

ВАРИАНТЫ РАЗВИТИЯ РЕАКТОРНОЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БАЗЫ АО «ИРМ» ПОСЛЕ 2035–2040 ГОДОВ

Третьяков И.Т., Романова Н.В., Калашников Н.С., Васюхно Д.В., Епанчинцева Д.С.,
Соколов С.А., Пулинец А.А. (АО «НИКИЭТ», Москва, Россия),
Селезнев Е.Н., Русских И.М., Роговский А.М., Зырянова А.А.
(АО «ИРМ», г. Заречный Свердловской обл., Россия)

Введение

На площадке АО «ИРМ» г. Заречный Свердловской обл. с 1966 года эксплуатируется исследовательский ядерный реактор ИВВ-2М, созданный по проекту АО «НИКИЭТ». Срок эксплуатации реактора ИВВ-2М установлен до 2025 года. В настоящий момент в АО «ИРМ» реализуется проект «Реконструкция и переоснащение реакторно-стендового комплекса исследовательской ядерной установки ИВВ-2М», что позволит продлить срок эксплуатации реактора ИВВ-2М на 10–15 лет.

После 2035–2040 гг. на площадке АО «ИРМ» возможно следующее развитие событий:

- будет продлен срок службы действующего реактора ИВВ-2М, что потребует его «глубокой» модернизации,
- будет сооружен новый реактор,
- действующий реактор будет остановлен для вывода из эксплуатации без замещающей мощности.

В рамках реализации первого или второго сценария развития событий специалисты

АО «ИРМ» разработали исходные технические требования к проекту «глубокой» модернизации действующего реактора ИВВ-2М и проекту нового реактора, на основании которых специалисты АО «НИКИЭТ» разработали два концептуальных предложения.

Разработка проектов модернизированного и нового реактора выполняется с целью:

- сохранения научно-исследовательского ядерного центра на площадке АО «ИРМ» на базе реакторного комплекса с водо-водяным реактором бассейнового типа,
- достижения более высоких потребительских характеристик реактора при сохранении преемственности компоновочных решений активной зоны реактора ИВВ-2М и расширении экспериментальных программ.

Основными направлениями использования исследовательской ядерной установки (ИЯУ) после 2035–2040 гг. являются:

- исследование и работы в области радиационной химии, радиационных, ядерных и реакторных технологий, нейтронно-активационного анализа,
- исследование ядерных материалов и полномасштабных изделий с делящимися веществами,
- исследование влияния излучений на приборы, датчики, полупроводниковые материалы, оборудование,
- исследование конструкционных материалов и материалов биологической защиты,
- исследование полимерных композиционных материалов и материалов аддитивного производства,
- радиографические исследования,
- наработка изотопов ^{14}C , ^{75}Se , ^{125}I , ^{131}Cs , ^{166}Ho , ^{177}Lu , ^{192}Ir ,
- ядерное легирование кремния (ЯЛК).

Также в конструкцию реакторной установки закладываются технические решения по системам и оборудованию, позволяющие использовать их в качестве референтных для центра ядерной науки и технологий.

1. Конструктивный облик модернизированного и нового реакторов

При разработке конструктивного облика полифункциональной, производственно-исследовательской ядерной установки был принят за основу проект ИЯУ ИВВ-2М, проверенной многолетним, положительным опытом эксплуатации.

С целью достижения требуемых значений параметров по плотности потока тепловых нейтронов ($6 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ – для модернизированного и $8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ – для нового реактора) были рассмотрены картограммы активных зон (рис. 1), основанные на принципах преемственности компоновки активной зоны реактора ИВВ-2М и возможности трансфера действующих экспериментальных программ.

