

ПЕРЕВОД РЕАКТОРОВ ТИПА РБТ НА НОВОЕ ТОПЛИВО

© 2020 г. А. М. Шараев^{1,2}, А. П. Малков^{1,2}, А. В. Пайдулов^{1,2}, М. Ф. Валишин^{1,2},
Ю. А. Краснов^{1,2}, В. В. Пименов^{1,2}

¹ Димитровградский инженерно-технологический институт —
филиал Национального исследовательского ядерного университета “МИФИ”, Димитровград, 433507, Россия

² Акционерное общество “Государственный научный центр —
Научно-исследовательский институт атомных реакторов”, Димитровград, 433507, Россия

*e-mail: scharaevairat@mail.ru

Поступила в редакцию 02.04.2020 г.

После доработки 30.06.2020 г.

Принята к публикации 22.09.2020 г.

Статья содержит информацию о том, как в ранее созданных реакторах РБТ происходит поэтапная замена старого типа топлива на новое топливо, так как они используют отработанное топливо реактора СМ, который в свою очередь при модернизации был переведен на более ураноемкое топливо. Здесь описана процедура перевода на новое топливо, реализуемая на реакторах РБТ, потому что процедура перевода действующего ядерного реактора на новое топливо в процессе его плановой эксплуатации не предусмотрена и, соответственно, не регламентирована нормативными документами по безопасности. Также показано состояние реактора в части загрузки активных зон по количеству нового и старого типов топлива в количественном и процентном отношении на начало 2019 года. Представлены результаты расчета эффективности рабочих органов регулирования реакторов РБТ, указанные значения эффективности не превышают паспортные пределы. Уделено внимание качеству подготовки персонала в связи с переводом на новое топливо. Сделаны выводы о безопасной эксплуатации нового типа топлива, правильности выбора такой процедуры и о дальнейшей возможности перевода и использования нового топлива для реакторов типа РБТ.

Ключевые слова: исследовательский реактор, эксплуатация, безопасность, загрузка

DOI: 10.1134/S2304487X20040082

ВВЕДЕНИЕ

В институте были разработаны, сооружены и успешно эксплуатируются два исследовательских реактора типа РБТ, предназначенные, главным образом, для исследований по реакторному материаловедению. Отличительная особенность реакторов РБТ — использование в качестве топлива ТВС, отработавших в реакторе СМ. Предпосылки для создания подобных реакторов — большое содержание ²³⁵U в отработавших ТВС реактора СМ, выгружаемых из него по исчерпанию запаса реактивности. Оценки показали, что активная зона реактора РБТ, обладающая достаточным запасом реактивности, могла быть создана увеличением по сравнению с реактором СМ ее объема и изменением конструкции. Работоспособность выгоревших твэлов в реакторе РБТ не вызывала сомнения, поскольку была подтверждена при значительно более жестких режимах эксплуатации в реакторе СМ [1].

Для расширения экспериментальных возможностей высокопоточного исследовательского ре-

актора СМ в 2005 году проведена его модернизация, в результате которой в активной зоне может размещаться до двух дополнительных экспериментальных каналов. Для компенсации потерь реактивности было решено использовать новое ураноемкое топливо при сохранении его геометрии, материалов оболочки и топливной матрицы [2]. Через некоторое время встал вопрос о переводе на новое топливо реакторов РБТ. В начале 2015 года была собрана и проанализирована информация по количеству и состоянию отработавшего топлива реактора СМ, и этот анализ показал, что имеющийся запас ОТВС старого типа близится к исчерпанию. Перевод реакторов РБТ на ТВС нового типа позволит решить проблему обеспечения их топливом на перспективу.

