

АНАЛИЗ ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЯДЕРНОЙ УСТАНОВКИ ВИР-2М ЗА ПЕРИОД 2013-2020 ГГ.

*Табакон Сергей Олегович (tabakov@expd.vniief.ru), Авдеев Артем Дмитриевич,
Глухов Леонид Юрьевич, Дягель Антон Русланович, Кубасов Антон Александрович,
Патянин Сергей Владимирович, Перепелкин Алексей Александрович,
Пикулев Алексей Александрович, Шуркаев Александр Васильевич,
Юнин Денис Анатольевич, Яшинов Михаил Иванович*

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

Представлен анализ опыта эксплуатации исследовательской ядерной установки (ИЯУ) ВИР-2М за период 2013–2020 гг. Обобщены данные по работе установки в штатных режимах (импульсный, статический), проведен анализ эксплуатации основных систем ИЯУ и приведены данные по отказам систем установки за период 2013–2020 гг.

Ключевые слова: исследовательская ядерная установка (ИЯУ) ВИР-2М, анализ опыта эксплуатации, отказы систем установки.

ANALYSIS OF FIELD EXPERIENCE OF VIR-2M RESEARCH NUCLEAR FACILITY FOR THE PERIOD 2013-2020

*Tabakov Sergey Olegovich (tabakov@expd.vniief.ru), Avdeev Artem Dmitrievich,
Glukhov Leonid Yurevich, Dyagel Anton Ruslanovich, Kubasov Anton Aleksandrovich,
Patyandin Sergey Vladimirovich, Perepelkin Aleksey Aleksandrovich,
Pikulev Aleksey Aleksandrovich, Shurkaev Aleksandr Vasilevich, Yunin Denis Anatolevich,
Yashnov Mihail Ivanovich*

FSUE “RFNC-VNIIEF”, Sarov Nizhny Novgorod region

Presented is analysis of VIR-2M research nuclear facility (RNF) for the period 2013–2020. Data on facility operation in regular modes (pulsed, static) are generalized, analysis of main PNF systems operation is carried out and data on failures of facility systems for the period 2013–2020 are given.

Key words: VIR-2M research nuclear facility, analysis of field experience, failure of facility systems.

В настоящее время во ВНИИЭФ эксплуатируется импульсный ядерный реактор ВИР-2М – четвертая модификация реакторов типа ВИР – растворной разновидности импульсных реакторов самогасящего действия, предназначенных для проведения разнообразных физических экспериментов. Реактор ВИР-2М является одной из наиболее востребованных ядерно-физических установок ВНИИЭФ и интенсивно используется для проведения испытаний радиационной стойкости аппаратуры, приборов, оборудования, изделий электронной техники, кван-

товой электроники и электротехнических устройств, а также для исследований радиационной стойкости различных материалов и изделий [1].

Реактор ВИР-2М с новым корпусом активной зоны (АЗ) эксплуатируется с 24.04.2001 года.

В 2011–2012 гг. были проведены работы по реконструкции исследовательской ядерной установки (ИЯУ) ВИР-2М, которая включала следующие основные работы:

– полная замена системы управления и защиты (СУЗ) на новую;

– оснащение ИЯУ новыми универсальными приводами импульсных стержней.

Физический пуск ИЯУ ВИР-2М после реконструкции проведен в 2012–2013 гг. Реактор введен в эксплуатацию с 22.11.2013. Согласно акту по физическому пуску ИЯУ ВИР-2М после реконструкции установлен срок эксплуатации корпуса реактора – 7 лет с даты ввода в эксплуатацию (до 22.11.2020), с ограничением числа импульсов на мгновенных нейтронах – не более 750 за установленный срок эксплуатации.

Назначенный срок службы СУЗ установки ИЯУ ВИР-2М составляет 30 лет с даты ввода в эксплуатацию – до 04.12.2042.

