



# Sovitish tizimlarida qo'llaniladigan kimyoviy reagentlardan suvni tozalash muammosi

Lyazat A. Sodikova<sup>1, a)</sup>, B.A. Sargujieva<sup>1</sup>, Abdulkhay N. Rasulov<sup>2</sup>

<sup>1, a)</sup> PhD, dots., G'arbiy Qozog'iston muhandislik-texnologiya universiteti, 090000, Oral, Qozog'iston.

<sup>1</sup> PhD, dots., G'arbiy Qozog'iston muhandislik-texnologiya universiteti, 090000, Oral, Qozog'iston.

<sup>2</sup> t.f.n., prof., Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; [abdulhajrasulov@gmail.com](mailto:abdulhajrasulov@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2900-450X>

**Dolzarbliq:** Texnika va texnologiyalarning jadallashuvi sanoat korxonalarining atrof-muhitga ta'sirini kuchaytirib, suv havzalarining kimyoviy reagentlar va toksik chiqindilar bilan ifloslanishini jiddiy muammoga aylantirmoqda. Ayniqsa, sovutish tizimlarida qo'llaniladigan kimyoviy moddalar (ingibitorlar, biotsidlar, antinakip qo'shimchalari) chiqindi suvlar orqali ekologik muhitga katta xavf tug'diradi. Shu sababli, ekologik xavfsizlikni ta'minlash va sanoat korxonalarining barqarorligini oshirish uchun samarali va iqtisodiy jihatdan tejamkor suv tozalash texnologiyalarini qo'llash dolzarb hisoblanadi.

**Maqsad:** Sovutish tizimlarida qo'llaniladigan kimyoviy reagentlarni oqava suv tarkibidan samarali ajratib olish hamda sanoat korxonalarida ekologik xavfsizlikni oshirishga xizmat qiluvchi optimal texnologiyalarni aniqlash.

**Usullari:** Maqolada zamonaviy suvni tozalash usullari – elektrokogulyatsiya (EK), elektrodializ (ED) va membran/termo-membran distillatsiyasi (MD) texnologiyalari tahlil qilindi. Har bir metodning ishlash prinsipi, samaradorligi, ustun va zaif tomonlari taqqoslandi. Shuningdek, sovutish tizimlaridagi asosiy muammolar – korroziya, nakip hosil bo'lishi, ifloslanish va mikrobiologik faollikni kamaytirishga ta'siri baholandi.

**Natijalar:** Tadqiqot natijalariga ko'ra, elektrokogulyatsiya organik va kolloid ifloslantiruvchi moddalarni samarali olib tashlasi, elektrodializ ion shaklidagi tuzlarni yuqori darajada yo'qotadi va suvni qayta ishlatishga imkon beradi. Membran distillatsiyasi esa deyarli barcha kimyoviy reagentlar va og'ir metallardan chuqur tozalash imkonini beradi. Biroq har bir texnologiyaning energiya sarfi, membranalar qiymati va qo'shimcha shlam hosil bo'lishi kabi cheklovlari mavjud. Kompleks yondashuv orqali bu texnologiyalarni qo'llash sanoat korxonalarida suv resurslaridan samarali foydalanish, ekologik xavfsizlikni ta'minlash hamda sovutish tizimlarining ishonchligini oshirish imkonini beradi.

**Kalit so'zlari:** suvni tozalash, kanalizatsiya, sovutish tizimlari, kimyoviy reagentlar, atrof-muhit xavfsizligi, sanoat drenajlari.

## Проблема очистки воды от химических реагентов, применяемых в системах охлаждения

Лязат А. Садыкова<sup>1, a)</sup>, Б.А. Саргужиева<sup>1</sup>, Абдулхай Н. Расулов<sup>2</sup>

<sup>1, a)</sup> PhD, доц., Западно-Казахстанский инженерно-технологический университет, 090000, г. Уральск, Казахстан.

<sup>1</sup> PhD, доц., Западно-Казахстанский инженерно-технологический университет, 090000, г. Уральск, Казахстан.

<sup>2</sup> к.т.н., проф., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; [abdulhajrasulov@gmail.com](mailto:abdulhajrasulov@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2900-450X>

**Актуальность:** Ускоренное развитие техники и технологий усиливает воздействие промышленных предприятий на окружающую среду, превращая загрязнение водоёмов химическими реагентами и токсичными отходами в серьёзную проблему. Особенно опасными являются химические вещества, применяемые в системах охлаждения (ингибиторы, биоциды, антинакипные добавки), которые через сточные воды представляют значительную угрозу для экологии. Поэтому применение эффективных и экономичных технологий очистки воды имеет важное значение для обеспечения экологической безопасности и повышения устойчивости промышленных предприятий.