ОПИСАНИЕ

Процедура перевода действующего ядерного реактора на новое топливо в процессе его плановой эксплуатации не предусмотрена и, соответ-

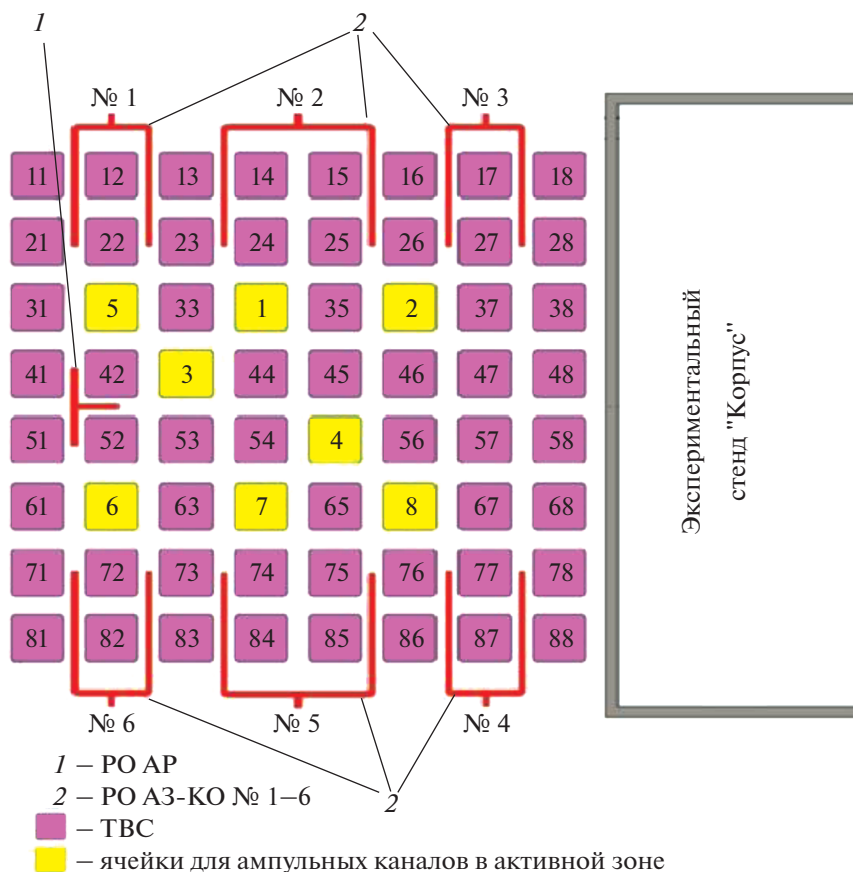


Рис. 1. Поперечное сечение активной зоны реактора РБТ-6.

ственно, не регламентирована нормативными документами по безопасности.

При выполнении необходимого объема исследований требуемого качества и реализации комплекса организационно-технических мероприятий по обеспечению безопасности можно реализовать запланированную модернизацию без остановки ИР на длительный срок. Примером такого подхода может служить перевод реактора СМ с 2005 года на ТВС нового типа в процессе текущей эксплуатации.

Модификации тепловыделяющих сборок нового типа имеют те же габаритные размеры, но набраны из твэлов с увеличенной на 20% загрузкой по ^{235}U по сравнению с ранее использовавшимися твэлами (6 г вместо 5 г ^{235}U на твэл). Кроме того, в таких ТВС чехол из нержавеющей стали заменен на чехол из циркониевого сплава.

В процессе замены типа топлива на реакторах РБТ принята схема действий, апробированная и фактически реализованная при подобной процедуре для реактора СМ. Организационная схема включает следующие основные этапы:

- расчетное обоснование безопасности для каждой планируемой кампании в переходный период;
- экспериментальное определение эффективности органов СУЗ, запаса реактивности и подкритичности активной зоны по завершению перегрузочных работ перед каждой кампанией;
- экспериментальное определение физических характеристик активной зоны, важных для безопасности, после замены всех ТВС старого типа в активной зоне на ТВС с увеличенной загрузкой топлива;
- оформление отчета по обоснованию безопасности реактора и внесение необходимых изменений в эксплуатационную документацию.

