



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

А.В. Каплиенко

2019 г.



ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

Акционерное общество «Ордена Ленина
Научно-исследовательский и конструкторский институт
энерготехники имени Н. А. Доллежала»
(АО «НИКИЭТ»)
а/я 788, Москва, 101000
Телетайп: 611569 МОМЕНТ,
Тел. (499) 263-73-88, факс (499) 788-20-52
E-mail: nikiet@nikiet.ru, www.nikiet.ru

Отзыв ведущей организации
на диссертационную работу **Мухина Константина Александровича**
**«Источник холодных нейтронов реактора ИБР-2 на основе дисперсного
мезитилена с системой охлаждения»**, представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы
экспериментальной физики

Актуальность представленной работы не вызывает сомнений и посвящена созданию холодных источников нейтронов на исследовательских реакторах и ускорителях, работающих по принципу реакции spallation, которые можно назвать первичными источниками нейтронов. Для замедления нейтроны должны многократно столкнуться с атомами рабочего вещества – замедлителя, и, если для снижения энергии нейтрона до тепловой области достаточно применить дистиллированную воду, прокачиваемую через камеру, то для получения холодных нейтронов с длиной волны более 4 Å, принято применять различные водородосодержащие вещества при криогенных температурах. Стоит отметить, что, как и исследовательские первичные источники уникальны, так и каждый создаваемый холодный замедлитель (или источник) является – индивидуальным, сложным инженерно-техническим устройством. Создание таких холодных источников подразумевает оценку многих параметров, начиная от оптимизации конфигурации самого источника, выбора замедляющего вещества, принципа работы и режимов эксплуатации, и заканчивая созданием необходимой инфраструктуры, систем охлаждения и безопасности,



Сертифицировано
Русским Регистром

AA.1.14

которые могут быть даже сложнее и более трудоемкими в реализации, чем сам источник. В настоящее время любой крупный нейтронный центр в мире (ORNL, Oakridge, USA; ILL, France; FRM II, Germany, строящиеся ПИК, Гатчина; ESS, Sweden и т.д.) имеет целый парк физических установок, специально приспособленных для работы с холодными нейтронами. Сейчас в мире работают примерно 15 высокоинтенсивных источников холодных нейтронов. Один из них, как раз описанный автором в работе, источник на основе дисперсного мезитилена, действующий на реакторе ИБР-2 в Дубне. Немаловажным будет отметить, что на сегодняшний день, это единственный высокопоточный источник холодных нейтронов на территории Российской Федерации. Такая востребованность в длинноволновых нейтронах обоснована их физическими свойствами (в основном волновыми), проявляющимися при снижении их энергии от 5 МэВ и ниже. Такие нейтроны наиболее предпочтительны в изучении атомной и молекулярной структуры веществ в различных агрегатных состояниях, при различных внешних условиях, в областях больших d_{hkl} , изучении сложных и среднесложных структур с параметром $V_c \geq 150 \text{ \AA}^3$, количественном фазовом анализе, изучении магнитных структур, при проведении экспериментов в реальном времени. Такие методы как: времяпролетная спектроскопия неупругого рассеяния, спин-эхо спектрометрия, малоугловое рассеяние, рефлектометрия и дифракция специально приспособлены к использованию холодных нейтронов. Таким образом, создание холодного источника на реакторе ИБР-2 существенно расширяет возможности физических установок и позволяет проводить актуальные эксперименты на высоком научно-техническом уровне.

Научная новизна и практическая значимость полученных результатов выражается в создании принципиально нового и единственного в мире по принципу работы источника холодных нейтронов. В качестве рабочего вещества – замедлителя - автор обоснованно выбирает мезитилен в смеси с метаксилолом в форме шариков в твердом агрегатном состоянии. Загрузку производят методом пневмотранспортировки по специально разработанным для этого трубопроводам без сильфонных узлов. Температурное линейное расширение трубопроводов компенсируется естественным способом на поворотах, а снижение нагрузки на разрыв обеспечено применением специально разработанных «скользящих» опор. В ходе реализации проекта автором были разработаны новые технические решения и устройства, которые были защищены патентами РФ. Одним из таких устройств