**Цель:** Эффективное удаление химических реагентов, применяемых в системах охлаждения, из состава сточных вод, а также определение оптимальных технологий, способствующих повышению экологической безопасности промышленных объектов.

**Методы:** В статье рассмотрены современные методы очистки воды – электрокоагуляция (ЭК), электродialиз (ЭД) и мембранная/термомембранная дистилляция (МД). Проанализированы принципы их работы, эффективность, преимущества и недостатки. Дополнительно дана оценка их влияния на решение основных проблем систем охлаждения – коррозии, образования накипи, загрязнения и микробиологической активности.

**Результаты:** По результатам исследования установлено, что электрокоагуляция эффективно удаляет органические и коллоидные загрязнители, электродialиз позволяет значительно снизить концентрацию

**For citation:** L.A. Sodiqova, B.A. Sargujieva, A.N.Rasulov. The problem of water purification from chemical reagents used in cooling systems. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2025, no. 2, pp. 116-120.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.16942951>

Received: 14.01.2025

Revised: 19.03.2025

Accepted: 17.05.2025

Published: 27.06.2025

**Copyright:** © Lyazat A. Sodikova, B.A. Sargujieva, Abdulkhay N. Rasulov, 2025. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



солей и обеспечивает возможность повторного использования воды, а мембранная дистилляция обеспечивает глубокую очистку практически от всех химических реагентов и тяжёлых металлов. Однако для каждой технологии характерны определённые ограничения: энергозатратность, высокая стоимость мембран и образование осадка. Комплексное применение этих технологий позволит промышленным предприятиям более рационально использовать водные ресурсы, повысить экологическую безопасность и надёжность работы систем охлаждения.

**Ключевые слова:** очистка воды, сточные воды, системы охлаждения, химические реагенты, экологическая безопасность, промышленные стоки.

## The problem of water purification from chemical reagents used in cooling systems

Lyazat A. Sodikova<sup>1, a)</sup>, B.A. Sargujieva<sup>1</sup>, Abdulkhay N. Rasulov<sup>2</sup>

<sup>1,a)</sup> PhD, assoc. prof, West Kazakhstan Engineering and Technology University, 090000, Oral, Kazakhstan.

<sup>1)</sup> PhD, assoc. prof, West Kazakhstan Engineering and Technology University, 090000, Oral, Kazakhstan.

<sup>2</sup> PhD, prof., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; [abdulhajrasulov@gmail.com](mailto:abdulhajrasulov@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2900-450X>

**Relevance:** The rapid development of technology intensifies the impact of industrial enterprises on the environment, turning the pollution of water bodies with chemical reagents and toxic wastes into a serious problem. In particular, the chemical substances used in cooling systems (inhibitors, biocides, anti-scale additives) pose a significant threat to the environment through wastewater discharge. Therefore, the application of efficient and economically viable water treatment technologies is highly relevant to ensure environmental safety and increase the sustainability of industrial enterprises.

**Aim.** To effectively remove chemical reagents used in cooling systems from wastewater and to identify optimal technologies that contribute to improving the environmental safety of industrial facilities.

**Methods:** The article analyzes modern water treatment methods, including electrocoagulation (EC), electro dialysis (ED), and membrane/thermo-membrane distillation (MD) technologies. The principles of operation, efficiency, advantages, and limitations of each method are compared. In addition, their impact on reducing the main problems of cooling systems—corrosion, scale formation, contamination, and microbiological activity—was evaluated.

**Results:** According to the research findings, electrocoagulation effectively removes organic and colloidal pollutants; electro dialysis significantly reduces the concentration of ionic salts and enables the reuse of water; while membrane distillation provides deep purification from almost all chemical reagents and heavy metals. However, each technology has its own limitations, such as energy consumption, membrane costs, and the formation of additional sludge. A comprehensive approach to applying these technologies will allow industrial enterprises to use water resources more efficiently, ensure environmental safety, and improve the reliability of cooling systems.

**Keywords:** water treatment, wastewater, cooling systems, chemical reagents, environmental safety, industrial effluents.

### 1. Введение (Introduction)

В промышленных предприятиях вода является одним из важнейших технологических ресурсов, и одной из основных сфер её применения выступают системы охлаждения. Различные химические реагенты — ингибиторы коррозии, биоциды, антиизвестковые добавки и другие вещества — играют важную роль в поддержании качества воды и повышении эффективности работы оборудования. Однако избыточное использование этих реагентов и их возврат в природную среду в составе сточных вод создают серьёзные экологические проблемы.