Процедура перевода реакторов РБТ начата в 2015 году [3]. В рамках утвержденной программы работ была проведена серия экспериментов на реакторах по исследованию эффектов реактивности и эффективности РО СУЗ при замене штатных ТВС на ТВС с увеличенной загрузкой по ^{235}U . Полученные результаты использованы для уточнения расчетных оценок воздействия загрузки ТВС нового типа на размножающие свойства активной зоны. В результате расчетно-эксперимен-

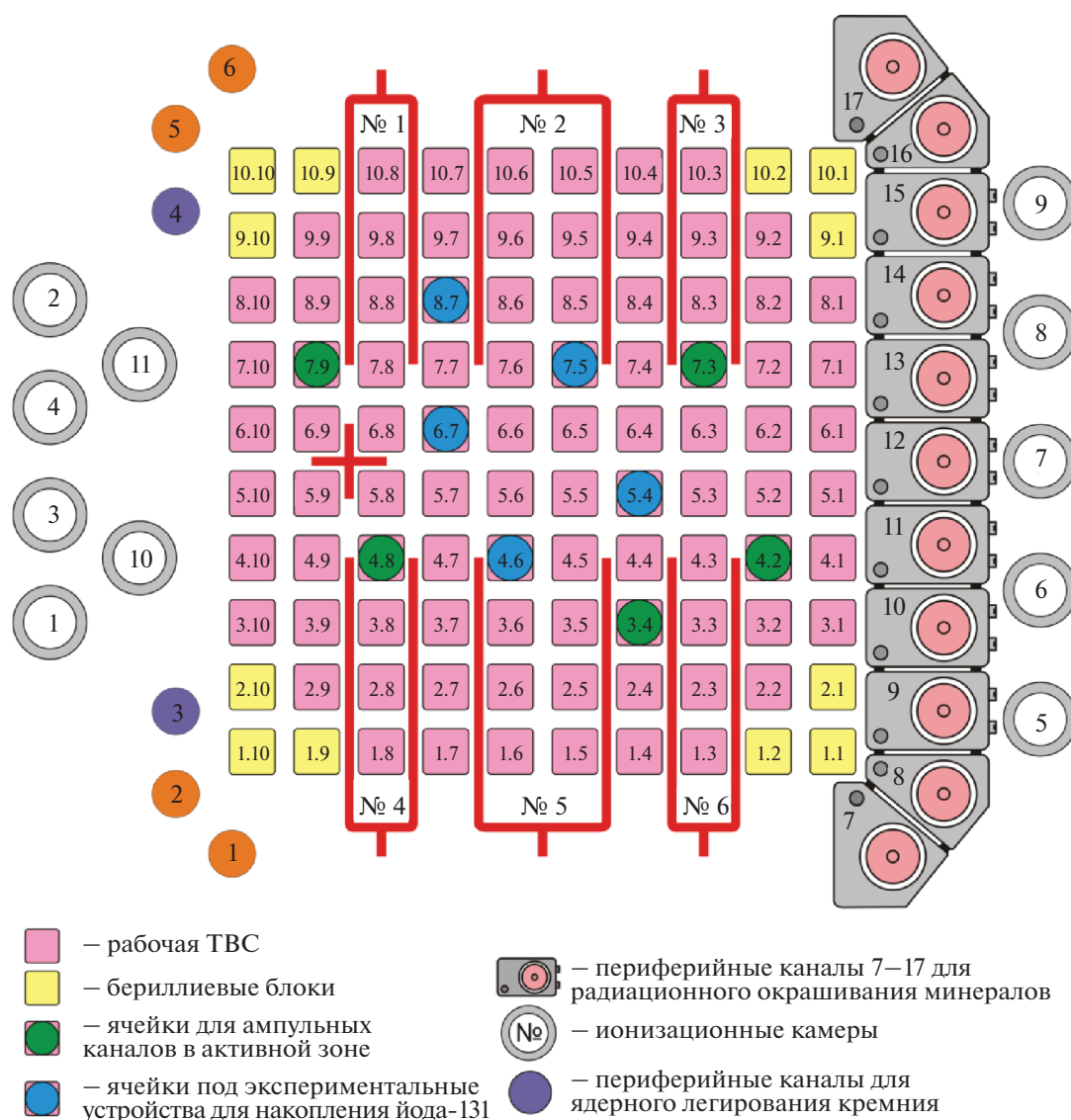


Рис. 2. Поперечное сечение активной зоны реактора РБТ-10.

