

ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ

ИССЛЕДОВАНИЕ БАКТЕРИАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ СХЕМЫ ХИМИЧЕСКОГО ОБЕССОЛИВАНИЯ НА КАЗАНСКОЙ ТЭЦ-1¹

© 2022 г. С. М. Власов^а *, А. Ю. Власова^а, Н. Д. Чичирова^а, О. Е. Бабилов^а

^аКазанский государственный энергетический университет, Красносельская ул., д. 51, г. Казань, 420066 Россия

*e-mail: vlasovsm@list.ru

Поступила в редакцию 08.04.2021 г.

После доработки 13.07.2021 г.

Принята к публикации 25.08.2021 г.

Тепловые электрические станции являются крупнейшим потребителем природной воды и основными источниками сброса загрязненных сточных вод. Вода служит незаменимым ресурсом при организации производственных циклов в нефтехимическом производстве. Вода используется в качестве охлаждающего агента конечного продукта, охладителя технологических агрегатов и оборудования, растворителя для приготовления растворов реагентов, источника пара и конденсата. Производство химически обессоленной воды на ТЭС – это сложный комплексный процесс, в котором задействовано несколько водоподготовительных установок. В процессе эксплуатации в водоподготовительном оборудовании ТЭС могут формироваться колонии микроорганизмов. Как правило, общее количество бактерий колеблется между 1 и 100 млн КОЕ/см³. Состав и количество бактерий зависят от источника водоснабжения, сезонности, водно-химического режима. Приводятся перечень бактерий, влияющих на эксплуатацию водоподготовительного оборудования, и основные методы анализа биологического загрязнения на ТЭС. Рассмотрена технологическая схема с действующей водоподготовительной установкой, на которой проведены промышленные исследования по биологическому загрязнению. Целью исследований является определение количества бактерий в пробах воды на установках химического обессоливания ТЭС. Описано влияние бактериального загрязнения ионообменных смол, снижающее эксплуатационные характеристики водоподготовительного оборудования. Определение количества колоний бактерий в пробах воды на водоподготовительных установках проводилось с помощью BART-тестов. В результате исследований получены значения общего микробного числа, определенного в пробах воды на установках химического обессоливания. Результаты обработаны с помощью программно-аппаратного комплекса BARTsoft V6, рассчитаны риски различных типов. Предложены дополнительные методы по обработке воды на примере Казанской ТЭС-1.

Ключевые слова: тепловые электрические станции, водоподготовительные установки, химическое обессоливание, ионообменные технологии, биологическое загрязнение, фильтр смешанного действия, промышленные исследования

DOI: 10.1134/S0040363622030110

Очистка добавочной воды на ТЭС производится на водоподготовительных установках (ВПУ), оснащенных осветлителями, механическими и ионитными фильтрами [1]. Для очистки и подготовки исходной воды на современных ВПУ ТЭС применяется автоматизированное оборудование в комбинированных схемах на основе ионообменных и мембранных технологий, что позволяет снизить эксплуатационные затраты, повысить качество воды [2, 3].

Регенерация ионитов не обеспечивает полной очистки их от биологических примесей [4]. За ру-

бежом проблема биологического загрязнения ВПУ ТЭС вызывает все больший интерес. Авторы [4] провели исследования микробиологического загрязнения ступеней ВПУ, состоящей из осветлителей, механических фильтров, ионитных фильтров с прямоточной регенерацией ионитов и фильтров смешанного действия (ФСД). Выявлено повышенное микробиологическое загрязнение ионитов до и после их регенерации. В результате исследований обнаружено, что после регенерации и длительного периода эксплуатации гранулы ионитов разрушаются, в них появляются трещины и сколы. Иониты становятся местом обитания колоний микроорганизмов, которые устойчивы к регенерации [4].

В работе [5] описаны исследования бактериального загрязнения ионитов на ТЭС Shoubra El-

¹ Работа выполнена при государственной финансовой поддержке молодых российских ученых – докторов наук. (Конкурс МК-2020. Заявка № МК-424.2020.5. Соглашение № 075-15-2020-170.)

khiema и Damietta (Египет). Крупные зарубежные производители ионитов выпустили инструкции по удалению микроорганизмов. В России исследованиям бактериального загрязнения схем химического обессоливания на ТЭС уделяется недостаточно внимания. В правилах технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ не нормируется общее микробное число на ионитных ВПУ [6].

