

УДК 621.039.51

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ОПЫТНЫХ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ СБОРОК В АКТИВНОЙ ЗОНЕ РЕАКТОРА ВВР-К

Аринкин Федор Михайлович,

канд. техн. наук, заведующий лабораторией проблем безопасности атомной энергии
Республиканского Государственного Предприятия «Институт ядерной физики»,
Комитет по атомной энергии Министерства промышленности и новых технологий,
Республика Казахстан, 050032, г. Алматы, ул. Ибрагимова, 1. E-mail: arinkin@inp.kz

Чакров Петр Васильевич,

и.о. генерального директора Республиканского Государственного Предприятия
«Институт ядерной физики», Комитет по атомной энергии Министерства промышленности и новых технологий,
Республика Казахстан, 050032, г. Алматы, ул. Ибрагимова, 1. E-mail: chakrov@yandex.kz

Чекушина Людмила Васильевна,

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. лаборатории проблем безопасности атомной энергии
Республиканского Государственного Предприятия «Институт ядерной физики»,
Комитет по атомной энергии Министерства промышленности и новых технологий,
Республика Казахстан, 050032, г. Алматы, ул. Ибрагимова, 1. E-mail: chekushinal@gmail.com

Гизатулин Шамиль Хайрулович,

начальник критического стенда, ст. науч. сотр. лаборатории проблем безопасности атомной энергии
Республиканского Государственного Предприятия «Институт ядерной физики»,
Комитет по атомной энергии Министерства промышленности и новых технологий,
Республика Казахстан, 050032, г. Алматы, ул. Ибрагимова, 1. E-mail: gizatulin@inp.kz

Колточник Светлана Нухимовна,

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. лаборатории проблем безопасности атомной энергии
Республиканского Государственного Предприятия «Институт ядерной физики»,
Комитет по атомной энергии Министерства промышленности и новых технологий,
Республика Казахстан, 050032, г. Алматы, ул. Ибрагимова, 1. E-mail: svetlana.koltochnik@gmail.com

Накипов Дархан Абдуламитович,

гл. инженер комплекса исследовательского реактора ВВР-К Республиканского
Государственного Предприятия «Институт ядерной физики», Комитет по атомной энергии
Министерства промышленности и новых технологий,
Республика Казахстан, 050032, г. Алматы, ул. Ибрагимова, 1. E-mail: nakipov@inp.kz

Шаймерденов Асет Абдуллаевич,

науч. сотр. лаборатории проблем безопасности атомной энергии Республиканского
Государственного Предприятия «Институт ядерной физики», Комитет по атомной энергии
Министерства промышленности и новых технологий,
Республика Казахстан, 050032, г. Алматы, ул. Ибрагимова, 1. E-mail: aashaimerdenov@gmail.com

Шаманин Игорь Владимирович,

д-р физ.-мат. наук, профессор, академик АИН, руководитель Отделения ядерных технологий,
заведующий кафедрой технической физики Физико-технического института
Национального исследовательского Томского политехнического университета,
Россия, 634050, Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: shiva@tpu.ru

Актуальность работы обусловлена необходимостью решения вопроса о возможности конверсии активных зон исследовательских ядерных реакторов на низкообогащенное урановое топливо.

Цель работы: проведение ресурсных испытаний экспериментальных тепловыделяющих сборок с низкообогащенным ядерным топливом, экспериментальное и расчетное исследование нейтронно-физических и энергетических параметров исследовательского ядерного реактора ВВР-К при загрузке его активной зоны экспериментальными тепловыделяющими сборками.

Методы исследования: внутриреакторные измерения, численное моделирование нейтронно-физических процессов в реакторных установках, численные эксперименты в сопровождение внутриреакторных испытаний, сравнительный анализ контролируемых технологических параметров и результатов численных экспериментов.

Результаты: проведены ресурсные испытания экспериментальных тепловыделяющих сборок, определены изменения технологических параметров исследовательского ядерного реактора ВВР-К, вызванные конверсией активной зоны на низкообогащенное урановое топливо, подтверждена пригодность тепловыделяющих сборок новой конструкции для эксплуатации в реакторе ВВР-К. В процессе испытаний проведена оптимизация перегрузок топлива в активной зоне и достройка бокового бериллиевого отражателя. Это позволило получить почти линейную зависимость выгорания в опытных тепловыделяющих сборках от времени и значительно сократить продолжительность испытаний. Испытания сопровождались контролем уровня плотности потока нейтронов в облучательном устройстве, мощности опытных тепловыделяющих сборках, мощности реактора и уровня радиоактивности теплоносителя. Проведены расчеты выгорания урана-235 в экспериментальных и штатных тепловыделяющих сборках активной зоны с использованием трехмерного расчетного кода MCU-REA. Продолжительность испытаний экспериментальных сборок составила от 357 до 480 суток. За это время выгорание урана-235 достигло от 49,7 до 60,3 %.

Ключевые слова:

Ядерный реактор, опытная ТВС, испытания, выгорание, ресурс.

Введение

В настоящее время жизненно важными являются вопросы, связанные с обеспечением режима нераспространения делящихся материалов высокого обогащения. В частности, большое значение имеют работы по обеспечению режима нераспространения, связанные с переводом существующих в Казахстане исследовательских реакторов, включая критический стенд, на топливо сниженного обогащения.

В Казахстанском Институте ядерной физики (КИЯФ) исследовательский реактор ВВР-К и критический стенд переводятся на топливо с обогащением 19,7 % по изотопу U-235 [1–4]. Исследования, проводимые в КИЯФ в 2004–2008 гг. [5–9], позволили сделать выбор в пользу тепловыделяющих сборок (ТВС), содержащих восемь тонкостенных (толщина 1,6 мм) трубчатых твэлов (семь гексагонального сечения и один, центральный, цилиндрический твэл), которая стала называться ТВС типа ВВР-КН. В марте 2011 г. на реакторе ВВР-К были начаты испытания трех экспериментальных ТВС типа ВВР-КН [10, 11].

Испытания опытных ТВС были разбиты на три этапа, связанные с достижением заданных уровней среднего выгорания в опытных ТВС (20, 40 и 60 %). В ходе испытаний контролировались: мощность опытных ТВС, уровень радиоактивности теплоносителя и плотность потока нейтронов в облучательном устройстве с экспериментальными ТВС. Испытания сопровождаются расчетами по определению выгорания урана в экспериментальных ТВС и в ТВС активной зоны и оптимизации перегрузок топлива между кампаниями для обеспечения заданных параметров испытаний.

Результаты расчетов нейтронно-физических характеристик активной зоны реактора с боковым отражателем из бериллия [12, 13] с выбранной топливной композицией сниженного обогащения и конструкцией ТВС показали, что характеристики реактора, несмотря на снижение обогащения, удастся улучшить [14].

Ресурсные испытания экспериментальных тепловыделяющих сборок в активной зоне реактора ВВР-К

В соответствии с действующими нормативными документами в Республике Казахстан перед постановкой ТВС на производство обязательно проведение реакторных испытаний опытной партии ТВС на подтверждение их проектных характеристик. Специалистами ИЯФ с участием специалистов Аргоннской Национальной Лаборатории (США) и НИКИЭТ (РФ) разработана обоснованная программа испытаний экспериментальных ТВС (ЭТВС) и сделано обоснование безопасности испытаний в реакторе ВВР-К, включающее в себя анализ стационарного состояния активной зоны, теплогидравлический расчет и анализ возможных переходных процессов [15–17]. По согласованию с разработчиком ЭТВС (НИКИЭТ), принято решение о проведении испытаний ЭТВС в составе активной зоны с высокообогащенным топливом. Получено разрешение Регуляторного органа на проведение испытаний.

