

УДК 621.039

*А. В. Королев, О. П. Ищенко**Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса***ПОТЕНЦИАЛ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА**

Представлена модель контейнера для отработанного ядерного топлива с системой трубопроводов. На основании анализа результатов моделирования показана теоретическая возможность практической реализации данной системы и количество тепла, которое может быть получено при использовании отработанного ядерного топлива.

Ключевые слова: отработанное ядерное топливо, контейнер, математическая модель, тепловыделяющая сборка, тепловая энергия.

Отработанное ядерное топливо — это топливо, отработавшее цикл в реакторе АЭС. Отработанное топливо содержит в себе как недовыгоревший в процессе работы реактора уран-235, его изотопы и другие трансурановые элементы, так и активированные конструкционные материалы. Поэтому в тепловыделяющих сборках (ТВС) продолжают происходить ядерные превращения, которые сопровождаются повышенным радиоактивным излучением, а также постоянным (медленно снижающимся со временем) выделением тепла.

Методы обращения с отработанным ядерным топливом и радиоактивными отходами могут быть различны в стратегических подходах и по набору используемых технологий, однако все они объединяются общими принципами, связанными с вопросами безопасности. Данные принципы разрабатываются и распространяются международными организациями, в частности МАГАТЭ, через соответствующие правила и руководства, а также устанавливаются международными договорами, в частности “Объединенной конвенцией о безопасности обращения с отработанным топливом и безопасности обращения с радиоактивными отходами” [1].

Хранение отработанных тепловыделяющих сборок (ОТВС) в стационарном бассейне выдержки является обязательным элементом технологической цепочки, что определяется высокой активностью свежееоблученного топлива и необходимостью отвода от него большого количества остаточного тепла.

В результате анализа причин Фукусимской трагедии, начались мероприятия по оценке мощности остаточных энерговыделений ОТВС в бассейнах выдержки, расчету запаса времени при потере охлаждения и мероприятия по предотвращению вскипания охлаждающей ОТВС воды.

В рамках данной работы наглядно показано, сколько теплоты еще хранят в себе ОТВС, которые находятся в бассейнах выдержки и готовы к выгрузке и дальнейшей отправке на захоронение или переработку.

Описание модели.

Наглядная модель, демонстрирующая величину остаточных энерговыделений ОТВС и использованная в данной работе, реализована как система отопления. Это то, что понятно каждому жителю и то, что является одним из наиболее тревожащих население страны факторов, ввиду значительного повышения тарифов.

Для реализации данной модели использовался расчетный код Melcor [2]. При помощи этого кода была построена модель контейнера, в который были помещены 3 ОТВС-W типа 347WG с выгоранием 55 МВт сут/кгU [3]. Данные ОТВС имеют наибольшую величину остаточных энерговыделений, поэтому и обладают наибольшим потенциалом.

Модель была составлена из четырех контрольных объемов и 3-х течений среды.

Контрольные объемы:

CV001 — Контейнер. Высота жидкости в контейнере 6 м, диаметр 1,2 м, объем жидкости в контейнере 6,44 м³ с учетом вычтенного объема размещенных ОТВС.

CV002 — это трубопровод Ду = 32 мм. Стандартный трубопровод отопления. Длина трубопровода выбрана 70 м.

CV003 — это контрольный объем, моделирующий окружающую среду с температурой 30°C и атмосферным давлением, высотой в 10 м и объемом 1000 м³.

CV004 — это объем в контейнере высотой в 1 м, предназначенный для создания в нем паровой “подушки” для компенсации температурных расширений жидкости и сглаживания пульсаций давления в контейнере.

FL001, FL002, FL003 — функции, описывающие течения среды между контрольными объемами.

Стенка трубопровода в модели разделена на 7 слоев для лучшего моделирования теплопередачи от трубопровода к окружающей среде.

