

РЕАКТОР БИГР

Д. В. Мамаев, В. Ф. Колесов, М. И. Кувшинов, А. М. Пичугин

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В статье рассмотрена цель создания реактора БИГР, введенного в эксплуатацию в 1977 году во ВНИИЭФ, выделены основные направления исследовательских работ, проводимых на установке. Дано краткое описание нейтронно-физических параметров реактора, показаны характерные формы импульсов делений, генерируемых на реакторе. Описаны возможные места установки объектов на облучение, а также устройства, применяемые для расширения облучательных возможностей реактора. Приведена сводка данных по направлениям использования установки на момент написания статьи.

Ключевые слова: реактор БИГР, форма импульса делений, импульсный режим, квазиимпульсный режим, статический режим.

REACTOR BIGR / D. V. MAMAEV, V. F. KOLESOV, M. I. KUVSHINOV, A. M. PICHUGIN //
The given review paper is devoted to BIGR reactor developed at VNIIEF in the year of 1977. The aim of its development is contemplated. There are highlighted basic lines of research activities performed on the facility. The report is supplemented by a brief description of the reactor neutron-physics parameters and the characteristic shapes of fission pulses generated on the reactor are presented. Described are possible sites for irradiation objects mounting as well as devices applied for reactor irradiation feasibility. Reported is data summary on the reactor employment for the moment of the current document preparation.

Key words: reactor BIGR, fission pulse shape, pulse mode, quasi-pulse mode, static mode.

Введение

При проведении различных экспериментов в области ядерной и радиационной физики широко используются ядерные реакторы исследовательского назначения. Среди них большое распространение в качестве мощных источников нейтронного и гамма-излучений получили аperiодические импульсные реакторы самогасящегося действия. АИР действуют в режиме коротких вспышек делений, генерируемых в результате быстрого перевода реактора в надкритическое состояние по мгновенным нейтронам и последующего экспоненциального разгона интенсивности цепной реакции. Гасятся импульсы за счет отрицательной реактивной обратной связи, обу-

словленной ядерными, термомеханическими и другими явлениями, а также в результате срабатывания аварийной защиты.

Развитие направления работ ВНИИЭФ по созданию радиационно стойких образцов требует решения проблемы получения в лабораторных условиях интенсивных импульсных потоков нейтронного и гамма-излучений с высоким значением флюенсов нейтронов в больших объемах для облучения. Поэтому основной целью создания нового реактора было обеспечение возможности получать в больших объемах пространства уровни флюенса быстрых нейтронов, существенно превышающие значения, достигнутые на импульсных реакторах с металлической активной зоной (АЗ), при достаточно коротком импульсе де-

лений. Высокие параметры импульса [1] делений в реакторе обеспечились, в конечном итоге, за счет предложений В. Ф. Колесова использовать уникальное уран-графитовое топливо и оригинальную конструкцию активной зоны [2]. Предложения нашли отклик, и вскоре во ВНИИЭФ и смежных институтах группой сотрудников во главе с М. И. Кувшиновым началось проектирование реактора, отработка технологии изготовления уран-графитовых деталей АЗ с требуемыми свойствами. Новизна предложений ставила вопросы о стабильности топлива и повторяемости реактивности реактора в процессе его длительной эксплуатации. Поэтому при разработке проекта реактора БИГР с целью обоснования его работоспособности были проведены всесторонние расчетные и экспериментальные исследования. Однако окончательный ответ на указанные вопросы могла дать только длительная эксплуатация реактора [3]. В настоящее время 40-летняя успешная эксплуатация реактора БИГР свидетельствует о правильности принятых решений.

Основной задачей реактора БИГР стало использование в качестве мощного источника n - и γ -излучений в экспериментах по исследованию радиационной стойкости различных материалов и изделий, а в некоторых случаях он может также применяться в качестве стационарного источника излучений при работе в статическом режиме. Более того, на базе реактора БИГР, единственного в мире быстрого импульсного реактора с керамической активной зоной, создан облучательный комплекс, имитирующий реактивностные аварии для твэлов энергетических реакторов типа ВВЭР. Проведено и готовится несколько серий испытаний, в результате которых определяются энергетические пороги разрушения твэлов – важного параметра границы работоспособности в аварийных условиях [4].

С целью расширения возможностей использования реактора и повышения ядерной безопасности проводимых на нем работ в течение эксплуатации были изучены и внедрены новые режимы генерирования импульса делений [5]: «пролетный» режим, иницирование

импульса от сильного источника запаздывающих нейтронов, «квазиимпульсный» режим.