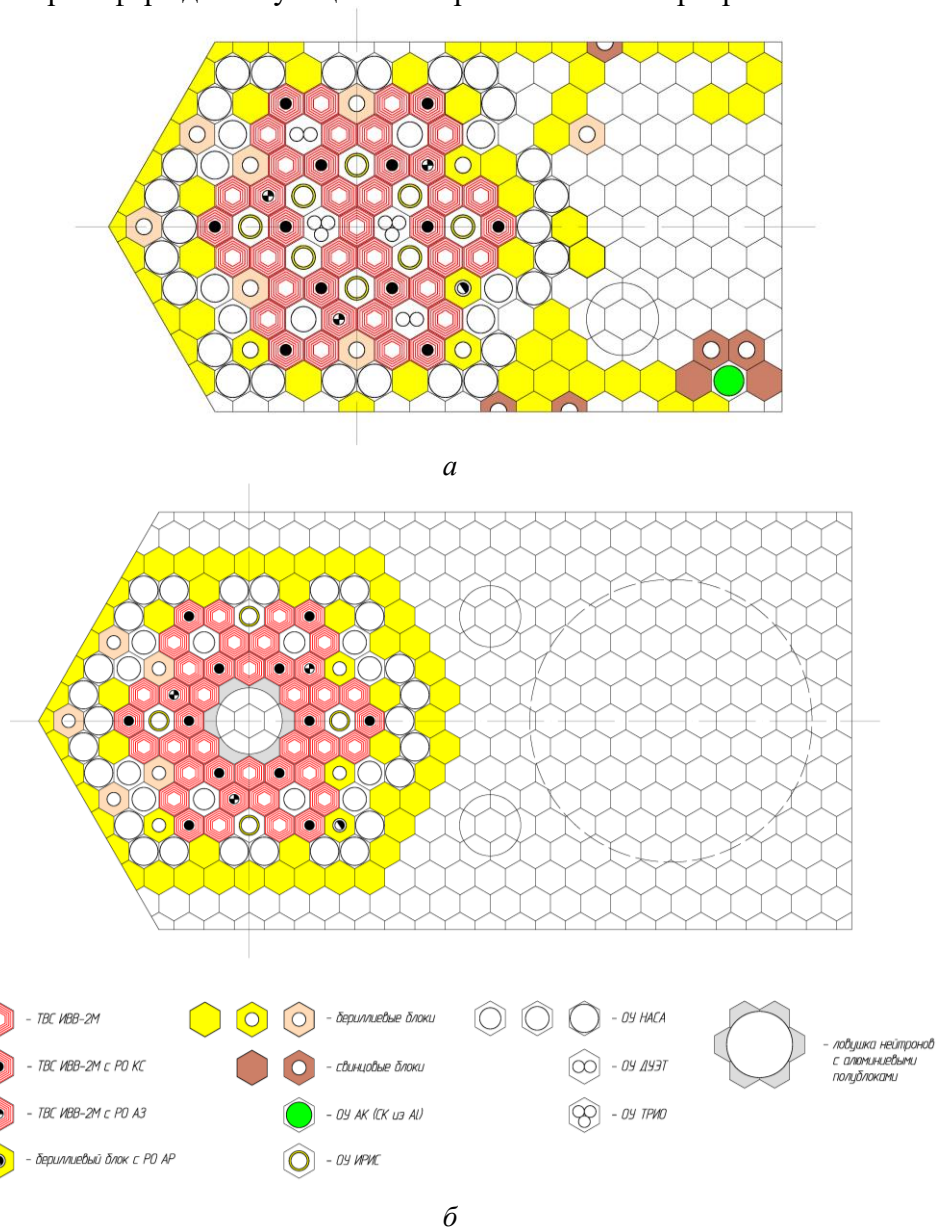


Рис. 1. Рассмотренные картограммы активных зон с ТВС ИВВ-2М для модернизированного (а) и нового (б) реакторов

Для достижения требуемого значения максимальной плотности потока в середине активной зоны нового реактора сформирована водяная полость диаметром 140 мм, окруженная алюминиевыми полублоками (центральная ловушка нейтронов).

Помимо этого, в опорной решетке предусмотрены два сквозных отверстия под петлевые каналы, закрываемые вставками, а также допускается возможность проведения реакторных испытаний облучательных устройств диаметром до 600 мм.

Результаты нейтронно-физических расчетов показали достижение требуемых значений плотности потока тепловых нейтронов в заданных регистрационных зонах:

- для модернизируемого реактора – $6 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ при работе реактора на мощности 20 МВт,

- для нового реактора – $8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ при работе реактора на мощности 22 МВт.

