

Расчёт выгорания топлива для ВВЭР реактора с толерантным топливом

М. Сарыарслан

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Санкт-Петербург, Россия

e-mail: saryarslan.m@edu.spbstu.ru

Аннотация. В докладе рассматриваются вопросы об эффектах влияния толерантного топлива.

Ключевые слова: ядерная энергия, толерантное топливо, метод Монте-Карло

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время многие люди, которые являются лицами, принимающими решения в странах, международных организациях, компаниях и т. д., согласились об изменении климата. Последствия изменения климата есть не только на полюсах. Жизнь в больших городах или небольших городах не имеет значения, чтобы увидеть последствия изменения климата. Последствия изменения климата повсюду.

Повышение глобальной температуры и выбросы углерода ископаемого топлива лежат в основе климатических проблем. Все это относится к энергетическим потребностям. Используя ядерную энергию вместо ископаемого топлива для производства энергии, мы можем бороться с изменением климата, выбросами углерода и повышением глобальных температур. Но ядерная энергия должна быть более безопасной.

Чтобы дать ядерной энергии более широкое использование, мы должны сделать улучшения для более безопасного и более дешевого производства электроэнергии для людей. И поэтому самыми популярными темами для атомной энергетики являются безопасность и эффективность. Каждая разработка связана с безопасностью и эффективностью. Одной из разработок является использование толерантного топлива.

Авария на Фукусиме показала, что оболочки циркониевого топлива имеют значительный риск безопасности детонации водорода из-за сильного окисления и высвобождения водорода во время аварий на проектной основе и за пределами проектных аварий. Поэтому в последнее десятилетие были активированы исследования и разработки концепций аварийно-толерантного топлива (ATF), направленных на повышение безопасности ядерного топлива при нормальной эксплуатации, эксплуатационных переходных процессах и возможных сценариях аварий [1].

Сплав FeCrAl-оксида с дисперсионным покрытием (ODS) является перспективным сплавом-кандидатом для облицовки легководных реакторов (LWR) для аварийно-толерантного топлива (ATF) и был недавно разработан в Японии [2].

В данной работе показана возможность использования толерантного топлива в реакторах ВВЭР-1200.

II. МЕТОД

Для этого исследования был использован физический код реактора Монте-Карло Serpent 2, разработанный Центром технических исследований VTT [3].

Параметры моделирования уровня сборки, используемые в исследовании, показаны в табл. 1.

ТАБЛИЦА I ПАРАМЕТРЫ КОНСТРУКЦИИ СБОРКИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Параметры	Топливо без толерантного топлива	Топливо с толерантным топливом
Тип реактора	ВВЭР-1200	ВВЭР-1200
Тип сборки	Z40	Z40
Форма сборки	Шестиугольной	Шестиугольной
Температура топлива, (К)	900	900
Температура облицовки, (К)	600	600
Обогащение топлива, %	4.0	4.0
Количество твэгов	0	0
Материал трубы кожуха	Zr-Nb (99%–1%)	Fe-Cr-Al (70%–20%–5%)
Внутренний радиус трубы кожуха, см	11.755	11.755
Наружный радиус трубы кожуха, см	11.955	11.955
Радиус топливного стержня, см	0.455	0.455
Радиус управляющего стержня, см	0.515	0.515
Радиус центрального стержня, см	0.515	0.515
Облицовочный материал	Zr-Nb (99%–1%)	Fe-Cr-Al (70%–20%–5%)

Тепловая мощность ВВЭР-1200 составляет 3300 МВт. А поток нейтронов пропорционален тепловой мощности. Но для этого расчета использовался только один ТВС. Поэтому была зафиксирована тепловая мощность в 20 МВт. Потому что, в реакторах ВВЭР-1200 есть 163 ТВС.

Популяция нейтронов для этого исследования была установлена на 20000. Активные и неактивные циклы 50 и 15.

