

A new neutron source at FLNP JINR: current status and plans for 2024-2030

M.V. Bulavin

Frank Laboratory of Neutron Physics, Joint Institute for Nuclear Research, 141980 Dubna,
Russia

bulavinm@nf.jinr.ru

Current status

In the process of studying the problems of stability and reliability of operation of the NEPTUN reactor, it was concluded that the main factor negatively affecting the stability and reliability of its operation in all modes is the dynamic bending of fuel rods and fuel assemblies. The dynamics of the reactor with one average fuel rod was thoroughly analyzed in the oscillatory approximation. It was shown that any periodic reactivity fluctuations exceeding a certain amplitude value are enhanced by the delay in the negative feedback and lead to a slow asymptotic reactor runaway or to significant fluctuations in the reactor power. Within the framework of the oscillatory approximation, a system of interacting and non-interacting fuel rods in quantities of up to several hundred pieces was also studied, as well as the dependence of the course of dynamic processes on the design of the fuel rod supports and the magnitude of friction in the supports.

On the basis of the obtained results, it became possible to formulate requirements for the optimal design of fuel rods and the configuration of the reactor core, which would ensure stable operation of the reactor at an installed power of 10-15 MW. The preferred option for the core configuration is a variant with a rigid fastening of one of the ends of the fuel rods that are not assembled in a fuel assembly (rod-to-rod assembly) and a fastening that provides limited small transverse and unlimited longitudinal movements of the other end.

Work continued on optimizing the configuration of the cryogenic moderator with a water pre-moderator. Calculations were carried out for different materials of the cryogenic moderator at different temperatures and different thicknesses of the water pre-moderator. The preliminary calculations have shown that the maximum density of the cold neutron flux is achieved when using a model of a mesitylene cryogenic moderator 2 cm thick with a water pre-moderator 5 cm thick.

An agreement with JSC VNIINM (A.A. Bochvar High-Technology Scientific Research Institute for Inorganic Materials, Rosatom State Corporation) for R&D “Development of neptunium nitride fuel and fuel rods for the NEPTUN reactor. Stage 2022-2023” is in the process of being signed. At present, it is planned to manufacture a fuel pellet from neptunium nitride and to determine its physical, chemical and technological properties.

In cooperation with JSC NIKIET (N.A. Dollezhal Scientific Research and Design Institute of Energy Technologies, Rosatom State Corporation) the requirements specification for the implementation of R&D “Computational justification of design solutions for the reactivity modulator of the NEPTUN pulsed reactor” was developed. The main tasks of the R&D are the development of two variants (with and without a jacket) of the design of the reactivity modulator to be operational in all specified operating conditions and decision-making on one of the variants, as well as the development of a design of the reactor pressure vessel with the lowest thermal load. The completion of this work will make it possible to proceed to the stage of the preliminary design of the NEPTUN reactor. The conclusion of the agreement is scheduled for 2023.

In cooperation with the Russian Federal Nuclear Center – E.I.Zababakhin All-Russia Research Institute of Technical Physics (RFNC-VNIITF, Rosatom State Corporation), preparations for performing precision calculations of non-stationary bending of fuel rods under conditions typical for the NEPTUN reactor in order to verify the calculation methodology developed at FLNP, have begun. The possibility of conducting experimental studies is being explored in order to verify the calculations to substantiate the neutron-physical and dynamic characteristics of the NEPTUN reactor.

In cooperation with the State Scientific Centre of the Russian Federation – A.I.Leypunsky Institute for Physics and Power Engineering, Joint-Stock Company (IPPE JSC, Rosatom State Corporation), discussions are underway on the possibility of modeling the core of the NEPTUN reactor on the BFS large physical test facility, as well as on performing calculations and modeling the reactivity modulator.

Activities within the framework of the Seven-Year Plan for the Development of JINR in 2024-2030.

Within the framework of the Seven-Year Plan for the Development of JINR in 2024-2030, work on the creation of the new neutron source will be carried out in the following directions:

1. Implementation of the R&D program for the development of the new NEPTUN reactor: study of the dynamics of pulsed reactors, optimization of the vessel of the new reactor and its reactivity modulator in terms of reducing thermal loads and shape change, development of fuel and fuel rods from neptunium nitride, optimization of the configuration of the suite of moderators, development of test stands for the reactivity modulator and cryogenic moderator.

2. Development and elaboration of the scientific program and the concept of the instrument base for conducting research in the fields of condensed matter physics and nuclear physics and applied research at the new NEPTUN reactor.

3. Development of preliminary and infrastructural (conceptual) designs of the new NEPTUN reactor, investment rationale. Preparation and submission of a letter of intent to the Rosatom State Corporation and the Government of the Moscow Region. Submission of the investment rationale to the RF government agencies, its approval.

4. Development of a feasibility study. Submission of an application for the object (new NEPTUN reactor) to be included into the Federal Targeted Programme.

5. Preparation for obtaining a license from Rostekhnadzor for the placement and construction of the new NEPTUN reactor. Preparation of technical specifications for design. Development of a technical design.

6. Modeling of the experimental infrastructure of the new source, including elements of experimental facilities with prototyping of individual components at the IBR-2 reactor.

Новый источник нейтронов в ЛНФ ОИЯИ: текущее состояние и планы на 2024-2030 гг.