По результатам теплогидравлических расчетов безопасная эксплуатация активных зон с ТВС ИВВ-2М обеспечивается с уровнем воды в бассейне реактора не менее 9 м от верха активной зоны и насосом первого контура с необходимой напорно-расходной характеристикой не менее 1500 м³/ч.

Для обоих проектов в состав систем и элементов, обеспечивающих надежную и безопасную эксплуатацию реакторной установки, входят:

- элементы реактора (бак реактора и внутрибаковое оборудование);
- система первого контура;
- система второго контура;
- система планового (аварийного) охлаждения реактора;
- система подпитки (система аварийного заполнения);
- система управления и защиты (СУЗ);
- система контроля герметичности оболочек (КГО);
- система специальной вентиляции;
- система радиационного контроля;
- система электроснабжения реактора;
- система контроля и сбора протечек;
- транспортно-технологическая часть.

В состав вспомогательных систем реакторной установки входят:

- система очистки теплоносителя первого контура;
- система химической отмывки теплообменника;
- система общей вентиляции;
- система пожаротушения;
- система выгрузки облучательных устройств с изотопной продукцией;
- реакторная часть установки ядерного легирования кремния.

Бак реактора представляет собой сборную сварную конструкцию, выполненную в форме цилиндра, в котором расположено внутрибаковое оборудование:

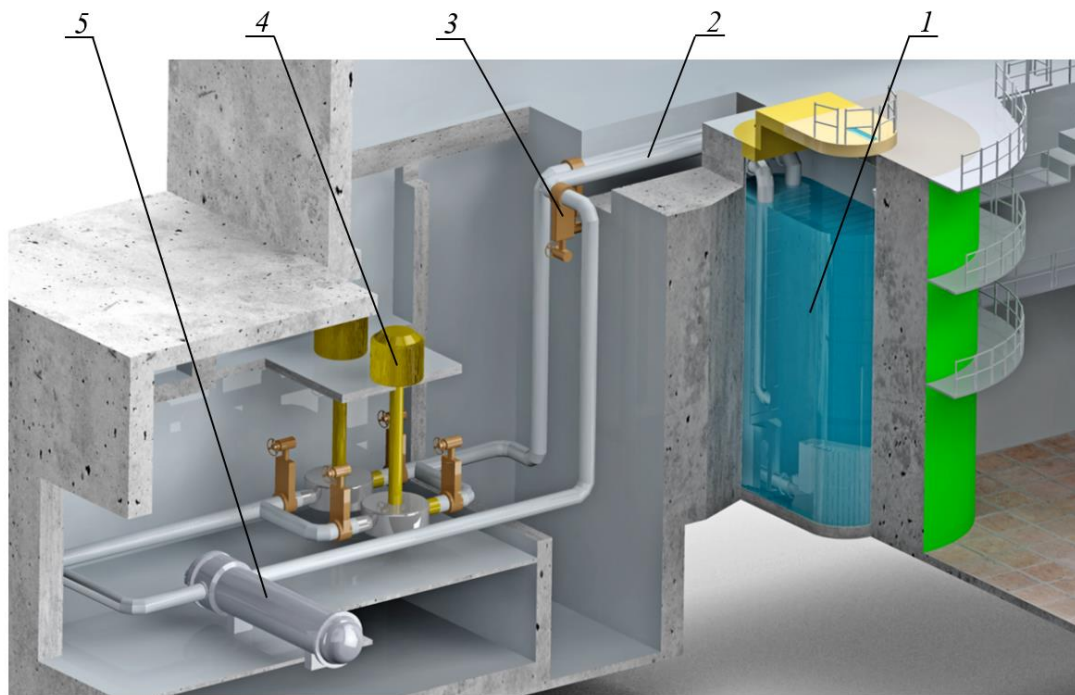
- опорная решетка с изделиями активной зоны;
- трубопроводы первого контура;
- листы железобетонной защиты;
- облучательные каналы ЯЛК;
- стеллаж со слитками кремния;
- каналы ионизационных камер.

В рабочем состоянии бак заполнен теплоносителем первого контура и представляет собой бассейн, в котором теплоноситель принудительно циркулирует, проходя по первому контуру через активную зону по схеме «сверху-вниз».

