

Ю. Ю. Воробьев<sup>1</sup>, М. Л. Перепелица<sup>2</sup>,  
В. В. Свердлов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Государственный научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности, г. Киев, Украина

<sup>2</sup>Международный центр по ядерной безопасности КНУ им. Т. Шевченко, г. Киев, Украина

## Анализ тяжелой аварии в бассейне выдержки отработавшего топлива для энергоблока ВВЭР-1000 при помощи расчетного кода MELCOR 1.8.5

*Разработана модель бассейна выдержки отработавшего топлива энергоблока ВВЭР-1000 для компьютерного кода MELCOR 1.8.5. Проанализировано исходное событие потери теплоотвода от бассейна выдержки (БВ), определены временные рамки повреждения топлива, количество сгенерированного водорода, оценены радиационные последствия. На примере различных вариантов загрузок бассейна выдержки определены закономерности тяжелой аварии, которые позволяют перенос (масштабирование) результатов на другие конфигурации БВ.*

*Ключевые слова: бассейн выдержки, расчетная модель, тяжелая авария, повреждение топлива, взаимодействие расплава с бетоном, генерация водорода.*

**Ю. Ю. Воробьев, М. Л. Перепелица, В. В. Свердлов**

**Аналіз важкої аварії в басейні витримки відпрацьованого палива для енергоблока ВВЕР-1000 за допомогою розрахункового коду MELCOR 1.8.5**

*Розроблено модель басейну витримки відпрацьованого палива енергоблока ВВЕР-1000 для комп'ютерного коду MELCOR 1.8.5. Проаналізовано вихідну подію втрати тепловідведення від басейну витримки (БВ), визначено часові рамки пошкодження палива, кількість згенерованого водню, оцінено радіаційні наслідки. На прикладі різних варіантів завантаження басейну витримки визначено закономірності важкої аварії, які дозволяють перенесення (масштабування) результатів на інші конфігурації БВ.*

*Ключові слова: басейн витримки, розрахункова модель, важка аварія, пошкодження палива, взаємодія розплаву з бетоном, генерація водню.*

© Ю. Ю. Воробьев, М. Л. Перепелица, В. В. Свердлов, 2011

Отработавшее топливо на АЭС с ВВЭР-1000 до его переработки или постановки в сухой вентилируемый контейнер хранится в специальных бассейнах выдержки (БВ), которые расположены в герметичной оболочке (ГО) энергоблока. Во время нормальной эксплуатации в БВ поддерживаются уровень и температура борного раствора специальной системой охлаждения. Поскольку отработавшее ядерное топливо (ОЯТ) является источником энерговыделения, потеря охлаждения БВ может стать исходным событием (ИС) тяжелой аварии (ТА), сопровождаемой окислением оболочек топлива, разрушением оболочек и конструкций БВ. В итоге могут наблюдаться все признаки ТА: выработка водорода, выброс радиоактивных продуктов деления, реакция расплава с бетоном и т. д.

Угроза потери охлаждения БВ становится очень опасной при событиях, связанных с обесточиванием энергоблока или станции, без своевременного восстановления резервного электропитания, например от дизель-генераторов (ДГ). Как показали события на АЭС Фукусима [1], причиной обесточивания может являться как внешнее экстремальное воздействие (цунами, землетрясение), так и последствия взрывов на площадке АЭС. В предыдущей практике анализа безопасности данному аспекту уделялось небольшое внимание, поскольку при проектных авариях охлаждение БВ обеспечивается как резервированием каналов, так и устойчивостью системы к единичному отказу и обесточиванию [2]. Проблема охлаждения БВ может встать достаточно остро при аварийной выгрузке активной зоны из реактора, когда ОЯТ обладает максимальным энерговыделением.

Оценка временных рамок и параметров событий при тяжелой аварии в БВ позволит определить уязвимость энергоблока к данному типу ИС и предпринять корректирующие меры по предупреждению и смягчению последствий аварий данного типа. Действия по управлению авариями данного типа должны быть включены в систему руководства по управлению тяжелыми авариями (РУТА) на энергоблоке.

Для анализа ТА с потерей охлаждения БВ ОЯТ в рамках данной работы применяется упрощенная модель для расчетного кода MELCOR 1.8.5. Расчетный код MELCOR 1.8.5 разработан для компьютерного моделирования процессов в РУ и ГО при тяжелых авариях. В модели исследуется поведение БВ с установленными стеллажами плотного хранения топлива (СУХТ) производства фирмы «Шкода», которые планируется устанавливать в будущем во всех отсеках БВ. Моделирование производится для всех стадий ТА, включая выпаривание БВ, разогрев ОЯТ, разрушение конструкций тепловыделяющих сборок (ТВС) и СУХТ, образование расплава и взаимодействие расплава с бетоном. При этом определяются временные параметры процессов, количество водорода, качественные и количественные параметры, особенности поведения топлива и материалов. Применимость данного анализа может быть расширена масштабированием для оценок последствий в других конфигурациях БВ.

