщается и накапливается на поверхности воды, откуда удаляется различными способами.
- **фильтрация** — основана на отделении дисперсной фазы на высокопористых материалах (решетках, сетках, гранулированных и тканых пористых минеральных и органических материалах и т. п.), является наиболее распространенным способом очистки воды.
- **умягчение** (обессоливание) — основано либо на фильтрации воды через слой ионообменной смолы (катионо- или анионообменной), сопровождающейся химическим взаимодействием (обменом) ионов извлекаемой соли (обычно солей постоянной жесткости) с ионами смолы, либо на использовании эффекта обратного осмоса на мембранах с порами менее 5 мкм. Последний способ используется весьма редко в специальной очистке воды, поскольку мембраны весьма чувствительны к составу водной среды.
- **обеззараживание** — в технологических целях на химических предприятиях производится достаточно редко, преимущественно с использованием среднечастотных (550–1800 Гц) промышленных озонаторов, генерирующих озон из кислорода воздуха, предварительно осушенного до точки росы минус 60°C. Кроме того используется ультрафиолетовое обеззараживание непосредственно перед подачей к месту потребления. В качестве излучателя используются ртутные лампы с длиной волны 254 нм.



Замена фильтров обратного осмоса на российском промышленном предприятии

Основным направлением в промышленной безреагентной водоподготовке по-прежнему является дальнейшее совершенствование фильтровально-адсорбционных технологий, при этом главный упор делается на применение новых сорбентов, прежде всего наноматериалов, а также на широкую автоматизацию процесса очистки воды и упрощение конструкции и технологии изготовления оборудования с применением новых материалов.

Очистка технологического оборудования

Другой важной задачей, связанной с очисткой воды, является поддержание работоспособности технологического оборудования, соприкасающегося с жидкими и газообразными средами, — трубопроводов и других поверхностей. Реакторы, автоклавы, смесительные емкости и цистерны, трубы и трубные пучки теплообменников необходимо периодически очищать от накипи и отложений, которые ведут к росту термического сопротивления, снижению производительности технологического оборудования и потере качества конечного продукта.

Применяемые для очистки поверхностей методы могут быть реагентными и безреагентными. Безреагентные методы можно условно разделить на категории:

- **гидродинамическая очистка** — очистка струей воды или водно-абразивной суспензии высокого давления до 3500 бар. Применяется в основном для очистки больших поверхностей и требует последующей очистки загрязненной воды;

- **импульсная очистка** — проводится за счет создания локального импульса давления (ударной волны) в водной среде в результате электро-разряда или пневмоклапаном, применяется в основном для очистки труб;

- **ультразвуковая очистка** — очистка ультразвуком, распространяющимся либо в жидкой среде, либо в материале очищаемого оборудования, отличительной особенностью метода является возможность в режиме непрерывной работы оборудования предотвращать повторные отложения;

- **механическая очистка** — устаревший и наиболее энерго- и материалоемкий способ очистки;

- **магнитная обработка воды** — при этом жесткие соли переходят в коллоидное состояние, кристаллизуются в объеме воды, что препятствует образованию накипи и способствует растворению старых отложений, обработанная вода сохраняет полученные свойства в течение нескольких суток, в зависимости от температуры и pH воды, общей и временной жесткости.

Наиболее перспективными следует считать методы очистки технологического оборудования без останков аппаратов и агрегатов. Этому требованию в наибольшей мере соответствуют ультразвуковая очистка и магнитная обработка.

Экспериментальная установка

В ООО «ИГ Европа-Азия» была создана экспериментальная установка, позволяющая использовать в качестве реагентов сами вредные, с технологической точ-

ки зрения, включения, растворенные в объеме воды и/или осевшие в виде отложений на технологическом оборудовании. Это было достигнуто резонансным воздействием на водные среды с применением фемто- и пикосекундных технологий. Такие технологии основаны на комбинированном воздействии на среду магнитными, электромагнитными и акустическими полями, что позволяет реализовать их в непрерывном технологическом процессе химического производства.

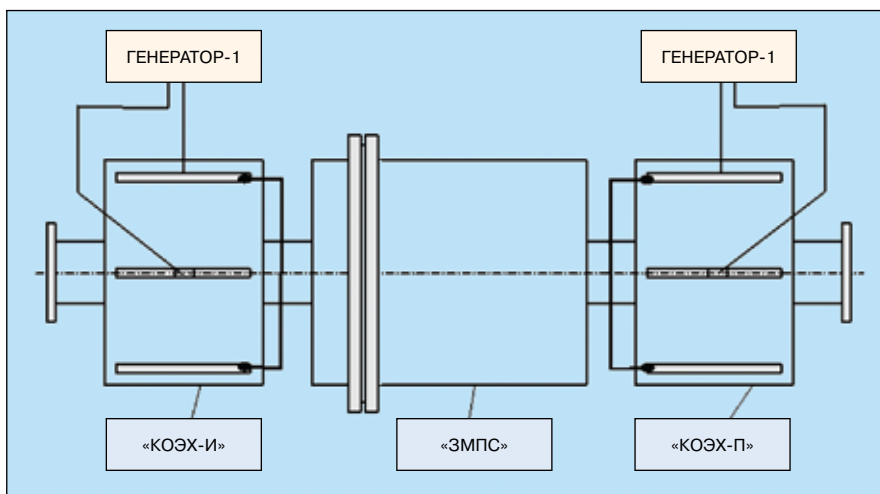
Фемтосекундные импульсы характеризуются предельно малой длительностью и высокой интенсивностью, что обуславливает уникальность режимов их взаимодействия с различными веществами и материалами.