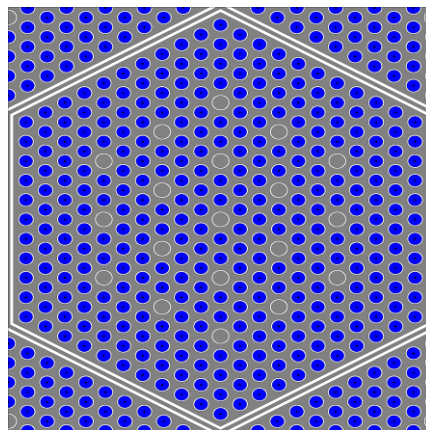


Рис. 1. 3D модель ТВС Z40

Рис. 1 показывает 3D модель Z40. Одна и та же модель использовалась для обоих.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ

A. Результаты для ТВС без топерантного топлива

На первом этапе исследования был вычислен нейтронно-физический расчёт для ТВС без толерантного топлива. Рис. 2 показывает изменение выгорания топлива со временем. Рис. 3 показывает изменение эффективного коэффициента размножения нейтронов при эксплуатации. Рис. 4 показывает изменение количества топлива (уран-235) при эксплуатации. Рис. 5 показывает изменение топливного изотопа уран-238 при эксплуатации. Рис. 6 показывает накопления изотопов плутония. 0 показывает накопление ядовитых изотопов Xe-135 и Sm-149.