**Описание БВ.** Описание БВ приводится для энергоблока № 5 ЗАЭС. БВ предназначен для выдержки до допустимых значений остаточных тепловыделений отработавших ТВС, а также для временного хранения не менее трех лет отработавшего ядерного топлива. БВ расположен в герметичной оболочке реакторного отделения (РО) и состоит из трех отсеков (TG21B01, TG21B02 и TG21B03), предназначенных непосредственно для хранения отработавших ТВС

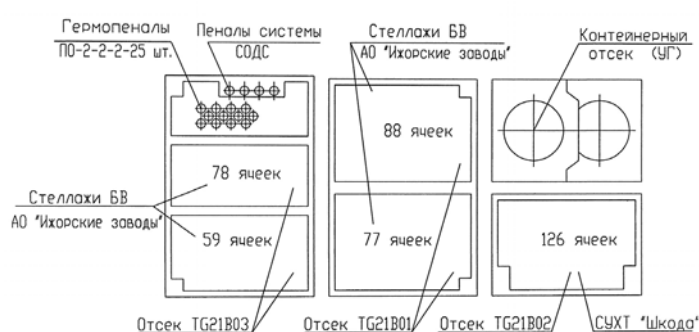


Рис. 1. Схема стеллажей хранения ОЯТ в БВ

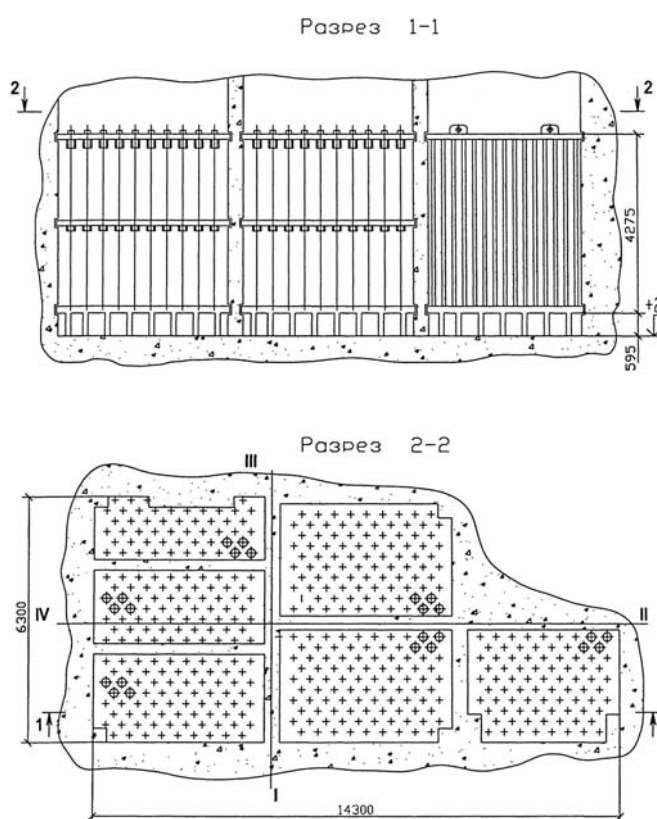


Рис. 2. Геометрические размеры БВ

(ОТВС), и колодца (TG21B04) — зоны загрузки транспортного контейнера ТК-13 отработавшими топливными сборками и разгрузки чехла для свежих кассет (рис. 1) [3].

Разделение БВ на три отсека дает возможность проводить ремонтные работы в одном из них при размещении отработавших кассет в других. Отсек TG21B02 оборудован стеллажами уплотненного хранения топлива (СУХТ) производства концерна «Шкода», Чехия.

Проектная емкость БВ составляет: в отсеке TG21B01 — 165 ОТВС; в отсеке TG21B02 — 126 ОТВС и один кластер; в отсеке TG21B03 — 137 ОТВС, 25 герметичных пеналов для дефектных сборок и 4 герметичных пенала системы обнаружения дефектных сборок (СОДС).

СУХТ, установленный в отсеке БВ TG21B02, представляет собой металлоконструкцию, состоящую из абсорбционной части, опорной плиты, выдвижных опор и прочих мелких деталей, служащих для установки компактного стеллажа в бассейн отработавшего топ-

