**Вклад топлива ввэр в накопление Н-3 в теплоносителе первого контура**

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

*НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва*

*эл. почта: Grachev\_VA@nrcki.ru*

Основной вклад в образование 3Н (трития) в активной зоне ВВЭР вносят процессы тройного деления ядер урана и плутония (более 95%), а также реакция 10B(n, 2α)3H, идущая в теплоносителе первого контура. При работе реактора на мощности большая часть трития удерживается твэлами. Процент удержания до настоящего времени остается предметом споров. В документах по обоснованию безопасности принято считать величину выхода трития в теплоноситель равной 0,1%. Тем не менее, хорошо известно, что факторами, влияющими на выход 3Н из топлива, являются вид ядерного топлива, глубина выгорания, линейная тепловая мощность твэлов и проницаемость материала их оболочек. В связи с увеличением мощности ВВЭР-1000, продолжительности топливных циклов, а также ввиду перспектив использования MOX- и REMIX-топлива и оболочек из материалов иных, нежели традиционные циркониевые сплавы, значение выхода 3Н требует пересмотра для каждого случая в отдельности.

В настоящей работе выход трития из топлива в теплоноситель определяли на основании моделирования его переноса по следующей схеме: «топливная матрица – газовый зазор – оболочка – теплоноситель». Распределение трития в объеме топливных таблеток рассчитывается полуэмпирически, с привлечением имеющихся экспериментальных данных. Независимыми параметрами при этом служат время и зависящее от времени температурное поле. При этом перенос трития из топливной матрицы в газовый зазор описывается как химическая реакция разложения. Скорость разложения определяет поток атомов 3Н в зазор, где распределение трития становится однородным. Принимается, что накопления 3Н на межфазной границе «газ – твердое тело» не происходит. Перенос трития через оболочку описывается классической моделью одномерной диффузии атомов, растворяющихся в твердом теле по типу внедрения.

Расчеты были проведены для «стандартного» варианта топлива реакторов: матрица UO2, оболочка из сплава Zr и т.п. Температурные зависимости растворимости водорода и коэффициента его диффузии в циркониевых сплавах были взяты из литературы. Получены значения выхода 3Н в теплоноситель в диапазоне от 0,3% до 0,5% в зависимости от условий работы твэла. Сравнение этих результатов с данными по активности 3Н в сбросах и выбросах кипящих реакторов (BWR) [1] говорит об адекватности проведенной расчетной оценки. Результаты аналогичных расчетов для оболочек из сплавов хрома и никеля демонстрируют высокую проницаемость последних для трития [2].

Таким образом, расчетные значения выхода 3Н из топлива в теплоноситель через оболочку неповрежденных твэлов оказываются выше, чем традиционно принятые 0,1%. Более того, в среднем они даже выше значения, принимаемого с учетом проектной негерметичности твэлов (0,32%). Для ВВЭР с борным регулированием такие различия не проявляют себя на практике, так как сбросы и выбросы трития определяются его многократно большим образованием из 10В. Однако для тех разработок, где борное регулирование не предусмотрено, вклад топлива в утечки трития в окружающую среду становится определяющим и должен оцениваться с учетом полученных результатов.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Scoping Study: Discharges from Boiling Water Reactors. Report – SC130018/R // Evidence. – Bristol, Environment Agency, 2015.
2. Грачев В.А., Сазонов А.Б., Быстрова О.С. и др. Образование и распределение трития в первом контуре ВВЭР: математическое моделирование // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2021. – Т. 64, № 2-2. – С. 20 – 26.