тальных исследований была подтверждена возможность поэтапного перевода реакторов РБТ на топливо с увеличенной загрузкой ^{235}U в твэле с сохранением основных проектных характеристик реактора при обоснованном выборе размещения ТВС старого и нового типа на этапе формирования загрузки активной зоны.

Картограммы активной зоны реакторов РБТ-6 и РБТ-10 представлены на рис. 1 и на рис. 2 соответственно.

В течение 3,5 лет при перегрузках реакторов ТВС старого типа последовательно заменяли на современные ТВС. Для каждой планируемой перегрузки с использованием аттестованного прецизионного нейтронно-физического кода MCU-RFFI/A рассчитывали запас реактивности,

подкритичность при проведении перегрузочных операций, эффективность органов СУЗ, распределение энерговыделения в активной зоне. По результатам выполненных расчетов для каждой кампании готовили обоснование безопасности, подтверждающее, что пределы безопасной эксплуатации реакторов не нарушаются, а условия безопасной эксплуатации обеспечиваются.

На рис. 3 показана картограмма загрузки топлива в активной зоне реактора РБТ-6 по состоянию на март 2019 г.

На рис. 4 представлено рассчитанное по программе MCU распределение энерговыделения по сечению активной зоны реактора РБТ-6 с нормировкой на среднее значение мощности ТВС.

46.7	45.8	38.6	40.1	42.2	46.5	45.6	44.8
45.7	37.1	34.9	18.7	46.2	46.6	43.4	39.9
42.8		40.6		42.5		46.0	39.8
41.1	28.9		41.3	42.9	46.6	44.2	45.2
2.9	24.7	39.2	41.5		46.8	44.2	45.2
39.5		40.2		42.9		46.0	40.0
45.8	38.8	33.8	18.3	46.3	46.5	43.4	40.1
46.9	45.7	40.4	40.1	42.6	46.7	46.0	44.9

Рис. 3. Картограмма загрузки активной зоны реактора РБТ-6 с обозначением выгорания топлива в ячейках (серым цветом выделены ячейки с ТВС нового типа).

0.29	0.38	0.53	0.69	0.70	0.53	0.43	0.34
0.54	0.85	0.95	1.39	1.13	1.17	0.91	0.65
0.90		1.63		1.79		1.45	0.94
0.90	1.48		1.78	1.78	1.85	1.51	1.03
1.05	1.31	1.47	1.78		1.88	1.50	1.02
0.84		1.44		1.82		1.39	0.94
0.52	0.77	0.91	1.33	1.08	1.13	0.89	0.64
0.28	0.37	0.51	0.68	0.66	0.50	0.42	0.34

Рис. 4. Распределение энерговыделения по сечению активной зоны реактора РБТ-6, отн. ед. (серым цветом выделены ячейки с ТВС нового типа).

На рис. 5 показана картограмма загрузки топлива в активной зоне реактора РБТ-10 по состоянию на март 2019 г.

На рис. 6 представлено рассчитанное по программе MCU распределение энерговыделения по

сечению активной зоны реактора с нормировкой на среднее значение мощности ТВС.

В табл. 1 представлены рассчитанные по программе MCU эффективности РО СУЗ и реактивные параметры активной зоны реакторов РБТ по состоянию на март 2019 г.