В настоящем докладе представлен анализ опыта эксплуатации ИЯУ ВИР-2М за период 2013–2020 гг. Обобщены данные по работе установки в штатных режимах (импульсный, статический), проведен анализ эксплуатации основных систем ИЯУ и приведены данные по отказам систем установки.

Результаты анализа были использованы для обоснования возможности продления срока эксплуатации корпуса активной зоны реактора и ИЯУ ВИР-2М в целом.

Конструкция ИЯУ ВИР-2М, ее основные системы

ИЯУ ВИР-2М включает следующие основные системы:

- АЗ в составе: корпус АЗ, топливный раствор;
- стержни управления реактивностью (СУР) и их приводы;
- газовый контур;
- система охлаждения-нагрева активной зоны;
- каналы контроля нейтронного потока;
- СУЗ;
- система слива-залива топливного раствора.

Корпус активной зоны

Первый импульс на реакторе ВИР-2М был генерирован в сентябре 1979 году, а уже в августе 1981 года один из СУР не удалось извлечь из канала для планового осмотра. Выяснилось, что произошло сужение этого канала, а также в меньшей степени – других стержневых каналов. Сужение (с наибольшим значением 3,2 мм) имело место в верхней части каналов, что не препятствовало нормальному рабочему перемещению стержней при работе реактора. Анализ случившегося показал, что деформации стержневых каналов явились следствием недооценки того, что даже при одинаковом интегральном энерговыделении удельное энерговыделение в ТР реактора ВИР-2М возросло по сравнению с реактором ВИР-2 из-за уменьшения объема раствора. Это привело к увеличению кинетической энергии разлетающегося после импульса раствора и, соответственно,

к возрастанию кратковременного давления у крышки корпуса АЗ. Увеличение же энерговыделения в импульсе с 60 до 80 МДж ведет, как показали непосредственные измерения, к росту динамических нагрузок в верхней части корпуса почти в 6 раз.

После обнаружения сужения стержневых каналов были приняты следующие меры:

– наиболее деформированный канал с целью предотвращения дальнейшего сужения усилен в месте деформации путем запрессовки внутрь канала стальной пробки со сквозным отверстием для штанги, на которой подвешен стержень управления;

– все последующие импульсы всегда генерировались при начальном давлении газа в АЗ не менее 70 кПа, (в результате чего при импульсе с энерговыделением 60 МДж давление в верхней части корпуса не превышало давления при его испытании);

– практически полностью прекращено генерирование импульсов с энерговыделением больше 60 МДж.

Выявление причин деформации стержневых каналов и своевременное принятие мер по их устранению привело к тому, что в течение 8 лет интенсивной (~ 150 импульсов ежегодно) эксплуатации реактора ВИР-2М после августа 1981 года каких-либо дополнительных остаточных деформаций корпуса АЗ не обнаружено.

Примечание. Измерение диаметра ЦК и стержневых каналов входит в обязательную процедуру планово-предупредительных работ на реакторе ВИР-2М. За 15 лет эксплуатации ИЯУ ВИР-2М со вторым (эксплуатирующимся в настоящее время) корпусом АЗ не выявлено каких-либо остаточных деформаций каналов корпуса реактора ВИР-2М (все импульсы производились при давлении газа в корпусе АЗ не ниже 70 кПа).

Результаты измерений внутренних диаметров стержневых каналов и ЦК показывают, что деформации действующего корпуса АЗ ИЯУ ВИР-2М находятся в упругой области.

Сроки службы всех корпусов реакторов типа ВИР определялись, исходя из продолжительности эксплуатации предшественников. Старый (первый) корпус реактора ВИР-2М, работавший в более напряженном режиме, чем новый, эксплуатировался ~16,5 лет, в два с лишним раза превысив срок работы реактора (включая корпус) ВИР-2 (~ 7,5 лет). Новый (второй) корпус еще до реконструкции 2011–2013 гг. отработал 10 лет. На основании выше приведенных данных и заключения экспертной комиссии ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» по ядерной безопасности работ на ядерно-опасных установках актом по физическому пуску от 2013 года для ИЯУ ВИР-2М были установлены следующие ресурсные ограничения:

– срок эксплуатации ИЯУ ВИР-2М – 7 лет с даты ввода в эксплуатацию

– число импульсов на мгновенных нейтронах – не более 750 в установленный срок.