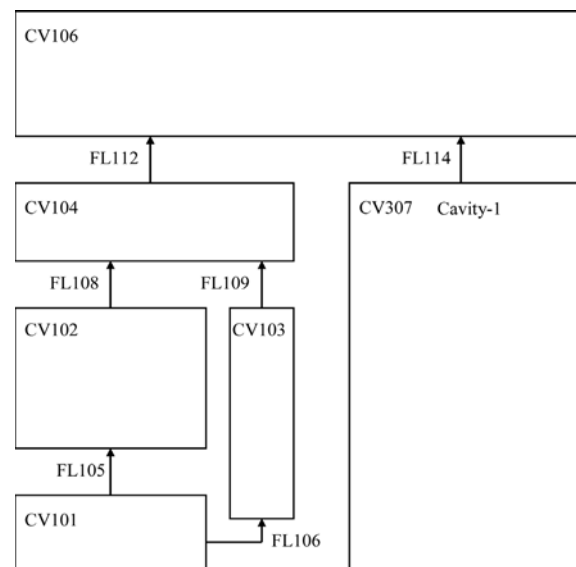


Рис. 3. Нодализационная схема модели БВ

лива (рис. 2). Абсорбционная часть представляет собой сварную металлоконструкцию, состоящую из двух плит (верхней и нижней) толщиной 40 мм с шестигранными отверстиями, в которые сварены 126 шестигранных абсорбционных труб (чехлов) длиной 4160 мм, изготовленных из борированной (1 % естественного бора) коррозионностойкой стали. Трубы совместно с плитами образуют жесткую сварную конструкцию. Опорная плита опирается на 14 выдвижных опор диаметром 160 мм и четыре опорные стойки диаметром 146 мм. Стойки привариваются к полу БВ на отметке +20,700 м. Опорная плита изготовлена из коррозионностойкой стали толщиной 80 мм и имеет отверстия диаметром 140 мм для подвода охлаждающей воды к ТВС и пеналам.

**Описание расчетной модели.** Расчетная модель для кода MELCOR 1.8.5 представляет собой упрощенную модель отсека TG21B02 энергоблока № 5 ЗАЭС, в котором установлены стеллажи СУХТ «Шкода». Как показал предварительный анализ, данные стеллажи представляют самое плотное состояние хранения ОТВС. В этом смысле отношение энерговыделения ОТВС к объему воды в ОТВС наименьшее. Исходные данные взяты из [4, 5, 3].

Объем 101 моделирует нижний объем в БВ от нижней отметки пола 20,7 м до отметки начала обогреваемой части ТВС на отметке 21,643 м (рис. 3). Объем 102 — это внутренний объем чехловых шестигранных труб СУХТ от начала обогреваемой части ТВС до верхней части металлических конструкций СУХТ. Объем 103 моделирует байпас между шестигранными трубами и остальной объем БВ, объем 104 — объем над металлоконструкциями БВ до верхней отметки бетонных конструкций 36,9 м. Объем 106 представляет собой граничное условие ГО, которое в данном анализе принято с постоянными давлением и температурой. В этом случае не учитывается обратный отклик ГО на процессы в БВ. Данный подход применим в качестве оценки характеристик ТА. В дальнейшем модель может быть интегрирована в модель ГО с последующим анализом процессов в ГО. Объем 307 представляет собой модель шахты реактора. Модель шахты подключается в расчетном анализе только в момент переноса расплава и начала реакции расплава с бетоном. Объем моделирует весь объем отсека БВ от пола до его верха и не связан с остальны-

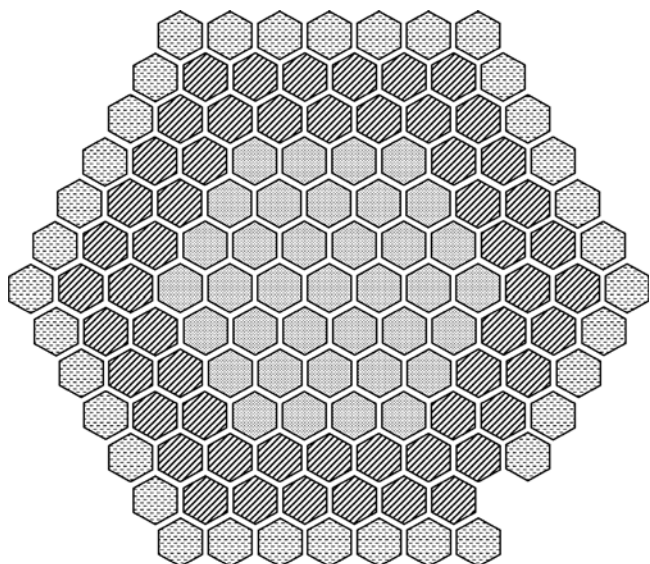


Рис. 4. Радиальная разбивка модели БВ

ми объемами модели, за исключением модели атмосферы (объем 106).

Объемы связаны соответствующими моделями связей, которые учитывают гидравлическое сопротивление каналов. Охлаждающая вода подается в объем 101 и выводится из объема 104 в качестве источников массы и энтальпии.

Теплообмен и взаимодействие внутри топливной решетки моделируется пакетом COR расчетного кода, для которого конструируется модель активной зоны в рамках БВ. В этом случае ТВС отсека БВ (126 штук) распределяются на радиальные кольца (рис. 4). Первое кольцо (центральное) содержит 37 ТВС, второе (промежуточное) — 54 ТВС, третье (периферийное) — 35 ТВС. В этом случае прямоугольная область расположения ТВС в БВ моделируется кольцами и цилиндрической моделью кода, что более консервативно с точки зрения меньших потерь тепла в окружающую среду и конструкции БВ. Профиль энерговыделения по высоте активной зоны принят на конец кампании максимально «плоским» [6]. Это позволяет увеличить время выделения водорода при окислении твэлов ТВС.

