



KZ9700250

## ОБЗОР ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ НА РЕАКТОРЕ ИВГ.1 В 1972...1994 ГОДАХ

Пивоваров О.С.  
ИАЭ НЯЦ  
Республика Казахстан  
г. Семипалатинск-21

### АННОТАЦИЯ

В настоящей статье дан обзор экспериментальных исследований, выполненных на реакторе ИВГ.1 по программам разработки высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов космического назначения в 1972...1988 г.г., а также после реконструкции реактора в 1990...1994 г.г.

### I. ВВЕДЕНИЕ

С середины 50-х годов в СССР начались работы по созданию ядерного ракетного двигателя [1]. Для экспериментальной отработки ЯРД в целом и их отдельных узлов был создан стендовый комплекс "Байкал-1", расположенный на территории Семипалатинского ядерного испытательного полигона [2]. К 1975 году на стендовом комплексе "Байкал-1" была закончена подготовка к энергетическому пуску реактора ИВГ.1. Реактор предназначался для отработки ТВС и модулей активных зон реакторов ЯРД и ЯЭДУ различных типов.

Реактор ИВГ.1 — исследовательский высокотемпературный газоохлаждаемый гетерогенный корпусной ядерный реактор канального типа на тепловых нейтронах с легководным замедлителем и бериллиевым отражателем нейтронов [3]. Испытываемые ТВС, размещаемые в ячейках активной зоны реактора, охлаждаются газообразным теплоносителем. Внутрикорпусные элементы конструкции реактора охлаждаются водой. В реакторе возможно одновременно испытывать ТВС различных модификаций. В центре активной зоны расположен петлевой канал диаметром 164 мм, где благодаря использованию бериллиевой конструкции обеспечивается повышение в 2 раза плотности потока тепловых нейтронов относительно среднего значения по активной зоне.

Проект реактора разработан в 1966...1969 г.г., физический пуск проведен 14 сентября...27 ноября 1972 г., энергетический пуск - 07 марта 1975 года. В 1975...1988 г.г. в

реакторе ИВГ.1 испытано 4 комплекта ТВС различных опытных активных зон реакторов ЯРД и ЯЭДУ.

В 1989...1990 годах проведена частичная модернизация реактора ИВГ.1 и систем стендового комплекса "Байкал-1"

### II. ИСПЫТАНИЯ ТВС РЕАКТОРОВ ЯРД

16 сентября...27 ноября 1972 года на стендовом комплексе "Байкал-1" был проведен физический пуск реактора ИВГ.1 с комплектом ТК первой опытной активной зоны, в ходе которого были определены основные нейтронно-физические характеристики реактора и подтверждено их соответствие проектным значениям.

07 марта 1975 года состоялся энергетический пуск реактора ИВГ.1 (см. рис. 1). Реактор в режиме ручного управления был выведен на мощность 40 МВт и проработал на ней 5 мин. Управление оборудованием и устройствами стендовых систем осуществлялось с помощью узлов автоматизации. Температура водорода на выходе ТВС составляла 1000...1350К.

17 февраля 1976 года был проведен первый исследовательский пуск реактора ИВГ.1 (см. рис. 2). Реактор автоматическими регуляторами мощности был выведен на мощность 152 МВт и проработал на ней 5 мин. Температура водорода на выходе ТВС составляла 1800...2250К.

11 сентября 1976 года был проведен второй исследовательский пуск реактора ИВГ.1 (см. рис. 3). Реактор автоматическими регуляторами мощности был выведен на мощность 205 МВт, на которой проработал 5.6 мин. Температура водорода на выходе ТВС составляла 2200...2800К. Впервые на пуске ИП-2 для изменения температуры водорода на выходе ТВС были применены предусмотренные проектом регуляторы температуры, работавшие в режиме

ручного позиционного управления. В составе активной зоны был испытан канал экспериментальный технологический (КЭТ), содержащий ТВС реактора ИРГИТ — стендового прототипа реактора ЯРД [4].