С момента ввода в эксплуатацию 22.11.2013 по 01.10.2020 на реакторе ВИР-2М было сгенерировано 185 импульсов на мгновенных нейтронах, что со-

ставляет менее 25 % от предельного числа импульсов (750), установленного актом по физическому пуску.

Необходимо отметить, что действующий (второй) корпус ИЯУ ВИР-2М эксплуатируется в значительно более «шадящих» условиях, чем предыдущий (первый), поскольку за 17,5 лет эксплуатации первого корпуса (1979-1995 гг.) было сгенерировано 2251 импульсов (с максимальным энерговыделением за импульс 80 МДж), что более чем в два раза больше, чем число импульсов для второго корпуса. Суммарное энерговыделение за весь период эксплуатации первого корпуса составило 130 ГДж, что почти в два раза больше, чем энерговыделение, достигнутое за 17 лет эксплуатации действующего корпуса реактора ВИР-2М (75 ГДж).

Топливный раствор

Во всех реакторах типа ВИР использовался один и тот же топливный раствор (ТР) (отличаются только объем ТР и концентрация урана). За время использования ТР в результате химических, радиационно-химических и ядерных реакций могли произойти изменения физических и химических свойств ТР, которые после превышения определенных пределов стали бы препятствием для использования этого раствора в составе активной зоны (АЗ). В связи с этим регулярно берутся пробы ТР для определения количества и изотопного состава урана (и других делящихся материалов) в ТР, анализа состава осадка в ТР и для определения количества радиоактивных продуктов деления (РПД).

Проведенные анализы показали, что на 01.10.2020 выгорание ^{235}U в ТР не превосходит 0,03 %, т. е. практически отсутствует; изотопный состав урана не изменяется; наработка высших актиноидов, в частности ^{239}Pu , очень мала и при оценках влияния на радиационную обстановку, которая может возникнуть при аварийном выходе максимального количества РПД из АЗ, ими можно пренебречь.

При рабочем объеме ТР в АЗ (104,8 л) полный запас реактивности, определенный по результатам измерений реактивности в ходе залива (2013 год), составил $(6,2 \pm 0,1) \beta_{\phi}$ при концентрации урана в ТР 67,0 г/л. Это значение концентрации ТР совпало (с точностью до погрешностей измерений) с результатами анализа проб ТР, взятых в 1996, 2000 и 2011 годах.

Последние исследования концентрации урана в ТР были проведены в 2019 году. Полученные результаты в пределах погрешности измерений совпадают со значением, приведенным в акте физического пуска от 1980 года.

Таким образом, в настоящее время концентрация урана в ТР находится в пределах (с точностью до погрешности измерений), установленных в качестве эксплуатационного ограничения актом физического пуска ИЯУ ВИР-2М – (67 ± 1) г/л.

Коррозия является одним из факторов, потенциально способных сократить срок службы реактора и привести к радиационной аварии. Одним из свидетельств наличия коррозии корпуса реактора является накопление железа в ТР.

Из литературы известно, что использованная при изготовлении корпуса реактора сталь 12X18H10T может подвергаться питтинговой коррозии, проявление которой заключается в образовании узких глухих или сквозных отверстий (питтингов). Однако питтинговая коррозия стали 12X18H10T развивается лишь в средах, содержащих галогенид-ионы (хлориды, бромиды, йодиды) [2]. ТР, использующий в реакторе ВИР-2М, содержит только сульфат уранила, а сульфат-ионы не только не вызывают питтинговую коррозию, но и являются ее ингибиторами, мешающими галогенид-ионам адсорбироваться по поверхности нержавеющей стали [2]. Таким образом, теоретические представления и анализ литературы показывают, что возникновение питтинговой коррозии при контакте ТР с материалом корпуса реактора следует исключить.