По высоте модель содержит 17 элементов, включая нижнюю опорную плиту в качестве поддерживающей структуры (support structure) (рис. 5). Активная зона моделируется с опцией для кипящих реакторов (BWR). В этом случае модель явно предполагает наличие байпасного канала в решетке активной зоны, который в нашем случае находится между шестиугольными трубами СУХТ. Модель учитывает массы всех конструкционных материалов СУХТ и ТВС с учетом их распределения по высоте модели. Облицовка пола БВ играет роль модели днища реактора, разрушение которого происходит при превышении температуры 1273 К. После разрушения облицовки пола расплав переносится в модель шахты реактора, где в дальнейшем происходит взаимодействие с бетоном.

В качестве бетона пола БВ принят бетон марки М300 для ЗАЭС-5 [6]. Его характеристики и состав внесены в модель.

#### Анализ исходного события потери охлаждения БВ.

В данной работе предполагается использование консервативных данных по энерговыделению в БВ, что возможно при полной выгрузке активной зоны в один из отсеков БВ с максимальной плотной упаковкой ТВС (отсек TG21B02). В отсеке TG21B02 находятся 126 ТВС аварийно выгруженной активной зоны. Суммарная мощность остаточных энерговыделений 126 ТВС аварийно выгруженной активной зоны консервативно равна 8,07 МВт [2]. Принято, что расход воды по замкнутому контуру системы расхолаживания БВ равен 600 м<sup>3</sup>/ч, температура теплоносителя на выходе из БВ — максимальная (70 °С), уровень теплоносителя в отсеке TG21B02 — минимальный (28,8 м, 8,1 м от дна БВ). Такое консервативное допущение обеспечивает минимальный начальный запас теплоносителя в TG21B02.

В качестве исходного события рассматривается полное обесточивание энергоблока с незапуском ДГ. Данное сочетание условий приводит к отключению насосов охлаждения БВ и дальнейшему нагреву и выпариванию воды БВ. Действия оперативного персонала не учитываются. Останов расхода охлаждающей воды происходит «мгновенно» на начало ИС. Мощность остаточных энерговыделений остается постоянной на протяжении всего расчетного анализа. Предполагается, что повреждения расплавом в радиальном направлении перегородки между отсеками БВ не происходят.

		HS10201	HS10203	HS10205			
CV103 Байпас	CV102 Канал	117	217	317	HS10224	Необогреваемая часть	
		116	216	316	HS10222		
		115	215	315	HS10220		
		114	214	314	HS10218		
		113	213	313	HS10216		
		112	212	312	HS10214		
		111	211	311	HS10212		
		110	210	310	HS10210		
		109	209	309	HS10208		
		108	208	308	HS10206		
CV101		107	207	307	HS10204	Обогреваемая часть	
		106	206	306	HS10202		
		105	205	305	HS10108		Необогреваемая часть
		104	204	304	HS10106		Опорные структуры
		103	203	303	HS10104		
		102	202	302	HS10102		
		101	201	301	HS10110		
		Облицовка пола БВ					

Рис. 5. Нодализационная схема модели активной зоны БВ



Таблица 1. Последовательность событий для ИС «Полное обесточивание энергоблока с незапуском ДГ» применительно к БВ

Время, с	Событие	Описание
0	Обесточивание энергоблока, незапуск ДГ, отключение насосов охлаждения БВ	Исходное событие
1440	Температура жидкости в БВ на уровне ТВС равна 100 °С	—
1580	Начало кипения жидкости над ТВС	Температура жидкости в БВ над ТВС равна 100 °С
3460	Начало кипения жидкости в БВ на уровне ТВС	Температура жидкости в БВ на уровне ТВС равна температуре насыщения 106 °С
18000	Начало оголения активной части ТВС	Уровень жидкости ниже активной части ТВС, отм. 25,193 м
24760	Начало выделения водорода	Начало пароциркониевой реакции
25980	Температура оболочек твэлов равна 1200 °С	Достигнут проектный предел целостности топлива
28280	Полное оголение активной части ТВС	Уровень жидкости ниже активной части ТВС, отм. 21,643 м
29350	Начало обрушения твэлов ТВС	Достигнуты критерии потери целостности твэлов
37500	Обрушение твэлов всех ТВС	—
39550	Начало повреждения опорной плиты	—
41550	Полное осушение БВ	Уровень воды в БВ равен нулю
42080	Повреждение облицовки пола БВ	—
42100	Начало выделения водорода в результате взаимодействия расплава с бетоном	—
73700	Окончание расчета	Повреждение слоя бетона 1,2 м пола БВ

В качестве критерия окончания расчетного анализа принято повреждение нижнего слоя бетона под БВ толщиной 1,2 м («прожигание» пола БВ) [3]; при этом происходит выход расплава в помещения ГО под БВ (ГА302) [7].

