

54 совещание программно-консультативного комитета ОИЯИ по физике
конденсированных сред.
(28-29 июня 2021 г.)

ОТЧЕТ
по проекту
«Создание комплекса криогенных замедлителей реактора ИБР-2»
Тема: «Развитие реактора ИБР-2 с комплексом криогенных замедлителей»
2020 год – май 2021 года.
Текущее состояние проекта.

Шифр темы: 04-4-1105-2020/2022

Руководитель темы:

Главный инженер ЛНФ А.В. Виноградов

Руководитель проекта:

к.техн.н., начальник группы № 2 МТО ЛНФ Мухин К.А.

02.06.2021

Аннотация

Отчет выполнен по результатам рекомендации Программно-консультативного комитета по физике конденсированных сред от 29 апреля 2021 года. В отчете представлены результаты, полученные в ходе работ, выполненных с начала 2020 – по май 2021 года в рамках проекта «Создание комплекса криогенных замедлителей реактора ИБР-2».

Дубна 2021 г.

Оглавление

Введение.....	3
1. Общие сведения о работе КЗ 201 и КЗ 202 с 2020 года	3
2. Краткий обзор, выполненных работ по проекту за период 2020 – май 2021 года.....	3
3. Планируемые работы по проекту до конца 2021 года.....	6
Заключение.....	7
Приложение 1 – Спектр нейтронного потока и фактор выигрыша для пучков 4, 5, 6, 9 при работе замедлителя КЗ 201 в тепловом и криогенном режиме.	

Введение.

В ОИЯИ на реакторе ИБР-2 создается уникальный в мире, по принципу своей работы, составу и форме замедляющего вещества комплекс холодных замедлителей нейтронов. Комплекс состоит из 3х замедлителей окружающей активную зону реактора и формирующих необходимый и индивидуальный нейтронный поток на каждом из 11 физических инструментах. Оптимального и индивидуального спектра нейтронного потока для каждой из физических установок удастся добиться благодаря сложной конфигурации головной части замедлителя включающей в себя водяные и криогенные камеры, а также изменением температуры замедляющего вещества в интервале температур от 25 К до 100 К. Возможность менять температуру замедляющего вещества в каждом из замедлителей появилась после модернизации криогенной системы охлаждения комплекса. Замедлители являются неотъемлемой частью реактора и формируют нейтронный поток, а также влияют на реактивность и без них эксплуатация ИБР-2 будет невозможной.

С 2012 года введен в опытную эксплуатацию с работой на физический эксперимент первый криогенный замедлитель для пучков 7, 8, 10, 11 (КЗ 202). Этот замедлитель к настоящему времени отработал 4560 часов. В результате эксплуатации были получены новые результаты, а также доработаны старые и разработаны новые системы, которые установлены и эксплуатируются в составе инфраструктуры криогенного замедлителя следующей очереди КЗ 201 для пучков 1, 4, 5, 6, 9, введенного в опытную эксплуатацию в декабре 2020 года.

1. Общие сведения о работе КЗ 201 и КЗ 202 с 2020 года.

В соответствии с расписанием работы установки ИБР-2 в 2020 году КЗ 202 во 2-м и 9-м циклах работал в криогенном режиме на физический эксперимент 257 часов. В 2021 году во 2-м (264 часа) и 3-м цикле (261 час). Общая энерговыработка на мощности составила 1665 МВт/ч. В 9-м цикле во время работы криогенной системы произошла посадка напряжения. При этом инженерные системы обеспечения работы криогенного замедлителя и криогенная система комплекса замедлителей работали в штатном режиме без нарушений и остановок.

С сентября 2020 года КЗ 201 и КЗ 202 эксплуатируются в единой системе и охватывают 9 из 11 экспериментальных пучков ИБР-2 по проекту.

В январе – июле 2020 года изготовлены и установлены узлы технологической и криогенной систем криогенного замедлителя КЗ 201.

