

КОНЦЕПЦИЯ НОВОГО ВЫСОКОПОТОЧНОГО ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА НЕЙТРОНОВ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВЕ НИТРИДА НЕПТУНИЯ

Лопаткин А.В., Третьяков И.Т., Романова Н.В., Горячих А.В., Попов В.Е.,
Кокорин Н.Д. (АО «НИКИЭТ», г. Москва, Россия); Аксёнов В.Л.,
Рзянин М.В., Швецов В.Н., Шабалин Е.П. (ОИЯИ, г. Дубна, Россия)

В настоящее время работает импульсный реактор ИБР-2 после модернизации, завершённой в 2007–2011 годах. По оценкам в диапазоне 2032–2042 годов установка выработает продлённый ресурс. В настоящее время ИБР-2 эффективно используется исследователями из десятков стран для проведения экспериментов в области физики твёрдого тела. Для сохранения этого направления исследований на мировом уровне в Объединённом институте ядерных исследований необходимо к середине 2030-х годов текущего столетия создать новый источник нейтронов, условно названный ИБР-3. Исходя из целесообразности сохранения и развития научных методик и направлений исследований в ОИЯИ новый источник должен быть импульсным, периодического действия.

В новом реакторе предлагается использовать топливо на основе нитрида нептуния [1–3].

Главная особенность изотопа ^{237}Np (единственный долгоживущий изотоп нептуния) в отличие от традиционных ядерных композиций на основе ^{235}U и ^{239}Pu — это пороговый характер сечения деления, который определяет следующие особенности реактора:

- время жизни поколения быстрых нейтронов в зоне с нептунием значительно ниже, чем для зоны с плутонием. Этот фактор позволяет иметь более короткую вспышку быстрых и тепловых нейтронов в режиме работы пульсирующего реактора и более высокую мощность при заданной длительности импульса тепловых нейтронов для режима бустера;

- эффективная доля запаздывающих нейтронов оказывается заметно ниже той же величины для ^{239}Pu . Низкое значение определяет малую фоновую мощность в промежутках между импульсами наряду с высокой эффективностью модулятора реактивности;

- незначительный эффект реактивности при выгорании топлива за счёт наработки ^{238}Pu .

- более высокая плотность потока нейтронов при одинаковой с реакторами на уране и плутонии тепловой мощности.

Исходя из изложенного специалистами АО «НИКИЭТ» при научном руководстве ОИЯИ сформирована концепция нового импульсного высокопоточного источника нейтронов.

Разрабатываемый импульсный источник нейтронов периодического действия — исследовательский реактор для проведения экспериментов на выведенных пучках с пиковой плотностью потока тепловых нейтронов $(2,5\text{--}6) \cdot 10^{16} \text{ с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$, что соответствует средней по времени плотности потока тепловых нейтронов до $1,0 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$.

Конструкция реактора. Реактор эксплуатируется в составе реакторной установки, включающей систему охлаждения, систему аварийного расхолаживания реактора, комплекс экспериментальных каналов и другие системы.

Технические характеристики реактора имеют следующие показатели:

Средняя тепловая мощность, МВт	15
Частота генерации импульсов, Гц	10
Топливо	NpN
Температура теплоносителя, °С:	
на входе в активную зону	290
на выходе из активной зоны	390
Эффективная доля запаздывающих нейтронов	0,0013
Время жизни мгновенных нейтронов, нс	11
Эффективная длительность импульса нейтронов, мкс	200
Средняя ППТН с поверхности водяного замедлителя при мощности 15 МВт, $10^{13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	9,5–12,4

Для проведения экспериментов в массиве биологической защиты и стационарном отражателе организованы каналы для вывода пусков нейтронов в экспериментальный зал. Для обеспечения требуемого спектра нейтронов в экспериментальных каналах в полостях бериллиевого отражателя размещены водяные замедлители (рисунки 1–3).

