



УТВЕРЖДАЮ  
Директор Лаборатории  
нейтронной физики им. И.М. Франка  
В.Н. Швецов  
201 г.

ВЫПИСКА  
из протокола заседания Научно-технического совета  
НЭОКС ЛНФ от 07 октября 2016 г.

Численный состав НТС – 18 человек.

**ПРИСУТСТВОВАЛИ:** 19 человек, из них 14 членов НТС.

**СЛУШАЛИ:** сообщение БУЛАВИНА МАКСИМА ВИКТОРОВИЧА о содержании, основных положениях и выводах диссертационной работы «ШАРИКОВЫЙ ХОЛОДНЫЙ ЗАМЕДЛИТЕЛЬ РЕАКТОРА ИБР-2: НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики. Научный руководитель: доктор физико-математических наук, Е.П. Шабалин; научный консультант: кандидат физико-математических наук С.А. Куликов.

В обсуждении диссертации приняли участие 8 членов НТС, при этом выступающими было отмечено, что диссертационная работа Булавина М.В. по своей научной новизне, практической значимости и важности полученных результатов отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, и соответствует специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики. Диссертация рекомендована к защите в диссертационном совете Д 720.001.06 при Лаборатории нейтронной физики и Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Заключение о диссертационной работе.

В диссертационной работе «Шариковый холодный замедлитель реактора ИБР-2: некоторые аспекты создания и применения» впервые теоретически и экспериментально исследован характер движения одиночного шарика в прямой цилиндрической трубе, в том числе нерегулярность его движения, обусловленная шероховатостью стенок трубы. Результаты использованы при разработке полномасштабного испытательного стенда для проверки работоспособности пневмотранспортного принципа загрузки замороженных шариков в камеру холодного замедлителя. Разработанная методика проверки работоспособности пневмотранспортного принципа загрузки позволила определить оптимальный режим загрузки камеры холодного замедлителя шариками, обеспечивающий быструю загрузку с сохранением их целостности. Установлено, что максимальное время работы холодного замедлителя на физический эксперимент на мощности реактора 2 МВт составляет 10 суток. Эксперименты на выведенных пучках нейтронов ИБР-2 показали, что использование разработанного холодного замедлителя, на основе шариков из смеси ароматических углеводородов позволяет на порядок сократить время эксперимента и расширить диапазон изучаемых длин волн.

Основные результаты работы:

1. Теоретические расчеты и эксперименты на лабораторном и полномасштабном испытательном стенде позволили выявить основные особенности и доказать возможность пневмотранспортировки замороженных шариков из смеси ароматических углеводородов в камеру холодного замедлителя потоком гелия при температуре 30 К по трубопроводу сложной конфигурации.
2. Значения параметров оптимального режима загрузки шариков в камеру холодного замедлителя в направлении 7, 8, 10 и 11 пучков ИБР-2: скорость потока гелия в трубе 11 - 14 м/с, средняя скорость шариков во время загрузки 2,5 - 3 м/сек, темп подачи шариков из дозатора до 8 шт/сек, температура транспортирующего гелия при загрузке шариков 80-85 К. Выбранные параметры позволили обеспечить оперативную загрузку камеры замедлителя за время около 4 часов, без разрушения шариков в процессе пневмотранспорта.
3. Использование холодного замедлителя привело к существенному увеличению (4-10 раз) дифференциальной плотности потока холодных нейтронов на спектрометрах реактора ИБР-2 по сравнению с водяным замедлителем, благодаря чему:
  - на рефлектометре РЕМУР время измерения спектра микропучка нейтронов снизилось в 10 раз. Время измерения спектров в эксперименте по пространственному расщеплению пучка снизилось в 4-10 раз, а доступный диапазон длин волн увеличился с 8 Å до 16 Å, что позволило сократить время измерения еще как минимум в 2 раза;
  - время измерения дифракционных спектров горных пород на спектрометре СКАТ, возможно либо сократить в 3-4 раза, сохранив при этом аналогичную статистику нейтронов по сравнению с водяным замедлителем, либо при том же времени измерений существенно – в 2 раза – уменьшить статистические погрешности получаемых результатов.

Основные результаты, изложенные в диссертации, получены при определяющем вкладе автора.

