

УДК 621.039.587

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОРИУМА С ЖЕРТВЕННЫМ МАТЕРИАЛОМ ЛОВУШКИ РАСПЛАВА
СО СВИНЦОВЫМ СЛОЕМ В УСЛОВИЯХ ТЯЖЕЛОЙ АВАРИИ**

М.К. Бекмулдин^{1,2}, А.А. Туркач¹.

Научные руководители: профессор, д.ф.-м.н., М.К. Скаков³, профессор, д.т.н., А.В. Градобоев⁴

¹Филиал институт атомной энергии РГП НЯЦ РК,
Казахстан, г. Курчатов, ул. Бейбыт Атом 10, 071100

²Университет имени Шакарима,
Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20А, 071412

³Национальный ядерный центр РК,
Казахстан, г. Курчатов, ул. Бейбыт Атом 2Б, 071100

⁴Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

e-mail: Bekmuldin@nnc.kz

**INTERACTION OF CORIUM WITH SACRIFICIAL MATERIAL OF A CORE CATCHER
WITH A LEAD LAYER IN A SEVERE ACCIDENT**

M.K. Bekmuldin^{1,2}, A.A. Turkach¹

Scientific Supervisor: Prof., Dr., M.K. Skakov³, Prof., Dr., A.V. Gradoboev⁴

¹Institute of Atomic Energy NNC RK, Kazakhstan, Kurchatov, Beybit Atom str., 10, 071100

²Shakarim University, 071412, Kazakhstan, Semey, Glinka str., 20A, 071412

³National Nuclear Center of the RK, Kazakhstan, Kurchatov, Beybit Atom str., 2B, 071100

⁴Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

e-mail: Bekmuldin@nnc.kz

Abstract. *The paper describes a physical modeling of the interaction of a corium prototype with sacrificial aluminum oxide material with a lead layer, under conditions of imitation of decay heat. The design of an experimental facility for conducting physical modeling is described. The parameters of thermal processes occurring during the interaction of the corium prototype with sacrificial material are obtained. Preliminary conclusions on their interaction are made.*

Введение. Улучшение безопасности АЭС является одной из актуальных и приоритетных задач. Опыт эксплуатации АЭС показал, что существует возможность развития тяжелой аварии с плавлением активной зоны, образованием кориума и его выходом за пределы корпуса реактора. В случае подобного сценария развития тяжелой аварии, под корпусом реактора размещают специальную ловушку расплава [1-5], которая должна принять вытекающий из корпуса кориум и охладить его вплоть до кристаллического состояния [6]. Охлаждение кориума происходит путем прямой подачи воды на зеркало расплава, разбавлением жертвенных материалов и отводом тепла за счет водоохлаждаемого корпуса ловушки.

При этом выход кориума имеет порционный характер, а подача воды начинается непосредственно после выхода первой порции. Таким образом, возможен сценарий, согласно которому, на поверхности

расплава образуется бассейн воды и в результате падения большого объема расплавленного материала возможен паровой взрыв [7], который может привести к разрушению конструкции ловушки.

Целью данной работы является экспериментальное исследование взаимодействия жертвенного материала (Al_2O_3) ловушки расплава со свинцовым слоем легководного ядерного реактора с прототипом кориума (далее по тексту *кориум*) в условиях, имитирующих остаточное энерговыделение.

Предлагаемая в настоящей работе жертвенная композиция состоит из оксида алюминия и слоя свинца. Предполагается, что использование свинцового слоя позволит снизить время на активацию химических взаимодействий между кориумом и ЖМ в ловушке, а также увеличить интенсивность их взаимодействия между собой. Дополнительно, свинец, имеющий температуры кипения и плавления ниже температуры расплава кориума ($\sim 2500^\circ\text{C}$) позволит обеспечить дополнительный эффективный теплоотвод от кориума за счет энергии, затрачиваемой на фазовый переход свинцового слоя в парообразное состояние.

Экспериментальная часть. Конструкция экспериментального устройства представляет собой бетонную ловушку с блоками из оксида алюминия и вкладышами из свинца и стали, которая оснащается термодарами и устанавливается на штатное место в УПР (устройство приема расплава) установки «Лава-Б». Экспериментальное устройство накрывается теплоизоляционным материалом, в котором установлена танталовая воронка для обеспечения направленного слива кориума в экспериментальное устройство. Схема экспериментального устройства с расположением контрольных точек показана на рисунке 1.