Нижняя часть корпуса реактора и активная зона разделены на два сектора, в пространстве между секторами расположен модулятор реактивности. В каждый из секторов реактора с размещенной в нем половиной активной зоны, осуществляется подвод теплоносителя через верхнюю напорную камеру.

В верхней части корпуса расположены защитные поворотные пробки, предназначенные для выполнения перегрузок топлива и радиационной защиты в верхнем направлении.

Модулятор реактивности представляет собой вращающийся диск с размещенными в нем блоками из гидрида титана. В диске имеется окно без замедлителя, при прохождении которого через активную зону происходит импульс.

В качестве топлива в реакторе используются твэлы втулочного типа (нитрид нептуния). Рассмотрены варианты активной зоны с ТВС бесчехлового типа и чехловые ТВС и потвэльная загрузка активной зоны.

РО СУЗ размещены как вне корпуса реактора, так и непосредственно в активной зоне. Исполнительные механизмы РО СУЗ, расположенных вне корпуса реактора, выведены в подреакторное помещение. Исполнительные механизмы РО СУЗ, расположенных непосредственно в активной зоне, размещены на поворотной пробке реактора.

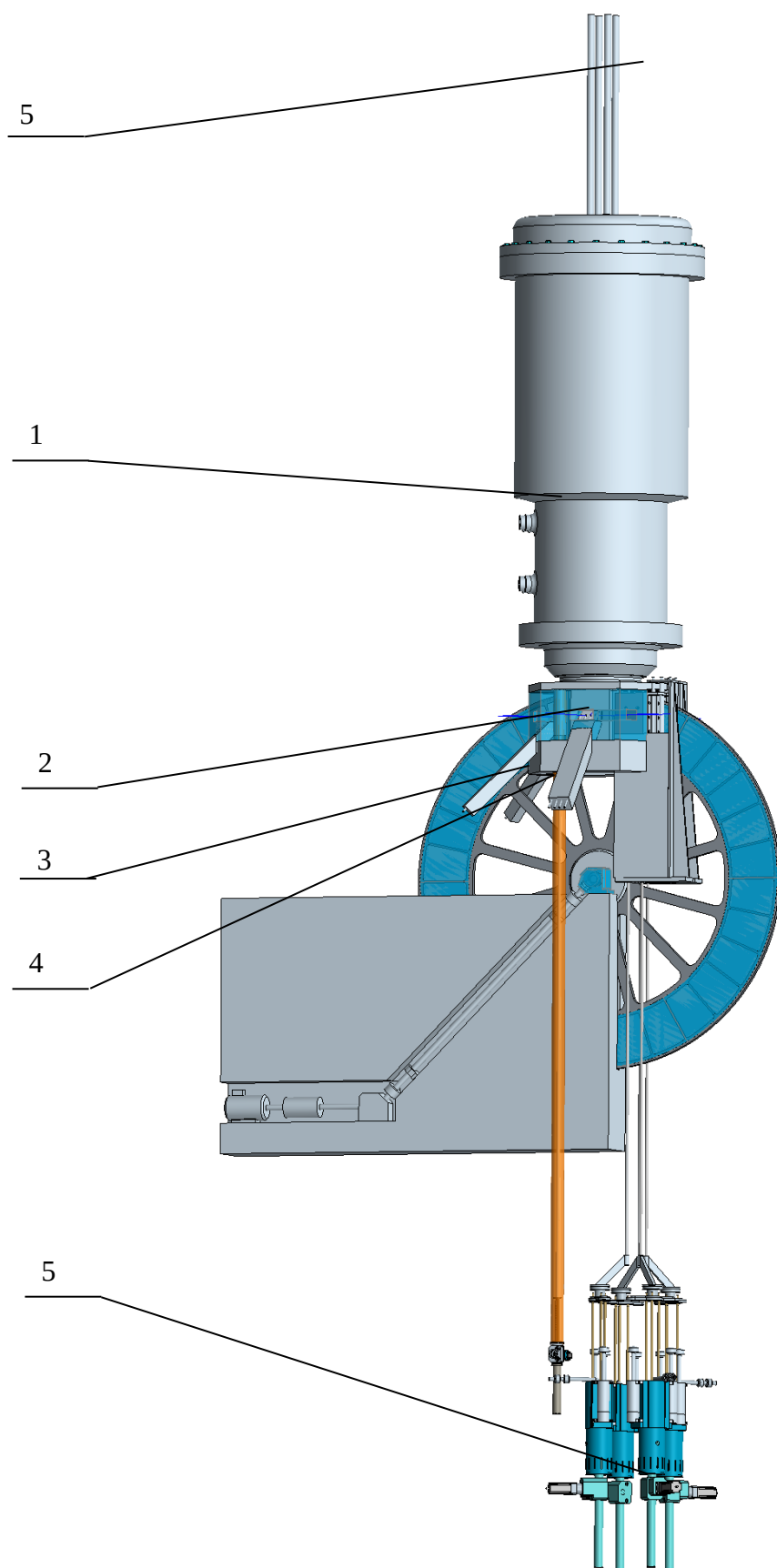
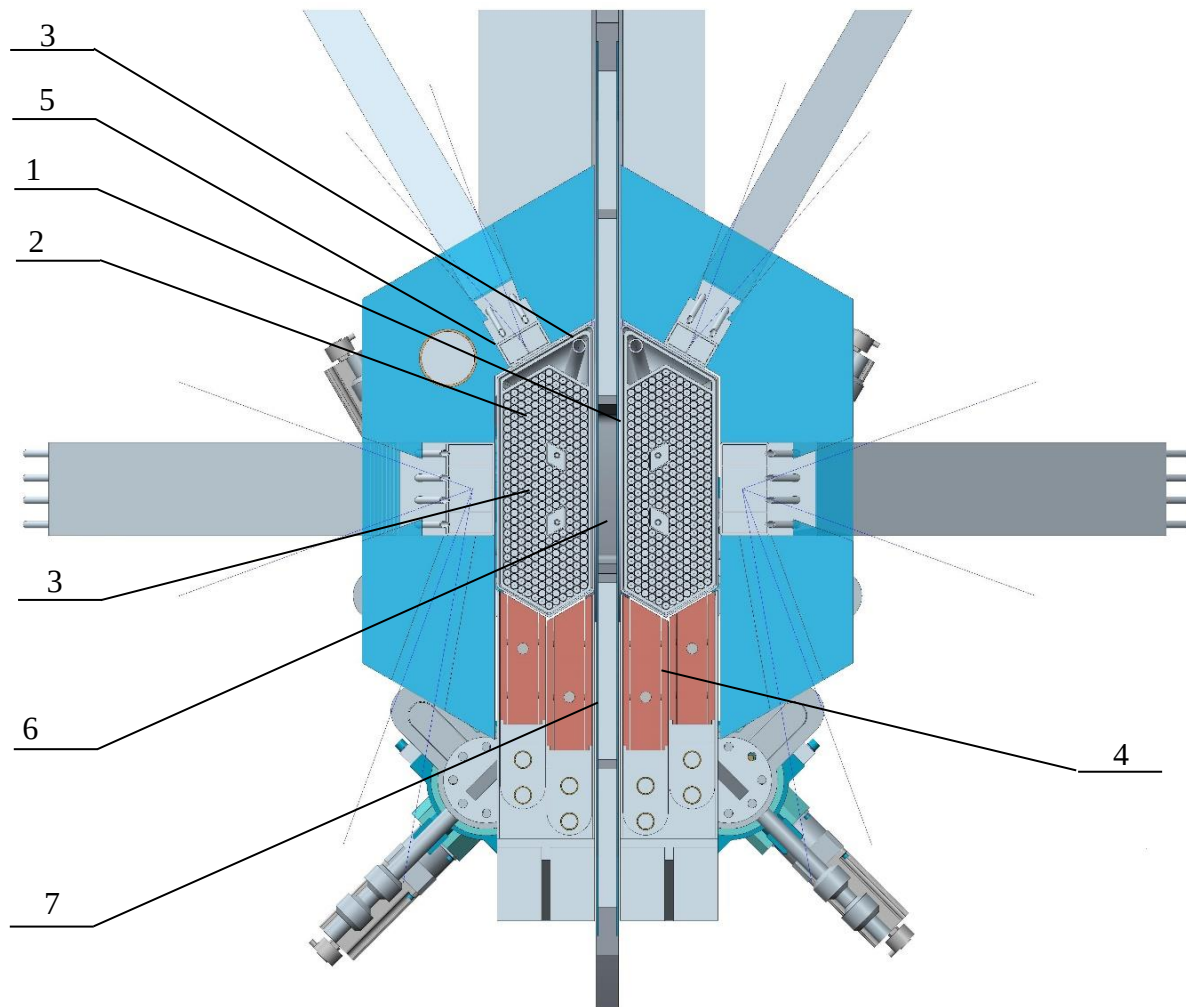