М.В. Булавин

Frank Laboratory of Neutron Physics, Joint Institute for Nuclear Research,
141980 Dubna, Russia

bulavinm@nf.jinr.ru

Текущее состояние работ

В процессе исследования вопросов стабильности и устойчивости работы реактора «НЕПТУН» был сделан вывод, что главным фактором негативного влияния на стабильность и устойчивость работы реактора на всех режимах является *динамический изгиб* тепловыделяющих элементов и тепловыделяющих сборок твэлов. Полностью рассмотрена динамика реактора с одним усредненным твэлом в осцилляторном приближении. Показано, что любые периодические колебания реактивности, больше определенной величины по амплитуде, усиливаются из-за запаздывания отрицательной обратной связи и приводят к решениям с медленным асимптотическим разгоном или к значительным колебаниям мощности реактора. В рамках осцилляторного приближения изучалась также система взаимодействующих и не взаимодействующих между собой твэлов в количестве до нескольких сотен штук, а также зависимость хода динамических процессов от конструкции опор твэлов и величины трения в опорах.

На основе полученных результатов стало возможным сформулировать требования к оптимальной конструкции твэлов и композиции активной зоны реактора НЕПТУН, обеспечивающей устойчивую работу реактора на установленной мощности 10-15 МВт. Предпочтительным вариантом компоновки активной зоны является вариант с жестким креплением одного из концевиков твэлов, не собранных в ТВС (потвэльная сборка), и крепление, обеспечивающее ограниченные малые поперечные и неограниченные продольные смещения, для другого концевика.

Продолжались работы по оптимизации конфигурации криогенного замедлителя с водяным предзамедлителем. Были проведены расчеты для различных материалов криогенного замедлителя при различных температурах и при различных толщинах водяного предзамедлителя. Предварительные расчеты показали, что максимальная плотность потока холодных нейтронов получается при использовании в расчетах модели мезитиленового криогенного замедлителя, толщиной 2 см, с водяным предзамедлителем, толщиной 5 см.

Подписывается договор с АО «ВНИИНМ им. А.А. Бочвара» (ГК «Росатом») на выполнение научно-исследовательской, опытно-конструкторской и опытно-технологической работы «Разработка нитрид-нептуниевого топлива и твэлов на его основе для реактора НЕПТУН. Этап 2022-2023 годов». На данном этапе планируется изготовить топливную таблетку из нитрида нептуния, определить ее физико-химические и технологические свойства.

Совместно с АО «НИКИЭТ им. Н.А. Доллежала» (ГК «Росатом») разработано техническое задание на выполнение НИОКР «Расчетные обоснования конструктивных решений модулятора реактивности импульсного реактора периодического действия НЕПТУН». Основными задачами, которые должны быть выполнены в результате НИОКР, являются разработка двух вариантов (с кожухом и без кожуха) конструкции модулятора реактивности, работоспособного во всех заданных условиях эксплуатации и принятие решения о применении одного из вариантов, а также разработка варианта конструкции корпуса реактора, обладающего наименьшей тепловой нагруженностью. Выполнение данной работы позволит перейти на стадию эскизного проектирования реактора НЕПТУН. Заключение договора планируется провести в 2023 году.

Совместно с «РФЯЦ-ВНИИТФ» (ГК «Росатом») начата подготовка к выполнению прецизионных расчетов нестационарного изгиба твэла в условиях, характерных для реактора НЕПТУН, с целью верификации созданной в ЛНФ расчетной методики. Проводится изучение возможности проведения экспериментальных исследований с целью верификации расчетов в обоснование нейтронно-физических и динамических характеристик реактора НЕПТУН.

Совместно с АО «ГНЦ РФ – ФЭИ» (ГК «Росатом») ведется обсуждение возможности моделирования активной зоны реактора НЕПТУН на быстром физическом стенде, а также проведения расчетов и моделирования модулятора реактивности.

Работы в рамках семилетнего плана ОИЯИ 2024-2030 гг.

В рамках семилетнего плана ОИЯИ работа по созданию нового источника нейтронов будет вестись по следующим направлениям:

1. Реализация программы НИОКР по разработке нового реактора НЕПТУН: исследование динамики импульсных реакторов, оптимизация корпуса нового реактора и его модулятора реактивности в части снижения тепловых нагрузок и формоизменения, разработка нитрид-нептуниевого топлива и твэлов на его основе, оптимизация конфигурации комплекса замедлителей, разработка испытательного стенда модулятора реактивности и испытательного стенда криогенного замедлителя.

2. Разработка и развитие научной программы и концепции приборной базы для

проведения исследований по физике конденсированных сред и ядерной физике и прикладных исследований на новом реакторе НЕПТУН.

3. Разработка эскизного и инфраструктурного (обликового) проектов нового реактора НЕПТУН, обоснования инвестиций. Подготовка и направление ходатайства о намерениях в ГК «Росатом» и Правительство Московской области. Направление обоснования инвестиций в государственные структуры РФ, его утверждение.

4. Разработка технико-экономического обоснования (ТЭО). Оформление заявки для включения объекта – нового реактора НЕПТУН в федеральную целевую программу.

5. Подготовка к получению лицензии Ростехнадзора на размещение и сооружение нового реактора НЕПТУН. Подготовка технического задания на проектирование. Разработка технического проекта.

6. Моделирование экспериментальной инфраструктуры нового источника, включая элементы экспериментальных установок с прототипированием отдельных компонентов на реакторе ИБР-2.