



THE PROBLEM OF PURIFICATION OF POLLUTED WATER FROM RADIONUCLIDES AT FUKUSHIMA-DAYICHI NPP

Iboratshoev R. D.

iboratshoevrd@mgri.ru, +74954613777, ext. 21-56

Ganova S. D.

Doctor of Geographical Sciences, Prof.

ganovasd@mgri.ru, +74954613777, ext. 21-56

Buzin A. A.,

Russian State Geological Prospecting University named after

Sergo Ordzhonikidze (MGRI)

buzinaa@mgri.ru, +74954613777, ext. 21-56

Annotation

Currently, the Fukushima Daiichi nuclear power Plant (Japan) is constantly working to manage the flow of contaminated water and control the levels of radionuclides in its treatment systems. This review presents the main stages and stages of water treatment to contain the spread of radionuclides and reduce emissions into the ocean. Huge volumes of polluted water that has passed the preliminary stages of purification are stored in tanks on the territory of the station. Key issues: limited storage capacity of tanks, risk of leaks, removal of tritium from pre-treated water.

Keywords: Nuclear power, nuclear power plant, radiation accident, Fukushima, environmental consequences, radioactive water treatment, radionuclides.

Аннотация

В настоящее время на АЭС «Фукусима-дайти» (Япония) идут постоянные работы по управлению потоками загрязненных вод и контролю уровней радионуклидов в системах ее очистки. В данном обзоре представлены основные этапы и стадии очистки воды для сдерживания распространения радионуклидов и уменьшения выбросов в океан. Колоссальные объемы загрязненной воды, прошедшей предварительные ступени очистки, хранятся в резервуарах на территории станции. Ключевые проблемы: ограниченная емкость хранения резервуаров, риск утечек, удаление трития из предварительно очищенных вод.



Ключевые слова: Атомная энергетика, атомная электростанция, радиационная авария, Фукусима, экологические последствия, очистка радиоактивных вод, радионуклиды.

11 марта 2011 года в Японии в префектуре Фукусима произошла одна из самых крупных катастроф глобального радиационного характера, основными причинами которой стали природные стихийные явления в виде разрушительного землетрясения (Великое восточно-японское землетрясение магнитудой 9 баллов) и вызванного им крупного цунами (высота волн не менее 3 метров)[1]. На атомной электростанции "Фукусима-Дайити" были затоплены аварийные дизель-генераторы, обесточены системы работоспособности и защиты АЭС, которые привели к потере контроля над управлением атомной станцией и чрезвычайным аварийным ситуациям (произошли взрывы на энергоблоках, выброс радионуклидов в атмосферу и расплав активной зоны реакторов).

Аварийная обстановка принудила правительство Японии совместно с оператором станции (компания TEPCO Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc.) разработать план послеаварийного восстановления под названием "Среднесрочная и долгосрочная дорожная карта по выводу из эксплуатации предприятия TEPCO на АЭС Фукусима-Дайити, энергоблоки 1-4". Дорожная карта подробно описывает основные фазы послеаварийного восстановления и решаемые задачи, среди которых основной проблемой представляется задача очистки загрязненной радиоактивной воды и ее хранение на территории станции [2].

После аварии с июня 2011 года начала работать система рециркуляционного контура с установками KURION и AREVA для очистки воды, которая закачивалась в корпус поврежденных реакторов и турбинные залы (рис. 1).

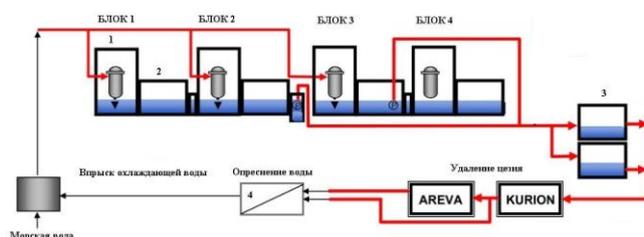


Рисунок 1. Рециркуляционный контур для системы очистки воды [3]: 1 - реакторное здание; 2 - турбинный зал; 3 - здание радиоактивных отходов; 4 - обратный осмос.



В августе 2011 года был произведен запуск нового оборудования - системы активного извлечения и восстановления воды для удаления цезия из загрязненной воды, под названием SARRY™. Спустя некоторое время была сконструирована и добавлена функция удаления стронция. Оборудование стабильно работает и способствует переработке загрязненной воды.