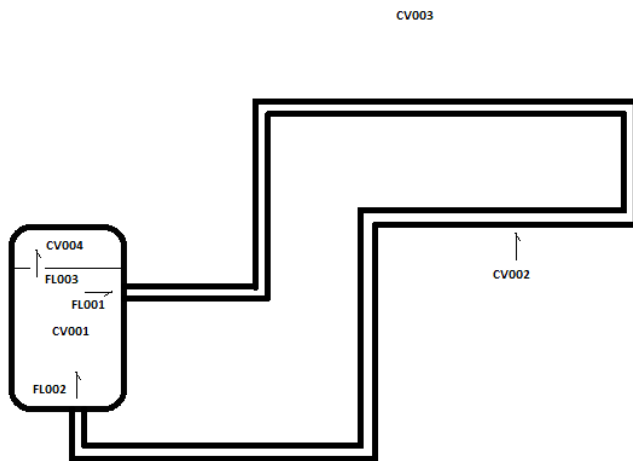


Рис. 1. Модель системы подогрева воды остаточными энерговыделениями от ОТВС.

Мощность энерговыделений принималась для ОТВС, которые провели в бассейне выдержки 3 года и потенциально могут быть извлечены [4], а также для ОТВС с мощностью остаточных энерговыделений через 10 и 20 лет после завершения их эксплуатации в активной зоне реактора ВВЭР—1000.

Анализ полученных результатов. Ключевыми параметрами, которые были рассмотрены при анализе результатов моделирования, являются:

- скорость течения среды между контрольными объемами;
- давление в контрольных объемах CV001 и CV002;
- температура в контрольных объемах CV001 и CV002 .

Результаты расчетов модель системы подогрева воды остаточными энерговыделениями от ОТВС по рис. 1 представлены в таблице 1. Показано изменение тепловой мощности ($N_{отв}$) 3-х ОТВС, изменение температуры (t) и давления (P) в контейнере (CV001) и трубопроводе (CV002), а также расхода воды (F) при условиях естественной циркуляции.

Результаты расчета для ОТВС через 3 года после окончания их эксплуатации в активной зоне реактора представлены на рисунке 2.

Таблица 1. Результаты расчетов для ОТВС через 3, 10 и 20 лет после окончания их эксплуатации в активной зоне реактора ВВЭР-1000.

T, лет	$N_{отв}$, кВт (3-х ОТВС)	Объемы	t , °C	P , кгс/см ²	F , м ³ /ч
3	8,31	CV001 CV002	162 152	10,16 10,04	0.43
10	3,21	CV001 CV002	95 89	2.44 2.24	0.27
20	2,46	CV001 CV002	79 69	1.83 1.63	0.21