КЗ 201 в составе комплекса криогенных замедлителей ИБР-2, доработан, примерен, установлен и эксплуатируется в тепловом режиме с сентября 2020 года, а в криогенном с ноября 2020 года. За этот период КЗ 201 в криогенном режиме отработал в 9-м цикле 2020 года, 2-м, 3-м (по расписанию установки ИБР-2) и 5 цикле по просьбе пользователей. Общее количество часов работы для экспериментаторов составило 1074 часа, а энерговыработка составила 1712 МВт/ч.

2. Краткий обзор, выполненных работ по проекту за период 2020 – май 2021 года.

За отчетный период в соответствии с проектом создания комплекса криогенных замедлителей реактора ИБР-2 выполнены следующие работы:

- ***Узел подсчета шариков оптическим методом***

В качестве альтернативного метода контроля движения шариков при загрузке был разработан, изготовлен и внедрен узел подсчета шариков оптическим методом предложен оптический метод с установкой в транспортную трубу КЗ 201 излучателя и приемника света. Шарик, проходя, прерывает луч, что дает сигнал на вторичный прибор. Такой узел был разработан и изготовлен в 2020 году. Испытания в лабораторных условиях при комнатной температуре показали, что наибольшую чувствительность метод имеет при расположении излучателя и приёмника под углом 45° друг к другу и позволяет регистрировать каждый шарик в отдельности. В июле 2020 года узел был установлен на транспортный трубопровод КЗ 201 и испытан при температуре загрузки 80 К. В настоящее время узел эксплуатируется в составе технологической системы загрузки КЗ 201 в помещении с высокой радиационной нагрузкой, отработал более 1074 часов в поле ионизирующего излучения, при этом изменений в работе не наблюдается, работает без нареканий, погрешность подсчета не превышает 5%.

- ***Узел измерения массового расхода гелия (диафрагма).***

Для определения массового расхода и контроля циркуляции гелия в системе замедлителя КЗ 202 используется трубка Пито-Прандтля. В результате эксплуатации КЗ 202 было замечено, что по истечении 5 суток показания расхода начинают существенно флуктуировать, а показания становятся не корректными. Очевидно, это происходит в следствии закупорки отверстий динамической и статической трубок устройства мезитиленовой пылью и мелкими осколками образовавшимися в результате загрузки и циркулирующими в системе. Учитывая это факт, было принято решение на КЗ 201 в качестве расходомера установить диафрагму, имеющую большее сечение, чем отверстия Трубки Пито-Прандтля. В ноябре 2019 на полномасштабном стенде криогенного замедлителя КЗ 201 диафрагма была испытана и откалибрована в диапазоне от 20К до 300 К. Начиная с ноября 2020 года диафрагма работает в составе системы контроля КЗ 201, замечаний к работе системы нет. Показания стабильны в течение всего цикла работы замедлителя.

- ***Исследование вязкости рабочего вещества и объемная доля выделяющегося водорода после облучения одного рабочего цикла.***

Получены экспериментальные данные зависимости вязкости рабочего вещества от дозы облучения для КЗ 201. Полученные данные, были проанализированы, сравнены с дозовой нагрузкой и вязкостью рабочего вещества в КЗ 202. Исследования показали, что вязкость в камере КЗ 201 выше, чем в КЗ 202 при одинаковой часовой наработке и составляет 54 сР и 17 сР соответственно. При этом, стоит отметить, что опасности полимеризации рабочего вещества нет. Для сравнения была исследована вязкость вакуумного масла ВМ4, которая составила 364 сР. За эталон был взят мезитилен до облучения с значением 1 сР (таблица 1).

Таблица 1. Вязкость веществ

Name	CM 201	CM 202	Vacuum oil	Mesitylene
Viscosity (сР)	54	17	356	1

Исследования объемной доли накапливающего радиолитического водорода в рабочем веществе замедлителя КЗ 201 также показали увеличение до 55%, в то время как на КЗ 202 это показатель составляет 22%. При этом гремучей смеси в системе не образуется, а концентрация водорода постоянно контролируется.