Данные выводы подтверждаются результатами анализа ТР на присутствие ионов железа. А именно, концентрация ионов железа в растворе за ~55 лет эксплуатации пяти корпусов реакторов семейства ВИР увеличилась с (0,15–0,43) г/л до (1,8–2,0) г/л.

Выявленное накопление железа при условии равномерной коррозии материала соответствует уменьшению толщины корпуса на глубину не более 10 мкм (суммарно по пяти корпусам), что при толщине сварных швов и стенки корпуса реактора ВИР-2М 65 мм не представляет опасности. Даже, если использовать крайне консервативное предположение, что все ионы железа (суммарной массой до 210 г), находящиеся в настоящее время в ТР, попали туда в результате растворения нижнего сварного шва действующего корпуса, можно заключить, что глубина разрушения внутренней стороны шва (где ширина шва равна 16 мм) не превосходит 3 мм, т. е. составляет не более 4 % от толщины шва (65 мм).

Результаты анализа проб ТР показывают, что с 1980 года параметры ТР не изменились (в пределах погрешности измерений), количество РПД в ТР ниже допустимых пределов, а корпус АЗ практически не подвержен коррозии.

Стержни управления

На ИЯУ ВИР-2 постоянно использовались одни и те же поглощающие СУР; продолжительность их эксплуатации составляет почти 50 лет, а их конструкция не изменялась. Исключением является один стержень, замененный из-за возникшего в 1981 года сужения стержневого канала, после чего находящийся в нем стержень вообще не удалось извлечь из старого корпуса АЗ реактора ВИР-2М.

Поглощающая часть СУР выполнена из гидрида лития, в виде набора из таблеток диаметром 75 мм

и толщиной 50 мм, которые помещены в корпус из нержавеющей стали. Гидрид лития подвержен влиянию атмосферной влаги и со временем теряет свои механические свойства. На ИЯУ ВИР-2М состояние таблеток гидрида лития контролируется без вскрытия СУР путем измерения внешних диаметров обечаек стержней. Наружные диаметры обечаек в течение всех ~ 50 лет эксплуатации были неизменны – 81 мм, что говорит о прочности обечаек (и их герметичности). Диаметры верхней и нижней крышек СУР – 83 мм. То есть при внутреннем диаметре каналов в корпусе АЗ 84,8 мм зазор между максимально выступающими частями стержня и стенкой канала составляет ~ 1 мм.

С момента ввода в эксплуатацию ИЯУ ВИР-2М с «новым» корпусом АЗ в 2001 году измерения внешних диаметров СУР проводятся с периодичностью раз в 6 месяцев. Проведенные измерения показывают, что внешний диаметр обечайки поглощающего стержня остается постоянным, на основании чего можно сделать вывод об отсутствии деформации обечаек СУР за счет механических ударов или разбухания таблеток гидрида лития.

Электроприводы и пневмоприводы стержней управления

Основная часть приводов стержней управления была изготовлена к началу эксплуатации ИЯУ ВИР-2 по образцу аналогичных приводов, хорошо себя зарекомендовавших на реакторах ВИР-1 и ВИР-1М. По решению комиссии по физическому пуску установки ВИР-2 реактор был оснащен вторым, первоначально не предусмотренным, пневмоприводом для блока импульсно-регулирующих стержней (ИС), снятым с установки ВИР-1, работавшей с 1964 года.

Таким образом, до 2013 года на ИЯУ ВИР-2М для перемещения каждой из двух имеющихся пар ИС использовались различные по конструкции пневмоприводы. Разнотипность существовавших приводов вызывала:

- ошибки в прогнозировании величины энерговыделения за импульс (в меньшую сторону) из-за рассогласования в извлечении обеих пар импульсных стержней из АЗ и, как следствие, снижение качества испытательного эксперимента из-за необеспечения требуемых параметров воздействия на испытываемые объекты;

- асимметрию распределения реакций деления в АЗ из-за одновременности извлечения стержней, в результате чего каналы корпуса АЗ (центральный и стержневые) испытывали дополнительные (изгибающие) нагрузки в импульсном режиме работы реактора.