Результаты, вошедшие в диссертацию, были доложены и обсуждались на следующих научных конференциях:

1. 2nd Joint seminar JINR – Romania on neutron physics for investigation of nuclei condensed matter and life science (JSJR) (Baia Mare, Romania, 2007 г.).
2. Конференция молодых ученых и специалистов ОМУС 2009 (Дубна, 2009 г.).
3. Конференция молодых ученых и специалистов ОМУС 2011 (Дубна, 2011 г.).
4. Научная школа «Приборы и методы экспериментальной ядерной физики» (Дубна, 2010 г.).
5. Инновационный форум «Селигер 2010» (о. Селигер, 2010 г.).
6. 45 Зимняя школа ПИЯФ РАН, Секция Физики Конденсированного состояния (Гатчина, 2011 г.).
7. XXI совещание по использованию рассеяния нейтронов в исследованиях конденсированного состояния (РНИКС–2010), РИЦ «Курчатовский институт» (Москва, 2010 г.).
8. 5th European conference on neutron scattering (ECNS) (Prague, Czech Republic, 2011 г.).
9. 3rd Joint seminar JINR – Romania on neutron physics for investigation of nuclei condensed matter and life science (JSJR) (Targoviste, Romania, 2011 г.).

10. 46th Crystallography course «The future of dynamic structural science» (Erice, Italy, 2013 г.).
11. XXI International collaboration on advanced neutron sources (Mito, Ibaraki, Japan, 2014 г.)
12. VI European conference on neutron scattering (ECNS2015) (Zaragoza, Spain, 2015)
13. 2nd Research coordination meeting related to the IAEA coordinated research project 1916 / F1.20.26 on advanced moderators for intense cold neutron beams in material research (Vienna, Austria, 2016)

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Bulavin, M.V. Thermal calculation of helium cryogenic pipeline for cold moderator of the IBR-2M reactor / M.V. Bulavin в соавторстве с V.V. Melikhov // The second joint seminar Joint Institute for Nuclear Research-Romania on neutron physics for investigations of nuclei, condensed matter and life sciences. – Baia Mare, 2007. – P.26.
2. Experimental facility for verification of heat gain into the cryogenic pipeline of a cold moderator for the IBR – 2M research reactor / M.V. Bulavin в соавторстве с E. N. Kulagin, S.A. Kulikov, V.V. Melikhov, K.A. Mukhin // The second joint seminar Joint Institute for Nuclear Research-Romania on neutron physics for investigations of nuclei, condensed matter and life sciences. – Baia Mare, 2007. – P.27.
3. Определение теплопритоков к трубопроводу мезитиленовых шариков криогенного замедлителя реактора ИБР – 2М / М.В. Булавин в соавторстве с Е.Н. Кулагиным, С.А. Куликовым, В.В. Мелиховым, К.А. Мухиным // Сообщения Объединенного Института Ядерных Исследований. – 2008. – P13-2008-179. – 10 с.
4. Моделирование пневмотранспорта твердых шариков холодного замедлителя нейтронов: распределение скорости и времени движения / М.В. Булавин в соавторстве с Е.Н. Кулагиным, С.А. Куликовым, К.А. Мухиным, Д.Е. Шабалиным, Е.П. Шабалиным // Сообщения Объединенного Института Ядерных Исследований. – 2009. – P13-2009-72. – 16 с.
5. R&D of productive pelletized cold neutron moderators / M. Bulavin в соавторстве с E. Kulagin, S. Kulikov, D. Shabalin, E. Shabalin, A. Verhoglyadov; Proceeding of the second Research coordination meeting, IAEA, Kuala Lumpur, Malaysia, p.171-175, 2009.
6. Recent progress in development of the pelletized cold neutron moderators for the IBR-2M reactor / M. Bulavin в соавторстве с A. Kulikov, E. Kulagin, S. Kulikov, D. Shabalin, E. Shabalin, A. Verhoglyadov // 19th meeting on collaboration of advanced neutron sources. – Grindelwald, 2010. – P. 1-8.
7. Full scale model of pelletized cold neutron moderators for the IBR-2M reactor / M.V. Bulavin в соавторстве с S. A. Kulikov, V. D. Ananiev, A. A. Belyakov, A. E. Verkhoglyadov, E. N. Kulagin, A. A. Kustov, K. A. Mukhin, Fedorov, E. P. Shabalin, D. E. Shabalin // Proceedings of International Collaboration on Advanced Neutron Sources (ICANS XIX), PSI-Proceedings 10-01, ISSN 1019-6447, TO070. – PSI, Greendelvald. – p. 1-8.
8. Current status of development advanced pelletized cold moderators for the IBR-2M research reactor / M. Bulavin в соавторстве с A. Beliakov, S. Kulikov, K. Mukhin, E. Shabalin, A. Verhoglyadov // Physics of particles and nuclei, letters. – 2013. – Vol. 10. – №2. – P. 230-235.
9. Advanced pelletized cold moderators for the IBR-2M research reactor for condense matter research / M. Bulavin в соавторстве с A. Belyakov, S. Kulikov, K. Mukhin, E. Shabalin, A. Verhoglyadov // Proceedings of International Conference of Advanced Neutron Sources, ICANS XX. – Bariloche, Argentina, 2012. – id 341.
10. Испытательный стенд шарикового криогенного замедлителя нейтронов реактора ИБР-2 / М.В. Булавин в соавторстве с В.Д. Ананьевым, А.А. Беляковым, А.А. Богдзелем, А.Е. Верхоглядным, Е.Н. Кулагиным, С.А. Куликовым, А.А. Кустовым, А.А. Любимцевым, К.А. Мухиным, Т.Б. Петуховой, А.П. Сиротиным, А.Н. Федоровым, Д.Е. Шабалиным,