Диаграмма энергетического пуска реактора ИВГ.1  
07 марта 1975 года

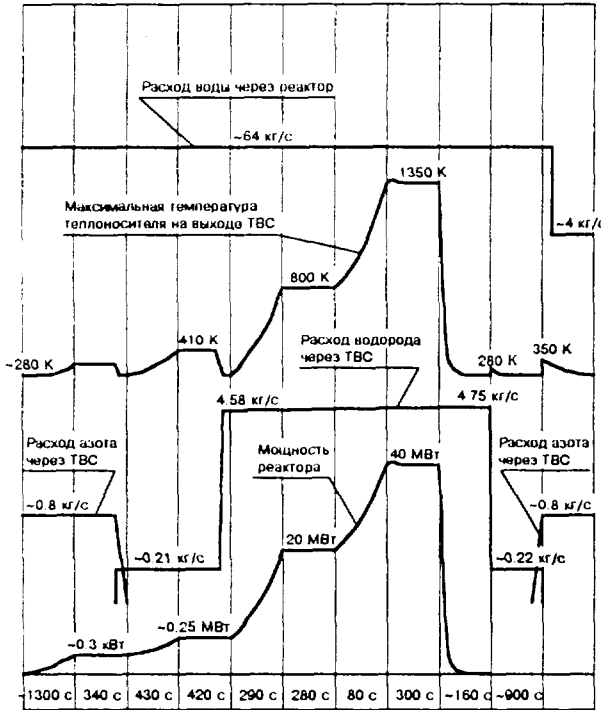


Рис. 1

Диаграмма пуска ИП-1 реактора ИВГ.1  
17 февраля 1976

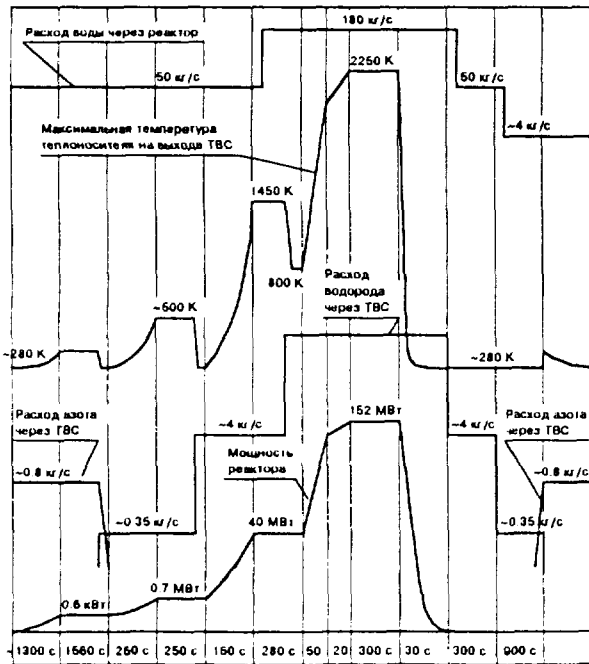


Рис. 2

Диаграмма пуска ИП-2 реактора ИВГ.1  
11 сентября 1976 года

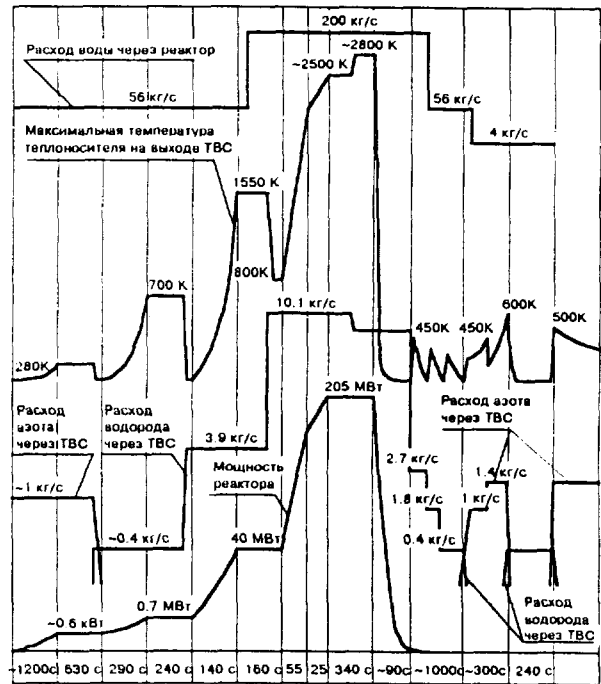


Рис. 3

После пуска ИП-2 ТК первой опытной активной зоны и КЭТ были выгружены из реактора. Результаты их испытаний и послепусковых исследований подтвердили правильность конструкторских, технологических и расчетных методов и решений, использованных при разработке ТВС ЯРД. В процессе подготовки и проведения пусков были поэтапно введены в эксплуатацию большинство проектных систем стендового комплекса, отработана методика реакторных испытаний ТВС ЯРД, персоналом накоплен опыт работы.

В 1979...1983 годах в составе комплекса ТК второй опытной активной зоны реактора проводились ресурсные испытания ТВС реактора ИРГИТ. Всего было проведено 12 пусков реактора ИВГ.1, суммарная продолжительность испытаний составила ~4000 с, температура водорода на выходе ТВС достигала 3100K. Все пуски проводились по однотипным диаграммам, основные элементы которых были поэтапно отработаны при испытаниях первой опытной активной