В феврале 2011 г. Новосибирским заводом химконцентратов (НЗХК) были изготовлены три ЭТВС, а в марте 2011 г. начались их ресурсные испытания в активной зоне реактора ВВР-К. Испытания предполагалось провести в три этапа: до достижения среднего выгорания в ЭТВС 20, 40 и 60 %, с визуальным осмотром одной из ЭТВС по окончании каждого из этапов [18, 19].

По результатам нейтронно-физического расчета для активной зоны реактора ВВР-К с топливом сниженного обогащения, мощность наиболее энергонапряженной ТВС составляет ~360 кВт [20]. Для обеспечения при испытаниях такого же уровня мощности в ЭТВС пришлось уменьшить существующую активную зону, чтобы повысить удельную энергонапряженность в ней. Для этого во внешнем ряду ячеек активной зоны ТВС были заменены на 22 бериллиевых блока, которые образовали боковой отражатель. Кроме того, в центре активной зоны были извлечены семь ТВС, а вместо них

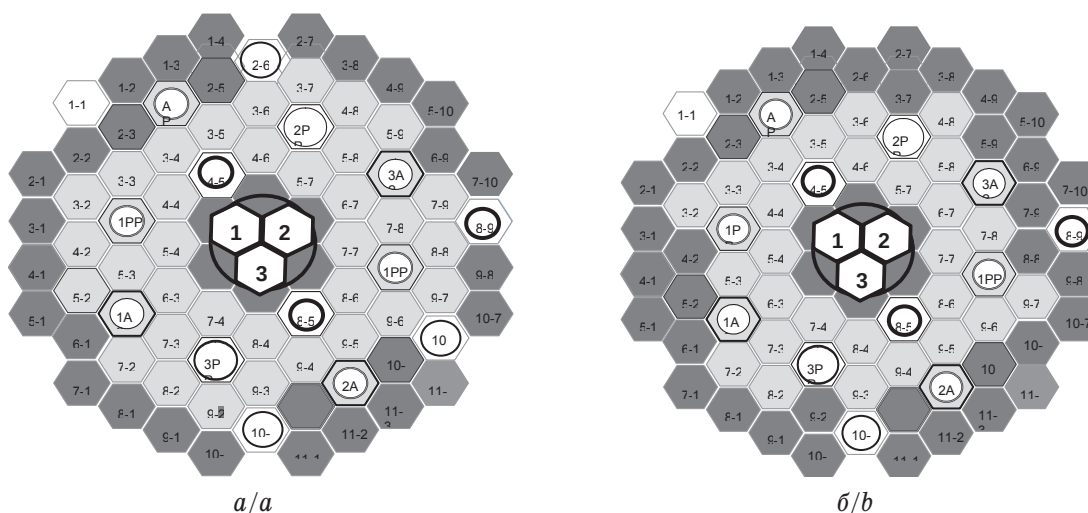


Рис. 1. Картограммы загрузки активной зоны реактора ВВР-К для испытаний экспериментальных тепловыделяющих сборок: а) начало; б) конец

Fig. 1. WVR-K core loading map to test the assemblies: a) start; b) end

установлено облучательное устройство из бериллия. Устройство обеспечило размещение трех ЭТВС с шагом 68,3 мм и гарантированным зазором 2,0 мм между ЭТВС – для протока теплоносителя.

Картограммы загрузки активной зоны на начало (38 штатных ТВС типа ВВР-Ц, 3 ЭТВС в облучательном устройстве и 28 блоков бериллиевого отражателя) и на конец испытаний (33 штатных ТВС типа ВВР-Ц, 3 ЭТВС и 38 блоков бериллиево-

го отражателя) представлены на рис. 1, а, б, соответственно.

Бериллиевое облучательное устройство было оснащено дополнительными системами диагностики условий облучения ЭТВС. Два детектора прямого заряда (ДПЗ) с эмиттером из родия использовались для контроля стабильности плотности потока нейтронов. Три термопары (хромель–алюмель) измерялась температура теплоно-