Высокий уровень биологического загрязнения негативно сказывается на работе ионообменных фильтров, так как микроорганизмы могут снижать обменную емкость ионитов на 5% [5].

В результате анализа литературных данных [7] установлено, что виды микроорганизмов, содержащихся в исходной воде и обитающих в водоподготовительном оборудовании, разнообразны. Далее представлены данные по среде обитания активных бактерий в оборудовании ВПУ ТЭС:

гетеротрофные бактерии (НАВ) – водоприемные шлюзы;

слизевобразующие (SLYM) и сульфатредуцирующие (SRB) бактерии – пруды-охладители, брызгательные бассейны, бассейны и оросители градирен;

железопroduцирующие (IRB) и кислотоproduцирующие (APB) бактерии – водопроводные магистрали и отдельные узлы, конденсаторы паровых турбин, баки и резервуары сырой воды;

флуоресцентные псевдомонады – осветлительные установки, механические фильтры, установки микрофльтрации, ультрафльтрации и обратного осмоса, ионообменные установки.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ БИОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ТЭС

В правилах [6] отсутствуют рекомендации по методам анализа биологических примесей. Для оценки биологического загрязнения оборудования ТЭС могут быть использованы следующие наиболее распространенные методы.

Определение общего микробного числа с использованием чашки Петри. Метод основан на посеве культуры на питательную среду, он не требует больших экономических затрат, имеет высокую точность, прост в исполнении. Продолжительность анализа составляет до 28 ч [8].

Проточная цитометрия. Метод основан на анализе элементов дисперсной фазы по сигналам светорассеяния и флуоресценции [9, 10], эффективен при мониторинге и определении количества микроорганизмов.

Биосенсорный метод. Исследование выполняется с помощью биологического чувствительного элемента с преобразователем сигнала, обеспечивающим возможность количественного анализа [11–13].

Масс-спектрометрия. Метод основан на исследовании вещества путем определения масс ионов и их количества. Особенность заключается в возможности определять за короткое время вид и подвид содержащихся в пробе микроорганизмов.

Люминометрический метод. Метод основан на хемолуминесцентном определении аденозинтрифосфата, который содержится в клетках бактерий. Устройство позволяет проводить анализ в короткие сроки, в полевых условиях.

BART-тесты (Drocon Bioconcepts Inc., Канада). BART-тесты предназначены для определения биологической активности бактерий и их видов. Основными достоинствами BART-тестов являются мобильность, небольшой размер. Рабочий температурный интервал составляет 0–45°C [7, 14].

BART-тесты представляют собой контейнер с восстановительно-окислительной средой под плавающим шаром. Контейнер заполняется пробой воды до метки, закрывается, и в течение 8 дней проводятся наблюдения за изменением окраски и вида среды в контейнере. Для полного распределения питательной среды по объему пробы воды контейнер переворачивают на 30 с.

Для определения видов бактерий на ТЭС могут быть использованы следующие BART-тесты: НАВ-BART, SLYM-BART, IRB-BART, SRB-BART, APB-BART, FLOR-BART.

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве экспериментальной площадки для исследования биологического загрязнения оборудования была выбрана Казанская ТЭЦ-1 (КТЭЦ-1). Водоподготовительная установка на КТЭЦ-1 работает по традиционной технологии: предварительное осветление воды в осветлителях и механических фильтрах и химическое обессоливание при ступенчато-противоточной регенерации. Основным водисточником ВПУ является р. Волга, усредненные показатели качества исходной воды приведены далее:

Цветность, град	30
pH	8.2
Перманганатная окисляемость, мг О/дм ³	10.0
Щелочность, мг-экв/дм ³	2.7
Жесткость общая, мг-экв/дм ³	3.45