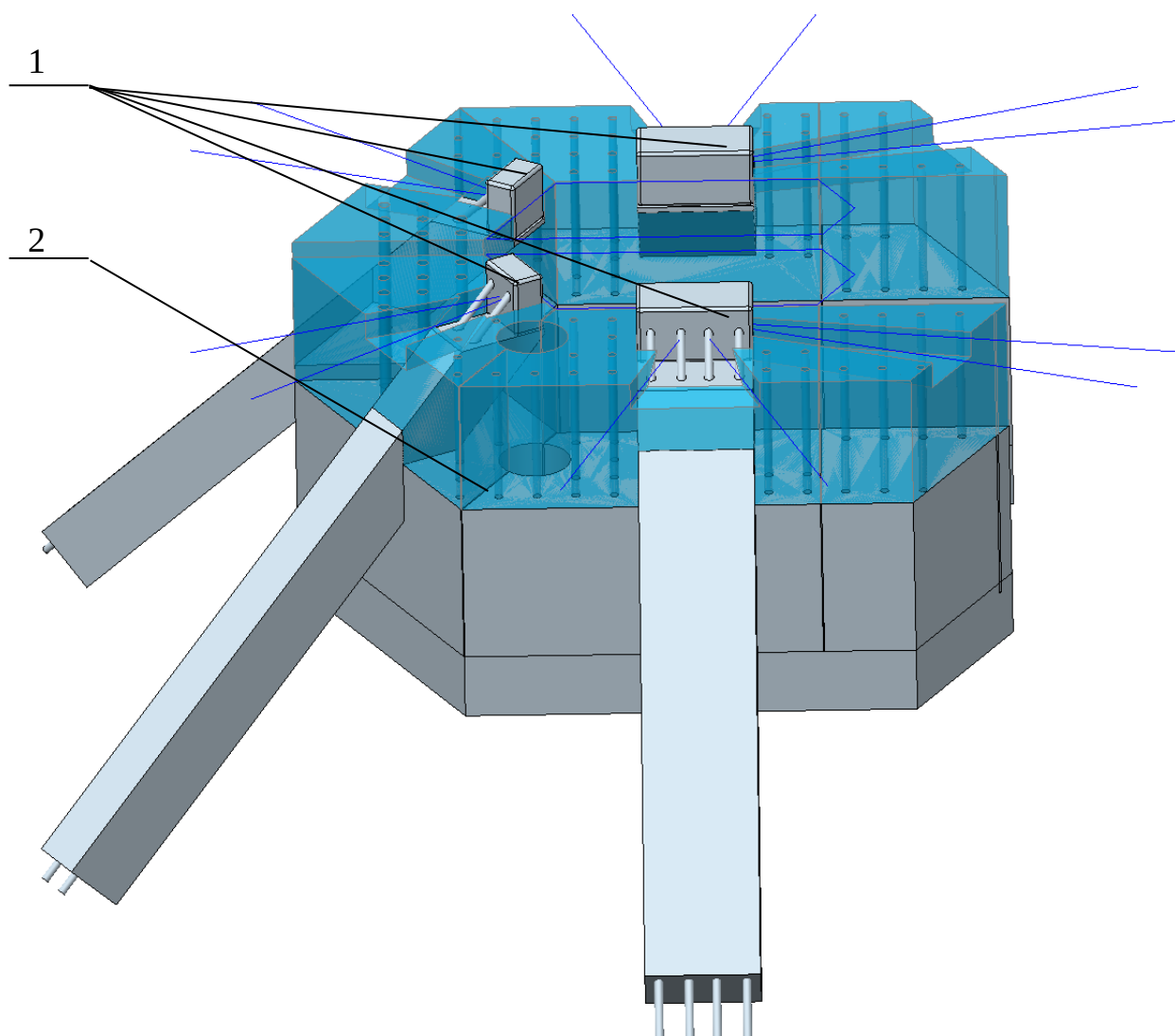
Рис. 1. Реактор:
 1 – реактор; 2 – отражатель стационарный; 3 – модулятор реактивности;
 4 – замедлитель; 5 – ИМ СУЗ