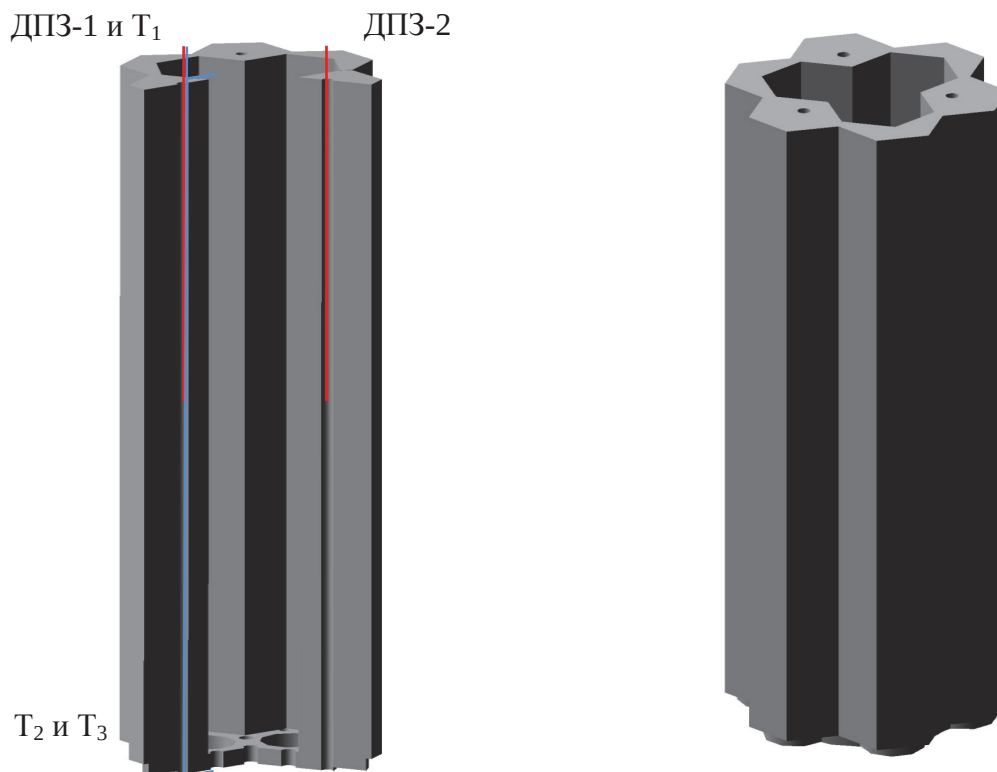


Рис. 2. Схема бериллиевого облучательного устройства

Fig. 2. Diagram of irradiation device

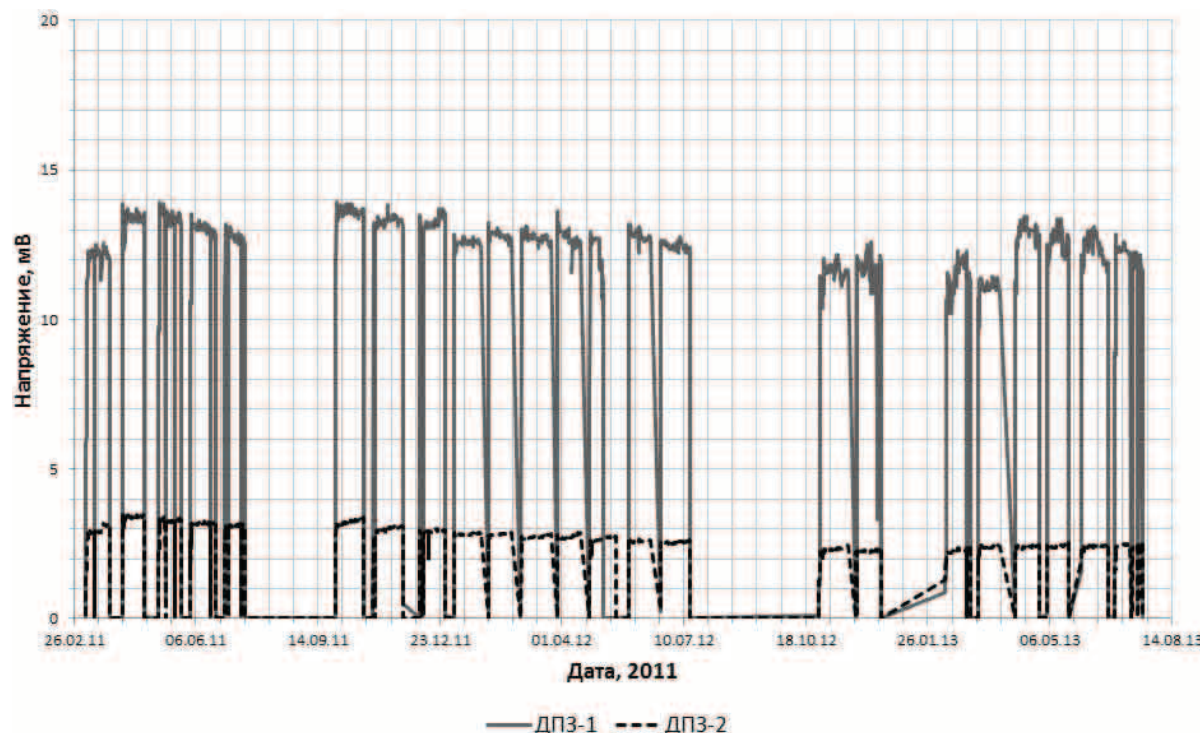


Рис. 3. Показания ДПЗ в ходе испытаний

Fig. 3. Straight grain detector readings in test

сителя (T_1) на входе и (T_2 , T_3) на выходе из облучательного устройства.

Расположение ЭТВС, температурных датчиков и ДПЗ в облучательном устройстве показано на рис. 2. В канале 1 облучательного устройства располагались три термопары и ДПЗ-1, в канале 2 располагался ДПЗ-2.

Экспериментальное сопровождение испытаний ЭТВС осуществлялось с помощью информационно-измерительной системы (ИИС), обеспечивающей операторов и экспериментаторов текущей информацией о значениях основных параметров испытаний: температуры на входе и выходе облучательного устройства и показания ДПЗ, которые записывались непрерывно.

Научное сопровождение реакторных испытаний включало в себя:

- контроль уровня плотности потока нейтронов в облучательном устройстве, мощности опытных ТВС, мощности реактора, уровня радиоактивности теплоносителя;
- расчеты выгорания урана-235 в ЭТВС и в ТВС активной зоны;
- определение оптимальных перегрузок топлива между кампаниями для обеспечения заданных параметров испытаний.

Стабильность нейтронного поля в облучательном устройстве иллюстрирует рис. 3, где приводятся показания ДПЗ, установленных в облучательном устройстве.

Резкий спад в показаниях ДПЗ в пределах цикла обусловлен срабатыванием аварийной защи-

ты, которое происходило, как правило, при аварийном отключении внешнего электроснабжения. Разница в показаниях ДПЗ 1 и ДПЗ 2 обусловлена тем, что они имели разные нагрузочные сопротивления.

С учетом показаний термопар и значений расхода теплоносителя через ЭТВС максимальная мощность трёх ЭТВС на начало первого цикла работы составила 1054 кВт, что соответствует проектным параметрам (погрешность определения мощности 10 %). Расчетное значение этой величины составляет 1047 кВт. Мощность наиболее энергонапряженной опытной ТВС составила ≈ 360 кВт, что согласуется с проектным значением мощности наиболее напряженной ТВС в зоне с топливом сниженного обогащения для энергетического пуска реактора.

На рис. 4 приведена динамика изменения суммарной мощности трех ЭТВС (пунктир – расчетные данные). Рисунок демонстрирует хорошее согласие расчетов с экспериментом.

На рис. 5 представлено изменение запаса реактивности активной зоны от времени работы реактора.

Для контроля целостности оболочек ЭТВС в течение испытаний ежедневно отбирались пробы воды из первого контура охлаждения реактора, пробы анализировались на наличие цезия-137 и других продуктов деления. Содержание цезия-137 в теплоносителе в ходе испытаний не превышало значения 500 Бк/л, что является фоновым значением для реактора ВВР-К (нормативные требования к теплоно-

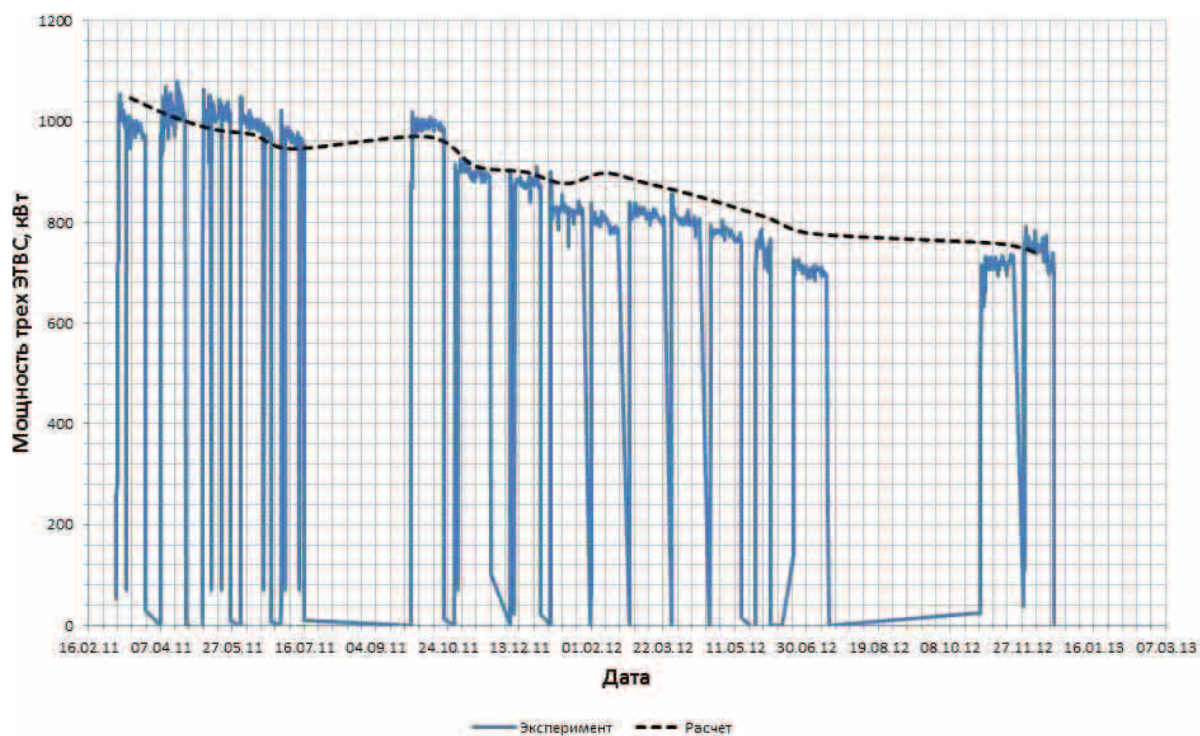


Рис. 4. Динамика изменения суммарной мощности трех опытных тепловыделяющих сборок. Кампании 1–17