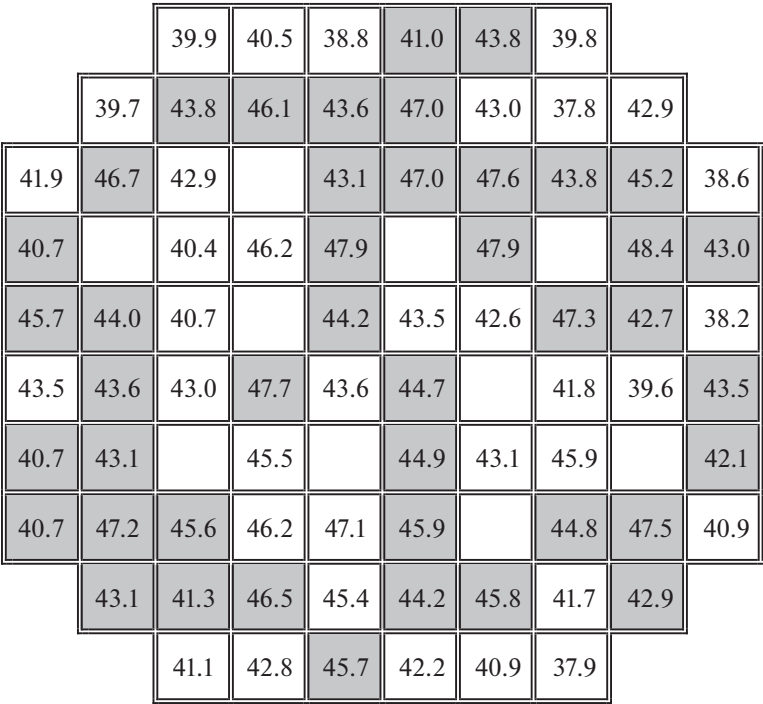


Рис. 5. Картограмма загрузки активной зоны реактора РБТ-10 с обозначением выгорания топлива в ячейках (серым цветом выделены ячейки с ТВС нового типа).

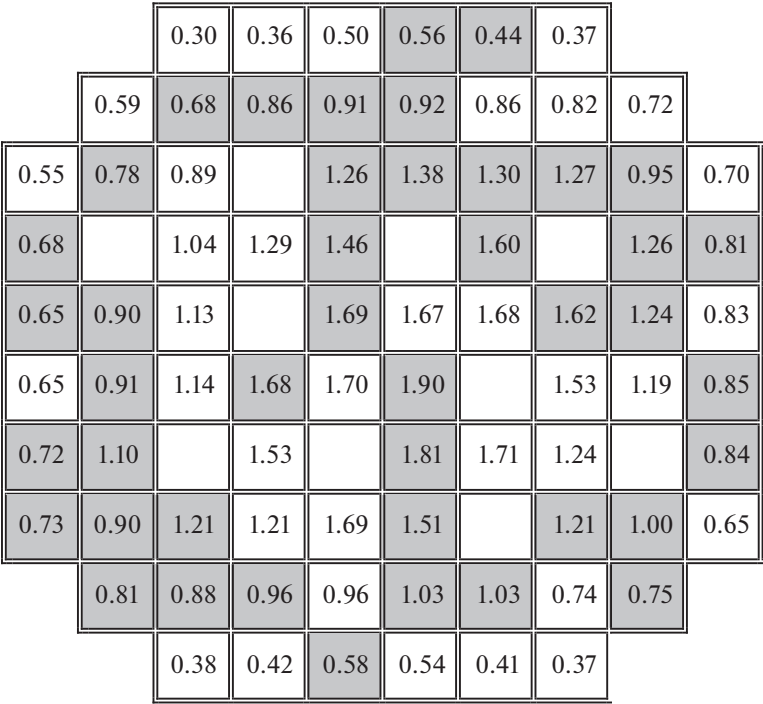


Рис. 6. Распределение энерговыделения по сечению активной зоны реактора РБТ-10, отн. ед. (серым цветом выделены ячейки с ТВС нового типа).

Таблица 1. Рассчитанные по программе MCU эффективности РО СУЗ и реактивностные параметры активной зоны реакторов РБТ по состоянию на март 2019 г.

