

<b>Наименование проекта</b>
AP14870512 «Разработка и исследование способа охлаждения кориума в подреакторной ловушке расплава активной зоны АЭС при тяжелой аварии»
<b>Конкурс</b>
Конкурс на грантовое финансирование по научным и (или) научно-техническим проектам на 2022-2024 годы (Приказ Председателя Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан от «14» сентября 2022 года № 147-нж)
<b>Научный руководитель</b>
Скаков Мажын Канапинович, 1952 г.р., д.ф.-м.н., профессор, академик КазНАЕН, главный научный сотрудник РГП НЯЦ РК, Author ID в Scopus <a href="#">6506859122</a> (индекс Хирша – 14), ResearcherID в WoSP <a href="#">JA-5921-2026</a> (индекс Хирша – 11), ORCID ID <a href="#">0000-0001-6836-1214</a>
<b>Исследовательская группа</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Бакланов Виктор Владимирович, 1977 г.р., PhD, ассоциированный профессор, директор филиала ИАЭ РГП НЯЦ РК, Author ID в Scopus <a href="#">16315181100</a> (индекс Хирша – 10), ResearcherID в WoS <a href="#">EKP-2593-2022</a> (индекс Хирша – 7), ORCID ID <a href="#">0000-0001-7627-8752</a></li> <li>2. Акаев Асан Сабырович, 1978 г.р., начальник отдела филиала ИАЭ РГП НЯЦ РК, Author ID в Scopus <a href="#">57321455500</a> (индекс Хирша – 5), ResearcherID в WoS <a href="#">GXT-1991-2022</a> (индекс Хирша – 3), ORCID ID <a href="#">0000-0003-4792-6161</a></li> <li>3. Микиша Анатолий Владимирович, 1959 г.р., заместитель начальника лаборатории филиала ИАЭ РГП НЯЦ РК</li> <li>4. Бекмулдин Максат Куатбекович, 1988 г.р., PhD, начальник лаборатории филиала ИАЭ РГП НЯЦ РК, Author ID в Scopus <a href="#">57321072600</a> (индекс Хирша – 4), ResearcherID в WoS <a href="#">IQT-7160-2023</a> (индекс Хирша – 3), ORCID ID <a href="#">0000-0002-6895-536X</a></li> <li>5. Кукушкин Иван Михайлович, 1972 г.р., начальник группы филиала ИАЭ РГП НЯЦ РК, Author ID в Scopus <a href="#">57194586367</a> (индекс Хирша – 5), ResearcherID в WoS <a href="#">PMX-9750-2026</a> (индекс Хирша – 5)</li> <li>6. Бекмулдин Максат Куатбекович, 1988 г.р., начальник лаборатории филиала ИАЭ РГП НЯЦ РК, Author ID в Scopus <a href="#">57321072600</a> (индекс Хирша – 4), ResearcherID в WoS <a href="#">IQT-7160-2023</a> (индекс Хирша – 3), ORCID ID <a href="#">0000-0002-6895-536X</a></li> <li>7. Сапатаев Ержан Ернатулы, 1988 г.р. PhD, ассоциированный профессор, начальник лаборатории филиала ИАЭ РГП НЯЦ РК, Author ID в Scopus <a href="#">57226365313</a> (индекс Хирша – 6), ResearcherID в WoS <a href="#">AAB-5761-2020</a> (индекс Хирша – 6), ORCID ID <a href="#">0000-0003-1252-0612</a></li> <li>8. Толеубеков Куанышбек Оразбекович, 1997 г.р. PhD, старший научный сотрудник лаборатории филиала ИАЭ РГП НЯЦ РК, Author ID в Scopus <a href="#">58038226300</a> (индекс Хирша – 3), ResearcherID в WoS <a href="#">EBF-1800-2022</a> (индекс Хирша – 3), ORCID ID <a href="#">0000-0001-8731-363X</a></li> </ol>
<b>Краткая информация о проекте (цель, актуальность, ожидаемые результаты, полученные результаты)</b>
<p><i>Цель проекта</i>  Разработать новый способ охлаждения поверхности кориума легкоплавными материалами и исследовать их влияние на интенсивность теплоотвода от кориума относительно классической схемы, применяемой в эксплуатируемых конструкциях ловушек расплава АЭС.</p> <p><i>Актуальность</i>  Кориум представляет собой систему двух несмешивающихся жидких фаз - оксидной и металлической. При этом металлическая часть находится над оксидной из-за разности их плотностей. В силу особенности структуры кориума, при подаче воды на бассейн расплава генерируется взрывоопасный водород, а порционность выхода кориума увеличивает вероятность парового взрыва. Эта проблема в настоящее время решается путем гравитационной инверсии частей кориума.  Однако на осуществление гравитационной инверсии затрачивается значительное количество времени, а подачу воды необходимо начинать сразу в момент выхода кориума в ловушку ввиду опасности выхода параметров системы за допустимые пределы (начало кипения диоксида</p>