Для установления причин увеличения вязкости и объемной доли водорода в одном из замедлителей в начале 2021 года было проведено моделирование и расчеты, в результате анализа которых установлено, что поглощённая дозовая нагрузка на рабочее вещество не одинаковая и составляет для КЗ 201 132 MGy, а для КЗ 202 99,8 MGy. Эта разница объясняется разной формой, геометрическим размерами и расположением криогенной камеры в каждом из замедлителей относительно активной зоны реактора, а следовательно, и дозовой нагрузкой на рабочее вещество. В настоящее время замедлители и контрольные системы работают без нареканий в полном объеме. Время работы замедлителей достигло проектных.

- ***Подготовлены документы и проведены испытания работы комплекса в различных режимах с имитацией аварийных ситуаций.***

Проведен цикл экспериментов по определению технологических режимов работы замедлителя в штатных и не штатных ситуациях. Отработаны действия персонала с имитацией сбоев в работе технологических систем. Определен алгоритм действий персонала при переводе замедлителя из криогенного режима в водяной без снижения мощности реактора и прерывания работы экспериментаторов на пучках.

- ***Нейтроннофизические характеристики замедлителя КЗ 201.***

В XI цикле работы КЗ 201 на физический эксперимент в 2020 году на пучках 4, 5, 6 и 9 были проведены измерения спектра нейтронного потока при работе КЗ 201 в криогенном режиме при температуре замедляющего вещества $\sim T$ 25 К. Полученные данные были сравнены с режимом работы КЗ 201 в водяном режиме (Приложение 1).

Пучок 4 (ЮМО).

В результате работы КЗ 201 в режиме криогенного замедлителя на пучке № 4 выигрыш в области холодных нейтронов с длиной волны от 3 до 8 Å составил от 2 до 6 раз, кроме того расширился диапазон регистрируемых длин волн до 8,2 Å. Ответственный экспериментатор считает результаты удовлетворительными – предлагает каждый цикл делать в криогенном режиме.

Пучок № 5 (ФДВР)

В результате работы КЗ 201 в режиме криогенного замедлителя на пучке № 5 повышение интенсивности в области холодных нейтронов составил 4 - 9 раз.

Пучок № 6 (ДН6)

В результате работы КЗ 201 в режиме криогенного замедлителя на пучке № 6б повышение интенсивности в области холодных нейтронов составил 2 - 7 раз. Снижения в области тепловых нейтронов обнаружено не было.

- **Пучок № 9 (РЕФЛЕКС)**

В результате работы КЗ 201 в режиме криогенного замедлителя на пучке № 9 повышение интенсивности в области холодных нейтронов составил до 7 раз. Снижения в области тепловых нейтронов обнаружено не было.

- Смонтирована независимая, от систем ИБР-2, система охлаждения (градирня) турбинных модулей и компрессоров криогенных установок комплекса криогенных замедлителей.
- Разработано ТЗ, закуплено часть оборудования для систем закачки гелия от криогенных и физических установок в емкости для хранения и повторного использования.
- Оптимизирована работа криогенной системы для эксплуатации 2х замедлителей одновременно с формированием в рабочих камерах каждого из них индивидуальных температур.
- Разработано и смонтировано место хранения водяного замедлителя ВЗ 301 в помещении 165. Дозовая нагрузка снижена с более чем в 100 раз.
- Создан участок изготовления деталей и узлов, с проверкой на прочность и плотность. Персонал прошел обучение, сдал экзамены, получил удостоверения с правом проведения испытаний и выдачи актов проверки на прочность и герметичность.

3. Планируемые работы по проекту до конца 2021 года.