Fig. 4. Dynamics in change of total capacity of three trial assemblies. Campaigns 1–17

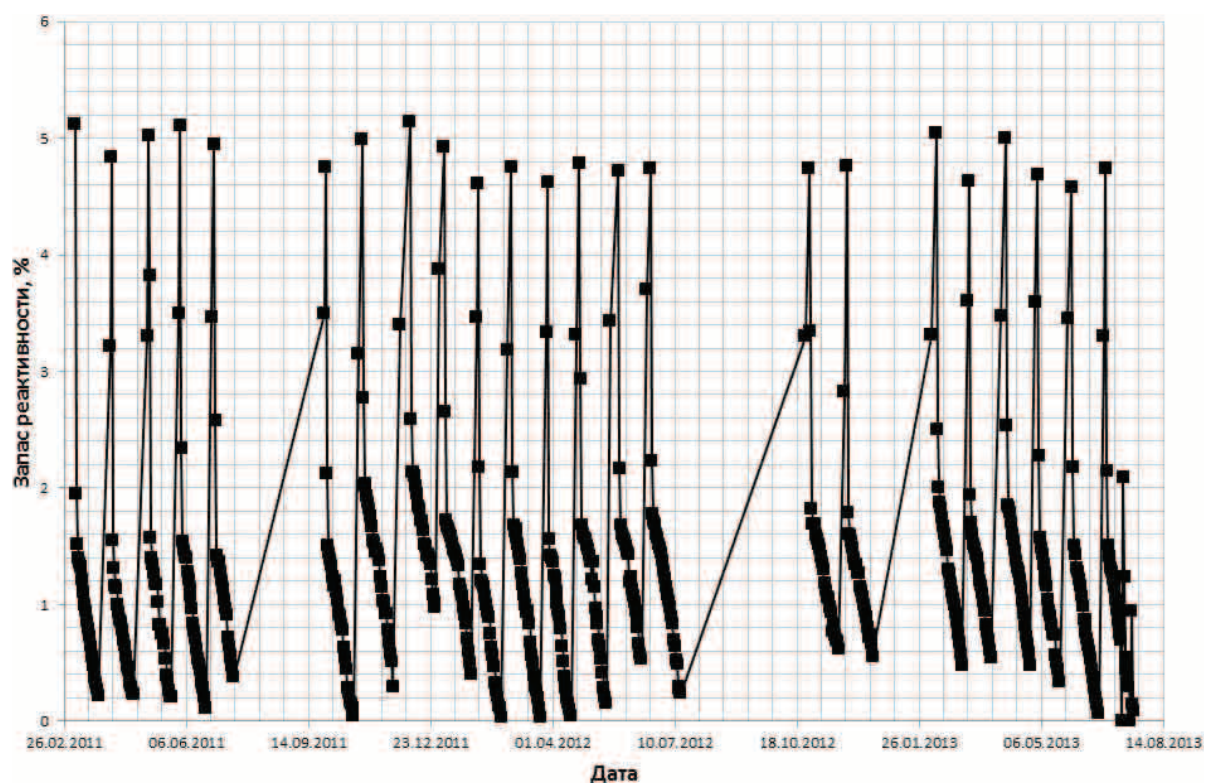


Рис. 5. Изменение запаса реактивности активной зоны в ходе 23-х кампаний испытаний

Fig. 5. Change in core region reactivity margin in the course of 23 test campaigns

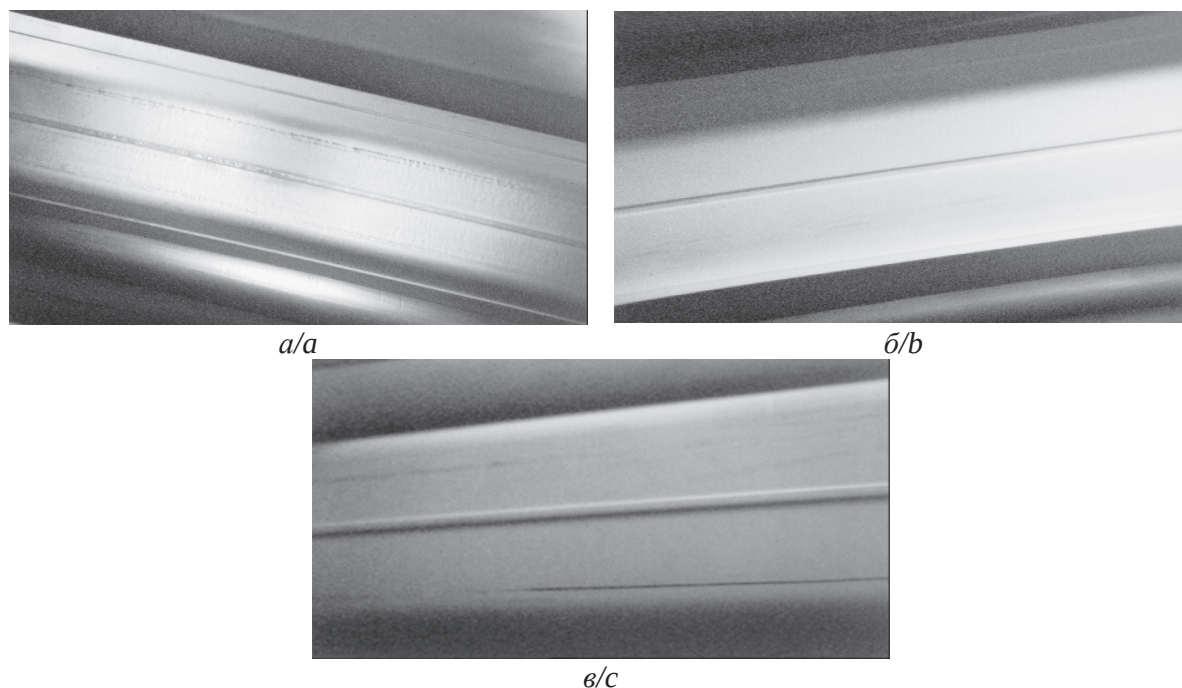


Рис. 6. Центральная часть по высоте экспериментальной тепловыделяющей сборки 3. Достигнуто выгорание: а) 20; б) 40; в) 60 %

Fig. 6. Central part along the height of the trial assembly 3. The achieved burn-up: а) 20; б) 40; в) 60 %

сителю – полная активность по продуктам деления должна быть не более чем $2,5 \cdot 10^7$ Бк/л).

Каждая кампания испытаний опытных ТВС сопровождалась расчетным моделированием с использованием трехмерного расчетного кода MCUREA [21], с расчетом оптимальных перегрузок в активной зоне, определением запаса реактивности в начале кампании, изменения запаса реактивности в течение кампании, вычислением значений выгорания топлива во всех ТВС активной зоны, в том числе и ЭТВС.

В конце 2012 г. во время проведения 17-й кампании испытаний ЭТВС появился рост активности газа над зеркалом активной зоны и рост активности теплоносителя по реперному изотопу цезий-137. Такой рост активности является признаком разгерметизации одной из ТВС активной зоны. По окончании 17-й кампании испытания были остановлены. В январе 2013 г. все опытные ТВС были извлечены из активной зоны. Иммерсионным методом были проведены измерения активности теплоносителя при проходе через ЭТВС. Результаты измерений указали на разгерметизацию ЭТВС1. Было принято решение о продолжении испытаний с заменой дефектной ТВС на аналогичную новую. Разгерметизировавшаяся ТВС была перемещена в мокрое хранилище для последующего исследования причин разгерметизации. Испытания были продолжены. Выгорание в ЭТВС1 на момент прекращения испытаний составило 49,7 %.