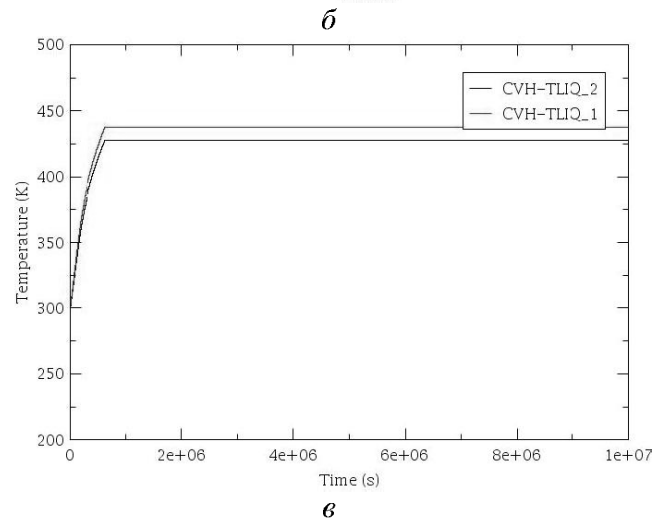
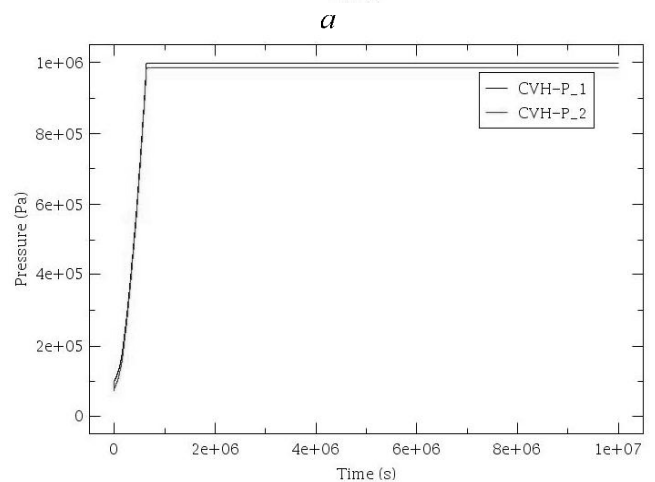
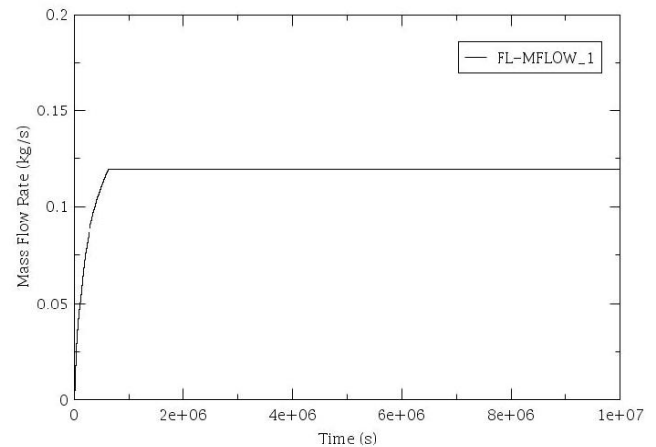


Рис. 2. Изменение для ОТВС через 3 года после окончания их эксплуатации во времени:

- а) скорости течения среды между контрольными объемами;
- б) давления в контрольных объемах CV001 и CV002;
- в) температуры в контрольных объемах CV001 и CV002.

Результаты расчета для ОТВС через 10 лет после окончания их эксплуатации в активной зоне реактора представлены на рисунке 3.

Результаты расчета для ОТВС через 20 лет после окончания их эксплуатации в активной зоне реактора представлены на рисунке 4.