является фланцевое разъемное соединение для комбинированного замедлителя КЗ 201. Этот замедлитель был специально разработан для экспериментальных пучков 1, 4, 5, 6, 9 и благодаря своему расположению относительно активной зоны реактора имеет возможность замены. Замена или перегрузка замедлителя может понадобиться в случае выхода замедлителя из строя, разработки более оптимальной конфигурации головной части замедлителя или необходимости получить повышенный поток тепловых нейтронов для проведения эксперимента. Сам по себе замедлитель – это набор камер, трубопроводов и термометрического оборудования с защитным бетонным блоком. Для работы криогенного замедлителя необходимо подключение к инженерным коммуникациям, таким как водяная и криогенная системы охлаждения, трубопровод подачи шариков, система удаления отработанной рабочей смеси. Наиболее сложным вопросом при создании замедлителя является подключение криогенной системы и транспортного трубопровода к блоку замедлителя. Это обусловлено полученными впервые автором результатами о нерегулярности движения шарика в трубе. В случае появления перед ним преграды более 10 – 15 мкм скорость может упасть на 10 – 15 %. При этом есть вероятность, что идущие следом шарики могут догнать друг друга, сформировав большую группу, которая не сможет подняться на протяженный подъем, образовав тем самым неустранимый затор. Разработанное и внедренное автором специальное фланцевое криогенное соединение обеспечивает сопряжение элементов, таким образом, что изменения траектории движения шарика не происходит. К тому же соединение не имеет в месте стыка тепловых мостов, что исключает дополнительный локальный теплоприток, способный расплавить внешнюю оболочку шарика при прохождении этого узла. Важно, что специально разработанное соединение исключает при перегрузке применение механических отрезных машин и сварки, время замены сокращается, как и действие ионизирующего излучения на эксплуатирующий персонал. Стоит отметить, что такое соединение можно применять при сборке трубопроводов или оборудования в криогенной отрасли для передачи других хладагентов. Простота конструкции и сборки соединения позволяет изготовить его на любом слесарном участке и не требует специального оборудования. Впервые на полномасштабном стенде КЗ 201 получены данные о режимах работы оборудования и физических характеристиках среды для загрузки шариков по геометрически сложному трубопроводу с поворотами до 90^0 , затяжными подъемами под углом 52^0 на длине 3 метра, без заторов, слипания и существенной дефрагментации. Полученные

параметры позволяют закончить работу над источником холодных нейтронов реактора ИБР-2 на основе дисперсного мезитилена без проведения дополнительных исследований и могут быть перенесены на любой другой замедлитель с трубопроводом более простой конфигурации. Автором разработана криогенная система, дающая возможность использовать весь потенциал мезитилена. Впервые на реакторе ИБР-2 реализована возможность устанавливать индивидуальную температуру в криогенной камере каждого замедлителя в пределах от 20 К до 150 К. Изменение температуры позволяет смещать пик нейтронного спектра в область больших или меньших длин волн, и это дает возможность получить оптимальный нейтронный спектр для каждого конкретного эксперимента. Это делает источник универсальным и легко адаптируемым под требования экспериментаторов, что очень важно в условиях установки ИБР-2, когда на плоскость одного замедлителя «смотрят» несколько экспериментальных установок. Получены новые данные по зависимости нейтронного спектра от температуры рабочего вещества на установках РЕМУР, НЕРА и СКАТ. Важно отметить, что разработанная автором криогенная система, а также некоторая модернизация основных узлов позволили снизить температуру в камере замедлителя на 10 К (с 32 К до 22 К) при работе на один замедлитель и на 38 К (с 60 К до 22 К) при работе на два замедлителя одновременно, что дало повышение потока холодных нейтронов до 22 % и до 200 % соответственно.

Достоверность результатов, полученных автором в рамках темы диссертационной работы подтверждается успешной эксплуатацией первой очереди источника холодных нейтронов – комбинированного замедлителя КЗ 202 с 2012 года. По результатам диссертационного исследования опубликованы 7 статей в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, автором получены два патента РФ. Результаты работы прошли достаточную апробацию в многочисленных докладах автора на российских и международных научных конференциях. Всего по теме диссертации автором опубликованы 22 научные работы.

Личный вклад состоит в разработке методик и технических решений по определению параметров и описанию траектории движения шариков в трубе на лабораторных и полномасштабных стендах, созданию инженерных коммуникаций, макетов и собственно замедлителей; проведению испытаний, подбору материалов и оборудования вакуумной системы; разработке и внедрению специального криогенного фланцевого соединения, защищенного патентом; разработке новой

криогенной системы, позволяющей получать широкий и индивидуальный температурный режим в камерах замедлителей с резервированием рефрижераторных установок. Автор принимал участие во всех научных, технических и экспериментальных работах, организовал участок по изготовлению криогенных трубопроводов для замедлителя, ставил эксперименты, анализировал результаты и делал выводы, на основании которых принимались решения по дальнейшим действиям в рамках проекта. Личный вклад автора в эти работы не подвергается сомнению и является определяющим, что подтверждается хорошим знанием и детальным описанием принципов и режимов работы экспериментального оборудования, глубокой оценкой и анализом полученных результатов, технически грамотным решением возникающих в работе проблем.