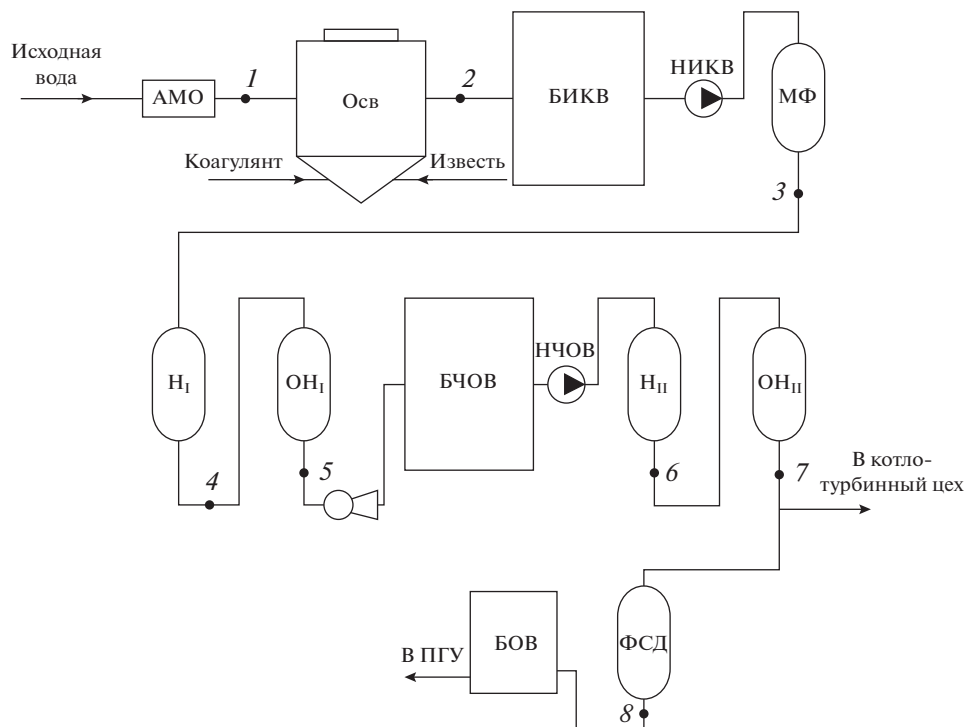


Рис. 1. Технологическая схема ВПУ Казанской ТЭС-1.

АМО – аппарат магнитной обработки воды; Осв – осветлительная установка; БИКВ – бак известково-коагулированной воды; НИКВ – насос известково-коагулированной воды; МФ – механический фильтр; Н_I, Н_{II} – Н-катионитный фильтр I и II ступени; ОН_I, ОН_{II} – ОН-анионитный фильтр I и II ступени; БЧОВ – бак частично обессоленной воды; НЧОВ – насос частично обессоленной воды; ФСД – фильтр смешанного действия; БОВ – бак обессоленной воды; 1–8 – номер пробоотборной точки

Концентрация, мг/дм³:

железа общего	1.0
кремния	7.0
нефтепродуктов	2.3
хлоридов	18.0
сульфатов	60.0
нитратов	0.03

При вводе в эксплуатацию парогазовой установки (ПГУ) мощностью 230 МВт в 2018 г. на ВПУ после второй ступени Н- и ОН-ионирования дополнительно был установлен фильтр смешанного действия (рис. 1).

В таблице представлена информация о ионитах, загруженных в фильтры ВПУ КТЭС-1.

В августе 2020 г. сотрудники Казанского государственного энергетического университета выполнили постадийный анализ проб воды на ВПУ КТЭС-1 с помощью биодетекторов BART-тестов с различной питательной средой: SLYM-BART, SRB-BART, HAB-BART, а также грибов и дрожжей [7, 14]. Отбор проб проводили в соответствии с требованиями [15]. Анализ на бактериальное за-

грязнение выполняли по методике Drouson Bioconcepts Inc. Для исключения фактора случайности в каждой точке отбирали три пробы через 30 мин [16].

