

исследование полимерных композиционных материалов и материалов для аддитивного производства (аддитивные технологии);

радиографические исследования;

сертификация приборов, датчиков и оборудования (создание центра сертификации на базе исследовательского ядерного реактора);

исследование ядерных материалов в условиях развития переходных и динамических процессов для двухкомпонентной ядерной энергетики;

легирование кремния;

применение технических решений по системам аварийного охлаждения, аварийной подпитки, размещению исполнительных механизмов СУЗ, радиационному легированию и другим, позволяющим им стать базовыми для предложений зарубежным заказчикам.

Строительство и ввод в эксплуатацию ИВВ-3 обеспечит преемственность и развитие технологий при учете безопасности в соответствии с современными нормами и требованиями.

УДК 621.039.54

РАЗРАБОТКА ТВС С ВЫСОКОПЛОТНЫМ ТОПЛИВОМ ДЛЯ ЗАРУБЕЖНЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РЕАКТОРОВ РОССИЙСКОЙ КОНСТРУКЦИИ

Черепнин Ю.С., Пулинец А.А., Кравцова О.А., Симониди А.Р., Чижова Е.С.,

Ларионов И.А., Логвенчев С.И. (АО «НИКИЭТ», г. Москва)

e-mail: chizhova_es@nikiet.ru

АО «НИКИЭТ» активно участвует в международной программе создания твэлов и ТВС с топливом пониженного обогащения по ^{235}U для активных зон исследовательских реакторов российской конструкции. Перевод действующих исследовательских реакторов на низкообогащенное топливо выполняется на основании национальных программ, международных обязательств и соглашений и включает три этапа:

1) разработка и создание низкообогащенного топлива (UO_2+Al) на основе существующих проектов твэлов и ТВС [1, 2];

2) разработка и создание твэлов и ТВС с низкообогащенным высокоплотным топливом [3—5];

3) разработка твэлов и ТВС нового поколения для проектируемых исследовательских реакторов.

При переводе действующих исследовательских реакторов на низкообогащенное топливо важными являются:

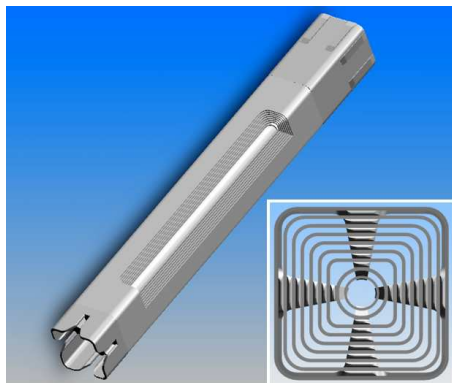
неизменность конструкции реактора;

максимально возможное сохранение потребительских характеристик реактора: плотность потока тепловых нейтронов в местах размещения экспериментальных устройств, продолжительность кампании, топливная составляющая эксплуатационных затрат.

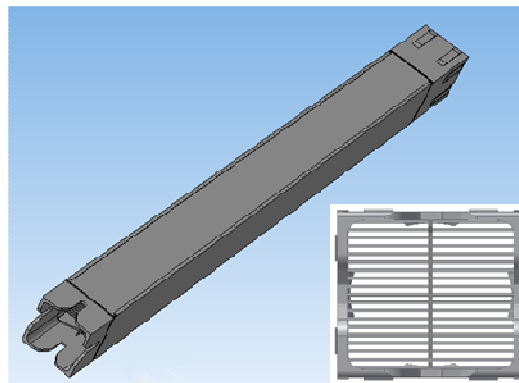
В настоящее время за пределами России эксплуатируются 10 исследовательских реакторов, которые были сооружены по российским проектам и переведены на низкообогащенное топливо обогащением 19,7%. К таким реакторам относится исследовательский реактор бассейнового типа LVR-15 (Чехия), загруженный ТВС типа ИРТ-4М с топливной композицией на основе UO_2+Al [6].