Обобщая, можно сказать, что излучение реактора используется при экспериментальных исследованиях радиационной стойкости различных материалов и изделий, для проведения разнообразных физических экспериментов:

- отработки и калибровки методик измерения интенсивных полей n - γ -излучения (исследования различных детекторов излучения, калибровка каналов регистрации для полигонных измерений и т. д.);

- определения последствий воздействия n - γ -излучения на различные материалы и образцы, изготовленные с применением новых технологий (изучается радиационная стойкость материалов, покрытий, и т. д.);

- работ по определению радиационной стойкости деталей лазерной техники и исследований по ядерной накачке лазеров [6];

- работ по изучению стойкости твэлов ядерных установок в условиях, имитирующих реактивностные аварии;

- активации различных изотопов для получения радиоактивных источников излучения.

Общие характеристики

Создание уникальной установки, подобной которой не существовало, было сопряжено со многими проблемами, связанными, к примеру, с выбором топлива для реактора, конструкции установки, технологии изготовления уран-графитовых деталей для АЗ с требуемыми свойствами, способа устранения термических напряжений, возникающих в топливе при работе реактора, и многими другими вопросами. В результате проведения обширных исследований и разработок были найдены научно-технические решения, которые позволили создать реактор, имеющий рекордно высокие значения флюенса быстрых нейтронов при минимальной ширине импульса на половине его высоты 2 мс, в объемах, доступных для размещения облучаемых объектов: $\sim 1 \cdot 10^{16}$ нейтр./см² за импульс в контейнере

центрального канала; $\sim 1 \cdot 10^{15}$ нейтр./см² за импульс на внешней поверхности корпуса реактора. Такие высокие значения флюенса быстрых нейтронов в активной зоне данного реактора связаны с использованием в качестве топливного материала уникальной дисперсной уран-графитовой композиции. Она представляет собой однородную спрессованную смесь диоксида урана с графитом. Отношение числа ядер графита к числу ядер урана-235 составляет 16. Обогащение урана по изотопу ²³⁵U равно 90 %. Отметим, что по флюенсу нейтронов

за импульс и по объему зон для проведения экспериментов по облучению образцов реактор БИГР значительно превосходит другие быстрые АИР. Однако по третьему из основных показателей – длительности импульса делений – БИГР существенно уступает небольшим по размерам реакторам с АЗ из высокообогащенного металлического урана. Основные эксплуатационные характеристики реактора БИГР представлены в табл. 1, фотография – на рис. 1. Развернутая конструктивная схема реактора БИГР представлена на рис. 2.

Таблица 1

Основные эксплуатационные характеристики реактора БИГР

Характеристика	Значение
Диаметр АЗ, см	76
Диаметр осевого канала АЗ, см	18
Высота АЗ, см	67
Время жизни мгновенных нейтронов, с	$3,6 \cdot 10^{-7}$
Масса урана (обогащение 90 % по ²³⁵ U) в активной зоне, кг	~ 444
Максимальное энерговыделение в импульсном пуске, МДж (делений)	280 ($\sim 10^{19}$)
Максимальное энерговыделение в статическом пуске, МДж/сут	500
Минимальная длительность импульса на полувысоте, мс	2
Длительность квазиимпульса, с	От 0,5 до $\sim 100,0$
Максимальная температура поверхности материала активной зоны, °С	450
Максимальный флюенс нейтронов, см ⁻² : – в контейнере центрального канала – на поверхности активной зоны	$\sim 10^{16}$ $\sim 10^{15}$
Экспозиционная доза сопутствующего гамма-излучения, Р: – на внешней поверхности активной зоны – в центральном канале	$\sim 1,5 \cdot 10^5$ $\sim 1,5 \cdot 10^6$
Средняя энергия нейтронов, МэВ: – на внешней поверхности активной зоны – в центральном канале	$\sim 0,8$ $\sim 0,56$
Средняя энергия гамма-квантов, МэВ	~ 1



Рис. 1. Импульсный реактор БИГР: 1 – ресивер РС1, 2 – трубопроводы системы охлаждения аппарата БИГР, 3 – трубопроводы газовакуумной системы, 4 – реактор (внешняя оболочка – кадмиевый экран), 5 – трубопроводы системы дозконтроля, 6 – тележка для облучаемых образцов

