ОТЗЫВ
ЗАРУБЕЖНОГО НАУЧНОГО КОНСУЛЬТАНТА

на диссертационную работу Бекмулдина Максата Куатбековича на тему «Экспериментальное моделирование взаимодействия модельного кориума легководного реактора с Al_2O_3 – жертвенным материалом с кипящим свинцовым слоем ловушки расплава», представленную на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D05302 – «Техническая физика»

Тема диссертационной работы Бекмулдина М.К. связана с развитием атомной энергетики, а именно с безопасной эксплуатацией легководных реакторов АЭС. Диссертационная работа посвящена исследованию взаимодействия модельного кориума легководного реактора с кандидатным жертвенным материалом ловушки расплава.

Актуальность выбранной автором темы исследования обусловлена тем, что ловушки расплава являются одним из основных элементов пассивных систем безопасности легководных реакторов АЭС нового поколения. Выбор жертвенных материалов для ловушек расплава легководных реакторов АЭС является одной из важнейших задач для эффективной и надежной локализации кориума в случае его выхода за пределы корпуса реактора во время тяжелой аварии с расплавлением активной зоны.

В диссертационной работе предложен жертвенный материал ловушки расплава на основе керамики из оксида алюминия и металлического свинцового слоя. Существующая концепция локализации расплава предполагает теплоотвод от кориума через водоохлаждаемый корпус и залив водой его поверхности, после растворения жертвенных материалов в кориуме для совершения гравитационной инверсии металлической и оксидной компоненты кориума с целью уменьшения выделения взрывоопасного водорода в ходе паро-металлических реакций. В связи с этим, соискателем был предложен жертвенный материал, который позволит снизить время на активацию химических взаимодействий между кориумом и жертвенным материалом в ловушке расплава, увеличить интенсивность их взаимодействия между собой, а также позволит обеспечить дополнительный эффективный теплоотвод от кориума за счет энергии, затрачиваемой на фазовые переходы свинцового слоя.

В диссертационной работе проведено обоснование метода имитации остаточного энерговыделения в кориуме на установке «Лава-Б» компьютерным моделированием, показавшее, что в случае индукционного нагрева тепло выделяется на боковой поверхности кориума в пределах скин-слоя. Это позволяет получить более равномерное тепловое поле, а выделение энергии в области постоянных теплообменных процессов кориума с материалами ловушки позволяет поддерживать кориум в расплавленном состоянии, тем самым приближая экспериментальную ситуацию к реальным процессам.

Разработанная соискателем методика калибровки параметров индукционного нагревателя для повышения эффективности нагрева при проведении экспериментального взаимодействия модельного кориума с жертвенным материалом показала, что индукционный нагрев прототипа кориума способен выделять в расплаве необходимое количества тепла и может быть использован для экспериментальной имитации остаточного энерговыделения расплава активной зоны легководного ядерного реактора АЭС.

В диссертационной работе представлен метод крупномасштабного экспериментального моделирования взаимодействия модельного кориума с жертвенным материалом, обеспечивающий высокое приближение условий реальной аварийной ситуации с расплавлением активной зоны. В процессе взаимодействия происходит плавление и последующее кипение свинцового слоя, при этом в момент фазового перехода свинцовой компоненты происходит замедление темпа роста температуры керамического материала в некотором интервале времени.

Проведенное соискателем изучение полученных образцов с использованием современных и апробированных методов материаловедческих исследований позволило получить структурно-фазовое состояние кориума после взаимодействия с жертвенным материалом. Установлено, что микроструктура затвердевшего кориума в различных областях после взаимодействия с жертвенным материалом представлена фазой типа $(U,Zr,\ldots)O_{2\pm x}$ с различными типами кристаллического строения. Также, установлено, что взаимодействие жертвенного материала с кориумом приводит к окислению металлического циркония в составе кориума.

Необходимо отметить, что результаты диссертационной работы получены в рамках выполнения научно – технической программы «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» за 2021-2023 гг. (BR09158470).

Бекмулдин М.К. докладывал основные результаты диссертационной работы на 11-ти международных и отечественных конференциях, а также является соавтором 6 научных статей по теме диссертационного исследования в журналах, индексируемых в международных базах Web of Science и/или Scopus и 1 статью в журнале, входящем в список 2 КОКСНВО МНВО РК, кроме этого, имеет 1 патент на полезную модель Республики Казахстан.

Достоверность результатов, представленных в работе, основывается на применении апробированных методов компьютерного и экспериментального моделирования по исследованию взаимодействия жертвенного материала с кориумом, выборе способа имитации остаточного энерговыделения в кориуме, разработке теплофизических моделей экспериментальной секции ловушки расплава, а также методов исследования структуры и состава материалов после взаимодействия.

В 2023 году Бекмулдин М.К. проходил зарубежную стажировку в Инженерной школе ядерных технологий Национального исследовательского

Томского политехнического университета, где получил необходимые знания о методах исследований в экспериментальной физике. За период прохождения стажировки Бекмулдин М.К. представлял результаты научного исследования на семинарах с другими докторантами (PhD), где получил ценные рекомендации о проведении научных исследований от специалистов НИ ТПУ.

Главы диссертации структурированы, логически взаимосвязаны и имеют внутреннее единство. Она представляет собой квалификационную, завершенную научную работу и характеризуется четкостью и обоснованностью выводов. Диссертация может вызвать большой интерес у специалистов в области атомной энергетики. Работа выполнена с соблюдением принципа академической честности.

Цель и поставленные задачи диссертационного исследования, как теоретические, так и практические выполнены соискателем самостоятельно при консультативной поддержке научных консультантов и специалистов филиала «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК.

Считаю, что весь объем диссертационной работы, практическая значимость и достоверность представленных результатов, достигнутых Бекмулдиным М.К., соответствует всем требованиям, предъявляемым Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования МНВО РК к докторским (PhD) диссертациям.

Бекмулдин Максат Куатбекович, несомненно ***заслуживает*** присуждения искомой степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D05302 – «Техническая физика» и его диссертационная работа может быть представлена для защиты в соответствующий диссертационный совет.

Зарубежный научный консультант,
доктор технических наук, профессор **А.В. Градобоев**

Градобоев Александр Васильевич, доктор технических наук, профессор Отделения экспериментальной физики Инженерной школы ядерных технологий ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».
Тел.: +7-913-866-8405
E-mail: gradoboev1@mail.ru, gava@tpu.ru

И. о. Ученого секретаря
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» /В.Д. Новикова/

«01» 11 2024г.