Общая продолжительность испытаний составила 480 суток, при этом в ЭТВС2 и ЭТВС3 достигнуто выгорание 59,7 и 60,3 %, соответственно.

После окончания каждого этапа испытаний проводился визуальный осмотр всех наружных граней ЭТВС. Результаты визуального осмотра приведены на рис. 6.

Анализ результатов испытаний

Испытания низкообогащенных ЭТВС типа ВВР-КН в реакторе ВВР-К завершены. Продолжительность испытаний ЭТВС1 составила 357 суток, а ЭТВС2 и ЭТВС3 – 480 суток. За это время выгорание урана-235 достигло 49,7 % в ЭТВС1, 59,7 % в ЭТВС2, и 60,3 % в ЭТВС3. Динамика выгорания урана-235 в процессе испытаний представлена на рис. 7.

Как видно из рисунка, благодаря оптимизации перегрузок топлива в активной зоне и достройке бокового бериллиевого отражателя в процессе испытаний, получена почти линейная зависимость выгорания в опытных ТВС от времени. Это позволило значительно сократить продолжительность испытаний.

На рис. 8 показаны результаты расчетов изменения мощности каждой опытной ТВС для всех 23 кампаний. Энерговыработка составила 106 МВт·сут. для ЭТВС1, 133 МВт·сут. для ЭТВС2 и 135 МВт·сут. для ЭТВС3. Пики на кривой соответствуют времени уменьшения размеров активной зоны и достройки бериллиевого отражателя.

Измерявшиеся значения активности воды первого контура в целом не превышали пределов нормальной эксплуатации реактора, за исключением наблюдавшегося всплеска во время 17-й кампании, который связан с разгерметизацией ЭТВС1.

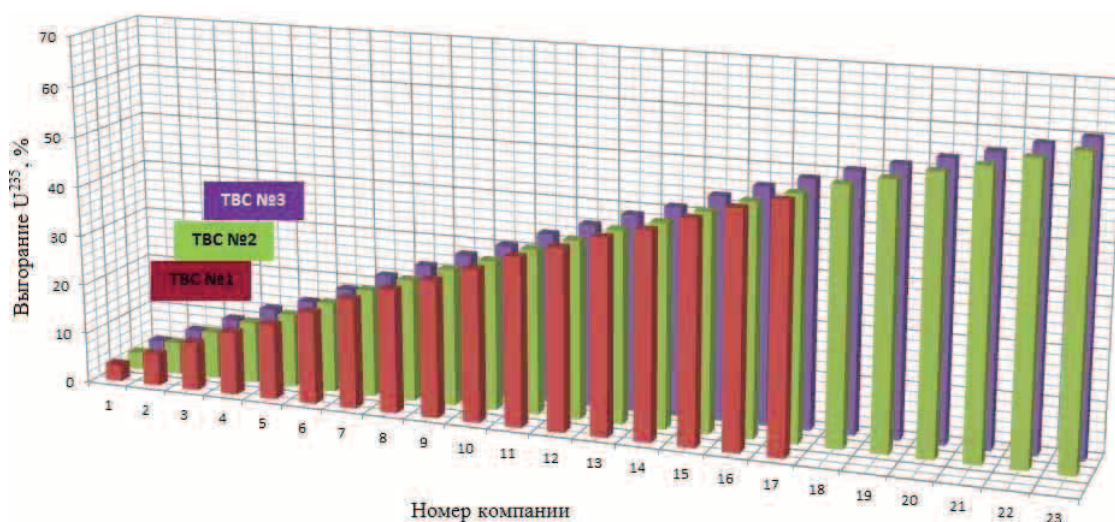


Рис. 7. Динамика выгорания урана-235 в опытных тепловыделяющих сборках

Fig. 7. Dynamics of uranium-235 burn-up in trial assemblies

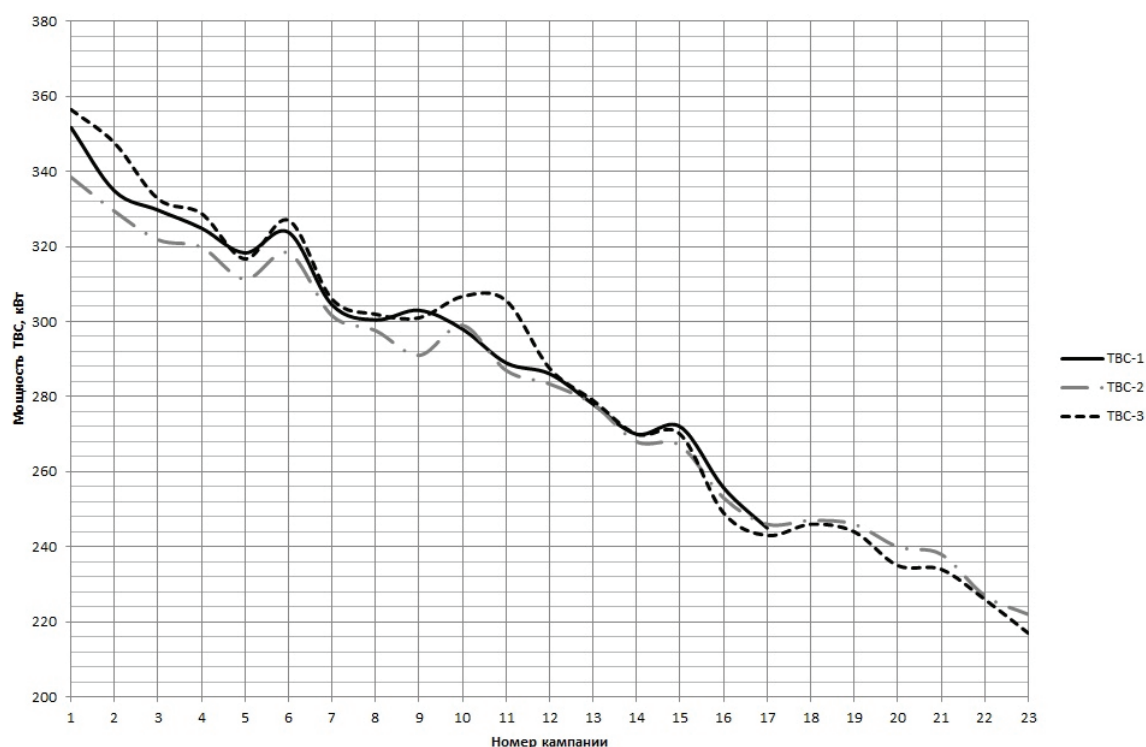


Рис. 8. Динамика изменения мощности каждой из опытных тепловыделяющих сборок

Fig. 8. Dynamics in changing power of each trial assemblies

Закключение

- На реакторе ВВР-К завершены испытания ЭТВС с низкообогащенным топливом типа ВВР-КН.
- Параметры проведенных испытаний идентичны условиям работы наиболее энергонапряженной ТВС в конвертированной активной зоне реактора ВВР-К.
- Три ЭТВС успешно отработали в реакторе ВВР-К до выгорания 40 %, чем подтвердили гарантии завода изготовителя.