На входе потока обрабатываемой воды находится устройство «КОЭХ-И». Оно предназначено для создания электромагнитного поля модулированного (КОЭХ-И) или немодулированного (КОЭХ-П) в проточной среде и представляет собой проточный электролизер-активатор, на электроды которого подается однополярный электрический импульс: сила тока от 1 мА до 1000 А, частота до 100 кГц. Так осуществляется высокочастотная активация ионов и связанных с ними электронов.

Затем возбужденная среда попадает в устройство ЗМПС, где реализовано пространственно-замкнутое магнитное поле, имеющее нелинейную структуру как вдоль, так и поперек потока среды. За счет этого в системе возбуждаются колебания ансамблей ионов и электронов в полосе частот до 10¹⁴ Гц, что приводит к группировке частиц по плотности и скорости в потоке в условиях резонанса. При этом происходит повышение плотности солей жесткости и примесей в единице объема среды до уровня выше предельной растворимости, что вызывает переход солей жесткости в нерастворимое состояние с одновременной микрогрануляцией частиц размером до 0,03 мкм. Устройство ЗМПС имеет оригинальное техническое решение, основанное на принципиально новых функциональных представлениях о свойствах магнитного поля.

Далее среда с микрогранулами поступает в устройство «КОЭХ-П», в котором на электроды подается переменный ток низкой частоты (до 100 Гц), в зависимости от размеров микрогранул. Если получить на выходе устройства «КОЭХ-П» микрогранулы размером более 2 мкм, то адгезии солей жесткости на стенках теплообменников не будет.

В устройстве «КОЭХ-И» обеспечивается также обеззараживание биологических объектов, отмершие биологические структуры служат дополнительными центрами грануляции.



СБПВ – Ду 150

Промышленные испытания

Промышленные испытания новой системы безреагентной подготовки воды (СБПВ) проводились в КАО «Азот» на теплообменниках цеха Окисления-2 производства капролактама. Монтажная схема установки была разработана кемеровскими специалистами. Поток технической воды был разделен на два равных потока, которые были пропущены через трубу с монтированным устройством и контрольную трубу без нового устройства. После 6102 часов работы теплообменника осмотр трубной решетки показал, что на ее поверхности имеется только тонкий пылеобразный налет, который при соскабливании легко превращается в пыль. При осмотре внутренней поверхности труб, по которым протекает обратная вода, обнаружено рыхлое образование толщиной от 0,017 до 0,024 мм, легко разрушаемое нажатием инструмента.

При осмотре контрольной трубы было установлено, что плотное отложение на внутренней поверхности трубной решетки имеет толщину 0,5 мм и с трудом отделяется в виде пластин. Химический анализ отложений в «новой» трубе не проводился, так как их количество было чрезвычайно мало.

Полученные результаты свидетельствуют о снижении скорости роста отложений в трубах теплообменников в несколько раз, тем самым поддерживается на максимально возможном уровне коэффициент теплопередачи, что важно для эффективности производственных процессов. Кроме того, предоставляется возможность увеличить межремонтный пробег теплообменников и временной интервал между очисткой труб минимум в 2–3 раза. Затраты на очистку труб практически отсутствуют из-за непрочности самих отложений. Осмотр водораспределительной части теплообменника для подвода обратной воды показал, что отложения стали разрушаться.

тальной части теплообменника для подвода обратной воды показал, что отложения стали разрушаться.

Перспективы и сферы применения

Выступая на заседании президиума Госсовета 2 июля 2009 года в Архангельске по вопросам повышения энергоэффективности российской экономики, президент Российской Федерации напомнил о недавно созданной специальной Комиссии по модернизации и технологическому развитию экономики. В числе приоритетов, определенных комиссией, на первое место была поставлена энергоэффективность. Более того, Дмитрий Медведев определил это направление как системообразующее — вокруг него должны концентрироваться другие направления.

«Ситуация с энергоэффективностью в жилищно-коммунальном хозяйстве безобразная. Наши здания, сооружения и коммунальная инфраструктура в целом — это такая черная дыра, где бесследно исчезают огромные энергетические ресурсы. Потери в системе теплоснабжения составляют 60 % и более», — отметил он.

Государственной думой РФ в первом чтении принят Федеральный закон «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности». СБПВ могли бы использоваться не только на химических производствах, но и для очистки и подготовки сетевой воды в энергетике. Системы отопления зданий и сооружений, сетевые трубопроводы также содержат посторонние примеси, которые в значительных количествах образуются в процессе эксплуатации.

Установка СБПВ, смонтированная на ЦТП № 8 г. Искитима Новосибирской области, позволила снизить затраты на производство тепловой энергии на 20 %. ■