**Образование и временная эволюция химических форм радиоуглерода на АЭС с ВВЭР и PWR**

###### В.А. Грачев, О.С. Быстрова, А.Б. Сазонов

*НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва*

*эл. почта: Grachev\_VA@nrcki.ru*

При работе АЭС в соответствии с требованиями радиационной безопасности регламентируется уровень активности теплоносителя первого контура, а также устанавливаются допустимые значения активности в сбросных водах и газовых выбросах для различных радионуклидов, в том числе и для 14С. Основными источниками 14С в активной зоне первого контура АЭС с ВВЭР и PWR являются процессы активации 17О (n, α) 14C и 14N (n, p) 14C. Образующийся в ходе данных экзотермических ядерных реакций «горячий» атом 14С\* обладает высокой реакционной способностью. Торможение 14С\* молекулами воды протекает в несколько этапов, заканчивающихся образованием радикалов-предшественников молекулярных форм углерода: CH4, CH3OH, CH2O или HCOOH. Соотношение между этими формами зависит от содержания продуктов радиолиза воды, обладающих окислительными (О2, H2O2, ОН) и восстановительными (Н, e‒aq) свойствами. Поэтому 14С-радикалы могут как восстанавливаться до 14СН4, так и окисляться с образованием последовательно метанола, формальдегида, муравьиной кислоты, формиат-иона, углекислого газа, гидрокарбонат- и карбонат-ионов, а также 14СО и некоторых других продуктов.

По мере накопления в теплоносителе (преимущественно в форме СН4 и СО2) 14C поступает в узлы оборудования первого контура и систем поддержания ВХР. Удаление 14C из первого контура происходит, в основном, за счет сдува с деаэратора, выпарных установок и компенсатора давления в различные периоды работы энергоблока и за счет работы системы вентиляции в защитной оболочке при ППР. Согласно [1], с отверждаемыми ионообменными смолами может удаляться до 10% от общего количества 14C. Удаление с жидкими сбросами мало, т.к. в теплоносителе 14С находится, главным образом, в летучих или ионных формах.

Для описания временной эволюции радиоуглерода авторами была разработана расчетная методика, которая описывает поведение различных химических форм 14С в теплоносителе первого контура и моделирует процесс их удаления при работе систем поддержания ВХР. Распределение 14С между различными химическими формами определяется текущим водно-химическим режимом теплоносителя и историей операций по его поддержанию. Тестирование расчетной методики проводилось с использованием данных АЭС с ВВЭР и PWR по выбросам 14С в различных химических формах [1 – 5], согласно которым содержание 14CH4 в выбросах PWR в среднем составляет 70%, ВВЭР – более 90% от общего выброса радиоуглерода. Достигнуто качественное, а для большей части представленных результатов и количественное согласие с литературными данными.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Magnusson A. 14C Produced by Nuclear Power Reactors – Generation and Characterization of Gaseous, Liquid and Solid Waste. Doctoral thesis. – Lund University, 2007.
2. Schwibach J., Riedel H., Bretschneider J. Investigation into the Emission of Carbon-14 Compounds from Nuclear Facilities, its Measurement and the Radiation Exposure Resulting from the Emission. – Luxemburg, 1978.
3. Hertelendi E., Uchrin G., Ormai P. 14C Release in Various Chemical Forms with Gaseous Effluents from the Paks Nuclear Power Plant. – Radiocarbon. – 1989. – V. 31 (3). – P. 754-761.
4. Veres M., *et al*. Concentration of Radiocarbon and Its Chemical Forms in Gaseous Effluents, Environmental Air, Nuclear Waste and Primary Water of a Pressurized Water Reactor Power Plant in Hungary // Radiocarbon. – 1995. – V. 37 (2). – P. 497-504.
5. Zazzeri G., Acuña Yeomans E., Graven H. Global and Regional Emissions of Radiocarbon from Nuclear Power Plants from 1972 to 2016 // Radiocarbon. – 2018. – V. 60 (4). – P. 1067-1081.