		РБТ-10		РБТ-6	
РО СУЗ		Эффективность, $\beta_{\text{эфф}}$			
		Расчет	Паспортное значение	Расчет	Паспортное значение
АР		0.33 ± 0.02	0.20—0.60	0.36 ± 0.02	0.25—0.50
АЗ-КО-1	КО	0.85 ± 0.02	0.65—2.20	0.80 ± 0.02	0.50—1.15
	АЗ	1.25 ± 0.02	0.45—1.95	0.28 ± 0.02	0.10—0.35
АЗ-КО-2	КО	1.23 ± 0.02	0.95—2.80	1.82 ± 0.02	1.05—2.40
	АЗ	1.80 ± 0.02	1.20—3.20	0.52 ± 0.02	0.30—0.70
АЗ-КО-3	КО	1.11 ± 0.02	0.65—2.20	1.09 ± 0.02	0.80—1.90
	АЗ	1.81 ± 0.02	0.45—1.95	0.25 ± 0.02	0.20—0.55
АЗ-КО-4	КО	1.02 ± 0.02	0.65—2.20	0.99 ± 0.02	0.80—1.90
	АЗ	1.45 ± 0.02	0.45—1.95	0.26 ± 0.02	0.20—0.55
АЗ-КО-5	КО	1.38 ± 0.02	0.95—2.80	1.64 ± 0.02	1.05—2.40
	АЗ	2.12 ± 0.02	1.20—3.20	0.37 ± 0.02	0.30—0.70
АЗ-КО-6	КО	1.09 ± 0.02	0.65—2.20	0.68 ± 0.02	0.50—1.15
	АЗ	1.79 ± 0.02	0.45—1.95	0.22 ± 0.02	0.10—0.35
Подкритичность		2.12 ± 0.06	не менее 1.54	3.79 ± 0.06	не менее 3.08
Запас реактивности		4.89 ± 0.06	9.0	3.60 ± 0.06	не более 4.6

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При использовании в реакторах РБТ ТВС нового типа проводили постоянный контроль их герметичности. Признаков разгерметизации ТВС зафиксировано не было. К марту 2019 года количество ТВС нового типа в активной зоне реактора РБТ-6 доведено до 46 штук (82% от общего числа ТВС в а.з.), в активной зоне реактора РБТ-10 – до 43 штук (55% от общего числа ТВС в а.з.). Таким образом, количество ТВС нового типа в активной зоне реакторов РБТ превышает количество ТВС старого типа, следовательно, ТВС нового типа можно называть штатным топливом реакторов РБТ [4].

При переводе на новый тип топлива все характеристики реакторов остаются в паспортных пределах и соответствуют данным, предоставленным в отчете по обоснованию безопасности.

Все технологические операции, связанные с переводом на новое топливо, аналогичны операциям, применяемым с топливом старого типа, поэтому переподготовка персонала не требуется.

Успешный опыт эксплуатации реакторов РБТ с новым топливом в течение последних лет с сохранением проектных характеристик установок подтвердил возможность дальнейшего безопасного использования этого топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаджиев Г.И., Грачев А.Ф., Гремячкин В.А., Калыгин В.В., Клинов А.В., Коротков Р.И., Цыканов В.А. и др. Исследовательские реакторы НИИАР и их экспериментальные возможности. Димитровград: НИИАР, 1991. С. 64.
2. Малков А.П., Краснов Ю.А., Петелин А.Л. и др. Перевод реактора СМ на новое топливо в процессе текущей эксплуатации и основные показатели последующей работы. Международная научная конференция “Исследовательские реакторы в разработке ядерных технологий нового поколения и фундаментальных исследованиях”, Тезисы докладов. – Димитровград: ОАО “ГНЦ НИИАР”, 2011. С. 144–150.
3. Шараев А.М., Малков А.П., Пайдулов А.В. и др. Обеспечение ядерной безопасности реакторов РБТ-6, РБТ-10 в процессе перевода на новое топливо. XX Российская конференция “Безопасность исследовательских ядерных установок”, Тезисы докладов. – Димитровград: АО “ГНЦ НИИАР”, 2018. С. 16–17.
4. Шараев А.М., Малков А.П., Пайдулов А.В. и др. Перевод реакторов РБТ-6 и РБТ-10 на новое топливо (текущее состояние). XXI Российская конференция “Безопасность исследовательских ядерных установок”, Тезисы докладов. – Димитровград: АО “ГНЦ НИИАР”, 2019. С. 34–35.

