

УДК 628.167

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО
ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ НА АЭС
APPLICATION OF ULTRAVIOLET WATER DISINFECTION
TECHNOLOGY AT NUCLEAR POWER PLANTS**

Е.Д. Жабров

Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

egorzhabrov22@gmail.com

E. Zhabrov

Supervisor – V. Romanko, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в данной статье рассматривается применение технологии ультрафиолетового (УФ) обеззараживания воды на АЭС. Описаны основные принципы работы, преимущества и экологическая эффективность.

Abstract: in this article, the application of ultraviolet (UV) water disinfection technology at nuclear power plants is examined. The main principles of operation, advantages and environmental efficiency are described.

Ключевые слова: ультрафиолетовое обеззараживание, очистка воды, атомная электростанция, экология, энергоэффективность, энергетика, водоподготовка.

Keywords: ultraviolet disinfection, water treatment, nuclear power plant, ecology, energy efficiency, energy sector, water purification.

Введение

Сточные воды, образующиеся на атомных электростанциях, представляют собой сложный и разнообразный по составу поток, который формируется в процессе работы различных технологических систем. В таких водах могут встречаться как органические вещества, химические реагенты, так и следы радионуклидов. Поэтому подход к их очистке должен быть тщательным и продуманным: важно учитывать источники загрязнений, состав воды и выбирать наилучшие методы очистки.

На АЭС ежегодно образуются значительные объемы сточных вод, большая часть которых требует предварительной подготовки. Особое внимание уделяется вопросу обеззараживания: удаление патогенной микрофлоры критически важно, как для защиты окружающей среды, так и для бесперебойной работы станции. В условиях ужесточения экологических норм и увеличения запросов на повторное использование ресурсов, все большее внимание уделяется ультрафиолетовому обеззараживанию. Этот метод становится всё более актуальным, поскольку он прост, безопасен и эффективен при финальной очистке сточных вод [1].

Основная часть

Сточные воды, образующиеся на атомных электростанциях, – это не просто «техническая жидкость». Данные воды разнообразны по составу и внушительны по объёму. Формируются они в процессе работы целого ряда технологических систем. В таких водах можно обнаружить самые разные примеси: от остатков химических реагентов и взвешенных частиц до органических соединений и следов нефтепродуктов. А в отдельных случаях встречаются и более серьёзные компоненты – радионуклиды. Главные источники этих стоков – системы охлаждения, установки водоподготовки, промывочные воды, а также аварийные сливы и продувки оборудования.

По своему происхождению сточные воды атомных электростанций делятся на три основные категории: условно чистые, загрязненные и потенциально радиоактивные. Условно чистыми считаются те, что не содержат вредных примесей и могут быть сброшены после минимальной доочистки или вообще без неё. Загрязненные воды, как правило, насыщены минеральными веществами, маслами или органикой и требуют более глубокой многоступенчатой очистки. Ну а те, что могут содержать радионуклиды, подлежат особо строгому контролю и переработке в соответствии с ядерными и экологическими регламентами.

Если рассмотреть опыт эксплуатации различных атомных электростанций, становится понятно: объёмы сточных вод, с которыми приходится иметь дело, достигают нескольких тысяч кубометров в год – и это число варьируется в зависимости от производственной загрузки и режимов эксплуатации. Согласно открытым источникам, средний объем стоков, образующихся на станции, составляет порядка 15–20 м³ в час. Из них до трети требует дополнительной очистки – либо перед тем, как сбросить воду в водоем, либо перед ее повторным использованием в технологических нуждах. Основные потоки загрязненной воды поступают из систем химводоочистки, охлаждения, а также из санитарно-бытовых узлов [2].

Требования к качеству сточных вод перед выпуском в окружающую среду жёстко регламентированы, как национальными, так и международными стандартами. В Беларуси действуют строгие санитарные нормы, в том числе по микробиологическим показателям. Так, например, по колиформным бактериям предельно допустимая концентрация составляет не более 1000 КОЕ/л. А по химическим веществам (таким как аммоний-ион, фосфаты, нефтепродукты и другие) установлены чёткие предельно-допустимые концентрации (ПДК) – в зависимости от класса водоема-приемника и характера воздействия. Конкретные значения варьируются, но, например, по нефтепродуктам часто применяется норма не выше 0,05 мг/л, а по аммоний-иону – до 0,39 мг/л для хозяйственно-бытовых сбросов [3].

