

## СПОСОБЫ ДЕЗАКТИВАЦИИ: ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

**К.В. Дубровский, А.В. Зенков**

*Томский политехнический университет, ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа А4-44*

Научный руководитель: Д.В. Гвоздяков, к.т.н., доцент НОЦ И.Н. Бутакова, ИШЭ ТПУ

Загрязнение материалов может возникать из-за утечек радиоактивного теплоносителя из первого контура реактора, в процессе хранения и обращения с радиоактивными отходами, а также во время технического обслуживания, ремонта и замены ядерного топлива. Загрязнение воздуха может привести к оседанию радиоактивных веществ на стенах, потолках и в вентиляционных системах [1].

Существует несколько видов радиоактивных загрязнений [2]:

- нефиксированное, этот тип загрязнений обусловлен слабой адгезией, при которой между радиоактивными частицами и поверхностью сохраняется чёткая граница;
- прочнофиксированное загрязнения, проникают глубоко в структуру материала, что связано с процессами коррозии, диффузией и образованием оксидных слоёв;
- слабофиксированное загрязнения чаще всего формируются благодаря ионному обмену и адсорбции нуклидов, затрагивая только поверхностные слои материалов.

Радиоактивные вещества, как правило, концентрируются на поверхности оборудования и редко проникают вглубь, за исключением пористых материалов, таких как бетон. Их распределение может быть неоднородным: нередко загрязнения скапливаются на полах, стенах, а также под оборудованием или в его труднодоступных частях. В процессе демонтажа таких элементов, как трубопроводы, резервуары, кабели или двигатели, требуется учитывать возможные утечки радиоактивных веществ [3].

Целью дезактивации является снижение уровня загрязнений до безопасных значений, соответствующих установленным нормативам, или до уровня, при котором обеспечиваются комфортные условия труда для персонала АЭС, выполняющего ремонтные работы [4].

Методы дезактивации можно разделить на химические, физико-химические и физико-механические. Эти подходы неоднократно становились объектом научных исследований как в теории, так и на практике [5].

Наиболее часто применимыми являются химические методы, предполагающие использование специальных растворов для разрушения связей между радиоактивными веществами и поверхностью. Такие растворы переводят загрязнения в жидкую фазу, упрощая их удаление. Основными компонентами этих средств являются вода, кислоты, щелочи, соли, а также вещества с поверхностно-активными и комплексообразующими свойствами. Чаще всего применяются комбинированные растворы, состав которых подбирается исходя из характеристик загрязнений, включая силу их связи с поверхностью [6]. Эффективность очистки увеличивается при чередовании кислотных и щелочных составов, а также окислителей и восстановителей.

Помимо данной очистки, также довольно часто применяются физико-химические и физико-механические методы. К первому способу относятся технологии, такие как электрохимическая обработка, использование специализированных паст, съёмных покрытий или порошкообразных составов. Во втором способе предполагают удаление верхних слоёв материалов вместе с радиоактивными загрязнениями. [7].

Однако эти методы могут повредить поверхности оборудования, особенно при работе с плотными отложениями, такими как свинец, его оксиды или шлаки. Они требуют значительных усилий и часто характеризуются ограниченной эффективностью, что увеличивает радиационное воздействие на персонал, занимающийся очисткой и ремонтом.

Методы дезактивации должны отвечать ряду требований [8]:

- минимизировать образование радиоактивных отходов;
- предотвращать значительные коррозионные и механические повреждения очищаемого материала;
- быть экономичными, безопасными, предотвращать распространение загрязнений и допускать механизацию процессов;
- обеспечивать эффективное удаление радиоактивных загрязнений с поверхности.

При выборе метода дезактивации необходимо учитывать вопросы утилизации и безопасного захоронения образующихся радиоактивных отходов. Методы очистки жидких радиоактивных отходов должны эффективно удалять радионуклиды, концентрируя их в минимальных объемах и надежно изолируя от окружающей среды для безопасного длительного хранения. Существует множество методов дезактивации контурного оборудования реакторных установок с водными и натриевыми жидкометаллическими теплоносителями, которые используют физические, физико-химические и химические процессы для удаления радиоактивных загрязнений [9].

Рассмотрим метод струйной дезактивации оборудования. Этот метод активно используется для очистки оборудования, твердых покрытий и транспортных средств благодаря своей доступности и высокой эффективности. Эффективность струйного метода дезактивации определяется параметрами струи: её структурой, расходом воды и давлением, создаваемым насадкой. Водяная струя может иметь различные формы: быть непрерывной, разделённой на компактные струйки или распадаться на капли. Такие капли могут формироваться естественным образом в результате разрушения струи либо создаваться искусственно.

При дезактивации главное воздействие на обрабатываемую поверхность оказывают начальные порции воды, которые в первую очередь удаляют загрязнения с поверхности. В дальнейшем струйки и капли соединяются, образуя водяную плёнку. Под воздействием последующих порций воды эта плёнка начинает двигаться. Движение плёнки способствует удалению загрязнений с тех участков поверхности, которые не подверглись прямому воздействию струи. Кроме того, она переносит радиоактивные частицы за пределы зоны обработки. Чтобы избежать повторного оседания загрязнений на очищенной поверхности, важно обеспечить достаточно высокую скорость движения плёнки. [10].