Проведенная в 2011–2012 гг. замена приводов ИС позволила:

- предельно минимизировать несанкционированную несинхронность их извлечения;

- использовать всю эффективность СУР для длительного поддержания высокого уровня мощности в статическом режиме.

Новая конструкция приводов была призвана обеспечивать одинаковые (номинально) значения скоростей перемещения обеих пар ИС-1 и ИС-2.

За время эксплуатации реактора в штатных режимах (статическом и при генерации импульса на мгновенных нейтронах) существующие приводы доказали свою надежность, работоспособность, эффективность и простоту в обслуживании.

С момента ввода ВИР-2М в эксплуатацию в 2013 году было зафиксировано 16 отказов приводов СУР.

Газовый контур

Газовый контур (ГК) ИЯУ ВИР-2М предназначен для выполнения следующих задач:

- измерение давления газа в надтопливном пространстве корпуса АЗ в начале рабочего дня, до и после работы реактора на мощности в импульсном и статическом режимах;

- поджиг гремучего газа (ГГ), образующегося при работе реактора;

- продувка (воздухом) надтопливного пространства корпуса АЗ перед проведением работ на открытом ГК (взятие проб ТР, ремонт элементов контура и т.п.), сброс радиоактивных газов из АЗ в емкость выдержки и хранение этих газов в ней для снижения их радиоактивности до минимально возможных значений (перед их выбросом во внешнюю атмосферу).

Главным элементом ГК (рис. 1) является камера объемом 3 л с электрическими свечами поджига. При помощи дистанционно управляемого вентиля она может подсоединяться к надтопливному пространству корпуса АЗ. ГК включает также емкость выдержки объемом 1000 л, буферную емкость, другие коммуникации и вентили с электромеханическими и ручными приводами, датчиками давления и манометрами. В состав т.н. «линии откачки» входят (на рис. 1 не показаны) вакуумный насос и газодувка, фильтры, задерживающие радиоактивные аэрозоли, и 10-литровая ионизационная камера дозиметрического прибора, контролирующего уровень активности выбрасываемого газа. Элементы ГК, вынесенные за пределы блока биологической защиты (ББЗ), обеспечены защитой от механических повреждений.

В течение более 45 лет эксплуатации неисправности в системе ГК сводились к частичному выгоранию запорного узла вентиля в линии камеры поджига и к различным отказам свечей поджига. Отказы свечей поджига, в первую очередь, связаны с конденсацией на поверхности электродов паров воды, что периодически приводит к отсутствию генерации искры (для искровых свечей) и невозможностью сжечь ГГ. Для накаливаемых свечей такой проблемы не возникает, поскольку в процессе нагрева происходит испарение сконденсированной влаги с поверхности электродов.

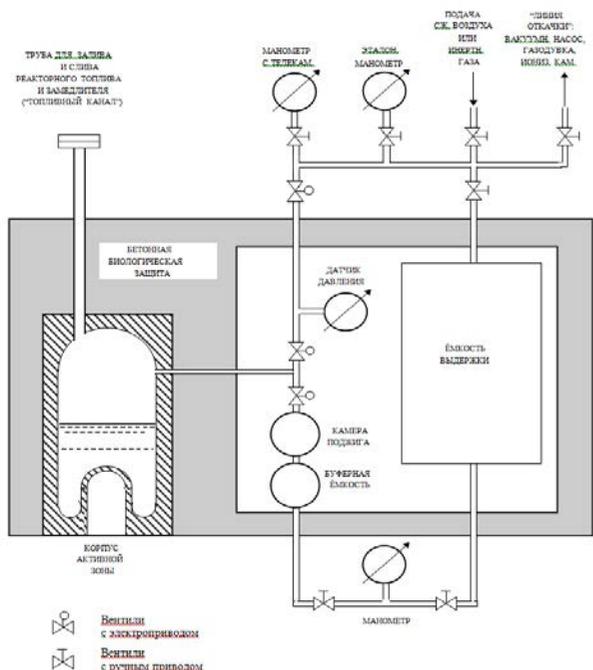


Рис. 1. Схематическое изображение газового контура

С момента ввода реактора ВИР-2М в эксплуатацию в 2013 году было зафиксировано 11 отказов элементов ГК. После замены искровых свечей поджига на накаливающие элементы такого рода прекратились (с начала 2017 отказы свечей не зарегистрированы).