Бассейн бака реактора, заполненный химически обессоленной водой, является защитным барьером, снижающим воздействие ионизирующих излучений на персонал в период обслуживания реактора при его эксплуатации.

Первый контур (рис. 2) содержит одну петлю, в состав которой входят:

- два насоса производительностью 1500 м³/ч и более (один рабочий, один резервный);
- теплообменник мощностью 25 МВт.



*Рис. 2. Предполагаемое размещение оборудования первого контура:
1 – бассейн реактора; 2 – трубопроводы первого контура; 3 – арматура;
4 – насосы первого контура; 5 – теплообменник*

2. Особенности реализации глубокой модернизации и сооружения нового реактора

Для реализации глубокой модернизации действующей ИЯУ ИВВ-2М необходим монтаж нового бака реактора и вынос оборудованиям первого контура за пределы реактора.

Новый бак реактора устанавливается с целью исключения из номенклатуры внутрибакового оборудования модернизированного реактора имеющихся 10 горизонтальных экспериментальных каналов (ГЭК) и 2 вертикальных экспериментальных каналов (ВЭК) и увеличения уровня воды до отметки не менее +10,500 (9 м от верха активной зоны) для обеспечения безопасной эксплуатации активной зоны на мощности 20 МВт, что ограничивает экспериментальные возможности установки в части использования ГЭК. При этом в новом реакторе предусмотрены пять ГЭК с возможностью монтажа источника холодных нейтронов для проведения исследований в области нейтронографии для решения материаловедческих и инженерных задач.

Общий вид модернизированного реактора представлен на рис. 3.

Установка нового бака и нового внутрибакового оборудования исключают возможность применения существующей интегральной (внутрибаковой) схемы размещения оборудования первого контура, поэтому при разработке концепции модернизации действующей ИЯУ ИВВ-2М выбрана петлевая компоновочная схема.

Для монтажа нового бака реактора и нового оборудования потребуются реконструкция реакторного здания с проведением обследования задействованных фундаментных и строительных конструкций, обусловленная увеличением высоты бака и петлевой компоновкой оборудования первого контура.