- В одной из ЭТВС при достижении выгорания ~50 % проявились признаки разгерметизации. Испытания этой ТВС были прекращены. В двух других ЭТВС было достигнуто выгорание около 60 % без признаков разгерметизации.
- Проведен послереакторный осмотр ЭТВС с выгоранием около 60 %. Исследования не выявили нарушения целостности оболочек твэлов.
- ТВС типа ВВР-КН пригодны для конверсии реактора ВВР-К.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Plan of WWR-K conversion to LEU Fuel / F.M. Arinkin, Sh.Kh. Gizatulin, S.N. Koltochnik, A.Zh. Tuleushev, P.V. Chakrov, L.V. Chekushina, P. Garner, N. Hanan, J. Roglans-Ribas // Proceedings of the International conference RERTR-2009. – Beijing, China, 2009. – P. 30–32.
2. Safety analysis for the Institute of the Nuclear Physics critical assembly with LEU fuel / F.M. Arinkin, P.V. Chakrov, L.V. Chekushina, Sh.Kh. Gizatulin, S.N. Koltochnik, D.A. Nakipov, N. Hanan, P. Garner, J. Roglans-Ribas // Proceedings of the International conference RERTR-2012. – Warsaw, Poland, 2012. – P. 54–55.
3. О снижении обогащения топлива реактора ВВР-К / Ф.М. Аринкин, А.О. Бейсебаев, Ш.Х. Гизатулин, С.Н. Колточник, Н.К. Романова, П.В. Чакров, Л.В. Чекушина // Учет и контроль ядерных материалов: Труды ежегодной конф. – Актау, 2007. – С. 28–32.
4. План конверсии активной зоны реактора ВВР-К с использованием низкообогащенного топлива / Ф.М. Аринкин, Ш.Х. Гизатулин, С.Н. Колточник, А.Ж. Тулеушев, П.В. Чакров, Л.В. Чекушина, П. Гарнер, Н. Ханан, Дж. Роглас-Рибас // Ядерная и радиационная физика: Труды Междунар. конф. – Алматы, 2009. – С. 189–190.
5. Feasibility Study of the WWR-K Reactor conversion to Low-Enriched Fuel / F.M. Arinkin, Sh.Kh. Gizatulin, Zh.R. Zhotabaev, K.K. Kadyrzhanov, S.N. Koltochnik, P.V. Chakrov, L.V. Chekushina, T.M. Zhanitkin, S. Talanov // Proceedings of the International conference RERTR-2004. – Vienna, Austria, 2004. – P. 5–6.
6. Feasibility Analysis for Conversion of the WWR-K Reactor Using an Eight-Tube Uranium Dioxide Fuel Assembly / F.M. Arinkin, P.V. Chakrov, L.V. Chekushina, I. Dobrikova, Sh.Kh. Gizatulin, K.K. Kadyrzhanov, S.N. Koltochnik, V. Nasonov, A. Taliev, A. Vatulin, Zh.R. Zhotabaev, N. Hanan // Proceedings of the International conference RERTR-2005. – Boston, USA, 2005. – P. 117–121.
7. Comparative Study of the WWR-K Reactor Using Low-Enriched U-Mo Fuel Pin- and Tube-Type / F.M. Arinkin, P.V. Chakrov, L.V. Chekushina, I. Dobrikova, Sh.Kh. Gizatulin, K.K. Kadyrzhanov, S.N. Koltochnik, V. Nasonov, A. Taliev, A. Vatulin, Zh.R. Zhotabaev // Proceedings of the International conference RERTR-2005. – Boston, USA, 2005. – P. 122–124.
8. Characteristics of the WWR-R reactor core with low-enriched uranium dioxide fuel. Proceedings of the International conference RERTR-2006 / F.M. Arinkin, P.V. Chakrov, L.V. Chekushina, Sh.Kh. Gizatulin, K.K. Kadyrzhanov, E. Kartashev, S.N. Koltochnik, L. Lukichev, V. Nasonov, N.K. Romanova, A. Taliev, Zhotabaev Zh.R. – Cape Town, South Africa, 2006. – P. 47–49.
9. Feasibility study of WWR-K reactor conversion to low-enriched fuel / F.M. Arinkin, Sh.Kh. Gizatulin, Zh.R. Zhotabaev, K.K. Kadyrzhanov, S.N. Koltochnik, V. Nasonov, P.V. Chakrov, L.V. Chekushina // Proceedings of the International conference RRFM-2006. – Sofia, Bulgaria, 2006. – P. 56–59.
10. Start of low-enriched fuel lead test assemblies in the WWR-K reactor core / F.M. Arinkin, P.V. Chakrov, L.V. Chekushina, Sh.Kh. Gizatulin, S.N. Koltochnik, D.A. Nakipov, A.A. Shaimerdenov, Zh.R. Zhotabaev, N. Hanan, P. Garner, J. Roglans-Ribas // Proceedings of the International conference RERTR-2011]. – Santiago, Chile, 2011. – P. 82–83.
11. Результаты начала испытаний экспериментальных тепловыделяющих сборок с низкообогащенным топливом в активной зоне реактора ВВР-К / Ф.М. Аринкин, А.О. Бейсебаев, Ш.Х. Гизатулин, К.С. Киселев, С.Н. Колточник, Д.А. Накипов, П.В. Чакров, Л.В. Чекушина, А.А. Шаймерденов // Вестник НЯЦ РК. – 2011. – № 4. – С. 127–131.
12. О возможности использования бериллиевого отражателя в существующей активной зоне реактора ВВР-К / Ф.М. Аринкин, А.О. Бейсебаев, Ш.Х. Гизатулин, С.Н. Колточник, П.В. Чакров, Л.В. Чекушина // Вестник НЯЦ РК. – 2008. – № 4. – С. 106–112.
13. Характеристики активной зоны ВВР-К с боковым бериллиевым отражателем ограниченных размеров / Ф.М. Аринкин, А.О. Бейсебаев, Ш.Х. Гизатулин, С.Н. Колточник, П.В. Чакров, Л.В. Чекушина // Ядерная и радиационная физика: Труды Междунар. конф. – Алматы, 2009. – С. 70–71.
14. Нейтронно-физические характеристики активной зоны реактора ВВР-К с низкообогащенным топливом / Ф.М. Аринкин, П.А. Блынский, Д.С. Дюсамбаев, Н.К. Романова, Л.В. Чекушина, А.А. Шаймерденов // Вестник НЯЦ РК. – 2012. – № 3. – С. 7–12.
15. Program of trial of lead test assemblies in the WWR-K reactor / F.M. Arinkin, P.V. Chakrov, L.V. Chekushina, Sh.Kh. Gizatulin, K.K. Kadyrzhanov, S.N. Koltochnik, V.A. Nasonov, N.K. Romanova, A. Taliev, Zh.R. Zhotabaev, N. Hanan // Proceedings of the International Conference RRFM-2007. – Lyon, France, 2007. – P. 90–92.
16. Safety analysis for LTA irradiation test at the WWR-K research reactor / F.M. Arinkin, L.V. Chekushina, P.V. Chakrov, Sh.Kh. Gizatulin, S.N. Koltochnik, A.A. Shaimerdenov // Proceedings of the International Conference RERTR-2010. – Lisbon, Portugal, 2010. – P. 120–124.
17. Теплогидравлический анализ стационарного состояния активной зоны ИР ВВР-К при испытаниях опытных ТВС / А.А. Шаймерденов, Ф.М. Аринкин, С.Н. Колточник, Л.В. Чекушина // Вестник НЯЦ РК. – 2010. – № 4. – С. 54–59.
18. Первый этап испытаний экспериментальных тепловыделяющих сборок с низкообогащенным топливом в активной зоне реактора ВВР-К – результаты и выводы / Ф.М. Аринкин, Ш.Х. Гизатулин, С.Н. Колточник, Д.А. Накипов, П.В. Чакров, Л.В. Чекушина, А.А. Шаймерденов // Вопросы атомной науки и техники. Серия Физика ядерных реакторов. – 2012. – № 3. – С. 74–80.
19. Второй этап испытаний экспериментальных тепловыделяющих сборок с низкообогащенным топливом в активной зоне реактора ВВР-К – результаты и выводы / Ф.М. Аринкин, Ш.Х. Гизатулин, С.Н. Колточник, Д.А. Накипов, П.В. Чакров, Л.В. Чекушина, А.А. Шаймерденов // Ядерная и радиационная физика: Труды Междунар. конф. – Алматы, 2013. – С. 39–40.
20. Characteristics of the WWR-K test core and the LEU LTAs to be placed in the central experimental beryllium device / F.M. Arinkin, Sh.Kh. Gizatulin, S.N. Koltochnik, P.V. Chakrov, L.V. Chekushina, P. Garner, N. Hanan // Proceedings of International conference on RERTR-2009. – Beijing, China, 2009. – P. 69–73.
21. Гуревич М.И. Программа MCU-REA с библиотекой ядерных констант DLC/MCUDAT-2.1 // Вопросы Атомной Науки и Техники. Серия «Физика ядерных реакторов». – 2001. – № 3. – С. 55–62.