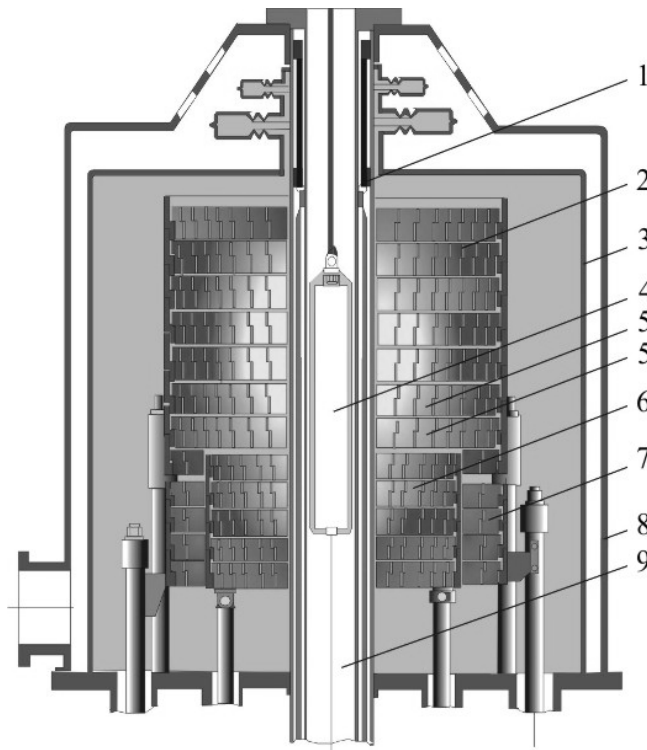


Рис. 2. Вид AZ реактора БИГР в осевом сечении: 1 – импульсный блок, 2 – неподвижная часть AZ, 3 – корпус AZ, 4 – контейнер для облучаемых образцов, 5 – топливные кольца AZ, 6 – блок грубого регулирования реактивности, 7 – блок точного регулирования реактивности, 8 – кожух охлаждения, 9 – осевая полость

Важно отметить, что АЗ реактора составлена в виде «матрешки» из кольцевых твэлов, свободно лежащих друг на друге. Такая конструкция АЗ является оригинальной, выполнена впервые и разрабатывалась именно для этой установки. В применении к реактору с АЗ из уран-графитового топлива такая конструкция представляется наиболее естественной и даже безальтернативной. В реакторе с АЗ из хрупкого дисперсного материала было бы трудно реализовать силовое крепление АЗ. Кроме того, встретились бы большие трудности при изготовлении массивных топливных деталей с требуемыми свойствами.

Реактор БИГР не имеет отражателя. Активная зона реактора состоит из трех блоков: неподвижного блока (верхняя часть АЗ), блока точной регулировки реактивности (наружная часть нижней части АЗ), блока грубой регулировки реактивности (внутренняя часть нижней части АЗ). В собранном виде топливная часть АЗ имеет вид полого цилиндра высотой ~670 мм, с внешним диаметром ~760 мм, внутренним диаметром ~180 мм. Расположение цилиндра – вертикальное. Каждый из трех блоков АЗ набран из секций в виде дисков высотой 6 см. Чтобы избежать больших термических напряжений, секции разбиты на коаксиальные кольца с толщиной в радиальном направлении 3-5 см. Между кольцами по радиусу и высоте имеются зазоры, достаточные для свободного теплового расширения. В секциях каждое уран-графитовое кольцо служит опорой для соседнего внутреннего кольца. Внешние кольца секций расположены на кольцевых опорах из нержавеющей стали. Плоскость опоры каждого кольца выполнена на середине его высоты, этим исключается поступательное перемещение колец в осевом направлении при нагревании топлива (и подскок колец на опорах, если бы разогрев АЗ сопровождался динамическими эффектами).

Неподвижная часть АЗ, блоки грубого (БГР) и точного регулирования (БТР) реактивности с целью предотвращения окисления и распыления топлива заключены в единый герметичный корпус, заполненный гелием. Он изготовлен из нержавеющей стали, имеет толщину 8 мм, рассчитан на избыточное дав-

ление 0,03 МПа. Объем корпуса сообщается с ресивером, расположенным в реакторном зале. Связь с ресивером исключает подъем давления в корпусе в момент импульса выше допустимого уровня. В целях обеспечения долговечности корпуса сварные швы в зонах больших термических напряжений исключены благодаря применению штампованных днищ. С этой же целью внутренняя труба герметичного корпуса соединена с крышкой корпуса посредством гибкого компенсатора.