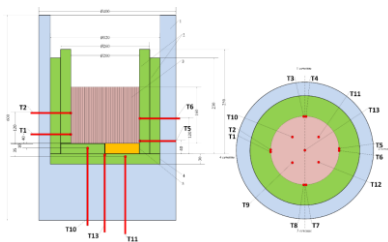


Рис. 1 Схема с расположением термодаров и блоков в бетонной ловушке для эксперимента
1-бетонная ловушка, 2-боковые блоки из оксида алюминия (Al_2O_3), 3-расплав, 4-донные блоки из оксида алюминия (Al_2O_3), 5-свинец, T1-T13 – термодары

Эксперимент по взаимодействию кориума с композитным жертвенным материалом ловушки расплава и имитацией остаточного энерговыделения проводился в следующей последовательности:

1 этап – плавление шихты в тигле ЭПП (электроплавильной печи) до получения расплава с температурой 2500°C . Суммарная масса шихты составляет 25,5 кг и состоит из диоксида урана (16,5 кг), циркония (7,5 кг), диоксида циркония (1,5 кг).

2 этап – взаимодействие кориума с композитным материалом с имитацией остаточного энерговыделения кориума. После слива расплава подавали напряжение на индуктор УПР и обеспечивали работу системы нагрева расплава (имитация остаточного энерговыделения кориума) в течение приблизительно 90 минут.

Результаты. После эксперимента была произведена разборка установки и фотосъемка состояния бетонной ловушки и элементов установки, а также построены диаграммы изменения значений температуры оксида алюминия во время эксперимента. Визуально было установлено наличие многочисленных трещин в стенке бетонной ловушки с двух диаметральных и радиальных сторон и обнаружены многочисленные трещины цилиндра из оксида алюминия.

На рисунке 2 показана область кипения свинцового слоя. До начала кипения свинца значения температуры по показаниям термопар T9 и T10 (не находятся под слоем свинца) практически не отличаются от показаний термопар T11 и T12 (находятся под слоем свинца). После начала кипения свинца рост температуры T11 и T12 замедляется. Весьма вероятно, что это может быть связано с дополнительным расходом энергии на плавление свинца. По истечении времени ~ 6 мин значения температуры в T11 и T12 продолжили рост, что может указывать на выкипание основной части свинцового слоя.

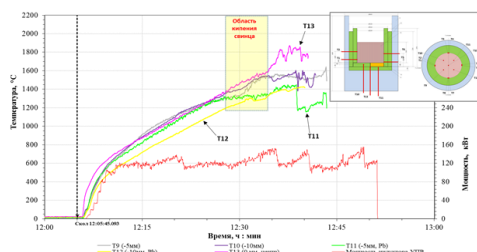


Рис. 2 Диаграммы изменения значений температуры диска из оксида алюминия при проведении эксперимента (после слива расплава в бетонную ловушку)

Заключение. Проведенный эксперимент показал, что в результате воздействия кориума наблюдается растрескивание и частичное разрушение блоков из оксида алюминия. В период кипения свинца рост температуры керамики, находящейся под свинцовым слоем, происходил менее интенсивно в сравнении с ростом температуры керамики, напрямую контактирующей с кориумом, что может свидетельствует о дополнительном расходе энергии на фазовый переход – плавление и кипение – свинца. Наличие кипящего слоя свинца снижает температуру элементов модельной ловушки расплава и повышает их устойчивость к высокотемпературному воздействию со стороны расплава.

На данном этапе исследований начаты материаловедческие исследования образцов материалов, полученных в результате диаметрально-аксиального разреза ловушки после эксперимента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Almjashhev V.I. Gusarov V.V., Bechta S.V. et al. Sacrificial Materials of the Core Catcher as a New Class of Functional Materials // 6th International Conference on Intermolecular Interactions in Matter. Gdansk-Jelitkowo. 10-13 September 2001. Abstract Book. – Gdansk. – 2001. – P1.
2. Пат. РФ RU 2696612 C1. Устройство локализации расплава / А.С. Сидоров, Н.В. Сидорова, Т.Я. Дзбановская, Заявлено 26.12.2018; Опубл. 05.08.2019, Бюл. № 22. – 19 с.
3. PCT patent WO 03/032325 Gusarov V.V., Khabensky V.B., Bechta S.V. e.a., Apr. 17, 2003.
4. Пат. РФ RU 2559294 C1. Шихта и оксидный жертвенный материал... / В.А. Можжерин, В.Я. Сакулин, В.П. Мигаль и др., Заявлено 24.01.2014; Опубл. 10.08.2015, Бюл. № 22. – 10 с.
5. Патент РФ № 0002696012 C1. Устройство локализации кориума ядерного реактора водо-водяного типа / В.С. Грановский, В.Б. Хабенский, В.А. Василенко и др., Заявлено 08.11.2018; Опубл. 30.07.2019, Бюл. № 22. – 14 с.
6. Сидоров И.А. Устройство локализации расплава для АЭС с ВВЭР-1200 // 7-я МНТК «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР», ОКБ «Гидропресс». – Подольск, 2011. – С. 1-13.
7. Sehgal B.R. et al, Melt-Structure-Water Interactions During Severe Accident in LWRs: Annual Report. – NPSD Royal Institute of Technology. – Sweden, 2000. – 147 p.