Поступила 17.03.2014 г.

UDC 621.039.51

RESULTS OF THE TRIAL OF LEAD TEST ASSEMBLIES IN WWR-K REACTOR

Fedor M. Arinkin,

Cand. Sc., Republican State Enterprise «Institute of nuclear physics», Atomic energy committee, Ministry of Industry and New Technologies, 1, Ibragimov street, Almaty, 050032, Republic of Kazakhstan. E-mail: arinkin@inp.kz

Petr V. Chakrov,

Republican State Enterprise «Institute of nuclear physics», Atomic energy committee, Ministry of Industry and New Technologies, 1, Ibragimov street, Almaty, 050032, Republic of Kazakhstan. E-mail: chakrov@yandex.kz

Lyudmila V. Chekushina,

Cand. Sc., Republican State Enterprise «Institute of nuclear physics», Atomic energy committee, Ministry of Industry and New Technologies, 1, Ibragimov street, Almaty, 050032, Republic of Kazakhstan. E-mail: chekushinal@gmail.com

Shamil K. Gizatulin,

Republican State Enterprise «Institute of nuclear physics», Atomic energy committee, Ministry of Industry and New Technologies, 1, Ibragimov street, Almaty, 050032, Republic of Kazakhstan. E-mail: gizatulin@inp.kz

Svetlana N. Koltochnik,

Cand. Sc., Republican State Enterprise «Institute of nuclear physics», Atomic energy committee, Ministry of Industry and New Technologies, 1, Ibragimov street, Almaty, 050032, Republic of Kazakhstan. E-mail: svetlana.koltochnik@gmail.com

Darkhan A. Nakipov,

Republican State Enterprise «Institute of nuclear physics», Atomic energy committee, Ministry of Industry and New Technologies, 1, Ibragimov street, Almaty, 050032, Republic of Kazakhstan. E-mail: nakipov@inp.kz

Asset A. Shaimerdenov,

Republican State Enterprise «Institute of nuclear physics», Atomic energy committee, Ministry of Industry and New Technologies, 1, Ibragimov street, Almaty, 050032, Republic of Kazakhstan. E-mail: aashaimerdenov@gmail.com

Igor V. Shamanin,

Dr. Sc., National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue Tomsk, 635050, Russia. E-mail: shiva@tpu.ru

The urgency of the discussed research is caused by the need to solve the issue of the possibility of converting cores of the research reactors to low-enriched uranium fuel.

The main aim of the study is to carry out life tests of lead test assemblies with low-enriched fuel, experimental and calculation study of neutron-physical and energy parameters of a nuclear research reactor WWR-K when its core is loaded by the lead test assemblies.

The methods used in the study: in-pile measurements, numerical simulation of neutron-physical processes in the reactor facilities, numerical experiments in support of in-pile tests, controlled comparative analysis of process parameters and the results of numerical experiments.

The results. The authors have carried out life tests with lead test assemblies, defined the changes in technological parameters of a nuclear research reactor WWR-K due to the core conversion to low-enriched uranium fuel, confirmed the suitability of the new design of fuel assemblies for application in the WWR-K. During the testing period the optimization of fuel replacement in the core and completion of a lateral beryllium reflector is performed. It allowed receiving almost linear dependence of burning out in lead test assemblies from time and reducing considerably test duration. The tests were accompanied by control of neutrons flux level in irradiating device, of the lead test assemblies' power, of the reactor power and of coolant radioactivity level. The authors calculated uranium-235 burning out in experimental and regular assemblies of the core using three-dimensional MCU-REA code. The tests of the experimental assemblies went on from 357 to 480 days. During this time uranium-235 burning out reached from 49,7 to 60,3 %.

Key words:

Nuclear reactor, lead test assemblies, test, burn-up, life-time.