зоны реактора ИВГ.1 (см. рис. 4) [5]. Результаты ресурсных испытаний ТВС реактора ИРГИТ выявили необходимость частичной доработки их конструкции, которая была выполнена в 1983...1984 годах.

Типовая диаграмма пусков реактора ИВГ.1

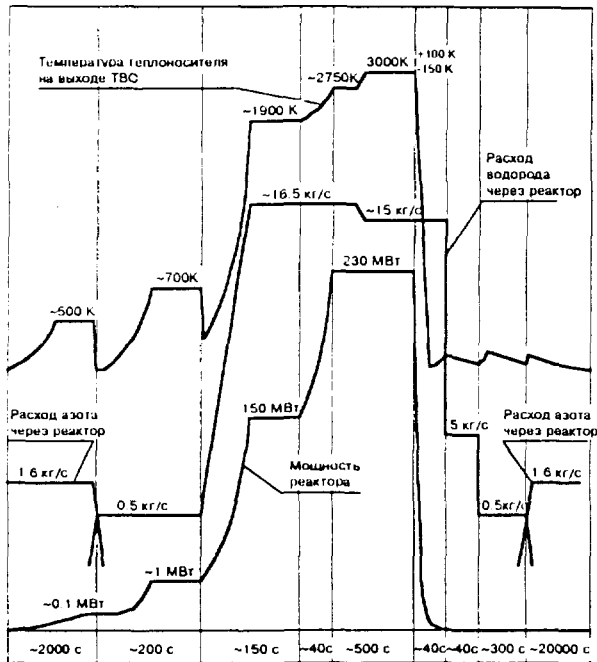


Рис. 4

### III. ИСПЫТАНИЯ ТВС ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ГАЗООХЛАЖДАЕМОГО РЕАКТОРА

В 1984 году в реакторе ИВГ.1 были проведены испытания ТВС ВТГР с азотным теплоносителем. Программой испытаний предусматривалось проведение двух пусков реактора — энергетического на мощности 40 МВт и исследовательского на мощности 115 МВт. Энергетический пуск был проведен в соответствии с программой. Исследовательский пуск был осуществлен с третьей попытки — две предыдущие заканчивались преждевременным остановом реактора по сигналам аварийной защиты из-за неисправности измерительных цепей. Реактор проработал на мощности 114 МВт в течение 500 с, расход азота через активную зону составлял 58 кг/с, температура азота на выходе ТВС — 2500...2900К. В результате испытаний была экспериментально подтверждена работоспособность твэлов и ТВС высокотемпературного газоохлаждаемого реактора с азотным теплоносителем и возможность создания такого реактора.