Система охлаждения-нагрева активной зоны

Система охлаждения-нагрева (СОН) АЗ работает уже на третьем корпусе реактора, т.е. более 45 лет. Система охлаждения реактора ВИР-2М была разработана для возможности генерировать до 3 импульсов за смену. При естественном охлаждении реактор готов к очередному импульсу только через сутки.

Схема размещения оборудования СОН представлена на рис. 2.

Длительная эксплуатация СОН показала ее высокую надежность. С момента ввода ВИР-2М в эксплуатацию в 2013 году был зафиксирован 1 отказ элементов системы (выход из строя вентиля охлаждения насоса первого контура СОН).

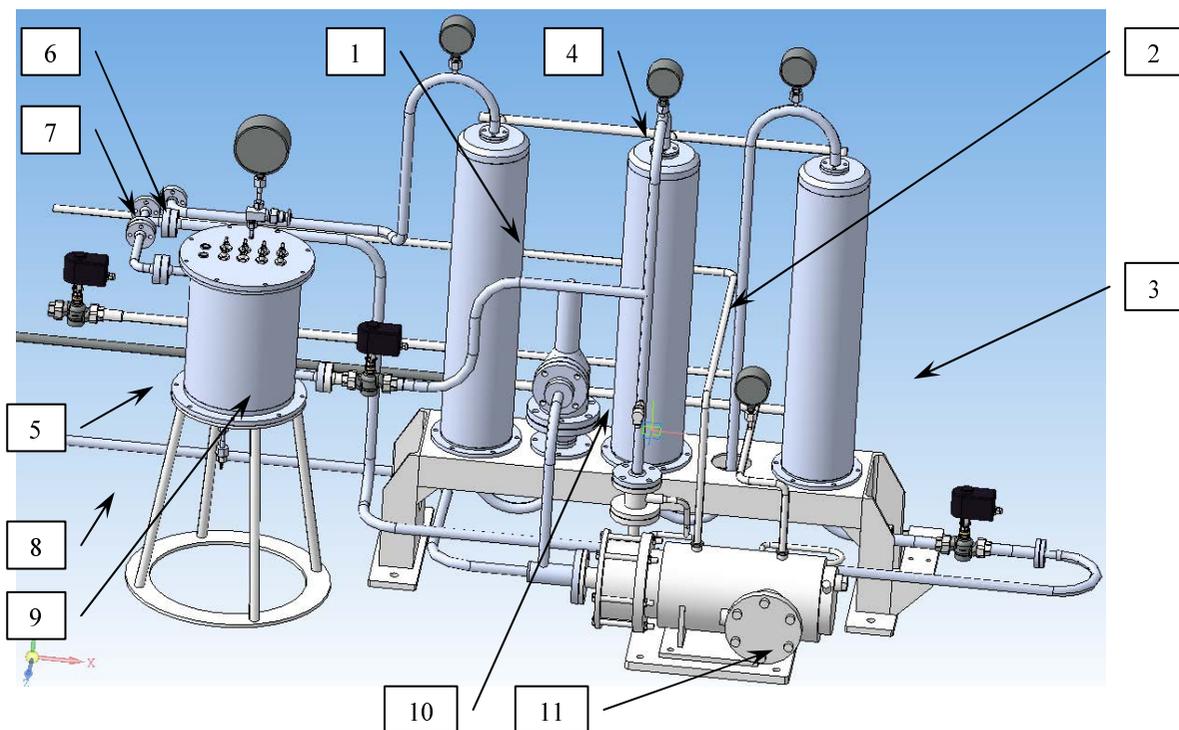


Рис. 2. Схема размещения оборудования СОН ИЯУ ВИР-2М: 1, 2, 3 – секции теплообменника 2-го контура; 4 – сливной коллектор 2-го контура; 5 – напорный коллектор 2-го контура; 6 – сливной трубопровод 1-го контура из реактора; 7 – напорный тройник 1-го контура в реактор; 8 – трубопровод компенсатора изменения объема 1-го контура; 9 – ТЭН; 10 – расходомер 1-го контура; 11 – циркуляционный насос 1-го контура

Каналы контроля нейтронного потока

В настоящее время на реакторе ВИР-2М используется 6 независимых каналов контроля нейтронного потока: 4 канала – МИРАЖ МБ для работы в статическом режиме и 2 канала – МИРАЖ МИ в импульсном.

На каналы возложена как измерительная функция, так и функция аварийной защиты по измеренным параметрам. Подвески каналов МИРАЖ МБ расположены в горизонтальных каналах ББЗ по окружности на одной высоте относительно корпуса АЗ.

Каналы проходят периодическую поверку (раз в два года), в рамках которой поверяются метрологические характеристики каналов и выполняется апробация аварийной защиты.

С момента ввода ВИР-2М в эксплуатацию в 2013 году не было зафиксировано ни одного отказа каналов контроля нейтронного потока.

Система управления и защиты

На сегодняшний день СУЗ ИЯУ ВИР-2М является современной, надежной системой установки, с большим ресурсом (назначенный срок службы СУЗ установки ИЯУ ВИР-2М составляет 30 лет, с ввода в эксплуатацию – до 04.12.2042).