REFERENCES

- Arinkin F.M., Gizatulin Sh.Kh., Koltochnik S.N., Tuleushev A.Zh., Chakrov P.V., Chekushina L.V., Garner P., Hanan N., Roglans-Ribas J. Plan of WWR-K conversion to LEU Fuel. *Proceedings of the International conference RERTR-2009*. Beijing, China, 2009. pp. 30–37.
- Arinkin F.M., Chakrov P.V., Chekushina L.V., Gizatulin Sh.Kh., Koltochnik S.N., Nakipov D.A., Hanan N., Garner P., Roglans-Ribas J. *Safety analysis for the Institute of the Nuclear Physics critical assembly with LEU fuel*. Proceedings of the International conference RERTR-2012. Warsaw, Poland, 2012. pp. 54–55.
- Arinkin F.M., Beisebaev A.O., Gizatulin Sh.Kh., Koltochnik S.N., Romanova N.K., Chakrov P.V., Chekushina L.V. O snizhenii obogashcheniya topliva reaktora WWR-K [On reduced fuel enrichment of WWR-K reactor]. *Trudy Ezhegodnoy Konferentsii «Uchet i kontrol yadernykh materialov»* [Proceedings of the Annual Conference «Nuclear material management»]. Aktau, 2007. pp. 28–32.
- Arinkin F.M., Gizatulin Sh.Kh., Koltochnik S.N., Tuleushev A.Zh., Chakrov P.V., Chekushina L.V., Garner P., Hanan N., Roglans-Ribas J. Plan konversii aktivnoy zony reaktora WWR-K s ispolzovaniem nizkoobogashchennogo topliva [Plan of WWR-K reactor conversion with use LEU]. *Trudy Mezhdunarodnoy Konferentsii «Yadernaya i radiatsionnaya fizika»* [Proceedings of the International Conference «Nuclear and radiation physics»]. Almaty, 2009. pp. 189–190.
- Arinkin F.M., Gizatulin Sh.Kh., Zhotabaev Zh.R., Kadyrzhanov K.K., Koltochnik S.N., Chakrov P.V., Chekushina L.V., Zhan-tikin T.M., Talanov S. Feasibility Study of the WWR-K Reactor conversion to Low-Enriched Fuel. *Proceedings of the International conference RERTR-2004*. Vienna, Austria, 2004. pp. 5–6.
- Arinkin F.M., Chakrov P.V., Chekushina L.V., Dobrikova I., Gizatulin Sh.Kh., Kadyrzhanov K.K., Koltochnik S.N., Nasonov V., Taliev A., Vatulin A., Zhotabaev Zh.R., Hanan N. Feasibility Analysis for Conversion of the WWR-K Reactor Using an Eight-Tube Uranium Dioxide Fuel Assembly. *Proceedings of the International conference RERTR-2005*. Boston, USA, 2005. pp. 117–121.
- Arinkin F.M., Chakrov P.V., Chekushina L.V., Dobrikova I., Gizatulin Sh.Kh., Kadyrzhanov K.K., Koltochnik S.N., Nasonov V., Taliev A., Vatulin A., Zhotabaev Zh.R. Comparative Study of the WWR-K Reactor Using Low-Enriched U-Mo Fuel Pin- and Tube-Type. *Proceedings of the International conference RERTR-2005*. Boston, USA, 2005. pp. 122–124.
- Arinkin F.M., Chakrov P.V., Chekushina L.V., Gizatulin Sh.Kh., Kadyrzhanov K.K., Kartashev E., Koltochnik S.N., Lukichev L., Nasonov V., Romanova N.K., Taliev A., Zhotabaev Zh.R. Characteristics of the WWR-R reactor core with low-enriched uranium dioxide fuel. *Proceedings of the International conference RERTR-2006*. Cape Town, South Africa, 2006. pp. 47–49.
- Arinkin F.M., Gizatulin Sh.Kh., Zhotabaev Zh.R., Kadyrzhanov K.K., Koltochnik S.N., Nasonov V., Chakrov P.V., Chekushina L.V. Feasibility study of WWR-K reactor conversion to low-enriched fuel. *Proceedings of the International conference RRFM-2006*. Sofia, Bulgaria, 2006. pp. 56–59.
- Arinkin F.M., Chakrov P.V., Chekushina L.V., Gizatulin Sh.Kh., Koltochnik S.N., Nakipov D.A., Shaimerdenov A.A., Zhotabaev Zh.R., Hanan N., Garner P., Roglans-Ribas J. Start of low-enriched fuel lead test assemblies in the WWR-K reactor core. *Proceedings of the International conference RERTR-2011*. Santiago, Chile, 2011. pp. 82–83.
- Arinkin F.M., Beisebaev A.O., Gizatulin Sh.Kh., Kiselev K.S., Koltochnik S.N., Nakipov D.A., Chakrov P.V., Chekushina L.V., Shaimerdenov A.A. Rezultaty nachala ispytaniy opytnykh TVS s nizkoobogashchennym toplivom v aktivnoy zone reaktora WWR-K [Results of start of low-enriched fuel lead test assemblies in the WWR-K reactor core]. *Vestnik NYAST RK*, 2011, no. 4, pp. 127–131.
- Arinkin F.M., Beisebaev A.O., Gizatulin Sh.Kh., Koltochnik S.N., Chakrov P.V., Chekushina L.V. O vozmozhnosti ispolzovaniya berillievogo otrazhatelya v sushchestvuyushchey aktivnoy zone reaktora WWR-K [On possibility of using beryllium reflectors in present WWR-K reactor core]. *Vestnik NYAST RK*, 2008, no. 4, pp. 106–112.
- Arinkin F.M., Beisebaev A.O., Gizatulin Sh.Kh., Koltochnik S.N., Chakrov P.V., Chekushina L.V. Kharakteristiki aktivnoy zony reaktora WWR-K s bokovym berillievym otrazhatelom ogranichennykh razmerov [Characteristics of the WWR-K core with limited size beryllium reflectors]. *Trudy Mezhdunarodnoy Konferentsii «Yadernaya i radiatsionnaya fizika»* [Proceedings of the International Conference «Nuclear and radiation physics»]. Almaty, 2009. pp. 70–71.
- Arinkin F.M., Blynskiy P.A., Dyussambayev D.S., Romanova N.K., Chekushina L.V., Shaimerdenov A.A. Neytrono-fizicheskie kharakteristiki aktivnoy zony reaktora WWR-K s nizkoobogashchennym toplivom [Neutron-physical characteristics of LEU core of WWR-K reactor]. *Vestnik NYAST RK*, 2012, no. 3, pp. 7–12.
- Arinkin F.M., Chakrov P.V., Chekushina L.V., Gizatulin Sh.Kh., Kadyrzhanov K.K., Koltochnik S.N., Nasonov V.A., Romanova N.K., Taliev A., Zhotabaev Zh.R., Hanan N. Program of trial of lead test assemblies in the WWR-K reactor. *Proceedings of the International Conference RRFM-2007*. Lyon, France, 2007. pp. 90–92.
- Arinkin F.M., Chekushina L.V., Chakrov P.V., Gizatulin Sh.Kh., Koltochnik S.N., Shaimerdenov A.A. Safety analysis for LTA irradiation test at the WWR-K research reactor. *Proceedings of the International Conference RERTR-2010*. Lisbon, Portugal, 2010. pp. 120–124.
- Shaimerdenov A.A., Arinkin F.M., Koltochnik S.N., Chekushina L.V. Teplogidravlicheskiy analiz stacionarnogo sostoyaniya aktivnoy zony pri ispytaniyakh opytnykh TVS na reaktore WWR-K [Thermal hydraulic analysis of steady-state LTA irradiation test in WWR-K reactor core]. *Vestnik NYAST RK*, 2010, no. 4, pp. 54–59.
- Arinkin F.M., Gizatulin Sh.Kh., Koltochnik S.N., Nakipov D.A., Chakrov P.V., Chekushina L.V., Shaimerdenov A.A. Pervy etap ispytaniy opytnykh TVS s nizko-obogashchennym toplivom v aktivnoy zone reaktora WWR-K – rezultaty i vyvody [First stage of the low-enriched fuel LTA irradiation test in the WWR-K reactor core – results and conclusions]. *Voprosy atomnoy nauki i tekhniki. Seriya Fizika yadernykh reaktorov – Issues of Atomic Science and Technology. Physics of nuclear reactors series*, 2012, Iss. 3, pp. 74–80.
- Arinkin F.M., Gizatulin Sh.Kh., Koltochnik S.N., Nakipov D.A., Chakrov P.V., Chekushina L.V., Shaimerdenov A.A. Vtoroy etap ispytaniy opytnykh TVS s nizko-obogashchennym toplivom v aktivnoy zone reaktora WWR-K – rezultaty i vyvody [Second stage of the low-enriched fuel LTA irradiation test in the WWR-K reactor core – results and conclusions]. *Trudy Mezhdunarodnoy Konferentsii «Yadernaya i radiatsionnaya fizika»* [Proceedings of the International Conference «Nuclear and radiation physics»]. Almaty, Kazakhstan, 2013. pp. 39–40.
- Arinkin F.M., Gizatulin Sh.Kh., Koltochnik S.N., Chakrov P.V., Chekushina L.V., Garner P., Hanan N. Characteristics of the WWR-K test core and the LEU LTAs to be placed in the central experimental beryllium device. *Proceedings of International conference on RERTR-2009*. Beijing, China, 2009. pp. 69–73.
- Gurevich M.I. Programma MCU-REA s bibliotekoy yadernykh konstant DLC/MCUDAT-2.1 [MCU-REA program with DLC/MCUDAT-2.1 nuclear constant]. *Voprosy atomnoy nauki i tekhniki. Seriya Fizika yadernykh reaktorov – Issues of Atomic Science and Technology. Physics of nuclear reactors series*, 2001, Iss. 3, pp. 55–62.

Received: 17 March 2014.