*Рис. 2. Разрез в центральной плоскости активной зоны:
 1 – реактор; 2 – отражатель стационарный; 3 – замедлитель;
 4 – модулятор реактивности; 5 – РО АР; 6 – РО КО; 7 – РО АЗ*

В центральной плоскости активной зоны расположены 24 горизонтальных экспериментальных канала (что существенно больше, чем ИБР-2), предназначенных для вывода пучков от замедлителей, размещенных в полостях стационарного отражателя. Для перекрытия экспериментальных каналов используются шиберы гильотинного типа.

Для доставки замедлителей, а также обеспечения охлаждения и прокачивания их сред предусмотрены комплексы, включающие собственно камеру замедлителя с системой обеспечивающих трубопроводов и оборудования, а также средства доставки и радиационную защиту. Доставка замедлителя осуществляется по наклонному каналу из специально предусмотренных помещений.



*Рис. 3. Общий вид комплекса замедлителей в отражателе:
1 – водяной замедлитель; 2 – отражатель*

Модулятор реактивности представляет собой диск с коробчатым ободом, в полости которого расположены блоки из гидрида титана (рисунок 4). Диск модулятора вращается в вертикальной плоскости. В коробе предусмотрено окно высотой 440 мм, не заполненное гидридом титана, при прохождении которого через активную зону происходит импульс мощности. Частота вращения модулятора 10 Гц.-Наружный диаметр диска 3720 мм.

Модулятор расположен под активной зоной реактора, что позволило укоротить нижнюю часть корпуса по сравнению с боковым расположением.

Охлаждение модулятора воздушное – потоком воздуха в шахте реактора, возникающим от вращения модулятора.