- Продолжение эксплуатации КЗ 201 и КЗ 202 для пользователей.
- Продолжение исследований вязкости рабочего вещества от дозовой нагрузки и температуры эксплуатации.
- Исследование зависимости спектра нейтронного потока от температуры замедляющего вещества КЗ 201 в диапазоне от 20 К до 100 К.
- Установка и экспериментальная эксплуатация дозатора увеличенного объема со смотровым окном на полномасштабном стенде КЗ 201.
- Монтаж и ввод в эксплуатацию новой криогенной машины, оптимизация параметров работы оборудования системы охлаждения комплекса замедлителей. Ожидаемый результат – снижение температуры рабочего вещества до 20 К. Резервирование систем.
- Разработка системы контроля и автоматизации технологических систем комплекса замедлителей для работы оператора в режиме «одного окна».
- Определение статуса и расчет формы головной части КЗ 203.
- Подготовка документации, экспертизы необходимые для ввода КЗ 201 и КЗ 202 в общепромышленную эксплуатацию.

Заключение.

За отчетный период был установлен и прошел первый этап испытаний новый криогенный замедлитель КЗ 201, который дополнил комплекс замедлителей ИЯУ ИБР-2. В настоящее время на ИЯУ ИБР-2 установлены 2 криогенных замедлителя КЗ 201 и КЗ 202, формирующих поток холодных нейтронов на пучках №№ 1, 4 – 11. Замедлители КЗ 202 и КЗ 201 в 2020 - 2021 году отработали на физический эксперимент в криогенном режиме 654 и 735 часов соответственно. Криогенная система замедлителей работает в проектном режиме, основным рефрижератором является КГУ 1200/10. Технологические системы (криогенная, вакуумная и т.д.) обеспечения работы замедлителя работают в штатном режиме и готовы к эксплуатации. В технологическую систему КЗ 201 внедрены новые узлы и устройства. Проведены исследования вязкости рабочего вещества замедлителя, определены нейтроннофизические параметры КЗ 201. В 2021 году планируется провести дополнительные испытания КЗ 201 в режиме криогенного замедлителя модернизировать криогенную систему и ввести в эксплуатацию новый рефрижератор. Определить статус КЗ 203. Подготовить документацию и пройти экспертизу для ввода КЗ 201 и КЗ 202 в общепромышленную эксплуатацию.

По результатам работы за отчетный период опубликована статья в журнал «поверхность», получено свидетельство о регистрации программы, готовится к публикации три статьи, одна по результатам исследований вязкости рабочего вещества, вторая по результатам исследования спектра нейтронного потока для КЗ 201, третья по криогенной системе комплекса, ведутся работы с отделом лицензирования и интеллектуальной собственности ОИЯИ по подготовке заявки на изобретение по регистрации шариков оптическим методом.

Данные полученные в результате реализации проекта вызывают широкую заинтересованность среди мирового сообщества, использующего источники холодных нейтронов, что подтверждается многочисленными докладами на технических совещаниях МАГАТЭ, на международных тематических конференциях и локальных обсуждениях.

Используя опыт и знания, накопленные в рамках реализации проекта специалиста от лица ОИЯИ по соглашению о создании консорциума между ОИЯИ и ПИЯФ участвуют в разработке холодного замедлителя для компактного источника нейтронов «DARIA».

Neutron spectrum and gain factor in 4, 5, 6, 9 beams by cold moderator CM 201 operation in cold and thermal mode.