Основные результаты. В рамках настоящей работы приведены результаты разработки ТВС для исследовательских реакторов с топливной композицией на основе UO_2+Al , $\text{U}_3\text{Si}_2+\text{Al}$ и $\text{U9\%Mo}+\text{Al}$ обогащением 19,7%. Наиболее распространенными для исследовательских реакторов являются ТВС типа ИРТ-3М и ИРТ-4М, которые представляют собой конструкцию, состоящую из концентрично расположенных трубчатых твэлов квадратного профиля, головки и хвостовика. ТВС ИРТ-4М с повышенной загрузкой урана была разработана для конверсии реакторов в Чехии, Узбекистане, Ливии, Болгарии и имеет конструкцию, аналогичную ТВС ИРТ-3М (рис. 1).

Для подтверждения работоспособности ТВС ИРТ-4М с топливом на основе UO_2+Al с повышенной загрузкой ^{235}U в реакторе LVR-15 в ПАО «НЗХК» были изготовлены две опытные восьмитрубные ТВС. Реакторные испытания



Р и с. 1. Восьмитрубная ТВС ИРТ-4М



Р и с. 2. ТВС ИРТ-П, укомплектованная 21 твэлом

будут проводиться в активной зоне исследовательского реактора LVR-15 для подтверждения их работоспособности до среднего выгорания 60%. При успешном завершении реакторных и послереакторных испытаний выбранные материалы топлива и конструктивные исполнения могут быть рекомендованы для изготовления ТВС, предназначенных для эксплуатации в других исследовательских реакторах.

Новая ТВС ИРТ-П разработана для улучшения потребительских характеристик LVR-15 (рис. 2). Она состоит из твэлов пластинчатого типа, которые устанавливаются в пазах в боковых пластинах, головки и хвостовика. Основные характеристики ТВС типа ИРТ-3М, ИРТ-4М и ИРТ-П приведены в табл. 1.

Для обоснования работоспособности рассмотренных ТВС были проведены нейтронно-физические и теплогидравлические расчеты для активной зоны LVR-15, состоящей из 29 ТВС.

Расчетные исследования показали, что рассмотренные ТВС с повышенной загрузкой ^{235}U улучшают эксплуатационные характеристики в сравнении с существующей ТВС ИРТ-4М: годовое потребление уменьшается с сохранением или увеличением плотности потока тепловых нейтронов (табл. 2) [7]. Комплексные теплогидравлические исследования загрузки активной зоны LVR-15 с лицензированной мощностью 9,7 МВт подтвердили безопасность эксплуатации разрабатываемых ТВС: поверхностное кипение на оболочках твэлов отсутствует.

В обоснование работоспособности и подтверждения гидравлической характеристики ТВС ИРТ-П планируются гидравлические испытания на полномасштабном макете ТВС.

Выводы. Нейтронно-физические и теплогидравлические расчеты в обоснование работоспособности ТВС типа ИРТ с повышенной загрузкой урана на примере реактора LVR-15

Таблица 1. Технические характеристики ТВС для реактора LVR-15

Параметр	ИРТ-3М		ИРТ-4М		ИРТ-П	
Твэл:						
число в ТВС	8 (6)		8 (6)		21 (12)	
тип			Трехслойный, дисперсионный			
толщина стенки, мм	1,4		1,6		1,4	
толщина сердечника, мм	0,5		0,7		0,54	
материал оболочек			Алюминиевый сплав САВ1			
Межтвэльный зазор, мм	2,05		1,85		2	
Поверхность теплоотдачи, м ²	1,424 (1,23)		1,575 (1,381)		1,51 (0,864)	
Объем топлива, 10 ⁻⁶ м ³	393,84 (345,2)		551,40 (483,38)		408,2 (233,28)	
Обогащение топлива, %	36	19,7	19,7		19,7	
Топливная композиция	UO ₂ +Al	U9%Mo+Al	UO ₂ +Al	U ₃ Si ₂ +Al	UO ₂ +Al	U ₃ Si ₂ +Al
Масса ^{235}U , г	352 (309)	400 (351,7)	300 (263,8)	330 (290)	360 (316,6)	321,7 (183,6) 386,03 (220,8)

* В скобках приведены значения для ТВС с РО СУЗ.