Неподвижный блок АЗ подвешен на четырех колоннах, закрепленных на опорной плите. Блок точного регулирования нижним опорным стальным кольцом шарнирно подвешен в четырех точках к двум диаметрально расположенным вертикально подвижным штангам. Блок грубого регулирования шарнирно опирается на ролик, закрепленный во второй штанге. Указанная подвеска допускает свободное тепловое расширение элементов АЗ. В целях герметизации колонны и штанги связаны с корпусом с помощью сильфонов.

Блоки грубого и точного регулирования могут перемещаться в вертикальном направлении на базе 145 мм, приближаясь к неподвижному блоку АЗ на предельное расстояние 2 мм. Связь их с двигателями осуществляется посредством электромагнитов. Выключение тока в электромагнитах вызывает падение блоков и быстрое заглушение реактора (аварийный сброс). Кинетическая энергия, приобретаемая блоками при падении, гасится масляными демпферами.

Приводы БГР и БТР расположены под защитной плитой и состоят из механизмов перемещения и механизмов упора. Механизмы перемещения обеспечивают дистанционно управляемое перемещение БГР и БТР вверх и вниз, а также быстрый сброс блоков в нижнее положение при поступлении соответствующих сигналов СУЗ.

Механизмы упоров позволяют более точно останавливать блоки регулирования в определенных положениях для большей повторяемости характеристик и повышения безопасности работы.

Охлаждение активной зоны БИГР осуществляется естественной конвекцией, но при

Режимы работы реактора и характеристики импульсов делений

работе на мощности в статическом режиме и после генерирования импульса может использоваться принудительное воздушное охлаждение корпуса АЗ и центрального канала. Охлаждающий воздух забирается из смежных помещений, проходит между внутренней трубой корпуса АЗ и центральной трубой, являющейся направляющей для импульсного стержня, и выбрасывается через фильтрующие элементы в атмосферу. При этом охлаждается внутренняя часть АЗ и ИС (импульсного стержня). Воздух, забираемый из реакторного зала, через отверстия в верхней части кожуха корпуса АЗ проходит между кожухом и корпусом АЗ и выбрасывается через фильтрующие элементы в атмосферу. При этом охлаждается внешний корпус АЗ.

Внешняя поверхность кожуха охлаждения облицована кадмием толщиной 1 мм, чтобы исключить влияние на активную зону замедленных нейтронов, отраженных от стен реакторного зала и экспериментального оборудования.

В состав АЗ также входит импульсный стержень, представляющий собой профилированный, тонкостенный цилиндр из нержавеющей стали. Он предназначен для быстрого ввода реактивности при переводе реактора в надкритическое по мгновенным нейтронам состояние. Привод ИС является комбинацией пневматического и электромеханического приводов. Он позволяет осуществлять быстрый ввод реактивности (со скоростью до $\sim 25 \beta_{эф}/с$) для генерирования импульсов (или квазиимпульсов) делений с требуемым переходом выше мгновенного (или запаздывающего) критического состояния.

Таким образом, можно отметить, что важнейшими особенностями реактора БИГР являются:

— использование смеси из двуокиси урана с графитом для изготовления твэлов в виде колец с большими габаритами;

— свободное (с зазорами) размещение кольцевых твэлов в дискообразных секциях и шарнирные подвески блоков АЗ на опорах.

Установка работает в следующих режимах:

- подготовительном;
- импульсном:
 - с остановкой ИС в АЗ,
 - с пролетом ИС через АЗ;
- квазиимпульсном;
- статическом.

С целью повышения ядерной безопасности при подготовительном режиме работы у АЗ присутствует источник нейтронов (изотопный Pu-Be источник). Непосредственно перед проведением импульса или включением статического режима работы источник перемещается в защитный блок.

В подготовительном режиме производится подготовка реактора к работе на мощности: подбор стартового состояния установки и калибровка импульсного стержня.

В импульсном режиме на реакторе БИГР могут генерироваться импульсы делений, содержащие быстропеременную и медленноменяющуюся части, и так называемые «бесхвостые» импульсы. Разработанные на БИГРе режимы генерирования импульса делений в совокупности обеспечивают возможность при заданном энерговыделении получать импульсы различной длительности (от $2 \cdot 10^{-3}$ с до 10^2 с и более), а также при заданной (точнее, при небольшом изменении) длительности импульса получать различное энерговыделение (от ~ 3 МДж до ~ 280 МДж). Это существенным образом повышает эффективность использования реактора для экспериментальных исследований.