Одним из ключевых этапов в обращении с такими водами становится их обеззараживание. Даже если органическое загрязнение невелико, сточные воды могут содержать массу микроорганизмов, включая патогены, опасные как при сбросе в водоемы, так и при использовании воды внутри предприятия. Традиционные способы обеззараживания, основанные на хлорировании или других химических реактивах, не лишены своих проблем. Помимо

специфического запаха и вкуса, они могут приводить к образованию вредных побочных соединений – например, тригалометанов, известных своими канцерогенными свойствами. Плюс ко всему, такие методы требуют точнейшего дозирования и постоянного контроля, а это дополнительная нагрузка на персонал и оборудование.

На этом фоне всё больше внимания привлекают физические методы обработки воды, способные обеспечить высокий уровень безопасности без сопутствующих рисков. Один из таких методов – ультрафиолетовое обеззараживание. Оно основано на воздействии коротковолнового УФ-излучения (в диапазоне 200–280 нм) на генетический материал микроорганизмов. В результате нарушается механизм деления клеток, что приводит к их гибели [4]. Ультрафиолет не требует добавления химикатов, не оставляет вторичных загрязнений и легко вписывается в существующие схемы водоочистки. Особенно хорошо метод зарекомендовал себя именно в системах сточных вод, предварительно прошедших механическую и физико-химическую очистку, где важно быстро и надежно снизить микробиологическую нагрузку.

Методика УФ-обеззараживания не универсальна для всех типов сточных вод. Она применяется преимущественно на завершающей стадии обработки к уже очищенной воде, не содержащей крупных взвесей, нефтепродуктов или радиоактивных компонентов. То есть, назначение данной очистки – это финальный барьер, который гарантирует санитарную безопасность перед сбросом или повторным использованием воды в технологических циклах.

С учетом ужесточения экологических норм УФ-обеззараживание выглядит как одно из наиболее перспективных решений для энергетического сектора – и в частности, для атомной отрасли.

Конструктивно установка для ультрафиолетовой обработки представляет собой довольно простую, но надежную систему. В её центре – УФ-лампа, заключенная в кварцевый защитный чехол и помещенная внутрь цилиндрической реакционной камеры из нержавеющей стали. Вода подаётся через входной патрубок, омывает лампу снаружи и выходит через выходной, равномерно облучаясь по всему объёму. Управление установкой осуществляется с помощью внешнего блока, который подаёт питание (220 В), отслеживает рабочие параметры и, в случае сбоев, автоматически отключает систему. Такая конфигурация позволяет обеззараживать воду эффективно, без химии и при минимальных эксплуатационных затратах.

На рисунке 1 представлена типовая схема УФ-установки, включающая основную лампу, кварцевый защитный чехол, цилиндрическую камеру и элементы системы управления.

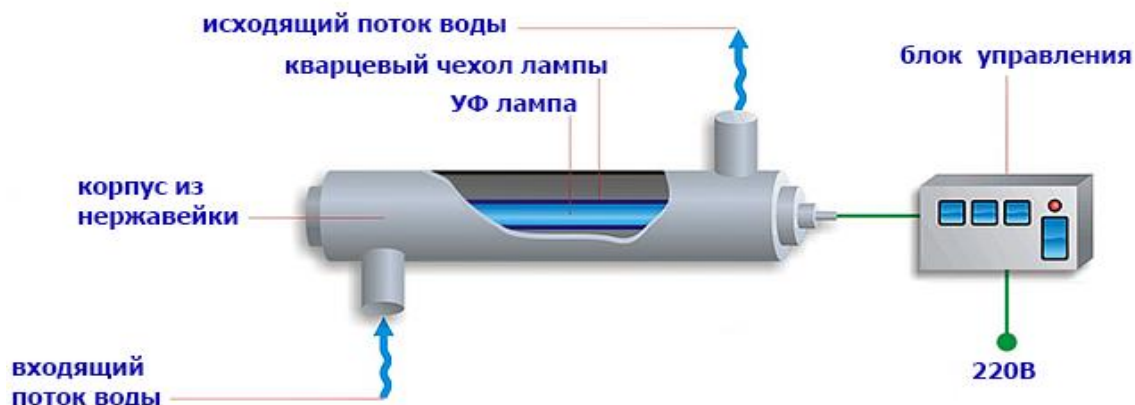


Рисунок 1 – Схема установки ультрафиолетового обеззараживания воды [5]

Современные УФ-системы спроектированы с расчётом на жёсткие условия эксплуатации: они надежны, энергоэффективны и требуют от оператора минимум вмешательства. Однако стоит учитывать один важный момент: эффективность ультрафиолета падает при высокой мутности воды. Взвешенные частицы могут частично экранировать излучение, снижая его воздействие на микроорганизмы. Поэтому перед подачей воды на УФ-обработку необходимо провести ее предварительную фильтрацию и осветление, чтобы обеспечить стабильный и надежный результат.