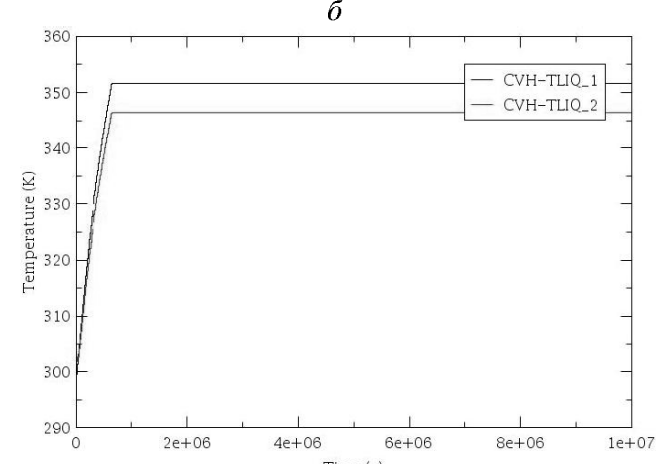
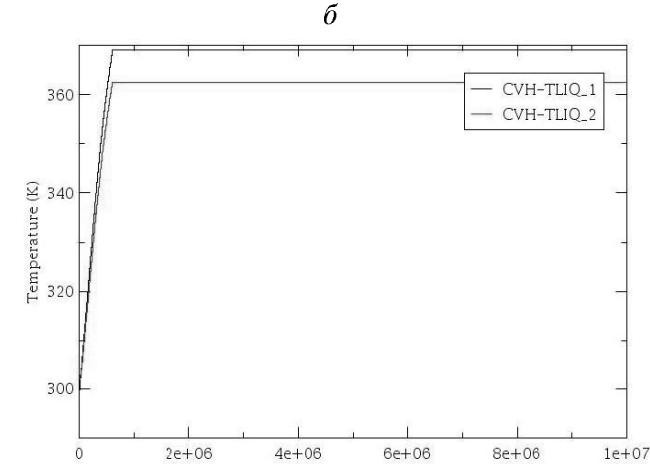
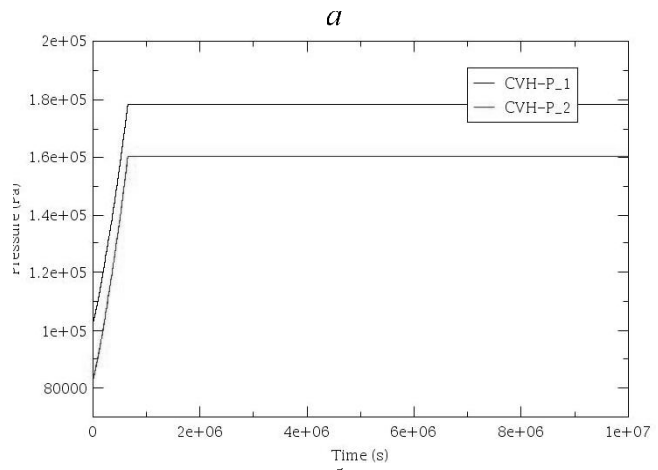
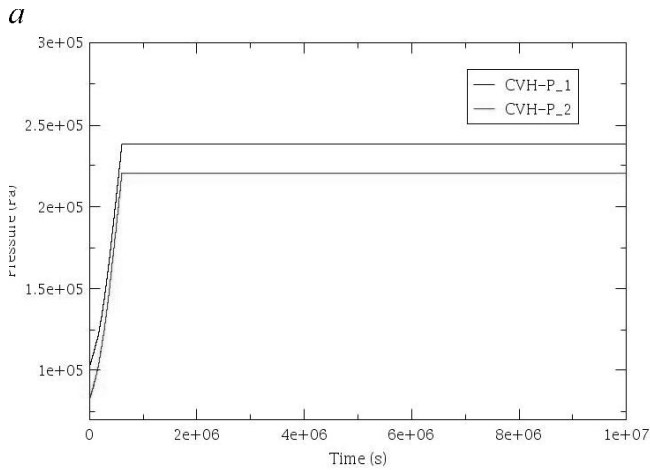
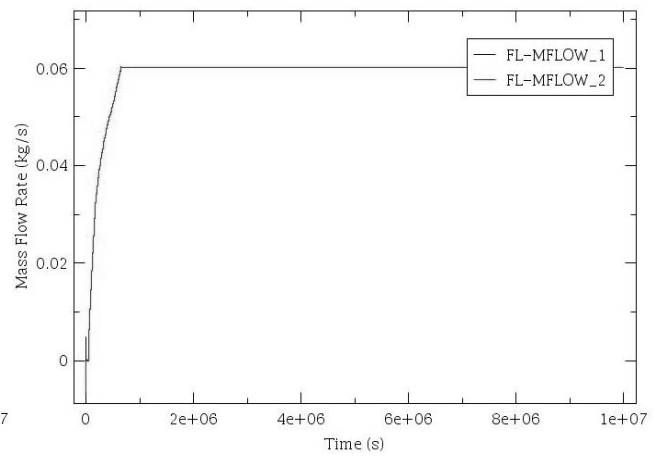
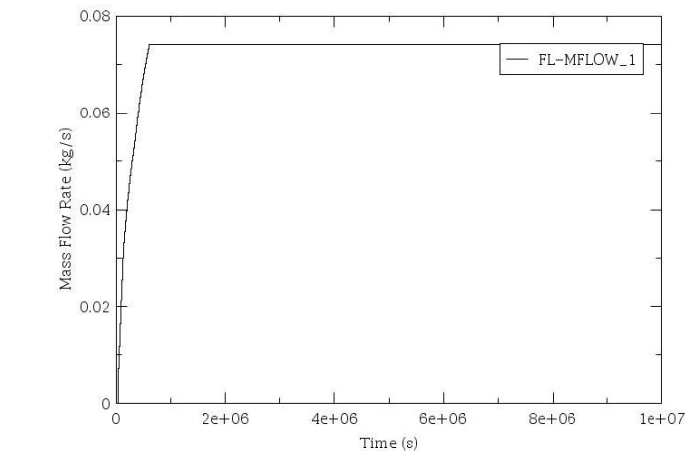


Рис. 3. Изменение для ОТВС через 10 лет после окончания их эксплуатации во времени:
 а) скорости течения среды между контрольными объемами;
 б) давления в контрольных объемах CV001 и CV002;
 в) температуры в контрольных объемах CV001 и CV002.