В табл. 1 представлена хронология событий.

Обесточивание энергоблока с незапуском ДГ приводит к отключению насосов охлаждения БВ и останову циркуляции охлаждающей воды через БВ. Наличие запаса воды над головками ТВС позволяет установить естественную циркуляцию в БВ с подъемным движением в шестигранных трубах СУХТ с ТВС и опускным движением в межтрубном и пристеночном пространстве. Энергия остаточных энерговыделений идет на подогрев воды БВ, которая к 1440 с нагревается с 70 до 100 °С на уровне ТВС. Кипение начинается сначала в верхнем объеме воды над ТВС на 1580 с, так как гидростатическое давление увеличивает температуру насыщения на уровне шестигранных труб СУХТ. Постепенно с понижением уровня и увеличением температуры начинается кипение жидкости в области ТВС на 3460 с.

После снижения уровня жидкости до отметки активной части ТВС на 18000 с начинается постепенный разогрев оболочек твэлов. С началом пароциркониевой реакции температура оболочек твэл увеличивается до 1200 °С к 25980 с. Упрощенно можно считать, что интенсивная генерация водорода начинается на момент достижения температуры оболочек твэлов 1200 °С, поскольку к данному

моменту выделилось всего 12 кг водорода, что составляет около 2 % всей массы.

Повреждение элементов твэлов начинается после осушения всей активной части ТВС на 29350 с. С этого момента генерация водорода менее интенсивна и поддерживается за счет реакции обломков ТВС с паром из нижней части БВ. На 39550 с происходит повреждение опорной плиты БВ и падение обломков активной зоны в оставшуюся воду. После осушения БВ на 41550 с повреждается облицовка БВ и на 42116 с начинается взаимодействие расплава с бетоном строительных конструкций пола БВ. К моменту начала взаимодействия с бетоном выделяется 401 кг водорода за счет реакции с цирконием и 113 кг водорода — с железом.

После интенсивной начальной стадии взаимодействия расплава с бетоном и исчерпания запасов циркония происходит уменьшение интенсивности в результате перехода на окисление железа, содержащегося как в обломках конструкций СУХТ, так и в арматуре бетона. Скорость выделения водорода ограничивается содержанием воды в бетоне (другого источника воды нет). На 73700 с глубина повреждения бетона пола БВ достигает 1,2 м, что является критерием останова расчета. К данному моменту из-за реакции с бетоном выделяется 1706 кг водорода (рис. 6—9).

Дополнительно к указанному анализу проведен анализ развития ТА в БВ для различных уровней энерговыделения.

