

ЭКСПЕРИМЕНТЫ В ИМПУЛЬСНОМ РЕАКТОРЕ ИГР ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ПОВЕДЕНИЯ РЕАКТОРНОГО ТОПЛИВА В ПЕРЕХОДНЫХ И АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ

Ю.С. Васильев, А.Д. Вурим, В.А. Гайдайчук, Л.А. Егорова, Ю.М. Казьмин,
С.М. Колтышев, А.Г. Левин, В.А. Овсянников, В.А. Пахниц, О.С. Пивоваров,
А.С. Скивка, Ш.Т. Тухватулин, Ю.С. Черепнин
ИАЭ НЯЦ РК

EXPERIMENTS AT IGR PULSE REACTOR ON STUDIES OF FUEL BEHAVIOR UNDER TRANSIENT AND ACCIDENTAL CONDITIONS

Yu.S. Vasilyev, A.D. Vurim, V.A. Gaydaychuk, L.A. Egorova, Yu.M. Kazmin,
S.M. Koltyshev, A.G. Levin, V.A. Ovsyannikov, V.A. Pakhnits, O.S. Pivovarov,
A.S. Skivka, Sh.T. Tukhvatuln, Yu.S. Cherepnin
IAE NNC RK

Институтом атомной энергии Национального ядерного центра Республики Казахстан (именовавшимся ранее Объединенной экспедиций НПО "Луч") в кооперации с российскими научно-исследовательскими институтами и предприятиями атомной промышленности (РНЦ "КИ", ВНИИТФ, ВНИИНМ, НИКИЭТ, ОКБМ, ФЭИ, ОКБ "Гидропресс", НИИАР и др.) проводились экспериментальные исследования в обоснование безопасности атомной энергетики на импульсном реакторе ИГР. Интерес исследователей, работающих в области обеспечения безопасности атомной энергетики, к реактору ИГР обусловлен тем, что технические характеристики реактора обеспечивают возможность моделирования тяжелых аварий в широком диапазоне основных определяющих величин, таких как время (от одной десятой до сотен секунд), флюенс потока тепловых нейтронов (до 10^{16} н/см²), максимальный поток тепловых нейтронов в режиме нейтронной вспышки (до 10^{17} н/см²). Практически подтверждена возможность создания разрушающих тепловых нагрузок (изменение энтальпии топлива до 100 кДж/г²³⁵U) в твэлах различных по виду используемой топливной композиции и обогащению - от твэлов реакторов типа CANDU с топливом естественного обогащения до твэлов реакторов космических ядерных двигателей с топливом 90% обогащения, от твэлов с топливом нулевого выгорания до твэлов типа PWR с выгоранием топлива 65 МВт-сут/кгU. Технологические системы реакторного комплекса обеспечивают возможность работы с газообразными (азот, водород, гелий, аргон, водяной пар) и жидкими (вода, натрий, свинец) теплоносителями. Все это в восьмидесятых годах предопределило развертывание программы широкомасштабных ампульных испытаний твэлов энергетических реакторов в реакторе ИГР, исторически положивших начало участию ИАЭ НЯЦ РК в программах исследования проблем безопасности ядерной энергетики в странах СНГ. В таблице приведены основные параметры выполненных ампульных испытаний.

Тип твэла	ВВЭР-1000	ВВЭР-440	БН-800	БРЕСТ-300
Топливо	UO ₂	UO ₂ (Zr)	UO ₂	UN
Обогащение, %	4,4	6,4	2; 6; 10	2; 10
Длина топливного столба, мм	150	150	55	55
Среда в ампуле	H ₂ O, воздух	H ₂ O	Na	Pb
Начальная температура, °C	10...230	10	330	330
Начальное давление, МПа	0.1...16	0.1	0.1	0.1
Удельное энерговыделение в топливе, кДж/г U	400..3800	400..1500	60..2900	60..2900

Методический опыт, полученный в ампульных испытаниях, и комплекс имеющегося оборудования и экспериментальных методик позволил провести в реакторе ИГР следующие эксперименты:

- ампульные безрасходные испытания модельных одиночных твэлов энергетических реакторов в условиях аварии типа RIA, в том числе с выгоревшим топливом с энерговыделением в топливе 10...100 кДж/г²³⁵U. Среда в ампуле - вода, водяной пар, воздух, гелий, натрий, свинец;
- ампульные испытания одиночных твэлов в условиях, моделирующих заключительную фазу аварии с потерей теплоносителя. В твэлах реализовывалось переменное энерговыделение - от нормального эксплуатационного до остаточного. Как правило, в качестве теплоносителя или среды использовался водяной пар;
- испытания штатных ТВС исследовательских водоохлаждаемых реакторов в условиях аварийного, превышающего в несколько раз номинальный уровень, увеличения мощности с одновременным прекращением циркуляции теплоносителя. Эксперименты со сборкой реактора ИВВ-2М позволили уточнить эксплуатационные пределы реактора в режиме маневрирования мощности;
- испытания модельных ТВС энергетических реакторов в условиях, моделирующих заключительную фазу аварии типа LOCA с полным обесточиванием источников электроснабжения собственных нужд. Эксперименты проводятся на модельных ТВС, содержащих 18 твэлов типа ВВЭР-1000. В ТВС моделируется остаточное энерговыделение и режим вялого охлаждения водяным паром с температурой на входе 300 °С. В настоящее время проведен методический этап испытаний;
- проведен методический этап экспериментов с плавлением смеси материалов активной зоны (топливо, оболочки, дистанционирующие решетки с общей массой до одного килограмма) с последующим сливом расплава на подложку из корпусной стали;
- проведены эксперименты с плавлением смеси материалов активной зоны с корпусной сталью с последующим сливом расплава в воду. Варьируется процентный состав материалов, температура расплава (2900...3700 °С), температура воды, высота сброса расплава в воду (0.1...1 м), соотношение масс воды и расплава и др.