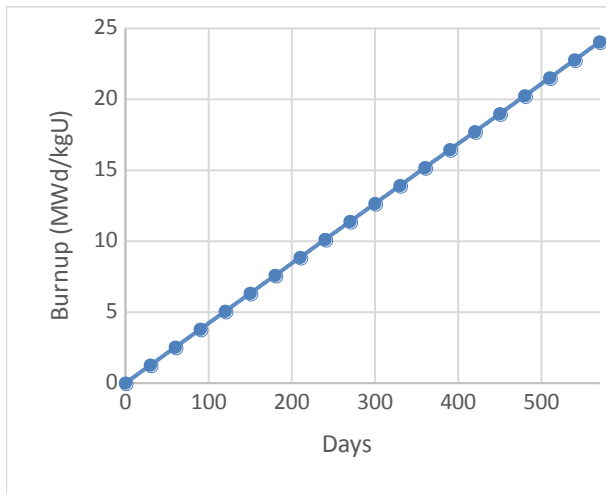


Рис. 2. Выгорание топлива со временем

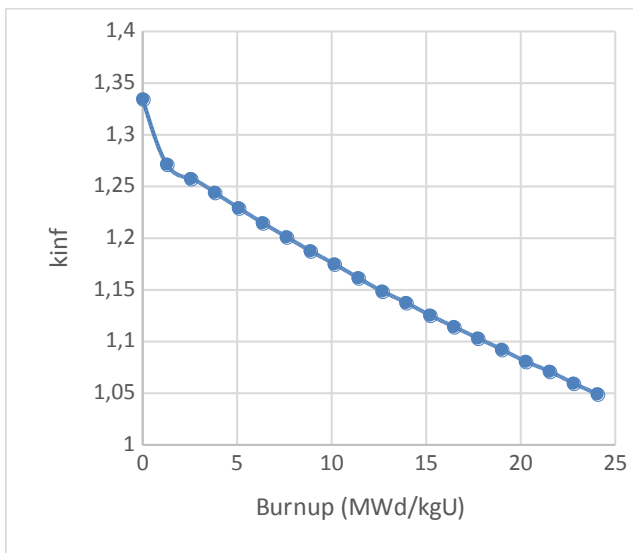


Рис. 3. Изменение эффективного коэффициента размножения нейтронов

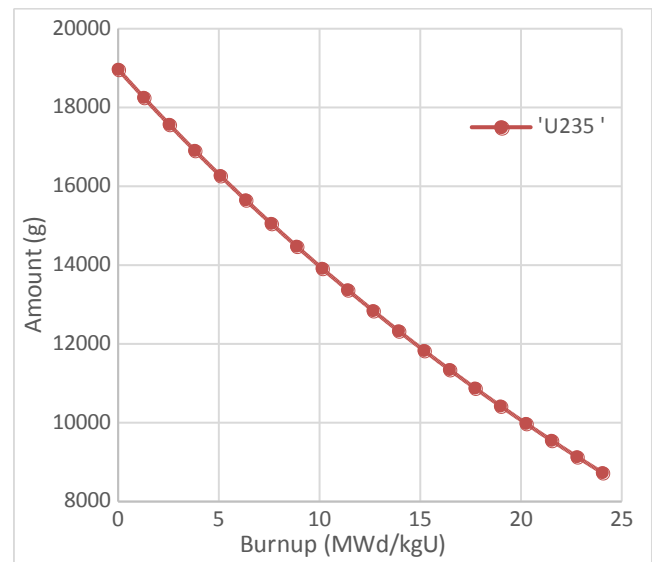


Рис. 4. Изменение количества урана-235

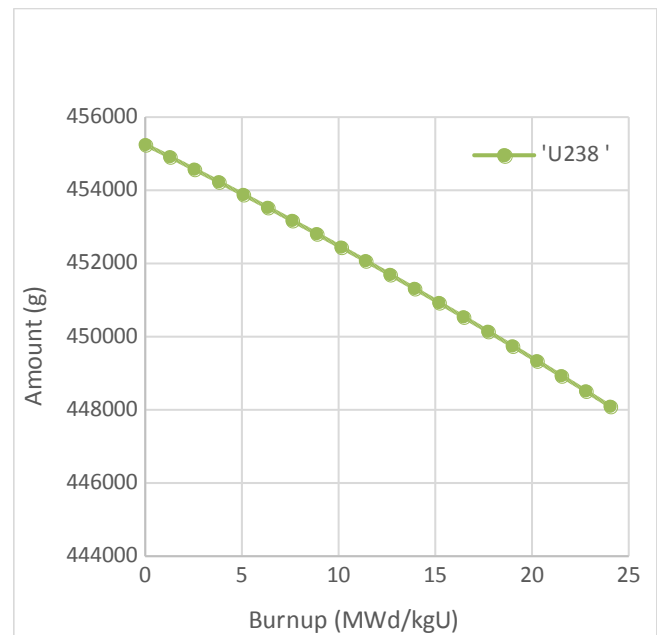


Рис. 5. Изменение количества урана-238

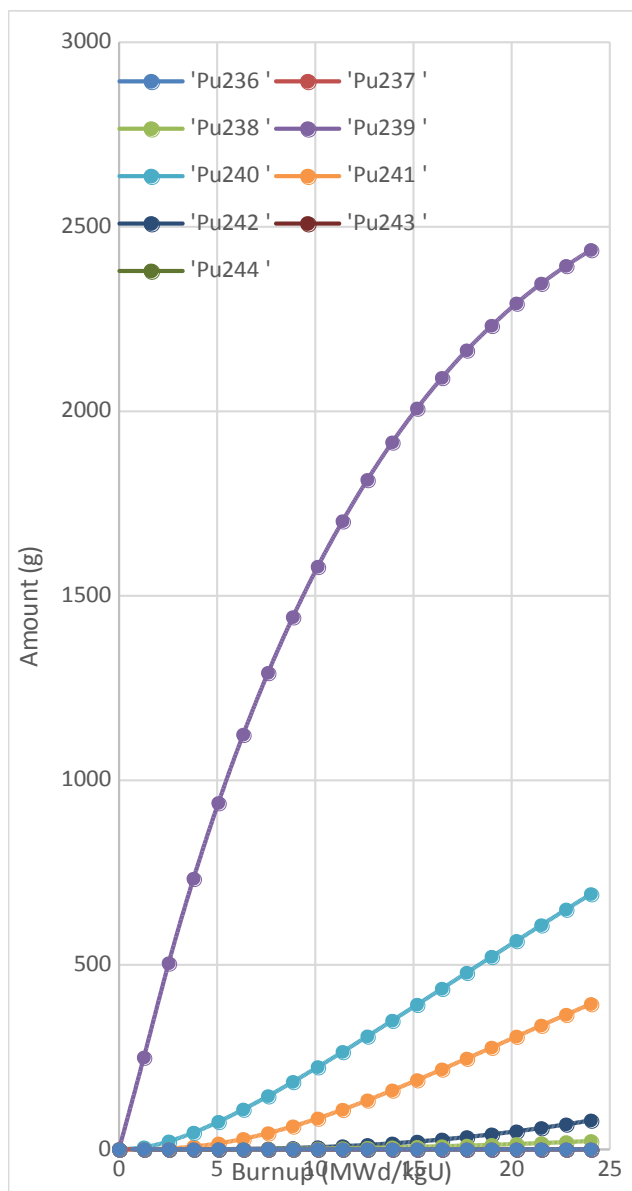


Рис. 6. Изменения количества изотопов плутония

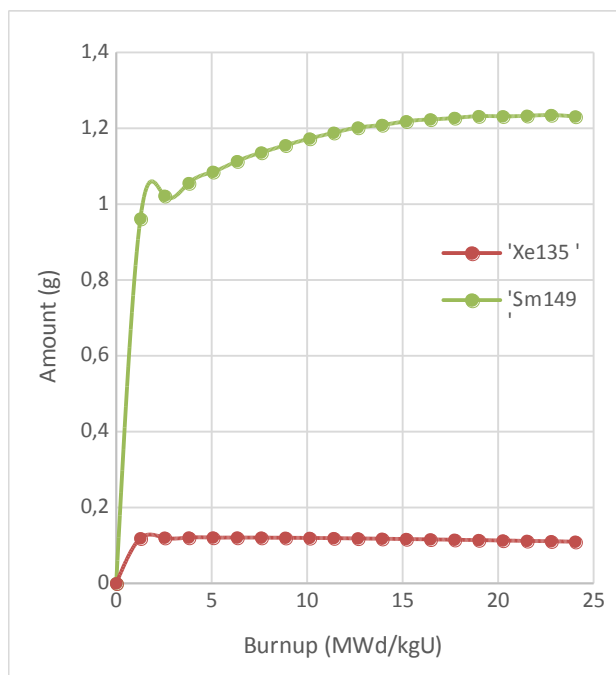


Рис. 7. Изменения ядовитых изотопов Xe-135 и Sm-149

В. Результаты для ТВС с толерантным топливом

На втором этапе исследования был вычислен нейтронно-физический расчёт для ТВС с толерантным топливом. Рис. 8 показывает изменение выгорания топлива со временем. Рис. 9 показывает изменение эффективного коэффициента размножения нейтронов при эксплуатации. Рис. 10 показывает изменение количества топлива (уран-235) при эксплуатации. Рис. 11 показывает изменение топливного изотопа уран-238 при эксплуатации. Рис. 12 показывает накопления изотопов плутония. Рис. 13 показывает накопление ядовитых изотопов Xe-135 и Sm-149.