- Е.П. Шабалиным, В.К. Широковым // Журнал приборы и техника эксперимента. – 2013. – №1. – С. 128-134.
11. Test stand of the technological system of the cryogenic moderator with the control electronics / M.V. Bulavin в соавторстве с S. A. Kulikov, V. D. Ananiev, A. A. Belyakov, A.A. Bogdzal, A. E. Verkhoglyadov, E. N. Kulagin, A. A. Kustov, K. A. Mukhin, A.N. Fedorov, E. P. Shabalin, D. E. Shabalin, T.B. Petukhova, A.P. Sirotin, V.K. Shirokov // Romanian journal of science and arts. – 2011. – № 3. – P. 339-346.
  12. Обеспечение доставки рабочего материала к камере-имитатору модели криогенного замедлителя реактора ИБР – 2М. Электроника управления и контроля / М.В. Булавин в соавторстве с В.Д. Ананьевым, А.А. Беляковым, А.А. Богдзелем, А.Е. Верхоглядковым, Е.Н. Кулагиным, С.А. Куликовым, А.А. Кустовым, А.А. Любимцевым, К.А. Мухиным, Т.Б. Петуховой, А.П. Сиротиным, А.Н. Федоровым, Д.Е. Шабалиным, Е.П. Шабалиным, В.К. Широковым // Труды XV-ой научной конференции молодых учёных и специалистов. – Дубна, 2011. – С. 198.
  13. Холодный замедлитель нейтронов на модернизированном реакторе ИБР-2 / М.В. Булавин в соавторстве с В.Д. Ананьевым, А.А. Беляковым, А.Е. Верхоглядковым, С.А. Куликовым, К.А. Мухиным, Е.П. Шабалиным // Журнал технической физики. – 2014. – Т. 84, №2. – С. 131-134.
  14. Первый в мире шариковый холодный замедлитель нейтронов / М.В. Булавин в соавторстве с В.Д. Ананьевым, А.А. Беляковым, А.А. Богдзелем, А.Е. Верхоглядковым, Е.Н. Кулагиным, С.А. Куликовым, А.А. Кустовым, А.А. Любимцевым, К.А. Мухиным, Т.Б. Петуховой, А.П. Сиротиным, А.Н. Федоровым, Д.Е. Шабалиным, Е.П. Шабалиным, В.К. Широковым // Сообщения Объединенного Института Ядерных Исследований. – 2012. – P13-2012-113. – 14 с.
  15. The world's first pelletized cold neutron moderator began its operation / M. Bulavin в соавторстве с E. Shabalin, S. Kulikov, A. Verkhogliadov // Neutron News. – 2013. – Vol. 24, №3. – P. 27.
  16. The world's first pelletized cold neutron moderator at a neutron scattering facility / M.V. Bulavin в соавторстве с S. A. Kulikov, V. D. Ananiev, A. A. Belyakov, A. E. Verkhoglyadov, E. N. Kulagin, A. A. Kustov, K. A. Mukhin, E. P. Shabalin, D. E. Shabalin, T.B. Petukhova, A.P. Sirotin, V.K. Shirokov // Nuclear instruments and methods in physics – 2014. – Vol. 320. – P. 70-74.
  17. Control system of pelletized cold neutron moderator of the IBR-2 reactor / M.V. Bulavin в соавторстве с А.А. Belyakov, A.N. Chernikov, A. Churakov, S. A. Kulikov, E. Litvinenko, A. Petrenko, A. E. Verkhoglyadov, E. N. Kulagin, K. A. Mukhin, E. P. Shabalin, T.B. Petukhova, A.P. Sirotin, V.K. Shirokov // Physics of particles and nuclei letters. – 2015. – Vol. 12, №6. – P. 773-777.
  18. Пат. 2492538 Российская Федерация, МПК G 21 К 001/00. Шариковый холодный замедлитель нейтронов [Текст] / М.В. Булавин в соавторстве с В.Д. Ананьевым, А.А. Беляковым, А.Е. Верхоглядковым, С.А. Куликовым, А.А. Кустовым, К.А. Мухиным, Д.Е. Шабалиным, Е.П. Шабалиным; заявитель и патентообладатель Объединенный институт ядерных исследований. – Оpubл. RU БИПМ № 35, 10.09.2013. – С. 2.
  19. Pelletized cold moderator of the IBR-2 reactor: current status and future development / M. Bulavin в соавторстве с V. Ananiev, A. Beliakov, A. Verkhogliadov, E. Kulagin, S. Kulikov, K. Mukhin, E. Shabalin and K. Loktaev // Journal of Physics: conference series (ECNS 2015). – 2016. - №746, 012031, p. 6.
  20. Possibility of loading the chamber of the “central” pelletized cold moderator for IBR–2 reactor beams 1, 4–6, and 9 / M. V. Bulavin в соавторстве с А. А. Belyakov, А. Е. Verkhoglyadov, V. A. Skuratov, I. A. Smelyansky, S. A. Kulikov, А. А. Kustov, К. А. Mukhin, А. А. Lyubimtsev, А. Р. Sirotin, V. К. Shirokov and Т. В. Petukhova // Physics of particles and nuclei letters. – 2016. – Vol. 13, №6. – pp. 774-781.