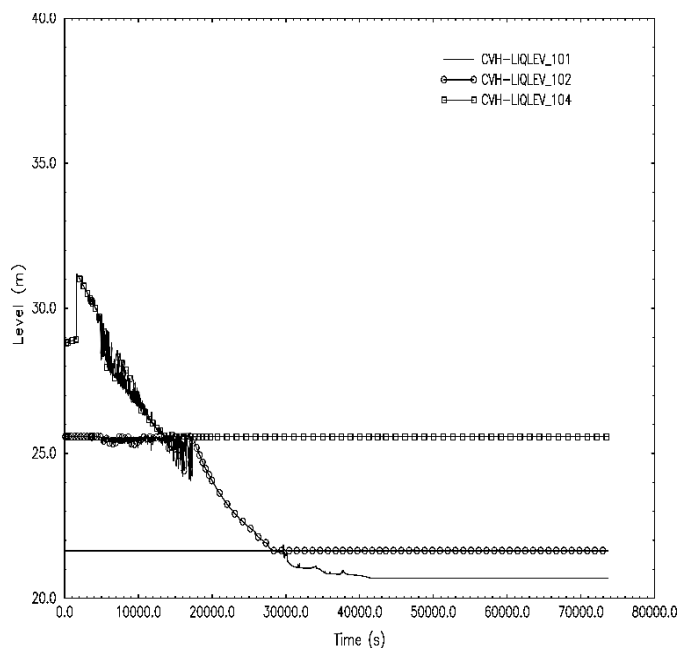


Рис. 6. Уровень воды в отсеке БВ

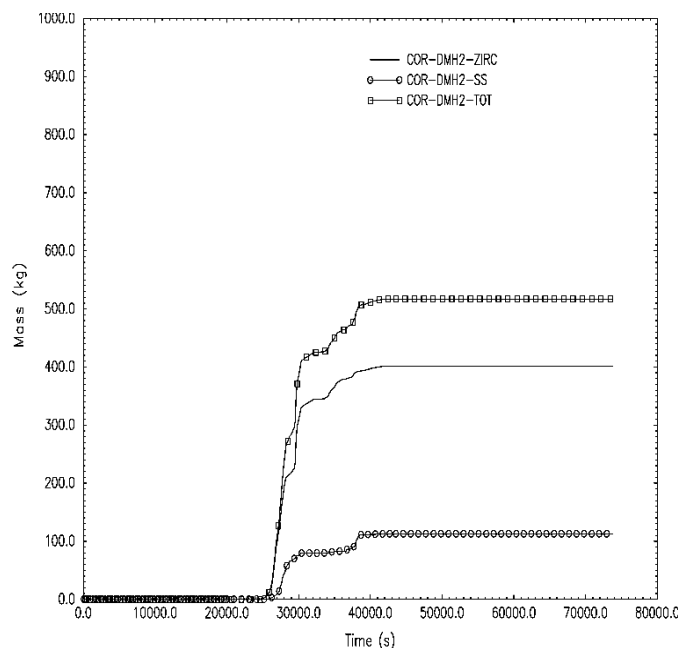


Рис. 8. Масса водорода, выделенного до фазы взаимодействия с бетоном

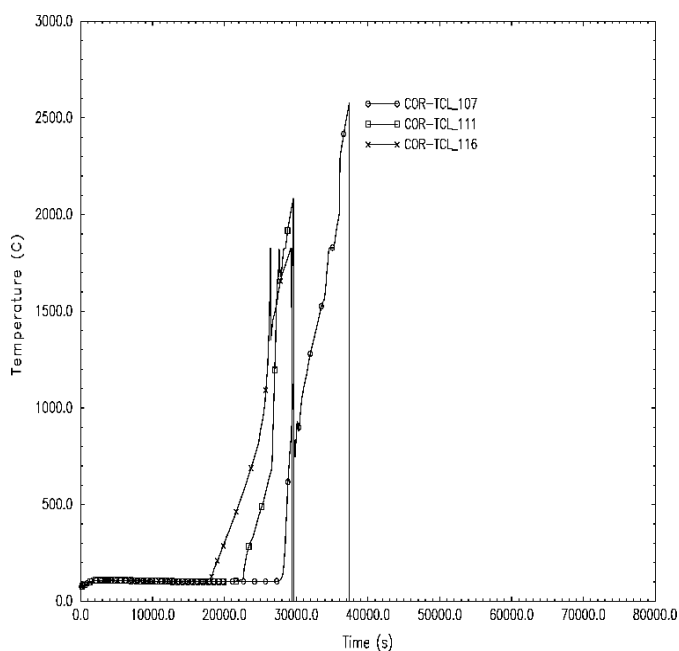


Рис. 7. Температура оболочек твэлов в первом радиальном кольце

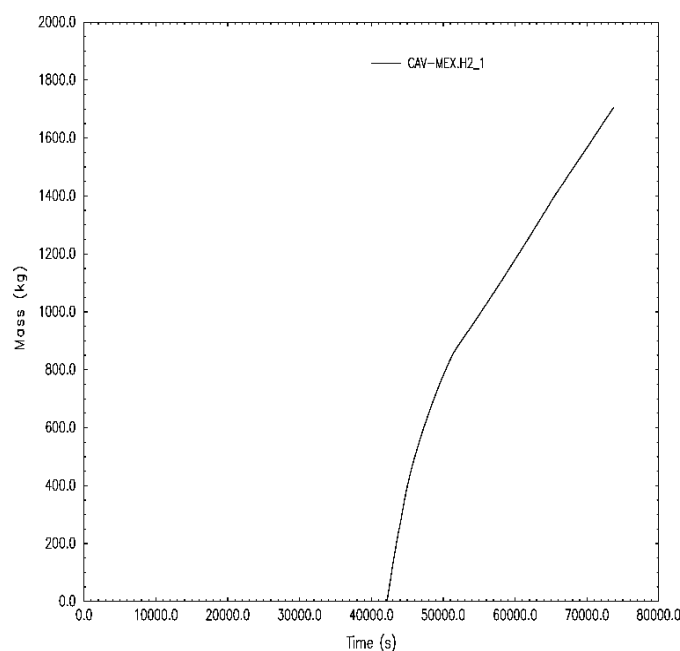


Рис. 9. Масса водорода, выделенного на фазе взаимодействия с бетоном

Это необходимо для определения характеристик, которые могут быть использованы для переноса данных по выделению водорода и поведению топлива в БВ на другие конфигурации БВ с топливом ВВЭР. Уровень остаточных энерговыделений выбран в пределах от 8,07 МВт до 0,6 МВт. Энерговыделение 5,93 МВт соответствует реальной мощности ТВС при выгрузке активной зоны в пересчете на 126 ТВС через 10 дней после останова реактора, энерговыделение 0,6 МВт — реальной мощности ТВС в отсеке TG21B02 в пересчете на 126 ТВС на начало кампании [8] (табл. 2, рис. 10).

Анализ данных и феноменологии на фазе ТА до и во время взаимодействия расплава с бетоном указывает на следующие закономерности.

Масса выделенного водорода от взаимодействия с цирконием практически не зависит от энерговыделения. Часть прореагировавшего циркония составляет от 34,7 до 50,3 %.

Масса выделенного водорода от взаимодействия со сталью слабо зависит от энерговыделения. Часть прореагировавшего железа составляет от 11,7 до 26,6 %.