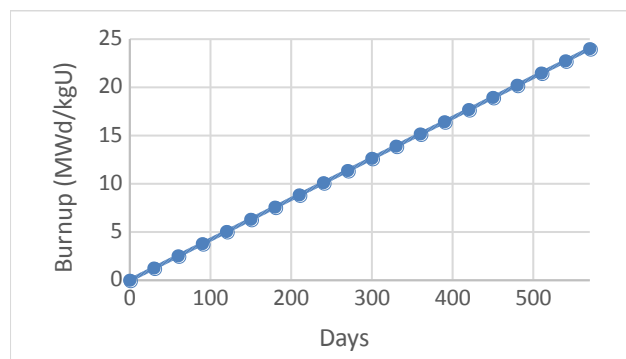


Рис. 8. Выгорание топлива со временем

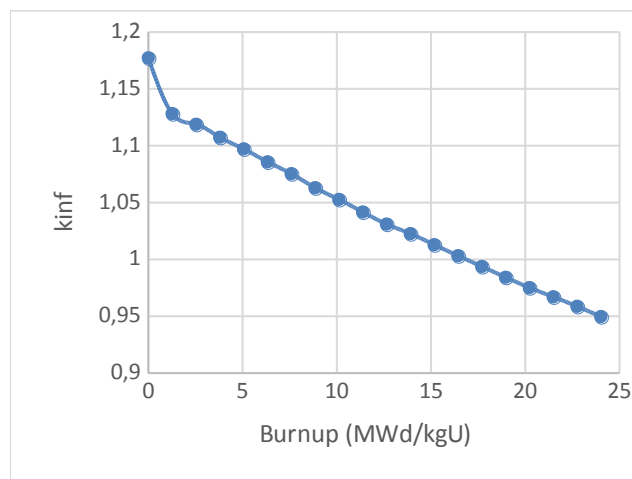


Рис. 9. Изменение эффективного коэффициента размножения нейтронов

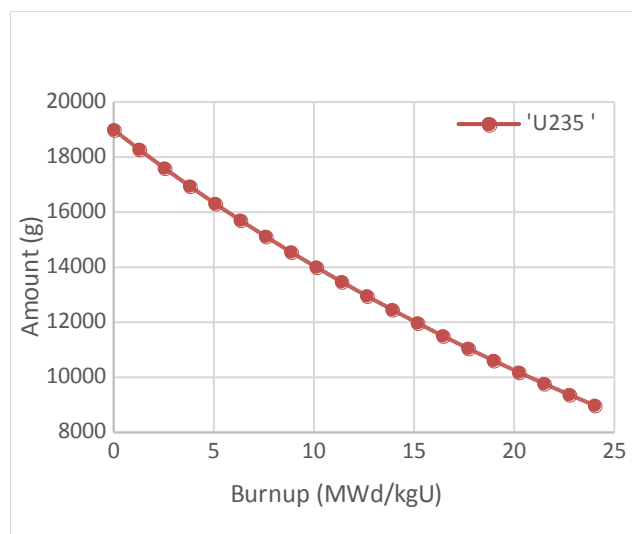


Рис. 10. Изменение количества урана-235

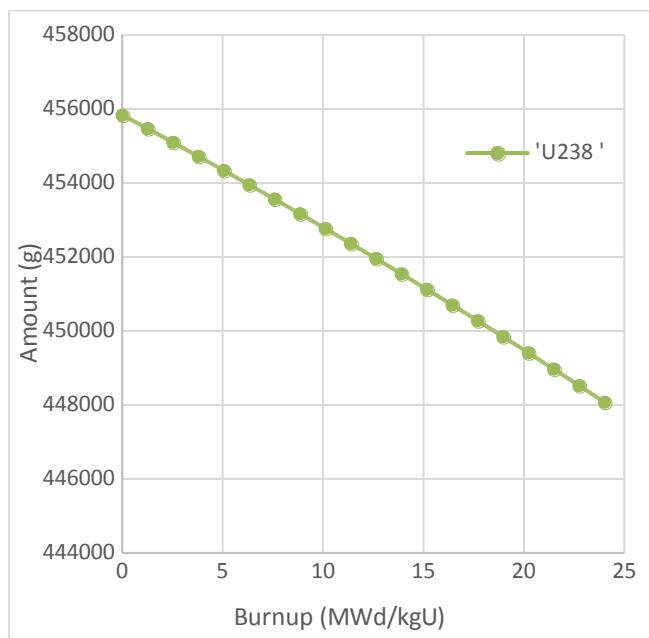


Рис. 11. Изменение количества урана-238

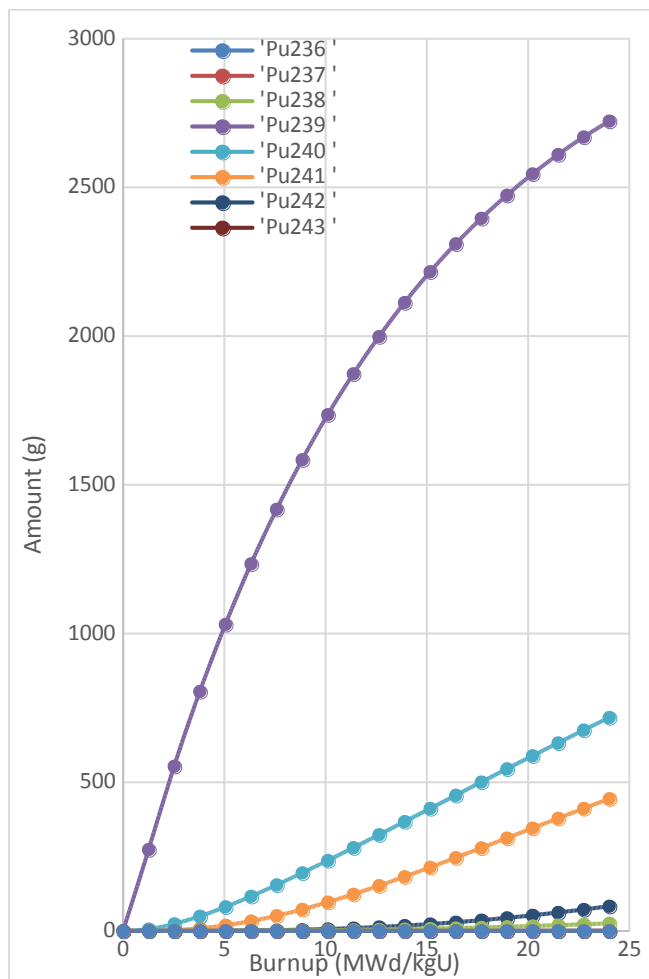


Рис. 12. Изменения количества изотопов плутония

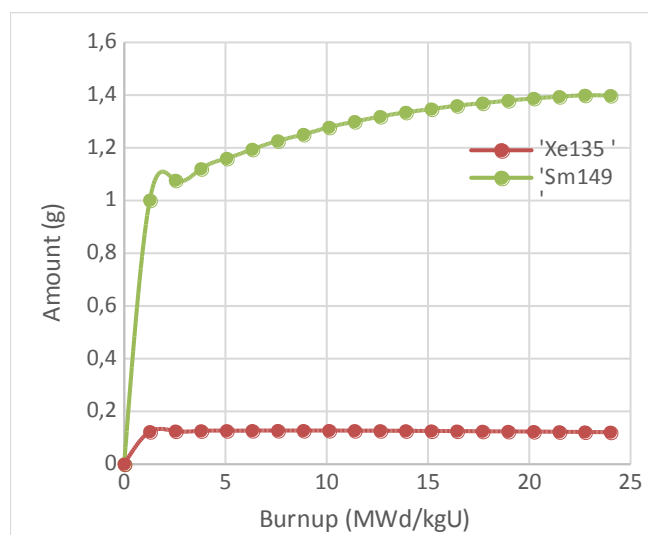


Рис. 13. Изменения ядовитых изотопов Xe-135 и Sm-149

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во-первых, результаты выгорания одинаковы для каждого расчёта. Потому что сроки эксплуатации и номинальные мощности одинаковы. Но коэффициент размножения нейтронов при бесконечной среде для ТВС с толерантным топливом стало меньше, чем коэффициент размножения нейтронов при бесконечной среде для ТВС без толерантного топлива. Во-вторых, количество плутония-241 за тот же период увеличилось на 11,71 процента. Аналогичное увеличение наблюдается и для других изотопов плутония. Количество ядов увеличилось на 13,01 процента за тот же период.