Загрязнение водоёмов химическими реагентами представляет серьёзную угрозу экологической устойчивости, так как токсичные вещества приводят к снижению биологического разнообразия, ухудшению качества водных ресурсов и оказывают негативное воздействие на здоровье человека. В связи с этим эффективная очистка сточных вод, образующихся в системах охлаждения промышленных предприятий, является одной из приоритетных задач обеспечения экологической безопасности.

В последние годы разработаны и внедряются различные технологии очистки воды, среди которых широкое применение находят электрокоагуляция, электродиализ и мембранная дистилляция. Каждая из этих технологий обладает своими преимуществами и ограничениями, однако их комплексное использование обеспечивает более рациональное использование водных ресурсов, повышение устойчивости промышленного производства и укрепление экологической безопасности.

Таким образом, в данной статье рассматривается проблема очистки воды от химических реагентов, применяемых в системах охлаждения, а также анализируются современные технологии и возможные пути разработки эффективных решений.



## 2. Методы и материалы (Methods and materials)

Вода, обладая уникальными универсальными растворяющими свойствами, занимает ключевое место практически во всех промышленных процессах и технологиях. Благодаря своей высокой растворяющей способности она применяется в энергетике, металлургии, химической, текстильной, нефтеперерабатывающей и других отраслях. Однако активное развитие индустриализации и интенсификация хозяйственной деятельности человека обусловили образование значительных объёмов сточных вод, в составе которых присутствуют токсичные соединения, в том числе тяжёлые металлы.

Распространение тяжёлых металлов в водных экосистемах связано с целым комплексом антропогенных факторов. К основным источникам их поступления относятся процессы нанесения металлических покрытий, гальванопокрытие, горнодобывающая промышленность, производство аккумуляторов и печатных плат, деревообработка, переработка нефти, текстильное производство и многие другие виды деятельности. Дополнительным источником загрязнения выступают химические процессы, сопровождающие эксплуатацию инженерных систем, такие как коррозия трубопроводов и износ металлического оборудования. К этому также добавляются прямые сбросы отходов, содержащих тяжёлые металлы, в природные водоёмы, а также непреднамеренные разливы или утечки [1].

Особое внимание в промышленных системах охлаждения уделяется поверхностям теплообмена, которые выполняют ключевую функцию в процессе отвода тепла, но одновременно становятся причиной образования накипи. Накипь формируется в результате снижения растворимости солей при высоких температурах, например соединений кальция, что приводит к выпадению твёрдых осадков на поверхностях теплообмена. Образовавшиеся отложения действуют как тепловой изолятор, существенно ухудшая процессы теплообмена и снижая эффективность работы градирен. Это, в свою очередь, приводит к росту энергопотребления, увеличению эксплуатационных затрат и ускоренному износу оборудования [2].

Таким образом, проблема загрязнения сточных вод тяжёлыми металлами и образования накипи в системах охлаждения представляет собой одну из ключевых задач в области промышленной экологии и эксплуатации оборудования, требующую внедрения комплексных и современных технологий водоподготовки.

## 3. Результаты и обсуждение (Results and discussion)

Системы охлаждения в промышленности представляют собой особую среду, в которой создаются благоприятные условия для развития коррозионных процессов. Особенно уязвимыми являются замкнутые системы, так как они характеризуются низкими потерями воды и, как правило, реже подвергаются техническому обслуживанию. Подобное пренебрежение приводит к накоплению агрессивных соединений, что в свою очередь ускоряет развитие коррозии и вызывает необходимость дорогостоящих ремонтных работ. Утечки из систем охлаждения не только снижают их эксплуатационные характеристики, но и способны повлечь за собой повреждения других технологических объектов, создавая угрозу комплексных аварий.

Системы охлаждения тепловых, атомных электростанций, а также крупных промышленных предприятий потребляют значительные объёмы воды. Для защиты теплообменного оборудования и трубопроводов в них применяются специальные химические реагенты:

- ингибиторы коррозии (фосфаты, нитриты, молибдаты), замедляющие электрохимические процессы разрушения металлов;
- антипенные и антикальциевые добавки, препятствующие образованию накипи и осадков;
- биоциды, используемые для подавления развития микроорганизмов и биоплёнок.