21. Использование криогенного замедлителя на нейтронном рефлектометре РЕМУР / М.В. Булавин в соавторстве с С.В. Кожевниковым, В.Д. Жакетовым, А.В. Петренко, А.Е. Верхоглядным, С.А. Куликовым, Е.П. Шабалиным // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2016. – №1, с. 5-14.
22. Использование комбинированного замедлителя на реакторе ИБР-2: преимущества для нейтронографического текстурного анализа горных пород / М.В. Булавин в соавторстве с Р.Н. Васиным, С.А. Куликовым, Т. Локаичек, Д.М. Левиным // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2016. – № 5, с. 1-10.
23. To theory of pneumotransport of beads of cold neutron moderator of the IBR-2 reactor / M.V. Bulavin в соавторстве с A.V. Kazakov and E.P. Shabalin // Physics of particles and nuclei letters. – 2017. – Vol. 14, №3. (in print)

### **ПОСТАНОВИЛИ:**

1. Автору учесть замечания, высказанные в процессе обсуждения диссертации.
2. Рекомендовать представленную БУЛАВИНЫМ МАКСИМОМ ВИКТОРОВИЧЕМ диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики к защите в диссертационном совете Д 720.001.06 при Лаборатории нейтронной физики и Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.
3. Утвердить текст заключения о диссертационной работе БУЛАВИНА МАКСИМА ВИКТОРОВИЧА.

Председатель НТС НЭОКС ЛНФ

В.И. Приходько

Секретарь НТС НЭОКС ЛНФ

Е.И. Литвиненко

Ученый секретарь ЛНФ ОИЯИ

Д. Худоба