Результаты исследования воды BART-тестами на микробиологическое загрязнение ВПУ КТЭС-1 показаны на рис. 2. Общее микробное число (ОМЧ) в пробе исходной воды составило 1.27×10^6 КОЕ/см³, что немного превышает значение нормированного показателя. Такое превышение

Загрузка ионитных фильтров ВПУ Казанской ТЭС-1

Фильтр	Ионит	Объем фильтрата за фильтроцикл, тыс. м ³
Н _I	КУ-2-8	3.4
ОН _I	Гранион (D301MS)	6.3
Н _{II}	КУ-2-8	150.0
ОН _{II}	АВ-17-8	250.0
ФСД	ТОКЕМ 140/840	250.0

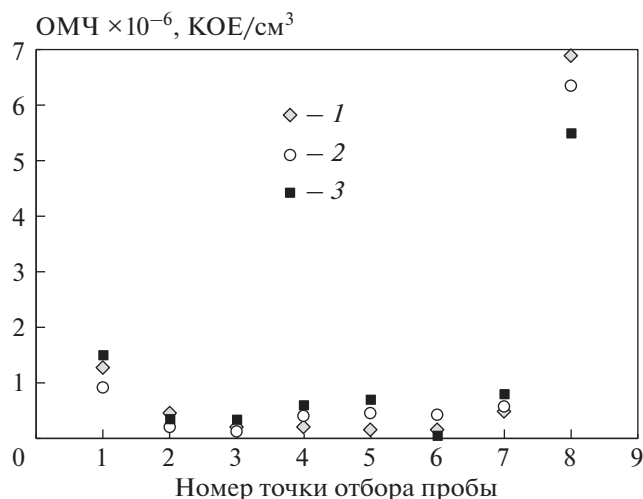


Рис. 2. Общее микробное число элементов ВПУ Казанской ТЭЦ-1. 1–3 – номер пробы

могло быть спровоцировано высокой температурой наружного воздуха в период проведения исследований (29–35°C) и медленным течением воды в р. Волга на Куйбышевском водохранилище, что вызвало активное размножение микроорганизмов.

В аппаратах предварительной очистки и Н-, ОН-ионитных фильтрах количество колоний бактерий снизилось до 48000 КОЕ/см³. На третьей ступени (ФСД) была обнаружена высокая степень микробиологического загрязнения. В фильтрате ФСД количество бактерий составляло (6.89–6.35) × 10⁶ КОЕ/см³. Полученные данные схожи с результатами на ТЭС Shoubra El-khiema и Damietta

[4]. Такой всплеск мог быть вызван поэтапным формированием колоний в эрозионных участках ионообменных смол. Поврежденные участки ионитов могут служить идеальной средой обитания микроорганизмов. В работах [4, 5] приводятся аналогичные результаты.

Данные, полученные при исследовании ВПУ КТЭЦ-1 на бактериальное загрязнение, были обработаны в программном аппаратном комплексе BARTsoft V6. Комплекс позволяет оценить риски возникновения биоиндуцированной коррозии, забивку теплоэнергетического оборудования отложениями и вероятность ущерба здоровью обслуживающего персонала. Оценку рисков проводили по девятибалльной шкале значений ОМЧ [16]:

1–3 балла – обработка биоцидами не обязательна;

4–6 баллов – обработка биоцидами необходима;

7–9 баллов – обработка биоцидами обязательна в кратчайшие сроки.

Результаты обработки данных BART-тестами по блокам ВПУ КТЭЦ-1 показаны на рис. 3.

Из графика видно, что исходная вода требует плановой биоцидной обработки. Общее микробное число, характеризующее риски засорения оборудования и коррозии от присутствующих в исходной воде бактерий, выше нормируемых значений и составляет 4–5 баллов. В блоке предварительной очистки (Осв, МФ) и ионитных фильтрах I и II ступени ОМЧ находится на низком уровне (менее 1 балла), биоцидная обработка не требуется. Опасный уровень рисков был выявлен в ФСД. Данный факт многократно подтвержден экспериментами. На этом участке ОМЧ коррози-