На практике такие установки уже применяются в энергетике. Одним из примеров применения данной технологии, является турецкая АЭС «Аккую», где внедрили сразу шесть УФ-систем для обработки как технической, так и сточной воды. В результате использования удалось добиться серьёзного снижения микробиологического загрязнения, при этом полностью отказавшись от химических дезинфектантов [6]. Автоматизация, надёжность конструкции и стабильная работа оборудования позволили значительно разгрузить персонал и сократить вероятность ошибок.

С точки зрения экологии также достигнут положительный эффект. Сниженная микробиологическая нагрузка в сточных водах улучшила обстановку в районе станции и упростила процессы утилизации. Этот опыт наглядно показывает, насколько эффективным может быть УФ-обеззараживание на атомных объектах.

Данную технологию обеззараживания сточных вод можно рассматривать как возможную для применения на атомной станции и в Республике Беларусь. Ультрафиолетовая обработка позволит сократить использование химикатов, снизить нагрузку на окружающую среду и сделать обращение со сточными водами более безопасным и простым. К тому же, технология легко интегрируется в уже существующую инфраструктуру, а значит, её внедрение не требует масштабных переделок. На практике это может выглядеть так: установка УФ-обеззараживания размещается на завершающем этапе очистки – после фильтрации и удаления взвесей, но до сброса в водоём или повторного использования. Таким образом, ультрафиолет выполняет функцию финальной гарантии микробиологической безопасности.

Кроме того, современное оборудование не только энергоэффективно, но и долговечно, а его обслуживание не требует больших усилий. Всё это делает УФ-технологии подходящими и перспективными для внедрения на действующих АЭС – с минимальными затратами и без остановки ключевых процессов.

Заключение

Ультрафиолетовое обеззараживание – это современный и безопасный способ обработки воды, который позволяет эффективно устранять биологические загрязнения без вреда для окружающей среды. Данный метод не заменяет традиционные системы водоподготовки, он может выступать в качестве их дополнения, особенно в отношении сточных вод и вод, подверженных микробиологическому риску.

На примере АЭС "Аккую" видно, что технология прошла успешный опыт эксплуатации. Она надежна, экономична и экологически оправдана. Внедрение подобного решения на действующих АЭС может стать важным шагом на пути к повышению экологической устойчивости и эффективности эксплуатации станции. Это отвечает как национальным интересам, так и международным требованиям в области энергетической безопасности и охраны окружающей среды.

Однако при внедрении УФ-систем необходимо учитывать и определённые ограничения. Эффективность обработки напрямую зависит от прозрачности воды – при высокой мутности или наличии взвешенных частиц возможно экранирование излучения, что снижает обеззараживающее действие. Также требуется регулярное техническое обслуживание оборудования, включая очистку кварцевых чехлов и замену ламп по мере их деградации. Важно обеспечить меры безопасности при работе с УФ-излучением и корректную интеграцию системы в существующую схему очистки. Эффективное внедрение требует комплексного инженерного подхода, включая оценку условий эксплуатации и адаптацию к специфике очистных сооружений.

Литература

1. Воздействие АЭС на окружающую среду: [сайт]. – URL: https://energobelarus.by/articles/traditsionnaya_energetika/vozdeystvie_aes_na_okr_uzhayushchuyu_sredu/ (дата обращения: 05.03.2025).
2. АЭС Пало-Верде: [сайт]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/АЭС_Пало-Верде/ (дата обращения: 11.02.2025).
3. Санитарные правила и нормы 2.1.4. Гигиенические требования к качеству воды. Контроль качества: [сайт]. – URL: <https://mshp.gov.by/ru/technical-acts-ru/view/sanitarnye-pravila-i-normy-214-laquopitjevaja-voda-i-vodosnabzhenie-naselennyx-mest-pitjevaja-voda-gigieni-4088/> (дата обращения: 09.04.2025).
4. Очистка воды ультрафиолетом: [сайт]. – URL: <https://filtromir.ru/blog/ochistka-vody-ultrafioletom/> (дата обращения: 22.03.2025).
5. Ультрафиолет: эффективная дезинфекция и безопасность: [сайт]. – URL: <https://habr.com/ru/articles/500942/> (дата обращения: 08.01.2025).
6. Опыт работы АЭС "Аккую": [сайт]. – URL: <https://journal.vavt.ru/rfej/article/view/2512/2332/> (дата обращения: 14.02.2025).