
УДК 628.16

СЫЧАЛИН Н.Ю., МУЗЫЧЕНКО М.В., ЖОГОЛЕВА С.О.,
студенты группы МТБ-241з (ТГТУ),
СТАДНИЦКИЙ А.А., ПАНФИЛОВ Е.М., студенты группы МТБ-231з (ТГТУ)
Научный руководитель РУБИНОВ П.В., к.э.н. (ТГТУ)
г. Тамбов

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ ВНЕДРЕНИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ СИСТЕМЫ ВОДОПОДГОТОВКИ

В условиях роста энергопотребления и ужесточения экологических требований особое значение приобретает рациональное использование водных ресурсов на промышленных предприятиях. Одним из ключевых направлений повышения энергоэффективности и экологической безопасности является совершенствование систем водоподготовки. Неподготовленная вода приводит к образованию накипи, снижению теплоотдачи, увеличению энергозатрат и экологической нагрузки.

Цель данной статьи — проанализировать эффективность систем водоподготовки с точки зрения энергосбережения, экологической безопасности и экономической целесообразности. В качестве объекта исследования рассматриваются котельные установки машиностроительных предприятий. Анализ основан на сравнении эксплуатационных данных за 2023–2024 годы.

Для большинства промышленных предприятий процесс водоподготовки и водопотребления является энергозатратным. Учитывая плату за водопользование и водоотведение, требования СанПиН и нормы качества воды, становится очевидной необходимость внедрения современного оборудования и технологических решений. Повышение энергоэффективности и сокращение использования химических реагентов являются не только экономическими, но и важнейшими экологическими задачами современного производства.

Анализ систем водоподготовки на котельных машиностроительных предприятиях подтверждает актуальность перехода на системы химической водоподготовки (рис. 1).

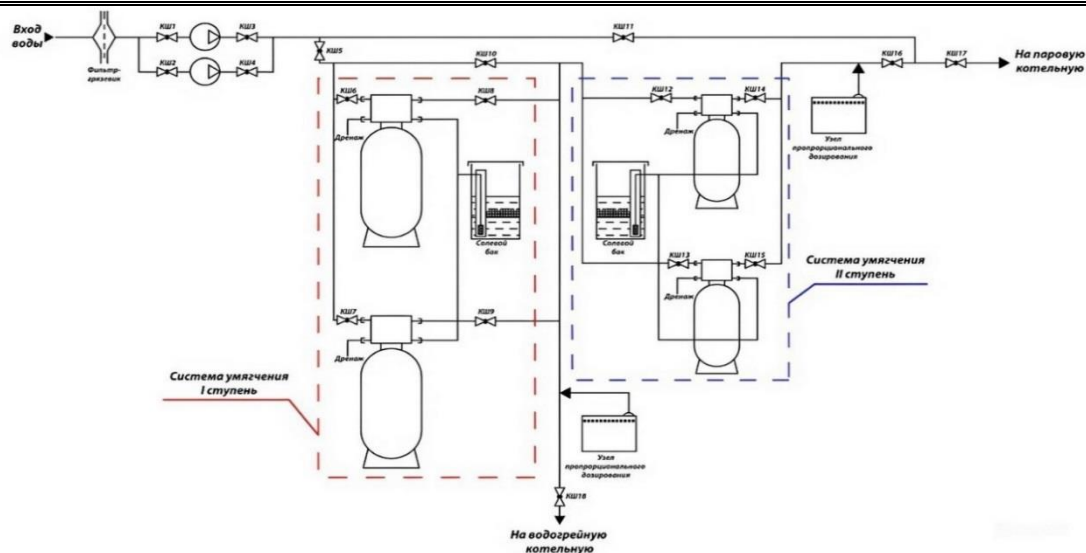


Рисунок 1. Схема водоподготовки для водогрейных и паровых котельных

В данной статье рассмотрено применение систем очистки воды с многоступенчатой схемой для котельных установок и преимущество её по сравнению с одноступенчатой очисткой. Использование мембранных способов (обратный осмос, ультрафильтрация, дегазация) позволяет значительно уменьшить затраты на подготовку воды.