Однако после прохождения через систему охлаждения вода, содержащая остаточные количества указанных реагентов, поступает в оборотные или сбросные системы. Это требует проведения многоступенчатой очистки, так как главная опасность заключается в высокой токсичности этих веществ, их стойкости к биологическому разложению и способности накапливаться в природных водоёмах, оказывая долговременное негативное воздействие на экосистемы.

В практике электростанций наиболее широко используется пресная вода для охлаждения, но в качестве альтернативы применяются также сточные или солёные воды. Каждое из этих решений имеет свои преимущества и ограничения. Например, морская вода является естественным и распространённым вариантом для прибрежных электростанций, однако такие объекты сталкиваются с аналогичными проблемами, что и наземные станции, в частности с деградацией локальных водных экосистем вследствие чрезмерного забора ресурсов и термического загрязнения, вызванного сбросом перегретых охлаждающих вод [3-10].

Возникновение любых проблем в системах охлаждения — или, что чаще, их сочетание —



приводит к значительным негативным последствиям: дорогостоящим незапланированным простоям, снижению производительности оборудования, перерасходу воды, росту эксплуатационных и сервисных затрат, необходимости замены дорогостоящих узлов и проведения кислотных промывок. Всё это существенно сокращает срок службы оборудования и снижает надёжность работы предприятия в целом.

На сегодняшний день универсального метода очистки охлаждающей воды не существует. Наиболее перспективным подходом является применение комплекса решений, включающего физико-химические, биологические и мембранные технологии. Эти методы направлены на предотвращение коррозии, образование накипи, удаление остаточных химических реагентов и обеспечение стабильного функционирования оборудования при минимальном негативном воздействии на окружающую среду.

Согласно результатам современных исследований [4], к наиболее эффективным технологиям очистки сточных вод, содержащих химические реагенты, относятся:

электрокоагуляция (ЭК) – оптимальна для удаления органических и коллоидных загрязнителей;

электродиализ (ЭД) – эффективен в отношении ионных солевых соединений;

мембранная дистилляция (МД) – универсальный метод глубокой очистки, позволяющий удалить практически все виды химических реагентов, включая тяжёлые металлы.

Таким образом, проблема обеспечения надёжной работы систем охлаждения требует внедрения интегрированных и современных технологий водоподготовки, что является ключом к повышению экологической безопасности и устойчивости промышленных объектов.

**Таблица 1.** Загрязняющие вещества, которые могут быть удалены с помощью технологий очистки ЭК, ЭД, МД

**Table 1.** Pollutants that can be removed using EC, ED, and MD treatment technologies

Метод	Принцип работы	Какие химические реагенты удаляет	Преимущества	Недостатки	Примеры применения
Электрокоагуляция (ЭК)	На электродах образуются гидроксиды металлов (Al, Fe), которые связывают загрязнения и осаждают их	Фосфаты, нитриты, ингибиторы коррозии, ПАВы, органические соединения	Эффективно удаляет коллоидные и органические вещества- Снижает цветность и токсичность	Образуется шлам- Требуется подбор режимов тока и pH	Очистка оборотных и сточных вод ТЭС, нефтехимии, металлургии
Электродиализ (ЭД)	Разделение воды через ионообменные мембраны под действием электрического поля	Ионные формы реагентов, соли (фосфаты, хлориды, нитраты)	Высокая степень обессоливания- Повторное использование воды- Низкий расход реагентов	Плохо удаляет органику и неионные вещества- Дорогостоящие мембраны	Деминерализация воды для систем охлаждения на ТЭС, АЭС, химических предприятиях
Мембранная/термомембранная дистилляция (МД)	Испарение воды через гидрофобную мембрану, разделение на чистую воду и концентрат	Практически все химические реагенты, соли, органические вещества, тяжёлые металлы	Универсальный метод- Глубокая очистка (до питьевого качества)- Не требует химических реагентов	Энергозатратно- Требуется термостойкие мембраны	Очистка сложных промышленных стоков, концентрирование сточных вод с реагентами

Эффективность каждой технологии очистки варьируется и зависит от исходной концентрации загрязнителей, состава сточных вод и условий эксплуатации, что подтверждается результатами исследований.

#### 4. Заключение (Conclusions)

Проведённый анализ подтвердил, что системы охлаждения промышленных объектов играют ключевую роль в обеспечении технологических процессов, но одновременно представляют серьёзную угрозу окружающей среде из-за использования химических реагентов — ингибиторов коррозии, антиизвестковых добавок и биоцидов. Остаточные количества этих веществ накапливаются в сточных водах, обладают высокой токсичностью и устойчивостью к разложению, что приводит к деградации водных экосистем.