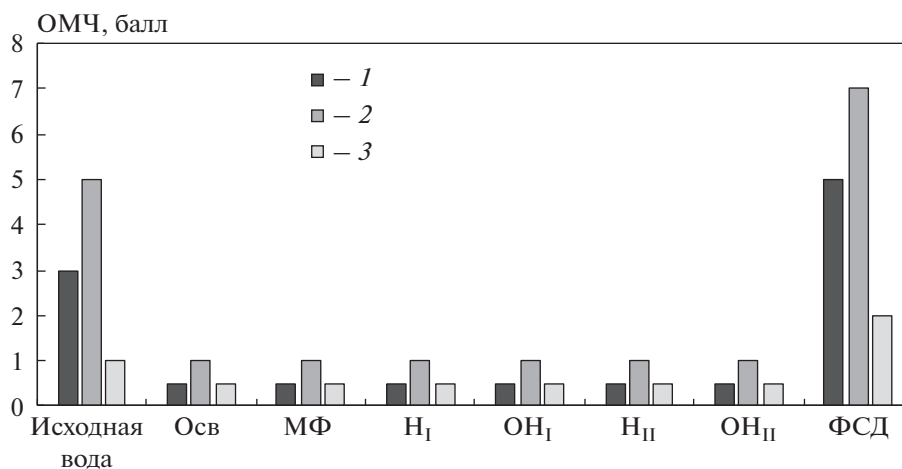


Рис. 3. График оценки рисков ущерба от коррозии (1), засорения оборудования (2), нанесения вреда здоровью персонала (3) в программе BARTsoft V6 по оборудованию ВПУ Казанской ТЭЦ-1

онного риска составило 7 баллов, ОМЧ риска засорения оборудования – 5 баллов. Для блока ФСД требуется проведение внеплановой биоцидной обработки, которая на сегодняшний день не осуществляется.

ВЫВОДЫ

1. При исследовании биологического загрязнения оборудования водоподготовительной установки Казанской ТЭЦ-1 обнаружено повышенное количество бактерий в ионитах фильтров смешанного действия, вызванное низким расходом воды через фильтры и увеличенными фильтроциклами.

2. Регенерация фильтров смешанного действия не обеспечивает полной очистки ионитов от бактерий, что приводит к снижению качества обессоленной воды, подаваемой в котел-утилизатор. При этом повышается вероятность появления коррозии котла-утилизатора и возникает необходимость дополнительного дозирования реагентов для поддержания нормируемого рН, что, в свою очередь, приводит к снижению экономических показателей ТЭС в период отпуска тепловой и электрической энергии.