Главным отличием от ионообменных способов водоподготовки в сравнении с многоступенчатой системой химводоочистки воды является сокращение использования химических реагентов на регенерацию фильтрующих установок (растворов щелочи, соли, кислоты). Отсутствие минерализации стоков при процессе восстановления фильтрующих элементов обеспечивает сокращение использования оборудования для нейтрализации стоков. Положительной чертой является удаление органических минерализованных соединений из водопроводной воды. Также появляется возможность использования выделяемого парового конденсата на нужды предприятия.

Многоступенчатая система водоподготовки включает в себя следующие этапы:

1. Производится грубая очистка потребляемой воды с использованием решеток-уловителей;
2. Активируется система напорной фильтрации с использованием фильтрующих материалов (активированный уголь, ионообменная смола);
3. При наличии коллоидно-растворимых соединений используются системы упрощённого обратного осмоса;
4. В целях сокращения водопотребления производят установку пароконденсатной системы с возвращением конденсата для дальнейших нужд предприятия.

Данная технология позволяет сократить расходы планово-предупредительного ремонта (ППР) оборудования и установок [1], уменьшить тепловые потери на магистрали, увеличить срок службы оборудования и магистрали трубопроводов, а также снизить расходы на водопотребление.

Одноступенчатая очистка включает только один этап фильтрации. Она используется для предварительной очистки или в тех случаях, когда вода не содержит значительного количества загрязнителей.

Эффективность одноступенчатой очистки не обеспечивает полного избавления от известковых отложений. Известковые отложения образуются в результате осаждения кальция и магния из воды при нагревании. Эти отложения могут привести к уменьшению эффективности работы котла, повышению расхода энергии и даже к его повреждению.

Накипеобразованию подвержены теплообменники различных типов и назначения: конденсаторы, деаэраторы, пароохладители, инжекторы, котлы и испарители, все виды нагревателей, в том числе пластинчатые и скоростные. Образование слоя накипи, толщина которого составляет 1 мм, ухудшает процесс теплообмена в котлах, по данным различных источников, на 5-20% в зависимости от состава накипи и типа котла. При этом даже при непродолжительной работе котлов на воде, не прошедшей надлежащую химическую подготовку, толщина слоя накипи достигает 50 мм.

Таким образом, за 2023 год в период использования одноступенчатой системы очистки котельное предприятие потратило только на плановый предупредительный ремонт (ППР) более 8 миллионов рублей. В то же время за эксплуатационный период 2024 года с использованием многоступенчатой системы очистки на ППР было израсходовано не более 3 миллионов рублей, что является показателем практической применимости в условиях производства.

Двухступенчатая очистка предполагает сочетание механической фильтрации и ионообменной обработки воды. На первом этапе задерживаются механические примеси, ржавчина, песок и органика. На втором этапе осуществляется смягчение воды с помощью ионообменных фильтров, что значительно снижает концентрацию кальция [2].

В результате опытной эксплуатации на исследуемом предприятии двухступенчатая система позволила снизить расходы на планово-предупредительный ремонт до 5 миллионов рублей в год, что на 40% меньше, чем при одноступенчатой очистке, но выше по затратам, чем при многоступенчатой системе.

Многоступенчатая система водоподготовки включает несколько этапов: грубую очистку, фильтрацию, мембранные технологии (обратный осмос, ультрафильтрация), а также использование пароконденсатной системы. Она обеспечивает наилучшие показатели по ресурсо- и энергосбережению [4].

Уже в первый год эксплуатации затраты на планово-предупредительный ремонт сократились более чем в два раза — с 8 млн рублей при одноступенчатой системе до 3 млн рублей. Этот результат связан прежде всего с отсутствием интенсивного накипеобразования и значительным снижением тепловых потерь в трубопроводах. Срок службы оборудования и трубопроводных магистралей увеличился почти на треть.

Экономическая выгода выразилась и в сокращении расходов на химические реагенты: благодаря использованию мембранных технологий потребность в реагентах для регенерации фильтров снизилась более чем вдвое. Дополнительным фактором экономии стало повторное использование парового конденсата, что

позволило сократить общее водопотребление почти на пятую часть и снизить платежи за водоотведение.