Рис. 4. Изменение для ОТВС через 20 лет после окончания их эксплуатации во времени:
 а) скорости течения среды между контрольными объемами;
 б) давления в контрольных объемах CV001 и CV002;
 в) температуры в контрольных объемах CV001 и CV002.

Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы:

1. Начиная с 19000 секунды (5 часов 17 мин) процесса между контрольными объемами возникает устойчивая естественная циркуляция теплоносителя, которая растет по мере нагрева теплоносителя в контейнере и стабилизируется к моменту стабилизации температуры в объемах.

2. Через 11,5 суток после начала процесса стабилизируется давление в контрольных объемах.

3. Стабилизация температуры приводит к стабилизации давления и скорости протекания естественной циркуляции, процесс приобретает устойчивый, стабильный характер через 11,5 суток после начала процесса. Разница температур и, соответственно, давлений, объясняется наличием подогрева теплоносителя от ОТВС в контрольном объеме CV001 и наличием охлаждения теплоносителя в контрольном объеме CV002.

Выводы

По результатам расчетов видно, что через 20 лет 3 ОТВС будут греть воду в контрольном объеме CV002, который моделирует трубопровод системы отопления, до 79 °С. Важным параметром, который удалось получить, является наличие течения среды между контрольными объемами, что свидетельствует о наличии естественной циркуляции теплоносителя. Наличие стабильного небольшого давления в системе свидетельствует о правильно выбранной конструкции контейнера.

В бассейне выдержки реактора ВВЭР-1000 находится 563 ячейки для ОТВС, суммарные остаточные энерговыделения которых составляют около 5280 кВт

[5]. Поэтому при потере охлаждения бассейна выдержки существует опасность повышения в нем температуры до температуры кипения.

Представленная модель показывает, каким значительным энергетическим потенциалом обладает топливо, которое уже может быть выгружено из бассейна выдержки и готово для дальнейшего использования.

Для практической реализации такой системы предстоит решить много технических вопросов. Но подобные исследования позволяют определить направление дальнейшей работы в использовании отработанного ядерного топлива и позволяют оценить его потенциал для понимания, стоит ли тратить на развитие данного направления время и средства

Список использованной литературы

1. Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработанным топливом и безопасности обращения с радиоактивными отходами. — / Вена: 5 сентября 1997. — 24 с. — Электронный доступ: <http://www.gosatomnadzor.gov.by/phocadownload/konvencii/Obiedinennaia.pdf>
2. MELCOR Computer Code Manuals. Vol. 2: Reference Manuals. Version 1.8.5. — May 2000. — (NUREG/CR-6119, Vol. 2, Rev. 2 SAND2000-2417/2) — 538 с.
3. Харьковский физико-технический институт. Центр проектирования активных зон. Остаточное тепловыделение отработанного ядерного топлива компании «ВЕСТИНГАУЗ». Редакция 1, 2012г. (12-3-198) — 21 с.
4. Сборки тепловыделяющие, отработавшие в ядерных энергетических реакторах ВВЭР-440 и ВВЭР-1000 атомных станций Украины. Технические условия на поставку заводам регенерации России. (Л.65.730.00.000 ТУ). — ОАО Восточно-европейский головной научно-исследовательский и проектный институт энергетических технологий, 2010 г. — 17 с.
5. Акт № АК.3.0023 “О мощности остаточных энерговыделений в БВ” от 12.09.2013. — Южно-Украинская АЭС, 2013г. — 2 с.

Получено 26.11.2015