### IV. ИСПЫТАНИЯ ТВС РЕАКТОРОВ ЯРД И ЯЭДУ

В 1985 году началась вторая серия ресурсных испытаний ТВС и модуля реактора ИРГИТ, доработанных по результатам предыдущих испытаний. Было проведено три пуска реактора, на последнем из которых

мощность ТВС и температура водорода на выходе ТВС соответствовали номинальным проектным значениям.

Затем, в 1986...1988 годах на этой же активной зоне была исследована работоспособность ТВС на режимах, моделирующих различные режимы работы космической ЯЭДУ. Мощность ТВС составляла 3...15 % от номинальной, а температура теплоносителя на выходе ТВС 1200...1600К. Всего было проведено 7 пусков реактора с суммарной продолжительностью ~18 часов. Результаты испытаний подтвердили возможность создания реактора многорежимной ЯЭДУ на основе технологических и конструкторских решений, примененных при разработке ТВС и узлов реактора ЯРД.

### V. МОДЕРНИЗАЦИЯ РЕАКТОРА ИВГ.1

Испытания газоохлаждаемых ТВС проводились по разомкнутому циклу с выбросом теплоносителя в атмосферу. Как показала практика, вынос радиоактивных продуктов деления на пусках был близок по составу к радиоактивным выбросам АЭС при их нормальной работе, а мощность экспозиционной дозы на границе полигона была близка к фоновым значениям для данной местности (15...20 мкР/час) [6].

Тем не менее, в связи с ужесточением требований по обеспечению экологической безопасности испытаний в 1989 году была начата модернизация реактора ИВГ.1 и систем комплекса "Байкал-1" с целью создания на реакторе двух петлевых установок:

- петлевой установки для испытаний ТВС газоохлаждаемых реакторов, в том числе реакторов ЯРД и ЯЭДУ, оснащенной системой закрытого выброса газообразного теплоносителя;
- петлевой установки для испытаний модельных ТВС водоохлаждаемых реакторов, в том числе ВВЭР, в переходных и аварийных режимах, включая и режимы тяжелых аварий с возможным плавлением ТВС, для обоснования безопасности объектов ядерной техники.

Объект испытаний должен был размещаться в специально разработанном петлевом канале в центральной ячейке реактора. На первом этапе модернизации активная зона реактора была укомплектована водоохлаждаемыми технологическими каналами (ВОТК) и соответствующим образом была модернизирована система подачи воды на охлаждение реактора и ВОТК. Физический пуск модернизированного реактора ИВГ.1М проведен 25 мая...15 июля 1990 года, энергетический — 18 декабря 1990 года.

Работы по второму этапу модернизации — созданию петлевых установок выполнены лишь

частично и прекращены в связи с изменением экономической и политической ситуации в странах СНГ.

После модернизации на реакторе проводились исследования параметров взаимодействия конструкционных материалов с водородом, облучательные эксперименты, а также исследования эксплуатационных характеристик модернизированного реактора и реакторной установки в целом.

## VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Испытания ТВС высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов в реакторе ИВГ.1 являлись завершающим этапом их разработки, которому предшествовал большой объем технологических, конструкторских и научно-исследовательских работ, выполненных в НПО "Луч", НИКИЭТ, РНЦ "Курчатовский институт", ФЭИ и других организациях.

В процессе испытаний были достигнуты выдающиеся научно-технические результаты, в частности была продемонстрирована работоспособность ТВС ЯРД в течение 4000с при средней удельной мощности энерговыделения в твэлах 20...25 кВт/см<sup>3</sup> и температуре водорода на выходе ТВС до 3100К [7].