Большая часть неисправностей СУЗ (6 из 18) произошли в первый год эксплуатации и носили наладочный характер. В основном отказы были связаны со срабатыванием аварийной защиты при работе реактора в длительном статическом режиме. Причиной срабатывания аварийной защиты являлся выход из строя блоков БПРН-01 в приборных стойках комплекта аппаратуры СУЗ (отказ электропитания, перегорание предохранители цепи питания). После выявления причины данных отказов НПЦ «ЭЛЕГИЯ» была проведена доработка блоков БПРН-01 и с октября 2014 года отказы такого типа прекратились.

С момента ввода ВИР-2М в эксплуатацию в 2013 году было зафиксировано 18 отказов элементов системы.

Система слива-залива ТР

Реактор ВИР-2М относится к растворным реакторам, т.к. в качестве ядерного топлива применяется водный раствор уранил-сульфата, который по окончании кампании ИЯУ приходится удалять из корпуса АЗ для проведения обследования корпуса АЗ и других регламентных работ, а затем заливать ТР обратно в корпус АЗ. Также периодически необходимо производить отбор из корпуса АЗ проб ТР (после ввода ИЯУ в эксплуатацию в 2013 году пробы ТР берутся один раз в два года) с целью их последующего химического анализа и определения возможности дальнейшего использования ТР. Для выполнения этих работ на реакторе ВИР-2М была разработана (в начале 70-х годов прошлого века) система слива-залива

(ССЗ) ТР. Основными элементами данной ССЗ являются:

- приемное устройство («воронка») с топливной трубой, монтируемое на фланце топливного канала корпуса АЗ и предназначенное для приема до ~3 л ТР из АЗ и его последующего слива в дозатор;

- дозатор, предназначенный для приема сливаемого ТР из «воронки» и его последующего слива в ампулы объемом 2,35 л, которые загружаются в защищающие контейнеры для хранения;

- вакуумирующая емкость (баллон объемом ~ 10 л);

- вакуумный насос;

- вакуумные шланги и запорные вентили;

- 4 шпильки-переходника длиной 500 мм с комплектом гаек – для обеспечения отбора ТР из корпуса АЗ с разного уровня.