Для формирования импульса делений в реакторе БИГР используются два принципа: самогашение вспышки мощности за счет отрицательного температурного коэффициента реактивности и регулирования мощности органами управления реактора. При этом внутренний механизм самогашения имеет место при работе реактора в любом режиме, а регулирование мощности внешними устройствами применяется дополнительно при работе реак-

тора в «пролетном» и «квазиимпульсном» режимах. В «пролетном» режиме импульсный стержень пролетает через активную зону с большой скоростью и изменяет реактивность реактора, что оказывает влияние на форму импульса делений на мгновенных нейтронах.

В настоящее время основным режимом работы реактора является режим с генерированием импульса от «сильного» источника («стрельба с мощности» с остановкой ИС в центре АЗ), который стал штатным режимом работы реактора. Этот режим позволяет исключить опасность, связанную с возможностью смещения или изменения состояния экспериментальных образцов и бесконтрольного ввода при этом дополнительной избыточной реактивности к моменту генерирования импульса (контроль осуществляется по периоду разгона мощности перед пуском ИС). Характерные формы импульса, получаемые на реакторе, представлены на рис. 3, основные характеристики нейтронного импульса – в табл. 2. Отметим, что в случае пролета импульсного стержня через АЗ параметры пика импульса совпадают с таковыми в режиме с остановкой ИС, а хвост импульса уменьшается за счет снижения реактивности АЗ при вылете ИС. Это свидетельствует о том, что формирование

пика импульса в обоих случаях осуществляется за счет теплового самогашения реактивности реактора. Изменяется только доля энерговыделения в «хвосте» импульса (от ~120 МДж при остановке ИС в АЗ до ~0 при пролете ИС через АЗ).

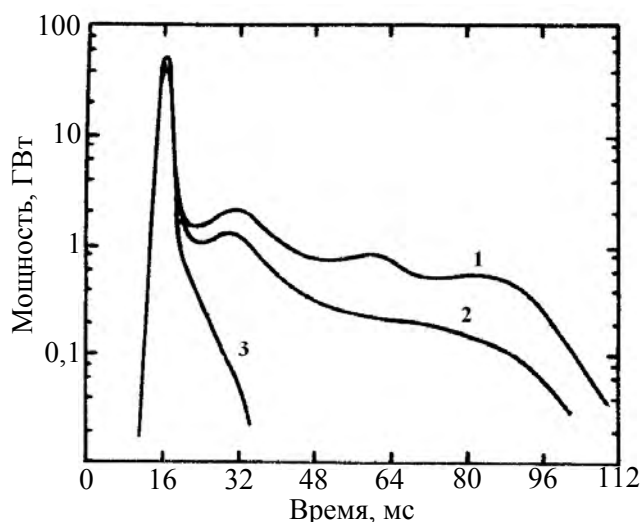


Рис. 3. Форма импульса делений при различных режимах работы реактора: 1, 2 – в режиме с остановкой импульсного блока в АЗ с синхронным и опережающим сбросом соответственно; 3 – при быстром пролете блока через АЗ с иницированием от сильного (~10 кВт) источника запаздывающих нейтронов

Таблица 2

Основные характеристики нейтронного импульса в реакторе БИГР

Параметр	Режим с остановкой ИС в АЗ и иницированием от сильного источника запаздывающих нейтронов (ЗН), мощность реактора ~10 Вт	Пролетный режим с иницированием от сильного источника ЗН, мощность реактора ~10 кВт
Полное энерговыделение в АЗ, МДж	60–280	2–180
Ширина импульса на полувысоте, мс	2–16	2–5
Максимальная мощность в пике, МВт	$7,5 \cdot 10^4$	
Макс. доля энерговыделения в быстрой части импульса, %	55	90

В целях производства мощных импульсных n -, γ -излучений длительностью 0,5–500 с на реакторе БИГР разработан и введен в эксплуатацию квазиимпульсный режим, при котором импульс делений генерируется на запаздывающих нейтронах. Формирование импульса делений при этом производится либо только за счет теплового самогашения реактивности, либо в этом процессе дополнительно используется регулирование реактивности путем перемещения блоков БГР и БТР. В данном режиме реализуются полномасштабные по энерговыделению импульсы с колоколообразной, приближенно треугольной или прямоугольной формой. Это позволяет решать некоторые прикладные задачи, которые не могут быть выполнены на других быстрых реакторах. Значения параметров реализованных на БИГР прямоугольных импульсов не имеют аналогов в классе быстрых импульсных реакторов: при длительности импульса $\sim 0,5$ с достигается мощность ~ 500 МВт. Характерные формы ква-

зиимпульсов делений представлены на рис. 4, основные характеристики – в табл. 3.