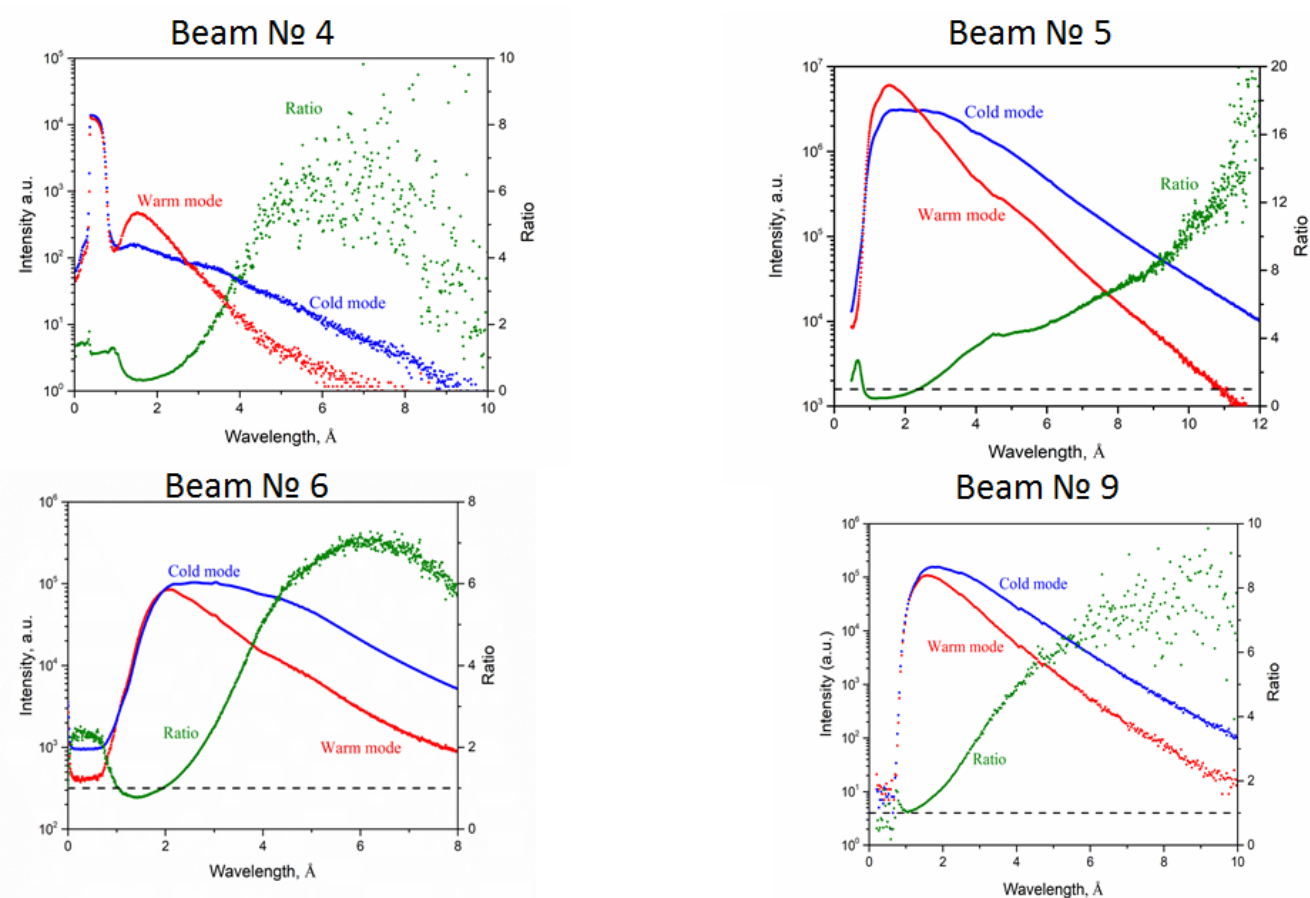


Table 1. Calculation and experimental data of gain factor for 4, 5, 6, 9 beams between cold and thermal mode of moderator CM 201 operation

Wavelength, Å	Beam 4		Beam 5		Beam 6		Beam 9	
	Calcul.	Exp.	Calcul.	Exp.	Calcul.	Exp.	Calcul.	Exp.
9 – 6	5.74	5.6	7.11	6.4	6.9	6.4	8.83	7
6 – 4	4.8	5	5.95	4.5	5.2	4.8	6.55	5