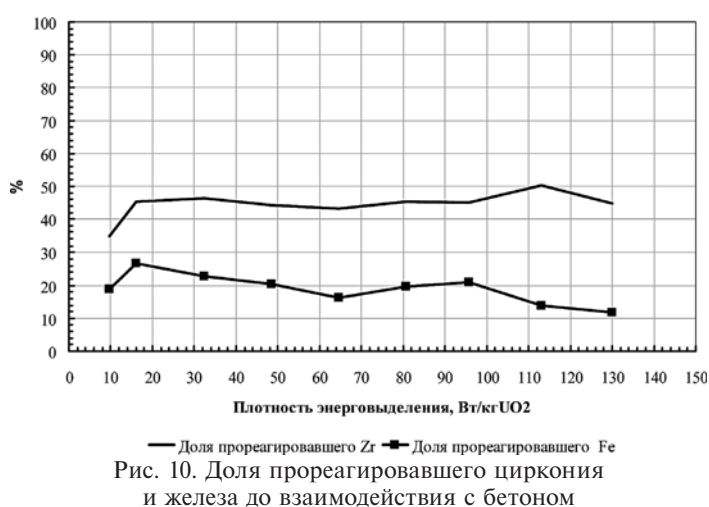
Момент начала и окончания выделения водорода до фазы взаимодействия с бетоном определяется отношением энерговыделения ОЯТ к начальной массе воды.

Момент достижения в расчетном анализе температуры оболочек твэлов 1200 °С практически соответствует моменту начала интенсивной генерации водорода.

Масса выделенного водорода от взаимодействия с бетоном практически не зависит от энерговыделения для

Таблица 2. Результаты расчета характеристик ТА в отсеке TG21B02 БВ для различных энерговыделений

Мощность отсека, МВт	Удельная мощность, Вт/кг (UO <sub>2</sub> )	Масса водорода от реакции с Zr, кг	Масса водорода от реакции с Fe, кг	Масса водорода от реакции с бетоном, кг	Время начала выделения водорода, с
8,07	130,0	401	113	1706	24760
7,0	113,0	451	135	1587	28500
5,93	95,8	403	201	1603	33000
5,0	80,7	406	189	1516	40100
4,0	64,6	387	157	1653	50200
3,0	48,4	397	197	1602	66500
2,0	32,3	416	220	1192	100400
1,0	16,1	407	256	911	211400
0,6	9,7	311	182	1170	394000



удельных энерговыделений от 130 до 48,4 Вт/кг, а определяется площадью модели шахты (пола БВ) и количеством воды в бетоне.

Указанные закономерности могут быть использованы для оценки количества, момента начала и продолжительности выделения водорода как на фазе до взаимодействия с бетоном, так и на фазе взаимодействия. Поскольку ТВС реакторов ВВЭР обладают аналогичными топливными решетками, данные для расчета БВ ЗАЭС-5 могут быть масштабированы на другие энергоблоки ВВЭР-1000 и ВВЭР-440 при аналогичных конфигурациях БВ.

**Радиационные последствия.** Оценка радиационных последствий тяжелой аварии в БВ с обесточиванием энергоблока выполняется на основе данных расчетного анализа для МПА (двусторонний разрыв ГЦТ диаметром 850 мм) с учетом полного обесточивания и успешной локализации ГО [9]. Использование данных МПА обусловлено наличием ранней разгерметизации твэлов с выходом газообразных продуктов деления в ГО и самым ранним разрушением корпуса реактора с выходом расплава в шахту реактора. Так как в количественном измерении выброс пропорционален массе топлива, производится пропорциональное масштабирование характеристики выброса количеству ТВС в отсеке БВ TG21B02. При этом ожидается, что при МПА давление в ГО на начальной фазе аварии будет выше, однако после выпаривания отсека БВ и начала выделения неконденсируемых газов условия в ГО будут аналогичными для обоих случаев. Оценка доз облучения производится для населения, проживающего на границе

санитарно-защитной зоны (2500 м), при количестве ТВС 126 штук.

Получены следующие результаты оценок индивидуальных доз:

эффективная доза облучения всего тела —  $0,123 \times 126 / 163 = 0,095 \text{ Зв} = 95 \text{ мЗв}$ ;

эквивалентная доза облучения щитовидной железы —  $1,11 \times 126 / 163 = 0,858 \text{ Гр} = 858 \text{ мГр}$ ;

эквивалентная доза на открытые участки кожи —  $0,0391 \times 126 / 163 = 0,030 \text{ Гр} = 30 \text{ мГр}$ .

Расчеты радиационных последствий проводились с целью определения границ оправданности и безусловной оправданности применения контрмер, таких как укрытие и эвакуация. Уровни оправданности применения контрмер для защиты населения определялись согласно НРБУ-97 [10]. Результаты расчетов радиационных последствий ТА в БВ показывают, что в направлении распространения радиоактивного облака, на расстоянии 2500 м от аварийного энергоблока превышаются условия оправданности применения таких контрмер, как укрытие населения.