Толерантное топливо снижает реактивность в реакторе. Это преимущество для управления реактором. Используя толерантное топливо, мы можем увеличить обогащение урана-235. Это дает нам более долгосрочное использование топлива и это долгосрочное использование очень важно для сокращения ядерных отходов.

Эксперимент подтверждает, что использование толерантного топлива в реакторах ВВЭР-1200 доступно и выгодно во многих аспектах.

БЛАГОДАРНОСТИ

Выражаю благодарность со стороны ВИТИ-МИФИ (Волгодонский инженерно-технологический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета) в расчете кодов Серперта-2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] J. Yang, M. Steinbrück, C. Tang, M. Große, J. Liu, J. Zhang, D. Yun and S. Wang, "Review on chromium coated zirconium alloy accident tolerant fuel cladding," // Journal of Alloys and Compounds, vol. 895, no. 1, 25 Feb 2022.
- [2] K. Sakamoto, Y. Miura, S. Ukai, N. Oono, A. Kimura, A. Yamaji, K. Kusagaya, S. Takano, T. Kondo, T. Ikegawa, I. Ioka and S. Yamashita, "Development of accident tolerant FeCrAl-ODS fuel cladding for BWRs in Japan," // Journal of Nuclear Materials, vol. 557, 2021.
- [3] J. Leppänen, M. Pusa, T. Viitanen, V. Valtavirta and T. Kaltiaisenaho, "The Serpent Monte Carlo code: Status, development and applications in 2011," // Annals of Nuclear Energy, vol. 82, pp. 142-150, 2015.