Самостоятельную ценность представляют собой результаты физических исследований реактора ИВГ.1 при различных вариантах компоновки активной зоны, а также исследований радиационной обстановки, возникающей при испытаниях высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов с выбросом теплоносителя в атмосферу.

Реактор ИВГ.1 (после модернизации — ИВГ.1М) оказался универсальным инструментом, пригодным для проведения широкого спектра исследований. В настоящее время реактор является единственным в мире сохранившимся в рабочем состоянии испытательным аппаратом, способным, с учетом предполагаемой дальнейшей модернизации, сыграть важную роль в экспериментальной отработке ТВС реакторов ЯРД и ЯЭДУ космического назначения [8].

Также представляется перспективным использование реактора ИВГ.1 для проведения исследований в рамках международного проекта ИТЭР.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пономарев-Степной Н.Н. История развития ЯРД в СССР. Доклад на 3 отраслевой

конференции "Ядерная энергетика в космосе. Ядерные ракетные двигатели". Семипалатинск-21, 1992 г.

2. Черепнин Ю.С. Стендовая база для испытаний ЯРД. Доклад на 3 отраслевой конференции "Ядерная энергетика в космосе. Ядерные ракетные двигатели". Семипалатинск-21, 1992 г.
3. Исаев П.А., Уласевич В.К., Пономарев-Степной Н.Н., Талызин В.М., Дьяков Е.К., Федик И.И. Реактор ИВГ.1 для отработки элементов ЯРД и ЯЭДУ. Доклад на отраслевой юбилейной конференции "Ядерная энергетика в космосе". Обнинск, 1990 г.
4. Коновалов В.А., Конюхов Г.В., Семенов В.Ф. Исследовательский реактор для групповых испытаний тепловыделяющих элементов. Доклад на отраслевой юбилейной конференции "Ядерная энергетика в космосе". Обнинск, 1990 г.
5. Ганжа В.В., Зеленский Д.И., Кадников В.П., Колодешников А.А., Пивоваров О.С., Тухватулин Ш.Т., Щербатюк В.М. Технология подготовки и проведения испытаний ТВС и активных зон реакторов ЯРД на стендовом комплексе "Байкал-1". Доклад на 3 отраслевой конференции "Ядерная энергетика в космосе. Ядерные ракетные двигатели". Семипалатинск-21, 1992 г.
6. Гаврилин Ю.И., Дериглазов В.И., Маргулис У.Я., Хрущ В.Т., Дмитриев Е.С., Денискин В.П., Власенко Ю.П. Осуществление радиационной безопасности населения на территориях вокруг стендового комплекса высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов. Доклад на 3 отраслевой конференции "Ядерная энергетика в космосе. Ядерные ракетные двигатели". Семипалатинск-21, 1992 г.
7. Денискин В.П., Дьяков Е.К., Нежевенко Л.Б., Паршин Н.Я., Попов Е.Б., Федик И.И., Подладчиков Ю.Н., Пивоваров О.С., Тухватулин Ш.Т., Черепнин Ю.С., Павшук В.А., Талызин В.М., Сметанников В.П., Уласевич В.К. Результаты разработки и испытаний ТВС активных зон реакторов ЯРД. Доклад на 3 отраслевой конференции "Ядерная энергетика в космосе. Ядерные ракетные двигатели". Семипалатинск-21, 1992 г.
8. Колганов В.Д., Сметанников В.П., Уласевич В.К., Дьяков Е.К., Подладчиков Ю.Н., Федик И.И., Павшук В.А., Пономарев-Степной Н.Н., Талызин В.М. Место реактора ИВГ.1 в перспективной программе создания ЯРД для марсианской экспедиции. Доклад на 3 отраслевой конференции "Ядерная энергетика в космосе. Ядерные ракетные двигатели". Семипалатинск-21, 1992 г.