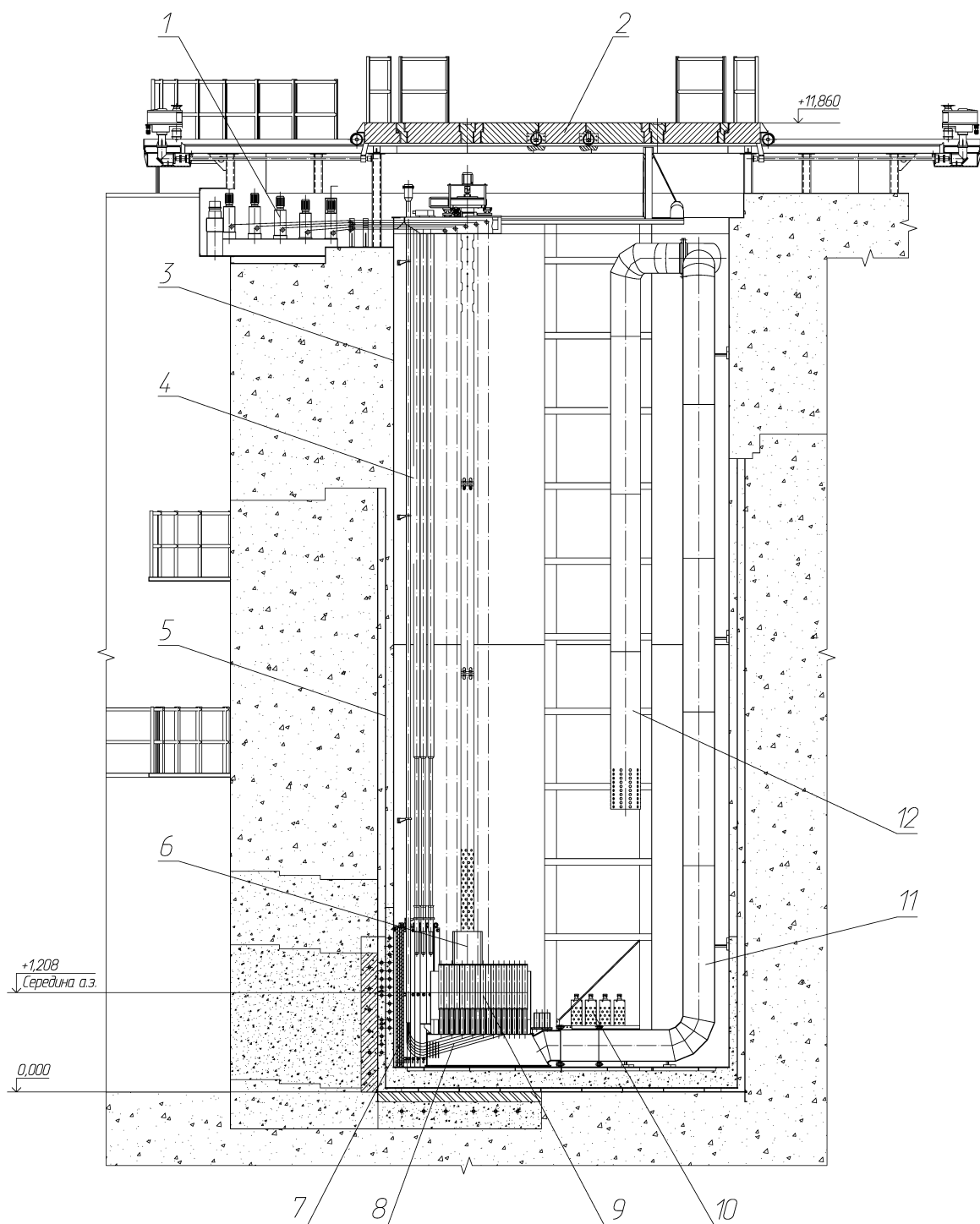


Рис. 3. Продольное сечение модернизированного реактора:

- 1 – исполнительные механизмы СУЗ; 2 – верхнее перекрытие; 3 – новый бак реактора;
- 4 – каналы ионизационных камер; 5 – штатный бак реактора;
- 6 – облучательный канал ЯЛК; 7 – железобетонная защита;
- 8 – система КГО; 9 – активная зона; 10 – хранилище слитков кремния;
- 11 – входной трубопровод первого контура; 12 – выходной трубопровод первого контура

Общий вид нового реактора представлен на рис. 4.