Conversion of RBT Research Reactors to a New Fuel Type

A. M. Sharaev^{a,b,#}, A. P. Malkov^{a,b}, A. V. Paidulov^{a,b}, M. F. Valishin^{a,b}, J. A. Krasnov^{a,b},
and V. V. Pimenov^{a,b}

^a *Dimitrovgrad Engineering and Technological Institute, National Research Nuclear University MEPhI
(Moscow Engineering Physics Institute), Dimitrovgrad, 433507 Russia*

^b *Research Institute of Atomic Reactors, Dimitrovgrad, 433507 Russia*

[#]*e-mail: scharaevairat@mail.ru*

Received April 2, 2020; revised June 30, 2020; accepted September 22, 2020

Abstract—The replacement of old-type fuel with the new one in the existing RBT reactors, which use spent fuel from the SM reactor converted to uranium-rich fuel after refurbishment, has been discussed. The procedure to convert the reactor to a new fuel is thoroughly described since it is not provided in the reactor regular operation and is not regulated by safety documents. The reactor core loading with new and old fuels in quantitative and percentage terms at the beginning of 2019 is demonstrated. It is shown that the calculated efficiency of RBT control rods does not exceed the designed limits. Attention is paid to the training of personnel engaged in the conversion to the new fuel. Conclusions are made about the safe operation of a new-type fuel, correctness of the selected procedure, and the further possibility of converting the RBT reactors to the new fuel.

Keyword: research reactor, exploitation, safety, fuel loading

DOI: 10.1134/S2304487X20040082

REFERENCES

1. Gadzhiev G.I., Grachev A.F., Gremyachkin V.A., Efimov V.N., Kalygin V.V., Klinov A.V., Korotkov R.I., Markina N.V., Sulaberidze V.SH., Toporov Yu.G., Tsykanov V.A. Issledovatel'skie reaktory NIIAR i ih eksperimentalnye vozmozhnosti [Research reactors of NIIAR and their experimental capabilities]. Dimitrovgrad: NIIAR, 1991. p. 64 (in Russian).
2. Zvir A.I., Malkov A.P., Krasnov Yu.A., Petelin A.L., Svyatkin M.N., Tchekalkin S.I. Perevod reaktora SM na novoe toplivo v protsesse tekuschei ekspluatatsii [Conversion of the SM reactor to new fuel during the current operation and the main indicators of subsequent operation]. Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya "Issledovatel'skie reaktory v razrabotke yadernykh tekhnologii novogo pokoleniya i fundamentalnykh issledovaniyach", Tezisy dokladov. — Dimitrovgrad: OAO "GNTz NIIAR", 2011, pp. 144–150 (in Russian).
3. Sharaev A.M., Malkov A.P., Paidulov A.V., Sazontov V.A., Pimenov V.V. Obespechenie yadernoi bezopasnosti reaktorov RBT-6, RBT-10 v protsesse pervoda na novoe toplivo [Ensuring nuclear safety of RBT-6 and RBT-10 reactors in the process of conversion to new fuel]. XX Rossiiskaya konferentsiya "Bezopasnost issledovatel'skikh yadernykh ustanovok", Tezisy dokladov. — Dimitrovgrad: OAO "GNTz NIIAR", 2018. pp. 16–17 (in Russian).
4. Sharaev A.M., Malkov A.P., Paidulov A.V., Sazontov V.A., Pimenov V.V. Perevod reaktorov RBT-6, RBT-10 na novoe toplivo (tekuschee sostoyanie) [Conversion of RBT-6 and RBT-10 reactors to new fuel (current state)]. XXI Rossiiskaya konferentsiya "Bezopasnost issledovatel'skikh yadernykh ustanovok", Tezisy dokladov. — Dimitrovgrad: AO "GNTz NIIAR", 2019. pp. 34–35 (in Russian).