Заключение

Диссертация написана понятным терминологически корректным языком, логична по своей структуре и очередности изложения, автореферат диссертации полностью отражает основную суть работы, вклад автора и выводы. Тема и содержание квалификационной работы на присуждение ученой степени кандидата технических наук, соответствуют паспорту специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

По тексту диссертации можно сделать следующие замечания:

1. Целью работы автор выбирает глобальную задачу «Создание замедлителя», решаемую большим коллективом с привлечением сторонних организаций. По нашему мнению, более корректно цель диссертационной работы, подчёркивающая научно-техническую значимость проведённой автором работы, исходя из её содержания, может быть сформулирована: «Расчётные и экспериментальные исследования в обоснование конструктивных и технологических решений, принятых при создании комбинированного замедлителя нейтронов реактора ИБР-2 на основе дисперсного мезитилена в направлении...».

2. В работе автор отмечает, что наилучшим замедлителем является метан, но не рассматривает и не предлагает устройство по созданию метановых шариков. В качестве продолжения работы предлагаем провести исследования возможности применения метановых шариков в комбинированном замедлителе.

3. В работе указано, что предзамедлитель может влиять на реактивность реактора, в связи с чем он классифицирован по влиянию на безопасность как элемент

важный для безопасности (ЗН), однако обоснование выбора классификации в работе не приводится.

4. Автор не рассматривает в работе влияние отказов других элементов комбинированных замедлителей на безопасность реактора.

Высказанные замечания не снижают высокой научно-практической значимости работы. Работа аккумулирует большое количество данных для создания таких сложных устройств как холодные замедлители, а новые разработки и полученные в результате исследований и опытной эксплуатации параметры позволяют рассматривать такие замедлители как перспективное направление для источников средней и малой мощности. В качестве дальнейшего развития тематики предлагаются следующие направления:

1. Продолжить работу по оптимизации криогенной системы охлаждения и провести эксперименты по зависимости спектра от температуры ниже 20 К.

2. Рассмотреть возможность внедрения таких замедлителей (или других) на компактные источники нейтронов малой мощности. Сейчас активно развивается создание компактных источников для вузов и малых научных центров.

3. Оценить максимальную дозовую нагрузку на рабочее вещество (мезитилен в смеси с метаксилолом) до его критической вязкости и полимеризации.

4. Попытаться разработать устройство подсчета каждого шарика, для более точного контроля.

Диссертационная работа Мухина Константина Александровича является завершённым самостоятельным научно-квалификационным исследованием, в котором получены и экспериментально обоснованы оптимальные параметры работы систем и оборудования источника холодных нейтронов реактора ИБР-2. В целом, работа имеет высокую научную и практическую значимость, подтвержденную усовершенствованиями, полученными на физических инструментах РЕМУР, СКАТ, НЕРА и имеет перспективное продолжение. Рассматриваемая квалификационная работа соответствует критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, а её автор, Мухин Константин Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании отдела исследовательских и изотопных реакторов АО «НИКИЭТ» (протокол от 19.04.2019 № 441.524Пр)

Заместитель директора по НИОКР АО «НИКИЭТ

доктор технических наук

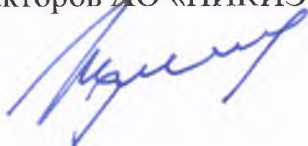


Лопаткин Александр Викторович

тел. (499) 263-73-18

e-mail: lopatkin@nikiet.ru

Главный конструктор исследовательских и изотопных реакторов АО «НИКИЭТ»



Третьяков Игорь Говиевич

тел. (499) 263-73-26

e-mail: tretjakov@nikiet.ru

Заместитель главного конструктора

исследовательских и изотопных реакторов

АО «НИКИЭТ»



Романова Наталья Викторовна

тел. (499)263-74-03

e-mail: romanova@nikiet.ru

Акционерное общество «Ордена Ленина Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники имени Н.А. Доллежала»

(АО «НИКИЭТ»), 101000, Москва, а/я 788, тел.: +7(499) 263-73-37,

e-mail: nikiet@nikiet.ru

Подписи Лопаткина А.В., Третьякова И.Т., Романовой Н.В. заверяю

Ученый секретарь АО «НИКИЭТ»

кандидат химических наук



А.В. Джалавян