В марте 2013 года была установлена мультирадионуклидная система удаления радионуклидов (Multi Radionuclide Removal System - MRRS™), спроектированная и произведенная компанией Toshiba (рис. 2). Система MRRS должна была проводить очистку вод до понижения уровня активности менее 1 Бк/л в зависимости от радионуклида [4].

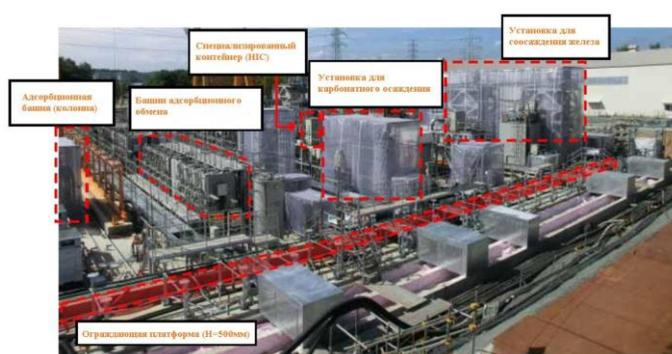


Рисунок 2. Мультирадионуклидная система удаления радионуклидов MRRS™ [3].

С 2013 года очистка загрязненной воды проходит с помощью усовершенствованной системы обработки жидкости для удаления группы радионуклидов (Advanced Liquid Processing System - ALPS) и к концу 2015 года была достигнута цель по снижению эффективной мощности дозы на границах площадки до уровня ниже 1 мЗв/год. Основная задача системы ALPS: удаление или уменьшение концентрации 62 типов нуклидов из загрязненной воды до менее или равной нормативной концентрации. В данной установке радиоактивные материалы удаляются из загрязненной воды в резервуаре, где генерируется большое количество шламовых отходов за счет предварительной обработки (обработка соосаждением железа и обработка карбонатным осаждением) путем впрыска жидкого реагента. Спустя некоторое время эксплуатации ALPS была проведена разработка и демонстрация дополнительного высокоэффективного оборудования (высокоэффективная система ALPS, рис. 3), которое сокращает более 80% отходов за счет эффективной адсорбции радиоактивных материалов на фильтрах и адсорбентах.



а)



б)



в)

Рисунок 3. Внешний вид здания (а) и оборудование (б, в) для удаления основной группы радионуклидов высокоэффективной системой ALPS [5].

В ходе лабораторных испытаний для проверки эффективности удаления радионуклидов в системе ALPS была проведена технология фильтрации и выбран высокоэффективный адсорбент с более длительным сроком службы. По результатам испытаний была определена конфигурация адсорбционной башни после проверочного испытания. В дальнейшем была спроектирована, изготовлена и установлена демонстрационная установка (500 м³/сут), а также изучена эффективность удаления нуклидов. Это система, состоящая в общей сложности из четырех фильтров (из которых три являются хлоридными фильтрами) и 20 адсорбционных башен, включая семь-восемь башен из разработанных адсорбентов по удалению цезия и стронция. Было выявлено, что можно дольше поддерживать производительность в адсорбенте, регулируя состояние очищаемой жидкости по показателю рН до соответствующего щелочного состояния. Фактически оказалось, что загрязненная вода содержит хелатный компонент, образующий комплекс с частью стронция, что считалось причиной низкого коэффициента дезактивации стронция на средней стадии адсорбционной колонны. В ответ на это были приняты контрмеры с диссоциацией комплекса путем превращения его в кислоту на средней стадии системы. Затем обработанная вода, которая была преобразована в кислоту, на последней стадии системы перестраивается в щелочную или нейтральную. При проведении вышеуказанных мероприятий в период начальной эксплуатации установки концентрация стронция на выходе из системы была меньше или равна нормативной концентрации, и в общей сложности было переработано более 34000 тонн загрязненной воды [6].

На данный момент острой проблемой очистки загрязненных вод на станции является задача извлечения радиоактивного изотопа водорода - трития (период полураспада - 12,32 года). Главную радиационную опасность для человека тритий представляет при вдыхании, поглощении с пищей и впитывании через кожу [7].



Как видно из рис. 4, в течении всего времени очистки загрязненных вод, концентрации трития не опускались ниже нормативных значений.