Метод струйной дезактивации широко применяется для очистки стен зданий, поверхностей корпуса реактора, а также внутренних и внешних элементов резервуаров и контейнеров. Горячая вода, подающаяся под давлением, часто используется для очистки парогенераторов, теплообменников и других видов оборудования.

Дезактивация струёй воды может проводиться при разном давлении, и каждый подход имеет свои преимущества и недостатки [11]:

- при давлении до 5 атм. основным преимуществом является высокая мобильность и простота использования, однако коэффициент дезактивации остаётся низким;
- при давлении от 5 до 50 атм. достигается более высокий коэффициент дезактивации и сохраняется мобильность, но недостатками становятся высокое энергопотребление, значительный расход дезактивационных растворов и необходимость в сложной инфраструктуре.

Высокоскоростной водоструйный метод, при котором струя достигает сверхзвуковой скорости, эффективно удаляет загрязнения и минимизирует вторичные отходы, но требует значительных финансовых затрат.

Дезактивация с помощью гидромониторов позволяет автоматизировать процесс, использовать различные растворы и обрабатывать всю поверхность, но применима только к специфическим помещениям, имеет низкие коэффициенты дезактивации и требует большого количества реагентов.

Основными недостатками метода водной дезактивации являются высокие энергозатраты и экологические проблемы, так как требуется большой объем моющего раствора, утилизация которого представляет технические и финансовые сложности.

Дальнейшие перспективные исследования будут направлены на изучение взаимодействия дезактивирующих веществ с обрабатываемыми поверхностями и поиск оптимальных способов их нанесения для улучшения эффективности дезактивации оборудования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шеленкова В.В., Кулагина Т.А. Совершенствование технологии дезактивации оборудования с радиоактивным загрязнением // Радиоактивные отходы. – 2021. – № 1(14). – С. 28–38.
2. Способ дезактивации поверхности оборудования и помещений атомных станций: № 94015861/25: заявл. 28.04.1994; опубл. 10.09.1996. – 5 с.
3. Способ дезактивации: № 2009136788/07: заявл. 05.10.2009; опубл. 20.04.2011. – 6 с.
4. Кутьков В.А., Ткаченко В.В., Романцов В.П. и др. Основы радиационного контроля на АЭС.. – М.; Обнинск: Концерн «Росэнергоатом», ИАТЭ, 2005. – 268 с.
5. Никифоров А.С., Куличенко В.В., Жихарев М.И. Обезвреживание жидких радиоактивных отходов. – 1985. – 184 с.
6. Способ химической дезактивации поверхности металлических изделий, зараженных радиоактивными веществами: № 98120260/25: заявл. 13.11.1998; опубл. 27.06.1999. – 9 с.
7. Способ очистки и дезактивации оборудования атомных электрических станций (варианты): № 2009128935/06: заявл. 27.07.2009; опубл. 20.08.2010. – 12 с.
8. Ампелогова Н.И., Симановский Ю.М., Трапезников А.А. Дезактивация в ядерной энергетике. – М.: Энергоатомиздат. 1982. – 256 с.
9. Никифоров А.С., Куличенко В.В., Жихарев М.И. Обезвреживание жидких радиоактивных отходов. – М.: Энергоатомиздат. 1985. – 184 с.
10. Коряковский Ю.С., Доильницын В.А., Акатов А.А. Способы повышения эффективности удаления прочнофиксированных поверхностных радиоактивных загрязнений при химической дезактивации по месту (insitu) // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. – 2018. – № 4. – С. 76–88.
11. Основы технологии дезактивации: учеб. пособие / В.М. Гавриш, Н.М. Дербасова. – Севастополь: СевГУ, 2017. – 316 с.
12. Зимон А.Д., Пикалов В.К. Дезактивация. – М.: Издат. 1994. – 336 с.

## ВЛИЯНИЕ КОНФИГУРАЦИИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА НА ВЫБРОСЫ $\text{NO}_x$ В КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ С ТАНГЕНЦИАЛЬНЫМ СЖИГАНИЕМ

**Н.В. Абрамов**

*Томский политехнический университет, ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа А2-46*

Научный руководитель: А.В. Гиль, к.т.н., доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ

Актуальность исследования обусловлена необходимостью поиска эффективных методов для уменьшения выбросов оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ) при сжигании угля в котельных агрегатах. Несмотря на переход мировой энергетики к низкоуглеродным источникам, уголь продолжает оставаться значимым топливом на ТЭС, что требует эффективных методов для снижения его экологических рисков [1]. Одним из таких методов является использование третичного дутья, которое позволяет регулировать распределение окислителя в топке [2].

Цель исследования – анализ влияния перераспределения окислителя между вторичным воздухом и третичным дутьем на процессы горения и выбросы  $\text{NO}_x$ . В рамках исследования численное моделирование позволило выявить оптимальные условия сгорания и аэродинамики для повышения эффективности и экологической безопасности работы исследуемого котельного агрегата.

Объект исследования – топочная камера котла мощностью 150 МВт с тангенциальной схемой расположения горелок. В топочной камере, размеры которой 7424×7808 мм, установлены горелочные устройства, а также сопла третичного дутья. Схема обеспечивает интен-