3. Решением проблемы биологического загрязнения является постоянный контроль общего микробного числа, при технической возможности дополнительная термическая деаэрация, биоцидная обработка ионитов водоподготовительной установки или их УФ-облучение (кварцевание).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Проведение** и анализ результатов теплехимических испытаний котла-утилизатора ПГУ-110 МВт ТЭЦ “ГСР-энерго” г. Колпино / И.И. Беляков, В.М. Евтушенко, В.И. Бреус, А.С. Богорад, Н.Н. Большакова // Энергосбережение и водоподготовка. 2015. № 4 (96). С. 75–79.
2. **Ларин Б.М., Ларин А.Б., Козловский В.В.** Состояние технологии обработки воды на тепловых электростанциях // Сб. докл. VII Междунар. науч.-техн. конф. “Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС. Цели и задачи”. М.: ВТИ, 2020. С. 93–99.
3. **Мамет А.П., Таратута В.А., Юрчевский Е.Б.** Принципы создания малоотходных водоподготовительных установок // Теплоэнергетика. 1992. № 7. С. 2–5.
4. **Critical point analysis and biocide treatment in a microbiologically contaminated water purification system of a power plant / Zsuzsa Kéki, Judit Makk, Katalin Barkács, Balázs Vajna, Márton Palatinszky, Károly Márialiget, Erika Tóth // SN Appl. Sci. 2019. V. 1. № 820. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0740-9>**
5. **Abiotic factors and microbial communities fouling anion exchange. Resin causing performance deficiency in electric power plants / Shima M. Abdelsalam, Zeinab M.H. Kheiralla, Feriala A. Abo-Seif, Shereen M.E. Asker // J. Micro. 2017. V. 52. P. 17–28. <https://doi.org/10.21608/ejm.2017.812.1017>**
6. **Правила** технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. СПб.: ДЕАН, 2004.
7. **Biological activity reaction test (BART TM) user manual.** Droycon Bioconcepts Inc., Regina, Saskatchewan, DBI, 2002.
8. **Bushon R.N., Likirdopulos Ch.A., Brady A.M.G.** Comparison of immunomagnetic separation/adenosine triphosphate rapid method to traditional culture-based method for E. coli and enterococci enumeration in wastewater // Water Res. 2009. V. 43. P. 4940–4946. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.06.047>
9. **Hammes F., Egli T.** Cytometric methods for measuring bacteria in water: advantages, pitfalls and applications // Anal. Bioanal. Chem. 2010. V. 397. № 3. P. 1083–1095. <https://doi.org/10.1007/s00216-010-3646-3>
10. **Kennedy D., Wilkinson M.G.** Application of flow cytometry to the detection of pathogenic bacteria // Curr. Issues Mol. Biol. 2017. V. 23. P. 21–38. <https://doi.org/10.21775/cimb.023.021>
11. **Label-free electrochemiluminescent biosensor for rapid and sensitive detection of pseudomonas aeruginosa using phage as highly specific recognition agent / H. Yue, Y. He, E. Fan, L. Wang, S. Lu, Z. Fu // Biosens. Bioelectron. 2017. V. 94. P. 429–432. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2017.03.033>**
12. **Chen S., Cheng F.** Biosensors for bacterial detection // Int. J. Biosens. Bioelectron. 2017. V. 2. № 6. P. 197–199. <https://doi.org/10.15406/ijbsbe.2017.02.00048>
13. **Emerging biosensor platforms for the assessment of water-borne pathogens / N. Kumar, Y. Hu, S. Singh, B. Mizaikoff // Analyst. 2018. V. 143. Is. 2. P. 359–373. <https://doi.org/10.1039/C7AN00983F>**
14. **Cullimore D.R.** Preliminary comparison of the applicability of the HAB BART system and the agar spread plate methods for the quantification of bacterial populations in selected dilutions of pure cultures of three bacterial species // J. Environ. Microbiol., Microbiol. Meibenth. 2008 V. 3. P. 31–43.
15. **ГОСТ 31942-2012 (ISO 19458:2006).** Вода. Отбор проб для микробиологического анализа. М.: Стандартинформ, 2012.
16. **Методы** снижения бактериального загрязнения систем оборотного охлаждения ТЭЦ / Н.Д. Чичирова, А.А. Чичиров, С.М. Власов, А.Ю. Власова // Теплоэнергетика. 2015. № 7. С. 62–67. <https://doi.org/10.1134/S0040363615070024>

Research into Bacterial Contamination of the Coolant of the Chemical Desalination Scheme at Kazan CHPP-1

S. M. Vlasov^{a, *}, A. Yu. Vlasova^a, N. D. Chichirova^a, and O. E. Babikov^a

^a Kazan State Power Engineering University, Kazan, 420066 Russia

*e-mail: vlasovsm@list.ru

Abstract—Thermal power plants are the largest consumer of natural water and the main sources of polluted wastewater discharge. Water serves as an irreplaceable resource in the organization of production cycles in the petrochemical industry. Water is used as a cooling agent for the final product, as a cooler for technological units and equipment, as a solvent for preparing reagent solutions, and as a source of steam and condensate. The production of chemically demineralized water at TPPs is a complex process, which involves several water-treatment plants. During operation, colonies of microorganisms can form in the water-treatment equipment of TPPs. Typically, the total bacterial count ranges between 1 and 100 million CFU/cm³. The composition and number of bacteria depend on the source of water supply, seasonality, and water-chemical regime. A list of bacteria that affect the operation of water-treatment equipment and the main methods for analyzing biological pollution at TPPs are given. A technological scheme with an operating water-treatment plant, on which industrial research on biological pollution has been carried out, is considered. The aim of the research is to determine the number of bacteria in water samples at chemical desalination units at CHPPs. The effect of bacterial contamination of ion-exchange resins, which reduces the performance of water-treatment equipment, is described. Determining the number of bacterial colonies in water samples at water-treatment plants was carried out using BART tests. As a result of the research, the values of the total microbial number determined in water samples at chemical desalination plants were obtained. The results were processed using the BARTsoft V6 software and hardware complex and various types of risks were calculated. Additional methods for water treatment are proposed on the example of Kazan CHP-1.

Keywords: thermal power plants, water-treatment plants, chemical desalination, ion exchange technologies, biological pollution, mixed filter, industrial research