После проведения реконструкции ИЯУ ВИР-2М 2011–2012 гг. ССЗ была использована при формировании АЗ реактора во время физического пуска 2012–2013 гг., а затем для периодического взятия проб ТР (после ввода в эксплуатацию в 2013 году пробы ТР были взяты в 2015, 2017 и 2019 гг.). За время использования ССЗ после ввода ИЯУ ВИР-2М в эксплуатацию в 2013 году отказов в работе ССЗ не зафиксировано.

Заключение

В работе представлен анализ опыта эксплуатации ИЯУ ВИР-2М за период 2013–2020 гг.

Проведенный анализ показал следующее:

- концентрация урана в ТР находится в пределах установленных (в качестве эксплуатационного ограничения) актом физического пуска ИЯУ ВИР-2М – (67 ± 1) г/л;

- при контакте ТР с материалом корпуса реактора (нержавеющая сталь 12Х18Н10Т) питтинговая коррозия не происходит;

- концентрация ионов железа в растворе за ~55 лет эксплуатации пяти корпусов реакторов семейства ВИР увеличилась с $(0,15–0,43)$ г/л до $(1,8–2,0)$ г/л.

Если предположить, что все ионы железа (суммарной массой до 210 г), находящиеся в настоящее время в ТР, попали в ТР в результате коррозии нижнего сварного шва действующего корпуса, то можно сделать заключение, что глубина разрушения внутренней стороны шва не превосходит 3 мм, что при толщине сварных швов и стенки корпуса реактора ВИР-2М 65 мм не представляет опасности;

- диаметры СУР с точностью до погрешности измерений не изменились;

- сужения стержневых каналов и ЦК не зафиксировано;

- с 22.11.2013 зафиксировано 16 отказов приводов СУР, все отказы были оперативно устранены;

- с 22.11.2013 зафиксировано 11 отказов элементов ГК; все отказы были оперативно устранены. После замены искровых свечей поджига на накали-

ные отказы такого рода прекратились (с начала 2017 отказы свечей не зарегистрированы);

– с 22.11.2013 зафиксирован 1 отказ элементов СОН (выход из строя вентиля охлаждения насоса первого контура СОН); отказ был оперативно устранен;

– с 22.11.2013 не зафиксировано отказов каналов контроля нейтронного потока;

– с 22.11.2013 зафиксировано 18 отказов элементов СУЗ. Большая часть неисправностей СУЗ (6 из 18) произошли в первый год эксплуатации и были связаны с выходом из строя блоков БПрН-01 в приборных стойках СП-1 и СП-2 СУЗ. После доработки блоков БПрН-01 с октября 2014 года отказы такого типа прекратились. Остальные отказы элементов СУЗ были оперативно устранены;

– с 22.11.2013 отказов в работе ССЗ не зафиксировано.

Таким образом, после ввода ИЯУ ВИР-2М в эксплуатацию 22.11.2013 было зафиксировано 54 отказа. Максимальное количество отказов наблюдалось в начале эксплуатации ИЯУ (суммарно за 2013 и 2014 годы – 18 отказов); за последнее не-

сколько лет число отказов не увеличивается и составляет от 6 до 7.

С момента ввода в эксплуатацию реактора ВИР-2М – 22.11.2013 не было зафиксировано ни одного отказа систем ИЯУ, который бы привел к аварийной ситуации, к возникновению аварийной ситуации или явился причиной аварии.

Результаты данной работы были использованы для обоснования продления срока эксплуатации корпуса ИЯР ВИР-2М на 17 лет и ИЯУ ВИР-2М на 6 лет, с ограничением числа импульсов на мгновенных нейтронах – не более 500 в установленный срок.

Список литературы

1. Воинов А. М., Колесов В. Ф., Матвеев А. С. и др. Водный импульсный реактор ВИР-2М и его предшественники // ВАНТ. Серия: Физика ядерных реакторов. 1990. № 3. С. 3–15.

2. Шлугер А. М., Ажогин Ф. Ф., Афремов Е. А. Коррозия и защита металлов. М.: Металлургия, 1981.