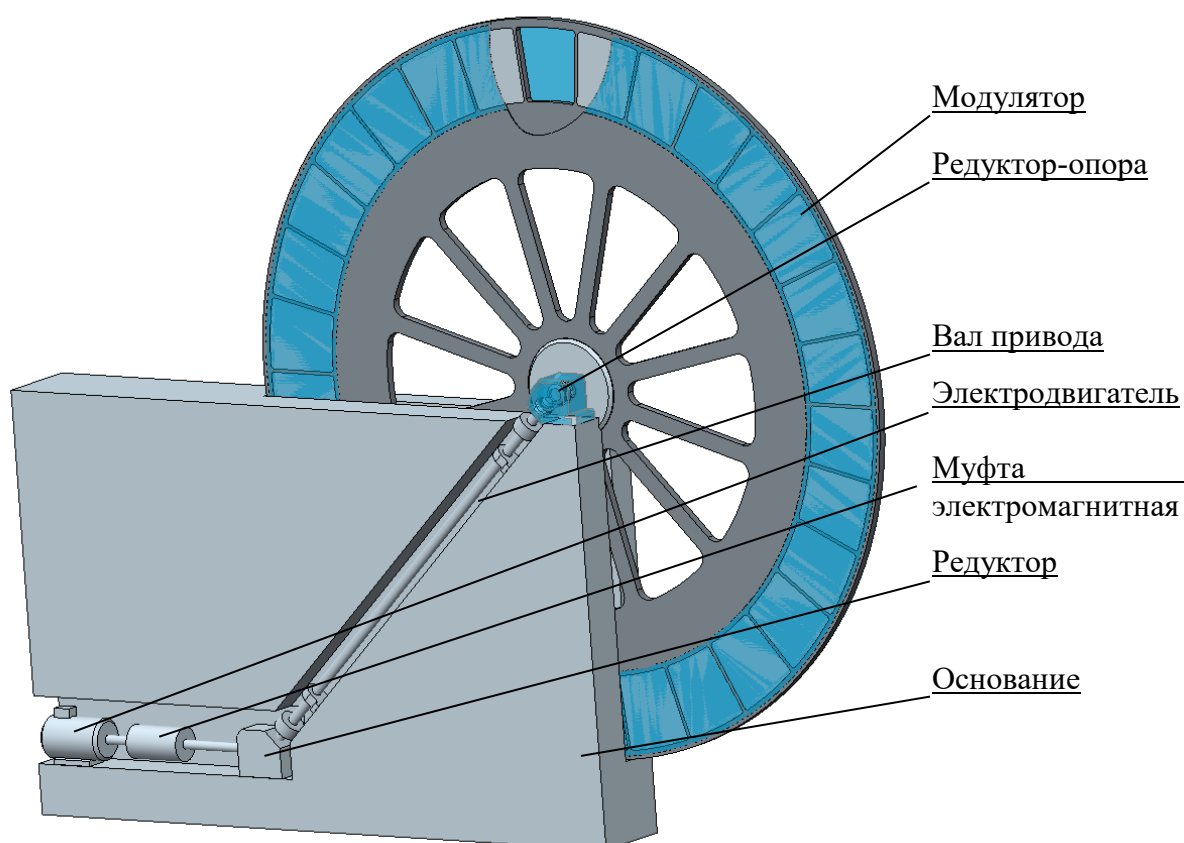


Рис. 4. Модулятор реактивности

Выводы. Концептуальная проработка нового импульсного высокопоточного источника нейтронов периодического действия показала, что потенциал для дальнейшего развития проекта имеется, первые результаты свидетельствуют о технической реализуемости и достижимости требуемой целевой характеристики источника (средней плотности потока тепловых нейтронов на поверхности водяного замедлителя на уровне $10^{14} \text{ с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$).

С другой стороны, инновационный характер установки потребует значительного объема НИОКР для обоснования и отработки технических решений и безопасности и надежности эксплуатации ИБР-3.

Список литературы

1. Аксенов В.Л., Ананьев В.Д., Комышев Г.Г. и др. О пределе нейтронных потоков в импульсных источниках на основе реакции деления — Письма в ЭЧАЯ, 2017, т. 14, № 5, с. 556–570.
2. Шабалин Е.П., Аксенов В.Л., Комышев Г.Г., Рогов А.Д. Высокопоточный импульсный исследовательский реактор на основе нептуния — Атомная энергия, 2018, т. 114, вып. 6, с. 309–314.
3. Аксенов В.Л., Шабалин Е.П. Концепция дубненского источника нейтронов четвертого поколения — Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2018, № 7, с.13–19.