Реактор БИГР может работать также на стационарной мощности в течение продолжительного (несколько суток) времени. Максимальная мощность при работе реактора установлена равной 500 кВт. В течение суток допускается получать энерговыделение до 500 МДж. В данном режиме можно использовать принудительное воздушное охлаждение корпуса и центрального канала АЗ. Время охлаждения реактора после пуска с максимальным энерговыделением составляет с принудительным охлаждением ~ 24 ч, а без него ~ 72 ч.

Обобщая вышесказанное, можно утверждать, что различные режимы работы на реакторе БИГР делают его универсальным источником n - γ -излучений, который позволяет:

- при фиксированной длительности импульса ($\tau_{1/2} = 2 \dots 4$ мс) в широком диапазоне регулировать энерговыделение и пиковую мощность;

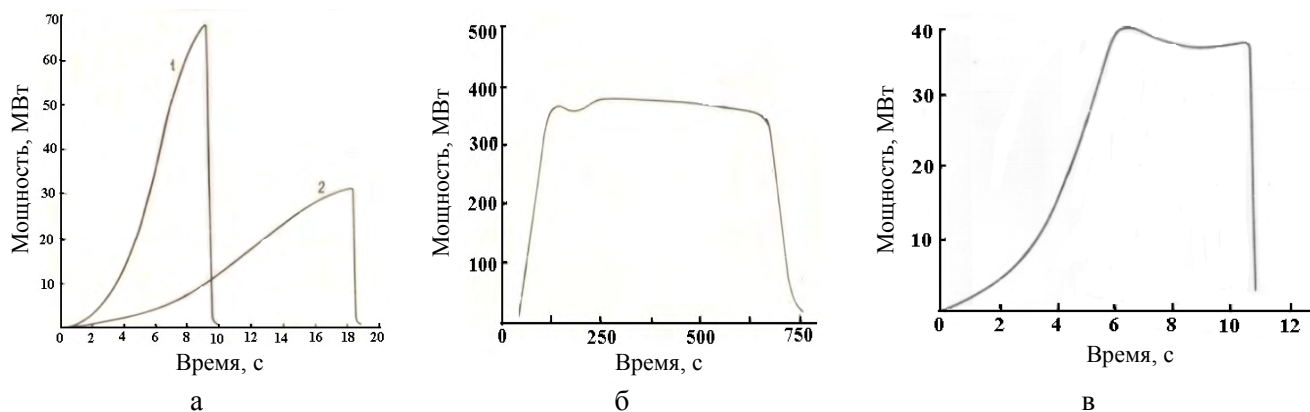


Рис. 4. Характерные формы квазиимпульсов реактора БИГР: 1 – квазиимпульсы с периодами разгона 1,3 с (1) и 3,1 с (2); 2 – квазиимпульс с периодом разгона 14,7 мс; 3 – квазиимпульс с периодом разгона 1,3 с и регулированием мощности

Таблица 3

Основные характеристики квазиимпульса реактора БИГР

Параметр	Значение
Длительность квазиимпульса, с	0,5–500,0
Максимальная мощность квазиимпульса, МВт	$1,5 \cdot 10^3$
Полное энерговыделение, МДж	до 280

— при фиксированном (в том числе максимальном $Q = 280$ МДж) энерговыделении в АЗ варьировать длительность генерирования этой энергии в диапазоне трех порядков величины (от $\sim 0,1$ с до 10^2 с). При этом форма импульса может быть прямоугольной, треугольной, колоколообразной. Указанная универсальность позволяет успешно применять реактор БИГР для исследований по самым различным направлениям науки и техники.