Основная система очистки вод ALPS на АЭС "Фукусима-Дайити" продолжает работать стабильно и надежно. Очищенная системой ALPS вода хранится на территории станции в сварных резервуарах, большинство из которых имеют емкость около 1000 м³. По состоянию на март 2021 года на территории размещено 1061 резервуар-танк, из них 1020 - для хранения воды, обработанной с помощью системы ALPS. Вокруг резервуарных хранилищ были построены двойные дамбы, чтобы смягчить потенциальное загрязнение окружающей территории в случае утечки любого из резервуаров. Общий объем хранящейся очищенной воды составляет около 1,25 млн. м³, завершено строительство и монтаж резервуаров общей емкостью около 1,37 млн. м³ (по состоянию на март 2021 года) [8].

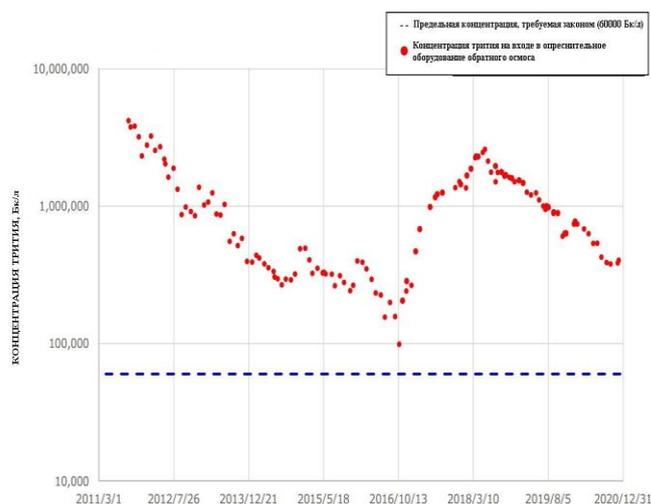


Рисунок 4. Изменение концентраций трития на входе в опреснительную установку обратного осмоса (в период с октября 2011 года по декабрь 2020 года) [9].

В скором времени правительство Японии совместно с оператором станции ТЕРСО и специальной комиссией МАГАТЭ должны принять решение о сбросе очищенных вод в морское пространство как наиболее оптимальном варианте ликвидации отфильтрованной и очищенной воды и меры послеаварийного восстановления [10]. Глобальные опасения вызывают концентрации и состояние изотопа водорода - трития и его дальнейшее поведение в разбавленном объеме морской воды, влияние на экосистему прибрежной зоны.



Использованная литература:

1. Tsunami Warning System information, Japan Meteorological Agency. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/eng/fig/tsunamiinfo.html> (дата обращения: 4.04.2021).
2. Mid-and-Long-Term Roadmap towards the Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1-4. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/decommissioning/> (дата обращения: 4.04.2021).
3. Osamu Maekawa. Efforts for the restoration at Fukushima Daiichi Nuclear Power Plants. [Электронный ресурс]. URL: <https://www-pub.iaea.org/iaeaemeetings/IEM4/31Jan/Maekawa.pdf> (дата обращения: 4.04.2021).
4. Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation. Efforts toward restoration of Fukushima site. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.toshiba-energy.com/en/nuclearenergy/product/fukushima.htm> (дата обращения: 4.04.2021).
5. ALPS treated water (Measures for Decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station). [Электронный ресурс]. URL: https://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/decommissioning/pdf/202103_Treated_Water_en.pdf (дата обращения: 5.04.2021).
6. Development and verification of high-performance multi-nuclide removal equipment (high-performance ALPS). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.drd-portal.jp/files/user/en/assets/files/rd2020/e2020-5-4.pdf> (дата обращения: 5.04.2021).
7. Тритий. Материал из Википедии - свободной энциклопедии. [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B8%D0%B9> (дата обращения: 5.04.2021).
8. Treated water portal site. [Электронный ресурс]. URL: <https://www4.tepco.co.jp/en/decommission/progress/watertreatment/index-e.html#> (дата обращения: 5.04.2021).
9. Radiation concentrations measured at the multi-nuclide removal equipment (ALPS) outlet (as of December 31, 2020). [Электронный ресурс]. URL: https://www4.tepco.co.jp/en/decommission/progress/watertreatment/images/exit_en.pdf (дата обращения: 5.04.2021).
10. Review Report. IAEA Follow-up Review of Progress Made on Management of ALPS



Treated Water and the Report of the Subcommittee on Handling of ALPS treated water at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. Vienna, Austria, 2 April 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iaea.org/sites/default/files/20/04/review-report-020420.pdf> (дата обращения: 5.04.2021).