Исследование показало, что универсального метода очистки охлаждающей воды не существует, а эффективность каждой технологии зависит от исходной концентрации загрязнителей, состава сточных вод и условий эксплуатации. Тем не менее, современные методы — электрокоагуляция, электродиализ и мембранная дистилляция — продемонстрировали высокую эффективность при удалении различных групп загрязнителей: органических соединений, ионных



солей, тяжёлых металлов и практически всех видов химических реагентов.

Несмотря на определённые недостатки (энергоёмкость, высокая стоимость мембран, образование осадка), их комплексное использование в рамках многоступенчатых схем водоподготовки позволяет существенно повысить надёжность работы оборудования, сократить эксплуатационные расходы и снизить негативное воздействие на окружающую среду.

Таким образом, внедрение интегрированных технологий очистки воды является необходимым условием для устойчивого функционирования энергетических и промышленных предприятий, а также для обеспечения экологической безопасности и рационального использования водных ресурсов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Soliman M., Eldjak F., Kazi M.-K., Almomani F., Ahmed E., El Djek Z. Cooling tower blow-down water treatment technologies: a critical review // *Sustainability*. – 2022. – Vol. 14. – No. 376.
2. Oladimeji T.E., Oyedemi M., Emeteri M.E., Agboola O., Adeoye J.B. Review on the impact of heavy metals from industrial wastewater effluent and removal technologies // *Heliyon*. – 2024. – Vol. 10. – No 25.
3. Методы снижения концентрации сульфатов в сточных водах горнорудных предприятий / В. А. Маслобоев [и др.] // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2017. — № 1 (9). — С. 99–115.
4. Медведева И.В., Медведева О.М., Студенок А.Г., Студенок Г.А., Цейтлин Е.М. Новые композитные материалы и процессы для химических, физико-химических и биохимических технологий водоочистки. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2023. Т. 66. Вып. 1. С. 6–27.
5. Amjad, Z. (1995). Cooling water treatment: Principles and practice. CRC Press.
6. Féron, D., & Crusset, D. (2004). Corrosion and protection of cooling water systems. *Materials and Corrosion*, 55(6), 439–445.
7. Black, S. R., & Lim, S. H. (2002). Biocides in cooling water systems: Issues and solutions. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 29(2), 67–73.
8. Amjad, Z. (2010). Water soluble polymers for industrial water treatment. *Polymer Reviews*, 50(2), 150–171.
9. Demadis, K. D., & Neofotistou, E. (2004). Inhibition and control of calcium phosphate scale in cooling water systems by biodegradable additives. *Desalination*, 167(1–3), 293–306.
10. Amjad, Z., & Kazi, S. (2011). Control of deposit and scale formation in industrial water systems. *Journal of Environmental Engineering*, 137(6), 476–485.

## REFERENCES

1. Soliman M., Eldjak F., Kazi M.-K., Almomani F., Ahmed E., El Djek Z. Cooling tower blow-down water treatment technologies: a critical review // *Sustainability*. – 2022. – Vol. 14. – No. 376.
2. Oladimeji T.E., Oyedemi M., Emeteri M.E., Agboola O., Adeoye J.B. Review on the impact of heavy metals from industrial wastewater effluent and removal technologies // *Heliyon*. – 2024. – Vol. 10. – No 25.
3. Методы снижения концентрации сульфатов в сточных водах горнорудных предприятий / В. А. Маслобоев [и др.] // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2017. — № 1 (9). — С. 99–115.
4. Медведева И.В., Медведева О.М., Студенок А.Г., Студенок Г.А., Цейтлин Е.М. Новые композитные материалы и процессы для химических, физико-химических и биохимических технологий водоочистки. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2023. Т. 66. Вып. 1. С. 6–27.
5. Amjad, Z. (1995). Cooling water treatment: Principles and practice. CRC Press.
6. Féron, D., & Crusset, D. (2004). Corrosion and protection of cooling water systems. *Materials and Corrosion*, 55(6), 439–445.
7. Black, S. R., & Lim, S. H. (2002). Biocides in cooling water systems: Issues and solutions. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 29(2), 67–73.
8. Amjad, Z. (2010). Water soluble polymers for industrial water treatment. *Polymer Reviews*, 50(2), 150–171.
9. Demadis, K. D., & Neofotistou, E. (2004). Inhibition and control of calcium phosphate scale in cooling water systems by biodegradable additives. *Desalination*, 167(1–3), 293–306.
10. Amjad, Z., & Kazi, S. (2011). Control of deposit and scale formation in industrial water systems. *Journal of Environmental Engineering*, 137(6), 476–485.