Данные величины должны восприниматься как оценки по порядку величины. Тем не менее, с учетом того, что остальные отсеки БВ при долговременной потере электропитания также могут привести к дополнительному выбросу, необходимо уделить восстановлению охлаждения БВ серьезное внимание, потому что дозовые нагрузки находятся на пределе условия оправданности применения таких контрмер, как эвакуация населения. В случае нелокализации ГО они будут превышены с запасом на порядок и более. Более точные оценки могут быть даны при помощи интегрирования модели БВ в модель ГО и совместного расчета переходного процесса при ТА.

## Выводы

В работе представлена упрощенная модель бассейна выдержки ОЯТ реактора ВВЭР-1000 для расчетного кода MELCOR 1.8.5. Модель используется для оценки временных параметров и последствий тяжелой аварии. Модель позволяет оценивать поведение отработавшего ядерного топлива на фазе разогрева, разрушения и взаимодействия расплава с бетоном перекрытия пола. Актуальность данной задачи определяется тем, что в случае выгрузки активной зоны в отсек TG21B02 тяжелое повреждение топлива возможно через 8 ч после потери охлаждения, что может сопровождать исходное событие с полным обесточиванием

энергоблока или АЭС. В этом случае временные рамки противоаварийных действий персонала будут определяться именно развитием тяжелой аварии в БВ, а не в активной зоне. В случае загрузки БВ при текущем состоянии энергоблока (плановые перегрузки) до тяжелого повреждения у персонала имеется время около 4–5 сут.

Модель позволяет определить массу и продолжительность генерации водорода при ТА в БВ. Определенные закономерности позволяют путем масштабирования перенести данные расчета на другие конфигурации БВ для предварительных оценок последствий. Разработке мер по восстановлению охлаждения БВ необходимо уделить серьезное внимание, так как дозовые нагрузки даже в случае успешной локализации ГО находятся на пределе условия оправданности применения таких контрмер, как эвакуация населения на границах санитарно-защитной зоны.

В дальнейшем модель может быть конкретизирована для отдельных конфигураций БВ, интегрирована в модель ГО для более точных оценок при разработке расчетного обоснования руководства по управлению тяжелыми авариями в БВ.

#### Список использованной литературы

1. IAEA International Fact Finding Expert Mission of the Fukushima Dai-Ichi NPP Accident Following the Great East Japan Earthquake and Tsunami. Mission Report. Tokyo, Fukushima Dai-ichi NPP, Fukushima Dai-ni NPP and Tokai Dai-ni NPP, Japan 24 May – 2 June 2011, IAEA. — 2011.

2. Запорожская АЭС. Энергоблок № 5. Отчет по анализу безопасности. Анализ проектных аварий. Дополнительные материалы. Нарушения при обращении с топливом и радиоактивными отходами» для ЗАЭС-5. Итоговый отчет. 21.5.59.ОБ.02.1. — 2007.

3. Выполнение анализа ИС группы «Нарушения при обращении с топливом и РАО для энергоблока № 5 Запорожской АЭС». База данных. EP75/183–2007.200ОД.(1), ОП ЗАЭС. — 2007.

4. Запорожская АЭС. Блок 5. Реакторное отделение. Техпереворужение. Установочные чертежи СУХТ в отсеке TG21B02 БВ. ЦУА-242–101-ТП. ОАО ХИ Энергопроект, Харьков. — 2005.

5. База данных по ядерной паропроизводящей установке. Запорожская АЭС. Энергоблок № 3. Отчет о научно-исследовательской работе «Адаптация баз данных, разработанных в рамках АПА энергоблока № 5 ЗАЭС, и анализ отличий применительно к энергоблоку № 3 ЗАЭС с учетом внедрения отраслевого решения по использованию ТВСА конструкции ОКБМ в промышленной эксплуатации». ООО «Энергориск». Этап 1. EP85-2003.110. ОД.1. Ревизия 1. — 2004.

6. Запорожская АЭС. Энергоблок № 1. Анализ уязвимости энергоблока № 1 ЗАЭС в условиях ТА. Финальный отчет. EP18-2010.400.ОД.1. — 2011.

7. Проект углубленного анализа безопасности энергоблока № 5 ЗАЭС. Анализ проектных аварий в ограниченном объеме. База данных по гермообъему. 20022DL12R-DVA. — 2003.

8. Альбом нейтронно-физических характеристик активной зоны реактора Энергоблока № 5 ЗАЭС. Кампания № 22. 05.ОБ. УН.АЛ.22. ОП ЗАЭС. — 2010.

9. Анализ уязвимости энергоблока № 1 ЮУАЭС в условиях тяжелых аварий. Финальный отчет. — 2011.

10. Нормы радиационной безопасности Украины (НРБУ-97). Государственные гигиенические нормативы ГГН 6.6.1–6.5.001–98. К. 2000.

Получено 11.11.2011.