Таблица 2. Характеристики ТВС относительно ТВС ИРТ-4М с концентрацией урана в топливной композиции 3 г/см³

Параметр	ИРТ-4М		ИРТ-П		ИРТ-3М
	UO ₂ +Al*	U ₃ Si ₂ +Al	UO ₂ +Al	U ₃ Si ₂ +Al	U9%Mo+Al
Нормированная максимальная плотность тепловых нейтронов в начале цикла:					
в центральной ловушке	1	1	1,01	1,03	1,03
в отражателе	1,01	1,01	1,1	1,1	1
Нормированная продолжительность топливного цикла	1,09	1,17	1,06	1,26	1,31
*С повышенной загрузкой ²³⁵ U.					

показывают возможность увеличения эффективности использования топлива, а также улучшения потребительских свойств исследовательских реакторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черепнин Ю.С., Карташев Е.Ф., Лукичев В.А. и др. Снижение обогащения топлива в исследовательских реакторах. — В сб.: Межд. конф. по снижению обогащения топлива в исследовательских реакторах RERTR-2009. КНР, 2009, с. 68—71.
2. Черепнин Ю.С., Соколов С.А., Лукичев В.А., Кравцова О.А. Снижение обогащения топлива в исследовательских реакторах. Состояние и перспективы. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Обеспечение безопасности АЭС. Исследовательские реакторы, 2013, вып. 33, с. 81—87.
3. Гончаров Ю.В., Енин А.А., Запорожец И.Е. и др. Низкообогащенное топливо для реактора ВВР-К. — В сб.: Европейская конф. по исследовательским ядерным реакторам RRFM-2013. Санкт-Петербург, 2013, с. 20—24.
4. Черепнин Ю.С., Соколов С.А., Булкин С.Ю. и др. Результаты работ по переводу исследовательских реакторов на низкообогащенное топливо. — В сб.: V Межд. научно-технич. конф. «Инновационные проекты и технологии ядерной энергетики». М., АО «НИКИЭТ», 2018, с. 110—111.
5. Черепнин Ю.С., Соколов С.А., Булкин С.Ю. и др. Перевод исследовательского реактора ВВР-К на низкообогащенное урановое топливо как основа для разработки и внедрения ТВС ВВР-КН в существующих и перспективных бассейновых исследовательских реакторах. — Атомная энергия, 2015, т. 118, вып. 2, с. 68—72.
6. Карташев Е.Ф., Лукичев В.А., Ватулин А.В. и др. Состояние разработки низкообогащенного топлива для российских исследовательских реакторов. — В сб.: Межд. конф. RERTR-2007. Прага, 2007, с. 97—101.
7. Соколов С.А., Радаев А.И., Кравцова О.А., Лукичев В.А. Использование программного комплекса MCU в задачах перевода исследовательских реакторов на низкообогащенное топливо. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Обеспечение безопасности АЭС. Исследовательские реакторы, 2013, вып. 33, с. 87—91.

УДК 669-419.4

РАЗРАБОТКА НОВЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК

Коростелев А.Б., Европин С.В., Державин А.Г., Веришинин И.В., Гославский О.В., Романов А.Н.
(АО «НИКИЭТ», г. Москва)
e-mail: korostelev@nikiet.ru

Создание новых технологий, в том числе для ядерных реакторов связано с разработкой и использованием новых конструкционных материалов. Замысел конструктора предполагает принципиальную возможность изготовления изделий новой техники, и даже для самых удачных и смелых конструкторских решений должна быть предусмотрена возможность их изготовления, т.е. реального воплощения в материале.

В атомной технике широкое распространение получили коррозионно-стойкие стали аустенитного класса типа X18H10. Разработка современных ядерных энергетических установок требует как создания новых материалов с более высокими механическими характеристиками, так и эффективного использования традиционных марок стали и сплавов с учетом возможности повышения их качества, расширения