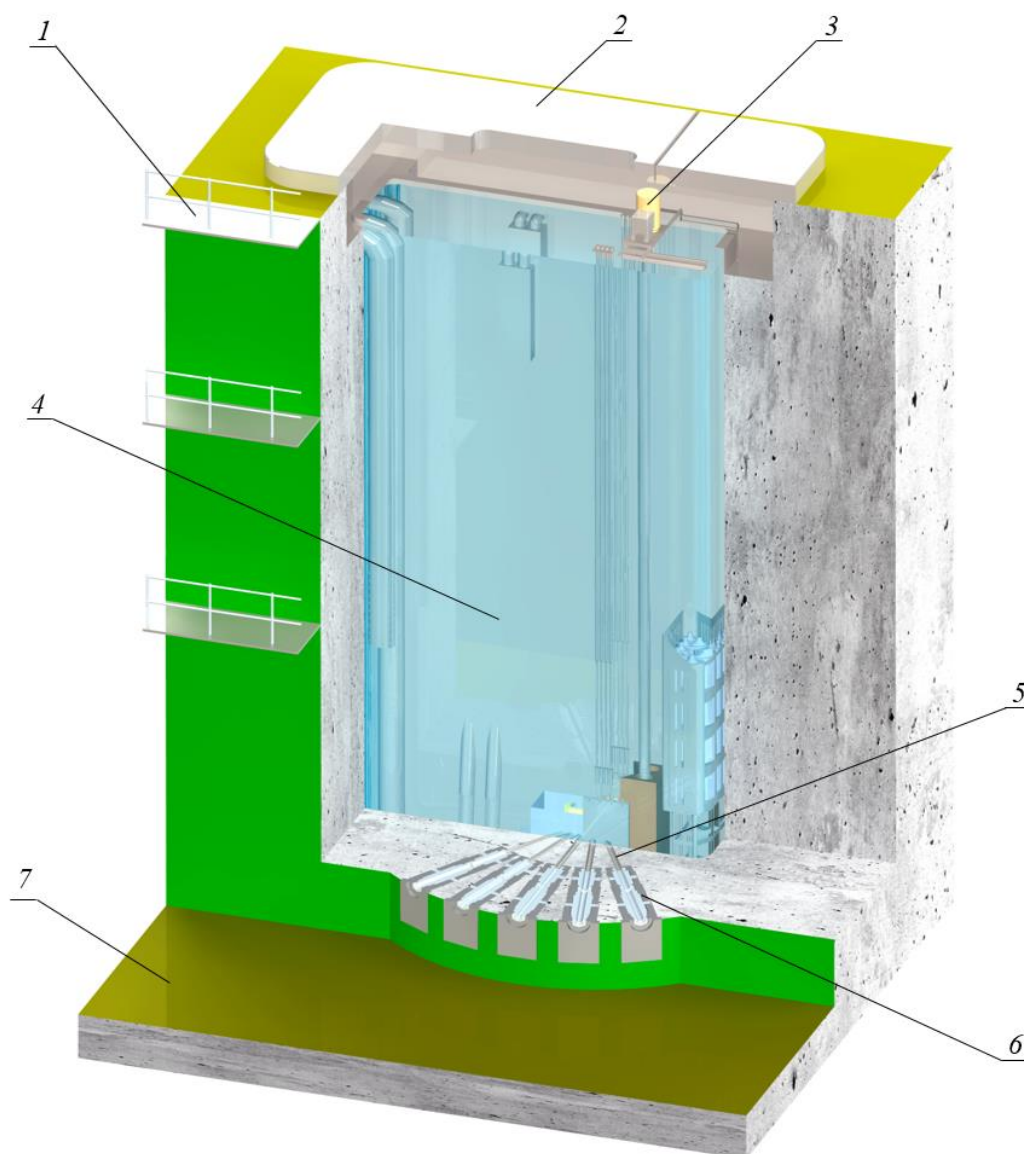


Рис. 4. Общий вид нового реактора:

*1 – балкон центрального зала; 2 – верхнее перекрытие; 3 – манипулятор установки ЯЛК;
4 – бассейн реактора; 5 – ГЭК; 6 – шибер ГЭК; 7 – пол физического зала*

Основным вопросом при сооружении новой ИЯУ является поиск площадки, обеспечивающей размещение на ней реакторного здания, лабораторного корпуса, в состав которого войдут материаловедческая и радиоизотопная лаборатории, вспомогательных зданий и сооружений, комплекс которых составит единую технологическую цепочку для проведения научно-исследовательских и экспериментальных работ.

Также при разработке проекта ИЯУ должны быть решены вопросы обустройства фундаментов, транспортных схем, наружных сетей, физической защиты, водоотведения, водоснабжения и пр.

Заключение

Специалистами АО «НИКИЭТ» разработаны концептуальные предложения по модернизации действующей ИЯУ ИВВ-2М и сооружению нового исследовательского реактора бассейнового типа для функционирования АО «ИРМ» после 2035–2040 гг. как научно-исследовательского ядерного центра с ИЯУ.

Выполненные нейтронно-физические и теплогидравлические расчеты показали достижение требуемых значений параметров, указанных в технических требованиях АО «ИРМ».

Для проекта модернизированного реактора требуемое значение плотности потока тепловых нейтронов – $6 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ достигается при работе реактора на мощности 20 МВт, установке нового бака реактора увеличенной высоты и выносе оборудования первого контура за пределы реактора, что в свою очередь повлечет за собой необходимость реконструкции существующего реакторного здания.

Для проекта нового реактора требуемое значение плотности потока тепловых нейтронов – $8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ достигается в центральной ловушке активной зоны при эксплуатации реактора на мощности 22 МВт.

Также стоит отметить расширенный по сравнению с вариантом «глубокой» модернизации исследовательский функционал нового реактора и возможность обеспечения непрерывности экспериментальных программ при условии сооружения нового реактора до момента окончания срока эксплуатации ИЯУ ИВВ-2М.