урана) благодаря остаточным тепловыделениям в кориуме. В итоге, в период времени, когда металлическая часть находится на поверхности расплава на нее подается вода, что и повышает процесс увеличения генерации водорода, а учитывая порционный выход кориума из корпуса реактора – паровых взрывов.

Авторами предлагалось рассмотреть новый альтернативный способ охлаждения кориума в ловушке расплава во время тяжелой аварии с расплавлением активной зоны и разрушением корпуса реактора в момент времени, когда процесс растворения жертвенных материалов не завершен. При этом в качестве неводного охладителя будут рассматриваться легкоплавные материалы, которые должны иметь значения плотности, температур плавления и кипения ниже относительно идентичных параметров жидкого кориума.

При попадании кориума в ловушку, легкоплавные материалы за счет разности плотностей, будут находиться непосредственно либо во внутренних частях расплава, либо на его поверхности, отводя при этом тепло от кориума в процессе совершения фазовых переходов плавления и кипения. В момент окончания процесса растворения в кориуме жертвенных материалов и окончания процесса гравитационной инверсии предполагается полное испарение охлаждающего материала. После этого на поверхность расплава будет подаваться вода, где к тому моменту уже будет находиться оксидная часть кориума. Тем самым количество генерируемого водорода значительно снизится, что приведет к повышению эффективности локализации кориума в ловушке расплава во время тяжелой аварии с расплавлением активной зоны.

#### *Полученные результаты*

1. Предложен способ охлаждения кориума легководного реактора в ловушке расплава при тяжелой аварии с расплавлением активной зоны, основанном на использовании эффекта кипения металлов.
2. Проведено расчетно-теоретическое обоснование предложенного способа охлаждения кориума и доказана возможность его реализации на практике.
3. Разработаны и апробированы методики проведения высокотемпературных испытаний материалов с низкими температурами плавления относительно расплава кориума на стенде ВЧГ-135 и установке «Лава».
4. Установлены особенности влияния исследуемых металлов на структурно-фазовое состояния кориума в результате их высокотемпературного взаимодействия.

#### **Публикации и патенты по проекту:**

##### *Статьи*

1. Skakov M., Toleubekov, K., Baklanov, V., Gradoboev A., Akayev, A., Bekmuldin M. The method of corium cooling in a core catcher of a light-water nuclear reactor. Eurasian Physical Technical Journal. 2022. 3(41), 69–77. <https://doi.org/10.31489/2022No3/69-77> (индексируется в Scopus, CiteScore за 2023 год – 1.1, наивысший процентиль в категории General Engineering – 27).
2. Skakov M.K., Baklanov V.V., Toleubekov K.O., Gradoboev A.V., Akaev A.S., Bekmuldin M.K. Modeling of the corium and metals – coolers interaction in a core catcher of a light water reactor. NNC RK Bulletin. 2023, 2(94), 49-57. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2023-2-49-57> (включен в перечень изданий, рекомендуемых для публикации основных результатов научной деятельности приказом КОКСНВО МНВО РК №290 от 28.06.2022 г.)
3. Skakov M., Baklanov B., Kukushkin I., Toleubekov K., Bekmuldin M., Akaev A., Azbergenov M., Daultekhanov Ye., Toktaushev A. Investigation of the interaction between corium and metal-coolers at the VCG-135 test bench in the conditions of a severe accident. Nuclear Engineering and Design. 2024, 424, 113296. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2024.113296> (индексируется в Scopus, CiteScore за 2023 год – 3.4, наивысший процентиль в категории Nuclear Energy and Engineering – 66; Web of Science, Journal Impact Factor (JIF) за 2023 год - 1.9, наивысший квартиль в категории Nuclear science & technology – Q1).