Оборудование для облучений

Реактор БИГР эксплуатируется при рекордно высоких энерговыделениях за импульс. В его АЗ накапливается больше радиоактивных продуктов деления (РПД) ядер урана, чем в реакторах с металлической АЗ. В связи с этим радиационная обстановка не позволяет персоналу находиться длительное время в реакторном зале для выполнения вспомогательных и других операций. Поэтому установка

экспериментальных образцов для облучения происходит дистанционно, в отдельных помещениях, защищенных от остаточного гамма-излучения активной зоны. Облучение объектов возможно проводить как в центральном канале в контейнере (диаметр – 10 см, высота – 550 см), так и снаружи АЗ в зале размером $11,5 \times 10 \times 8$ м. Для облучения у боковой поверхности активной зоны образцы могут располагаться следующим образом:

— на загрузочной тележке для образцов (тележка откатной защиты) либо на тележке с механизмом разворота из состава электро-механизмов (ЭМ), либо других тележках без механизма разворота, введенных в эксплуатацию в установленном порядке;

— в отдельных случаях – непосредственно в реакторном зале;

— на загрузочном столе испытательного стенда.

На рис. 5 наглядно показаны возможные места для облучения объектов.

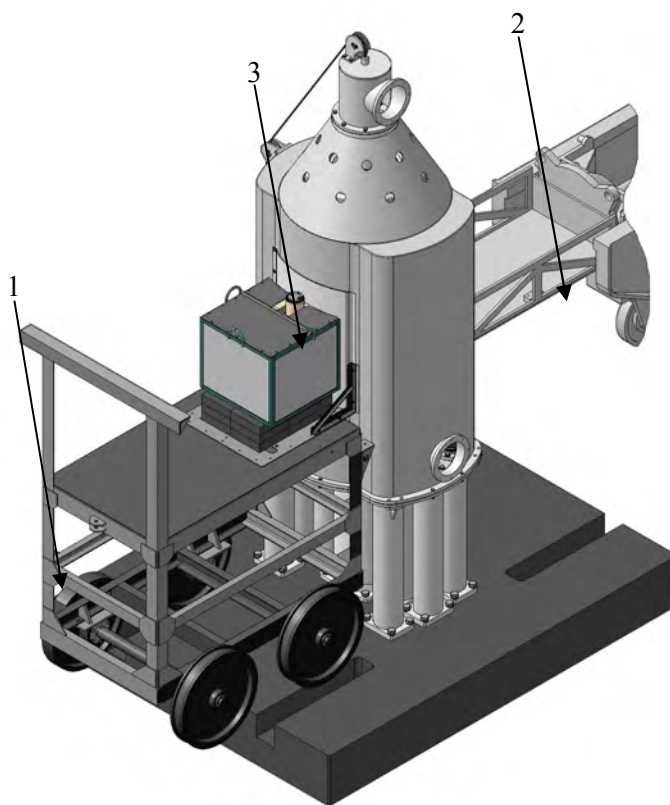


Рис. 5. Возможные места для облучения объектов: 1 – загрузочная телега; 2 – загрузочный стол испытательного стенда; 3 – реактор БИГР

При облучении образцов на платформе тележки размеры области для облучения составляют вдоль рельсовой колеи 1300×880×820 мм (длина×ширина×высота). Масса груза – до 1000 кг.

В центр АЗ образцы доставляются в контейнере центрального канала. Загрузка образцов на облучение производится из лабораторных помещений, защищенных от остаточного гамма-излучения АЗ. Предусмотрены специальные каналы для вывода измерительных коммуникаций в лабораторные помещения для непосредственного контроля за облучаемыми объектами в процессе их облучения. Перемещение загрузочных устройств в целях обеспечения безопасности персонала возможно только при полностью заглушенном реакторе.

Испытательный стенд используется для доставки образцов к поверхности реактора БИГР с помощью загрузочного стола. Размеры области для облучений составляют 750×600×600 мм (длина×ширина×высота). Масса – до 400 кг.

Для расширения характеристик излучения ИЯР БИГР имеет следующие экспериментальные устройства [7]:

— стальной отражатель с габаритами 750×200×750 мм (д×ш×в), используется для повышения флюенса быстрых нейтронов и увеличения однородности его распределения в больших объемах у поверхности АЗ. При размещении стального отражателя на расстоянии ~ от 100 до 200 мм от поверхности АЗ происходит увеличение флюенса нейтронов с энергией более 0,58 МэВ в 1,5-2,0 раза в пространстве между отражателем и поверхностью АЗ. Максимальная реактивность, вносимая отражателем, составляет $1,8 \beta_{эф}$;

— отражатель из бериллия (д×ш×в 500×500×450 мм), позволяет увеличить поток тепловых нейтронов. Максимальная реактив-

ность, вносимая отражателем, составляет $1,25 \beta_{эф}$ (используется со щитом из карбида бора на поверхности, обращенной к АЗ).