Немаловажным оказался и экологический эффект. Отсутствие минерализованных стоков существенно уменьшило нагрузку на систему нейтрализации сточных вод, а снижение энергопотребления позволило сократить углеродный след предприятия примерно на 7%. Кроме того, более стабильная работа котельного оборудования снизила риск аварийных ситуаций и уменьшила выбросы вредных веществ в атмосферу. Таким образом, предприятие смогло не только снизить текущие расходы, но и повысить уровень экологической безопасности своей деятельности, что особенно важно в условиях современных требований к промышленным объектам.

Сравнительные результаты исследования показали, что при использовании одноступенчатой системы затраты на планово-предупредительный ремонт составили около 8 млн рублей в год. При этом наблюдались значительные тепловые потери из-за образования накипи — от 10 до 20%, что сокращало срок службы оборудования на 20–30% [5]. Дополнительной проблемой являлось высокое потребление химических реагентов и образование минерализованных стоков, требующих нейтрализации. Экологическая нагрузка на предприятие оставалась высокой, а возврат парового конденсата был невозможен.

Двухступенчатая очистка позволила улучшить показатели. Затраты на ремонт снизились до 5 млн рублей в год, а тепловые потери уменьшились до 5–10%. Срок службы оборудования увеличился на 10–15% по сравнению с одноступенчатой системой. Потребление реагентов оказалось заметно ниже, однако сточные воды сохраняли частичную минерализацию. Экологическая нагрузка уменьшилась, но оставалась на среднем уровне [6].

Наиболее высокие результаты были достигнуты при многоступенчатой очистке. Затраты на ППР снизились до 3 млн рублей в год, а тепловые потери в трубопроводах сократились до минимальных значений — не более 5%. Срок службы оборудования увеличился на 25–30%. Использование реагентов стало минимальным благодаря внедрению мембранных технологий, а сточные воды практически исчезли. Возврат парового конденсата достиг 18%, что позволило заметно снизить водопотребление. Экологическая нагрузка оказалась минимальной: снизились выбросы в атмосферу, уменьшился углеродный след, а воздействие на водные объекты практически исключилось. Экономический эффект был получен уже в первый год эксплуатации, а срок окупаемости оборудования составил менее трёх лет [7].

Результаты проведённого исследования показывают, что двухступенчатая очистка является эффективным промежуточным вариантом, обеспечивающим заметное снижение эксплуатационных затрат и уменьшение образования накипи по сравнению с одноступенчатой системой. Однако только многоступенчатая очистка позволяет достичь максимальной экологической и экономической эффективности [8].

С экологической точки зрения именно многоступенчатая система является наиболее безопасной, так как она обеспечивает минимизацию сточных вод, сокращение использования химических реагентов, снижение выбросов вредных

соединений и возможность повторного использования парового конденсата. Это снижает нагрузку на природные водные объекты и уменьшает углеродный след предприятия.

Список литературы:

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением», утвержденными приказом Ростехнадзора от 25.03.2014 № 116.
2. СО 153-34.20.501-2003 (РД 34.20.501-95). Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. Утв. Приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 19 июня 2003 г. № 229. - М.: СПО ОРГРЭС, 2003
3. СП 89.13330.2012 Котельные установки. Актуализированная редакция СНиП N-35-76 (Приказ Минрегиона России от 30.06.2012 N 281
4. РД 34.20.145-92. Методические указания по выбору типа системы теплоснабжения с учетом качества воды.
5. Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике: Учебное пособие для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2006. 309 с.: ил.
6. Козачек А.В. Безопасность водных экосистем и проблемы реализации процесса очистки сточных вод от биогенных веществ / А. В. Козачек, Ю. В. Зеленева, Т. В. Скопинцева [и др.] // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2015. – Т. 20, № 1. – С. 219-222.
7. Козачек, А. В. Экологические основы природопользования : учебное пособие для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования / А. В. Козачек ; А.
8. В. Козачек. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. – 442 с. – (Серия Среднее профессиональное образование).