4. Skakov M., Baklanov B., Kukushkin I., Bekmuldin M., Akaev A., Azbergenov M., Gradoboev A. The main structural-phase states of interaction between model corium of a nuclear reactor and a sacrificial material based on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and a lead layer. *International Journal of Advanced Nuclear Reactor Design and Technology*. 2024, 6(1), 43-56. <https://doi.org/10.1016/j.jandt.2024.09.001> (индексируется в Scopus, CiteScore за 2023 год – 2.5, процентиль в категории Nuclear Energy and Engineering- 59)
5. Toleubekov K., Skakov M., Baklanov B., Bekmuldin M., Akaev A. Method of out-of-pile high-temperature tests of low-melting materials in conditions of modeling a severe nuclear reactor accident. *International Journal of Advanced Nuclear Reactor Design and Technology*. 2024, 6(2), 99-107. <https://doi.org/10.1016/j.jandt.2024.10.003> (индексируется в Scopus, CiteScore за 2023 год – 2.5, процентиль в категории Nuclear Energy and Engineering- 59)
6. Skakov M., Baklanov V., Nurpairova G., Toleubekov K., Akaev A., Bekmuldin M. Efficiency of simulating decay heat in the corium of a nuclear reactor by the ohmic heating method. *Recent Contributions to Physics*. 2024, 90(3), 108–115. <https://doi.org/10.26577/RCPH.2024v90i3-013> (индексируется в WoS Core Collection, Journal Impact Factor (JIF) за 2023 год - 0.2, наивысший квартиль в категории Physics, Multidisciplinary– Q4).

*Материалы конференций*

1. Толеубеков К.О., Скаков М.К., Акаев А.С., Бекмулдин М.К., Мартыненко Е.А. О возможности охлаждения кориума легкоплавными металлами в ловушке расплава легководного реактора. Сборник тезисов IV Международного научного форума «Ядерная наука и технологии». – Алматы: Институт ядерной физики МЭ РК, 2022. – с.168
2. Skakov M.K., Toleubekov K.O. The method of corium cooling in a core catcher of a light-water nuclear reactor. Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Увалиевские чтения-2022» «Актуальные проблемы науки и образования в условиях современных вызовов». – Усть-Каменогорск: ВКУ имени Сарсена Аманжолова, 2022. – с.419-424
3. Скаков М.К., Толеубеков К.О., Бекмулдин М.К., Акаев А.С. О возможности использования легкоплавных материалов для охлаждения кориума в ловушке расплава. Материалы Международной научной конференции «Абдильдинские чтения: актуальные проблемы современной физики». – Алматы: КазНУ им. аль-Фараби, 2023. – с. 27-28
4. Толеубеков К.О., Скаков М.К., Бакланов В.В., Еділұлы Ә., Нурпаисова Г. С. Маломасштабные эксперименты по исследованию взаимодействия кориума с металлами – охладителями в условиях тяжелой аварии с расплавлением активной зоны. Сборник тезисов XX Международной конференции «Семипалатинский испытательный полигон: наследие и перспективы развития научно-технического потенциала». – Курчатов: НЯЦ РК, 2023. – с. 40
5. Toleubekov K.O., Nurpairova G.S., Yediluly A. Modeling of the corium and metals – coolers interaction in a core catcher of a light water reactor. Abstracts of XX International Conference of students, graduate students and young scientists «Prospects of fundamental sciences development». – Tomsk, 2023. – p. 436-438.
6. Skakov M.K., Baklanov V.V., Toleubekov K.O., Akaev A.S., Bekmuldin M.K., Kukushkin I.M. Experiments on the research of the corium interaction with metal-coolers on the «VCG-135» test bench. Abstracts of International Conference “Fundamental and Applied Problems of Modern Physics”. – Tashkent, October 19-21, 2023. – p.37.
7. Toleubekov K.O., Bekmuldin M.K., Akaev A.S. and et.al. Method of high-temperature tests of materials in the conditions of modeling a severe nuclear reactor accident. Proceedings of the 9th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects. – Tomsk., September 16-21, 2024. – p.562.

*Патент*

1. Скаков М.К., Бакланов В.В., Акаев А.С., Бекмулдин М.К., Микиша А.В., Толеубеков К.О. Устройство приема расплава прототипа кориума ядерного реактора. Патент на полезную модель № 7799. Заявка рег. номер 2022/0905.2 опубл. 18.10.2022