— модификации *n*- γ -конверторов из смеси полипропилена с двуокисью кадмия. Служат для получения мощных импульсов гамма-излучения с возможностью при этом варьировать соотношение доз γ -излучения и флюенса нейтронов. При размещении конверторов у АЗ доза γ -излучения увеличивается в значимых объемах (д×ш×в 250×250×250 мм и более, до 500×500×500 мм), в 4-8 раз при одновременном уменьшении флюенса нейтронов в 4-10 раз. Максимальная реактивность, вносимая конвертором, составляет $0,6 \beta_{эф}$.

Анализ использования установки БИГР

Исследовательский комплекс БИГР достаточно интенсивно используется как мощный источник *n*- γ -излучений для определения последствий радиационного воздействия на различные исследуемые объекты. В табл. 4 представлены суммарные данные по направлениям использования установки за все время с 1977 по 2015 гг. в различных режимах работы.

Следует отметить, что все более востребованными при проведении исследований стали дополнительные экспериментальные устройства, которыми оснащена установка: блок отражателя-замедлителя, *n*- γ -конвертор.

На всем протяжении эксплуатации установки БИГР значительный вклад в поддержание ее в рабочем состоянии, проведение ее модернизации вносили следующие сотрудники ИЯРФ: М. И. Кувшинов, И. Г. Смирнов, В. Н. Богданов, А. Я. Горячев, А. Г. Пергаев, М. В. Хлестков, Г. М. Пергаев, И. В. Сывороткин и действующие сотрудники группы эксплуатации установки БИГР.

Данные по распределению пусков установки БИГР

Направления использования реактора БИГР	Количество пусков в разных режимах работы установки			
	Импульсный с остановкой ИС в АЗ	Импульсный с пролетом ИС через АЗ	Квазиимпульсный	Статический
Отработка методик регистрации n - γ -излучений	107	11	2	46
Исследования стойкости материалов	161	33	25	120
Испытания блоков электроники и автоматики	265	33	242	97
Узлы конструкций	178	115	69	71
Лазерные исследования	30	7	62	16
Испытания твэл	129	8	37	144
Всего	883	212	373	509
Сумма	1977			

Список литературы

1. Кувшинов М. И., Колесов В. Ф., Воинов А. М., Смирнов И. Г. Апериодический импульсный реактор БИГР // ВАНТ. Сер. Импульсные реакторы и простые критические сборки. 1988, вып. 1, с. 3–12.

2. Колесов В. Ф. Апериодические импульсные реакторы. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1999.

3. Кувшинов М. И., Колесов В. Ф., Смирнов И. Г., Богданов В. Н. 25 лет эксплуатации импульсного реактора БИГР // III Международная конференция «Проблемы лазеров с ядерной накачкой и импульсные реакторы». – Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2003. 664 с. Электронный ресурс № 006538 ЕСН.

4. Устиненко В. А., Богданов В. Н., Горбунов В. В. и др. Исследования образцов микротвэлов в импульсных экспериментах на реакторе БИГР // ВАНТ. Сер. Физика ядерных реакторов, 2007, вып. 2, с. 3–12.

5. Кувшинов М. И., Смирнов И. Г., Рудаков Г. П., Игнатов И. И., Богданов В. Н., Сибгатуллин И. З. Генерирование импульса деле-

ний в реакторах БИР и БИГР при пролете стержня через активную зону с инициированием от ИНГ // ВАНТ. Сер. Импульсные реакторы и простые критические сборки, 1988, вып. 1, с. 25–32.

6. Богданов В. Н., Василенко А. Г., Жеребцов В. В. и др. Экспериментальный комплекс ЛМ/БИГР // ВАНТ. Сер. Физика ядерных реакторов, 2000, вып. 2/3, с. 13–15.

7. Кувшинов М. И., Смирнов И. Г., Богданов В. Н. Характеристики импульсного реактора БИГР с отражателями из стали, графита, полиэтилена // ВАНТ. Сер. Физика ядерных реакторов, 1989, вып. 4, с. 25–30.

Контактная информация –

Мамаев Дмитрий Викторович,
ведущий инженер по испытаниям ИЯРФ,
РФЯЦ-ВНИИЭФ,
e-mail: otd4@expd.vniief.ru

Статья поступила в редакцию 16.06.2017.

Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов, 2017, вып. 4, с. 21–31.