

# **Использование бассейнового реактора РУТА для реализации наукоемких ядерных технологий**

**Баранаев Ю.Д., Глебов А.П., Клушин А.В., Созонюк В.А.**  
(ГНЦ РФ-ФЭИ, Обнинск, Россия, 2005)

## **Application of Pool-Type RUTA Reactor for Introduction of Innovative Nuclear Technologies**

**Baranaev Yu.D., Glebov A.P., Klushin A.V., Sozonyuk V.A.**  
(SSC RF-IPPI, Obninsk, Russia, 2005)

### **Введение**

Проект бассейнового реактора РУТА разработан совместными усилиями НИКИЭТ и ФЭИ в конце 1980-х гг. для использования в составе атомной станции для теплоснабжения небольших удаленных изолированных городов и/или населенных пунктов, а также в установках по опреснению морской воды.

Простота конструкции, низкие параметры теплоносителя бассейнового реактора обеспечивают его высокую надежность и безопасность, что позволяет располагать ядерную установку в непосредственной близости к потребителям, сводя к минимуму транспортные потери в системе теплоснабжения.

Ядерное теплоснабжение и ядерное опреснение морской воды являются наукоемкими технологиями, реализованными пока в единичных экспериментальных установках. Постоянный рост цен на органическое топливо и ухудшение экологической обстановки из-за выброса большого количества  $\text{CO}_2$  при сжигании последнего, делают все более привлекательным и экономически выгодным использование ядерных установок для указанных выше целей.

Наряду с использованием реактора РУТА по прямому энергетическому назначению в качестве источника теплоты в системах теплоснабжения или опреснения рассмотрены возможности расширения его функций, как источника нейтронов для реализации ряда наукоемких ядерных неэнергетических технологий, имеющих большой спрос в медицине, ядерной технике, электротехнике. Выполненные конструкторские проработки и расчетные оценки показали, что реактор РУТА позволяет обеспечить решение следующего круга задач:

- реакторные испытания твэлов и топливных сборок водоохлаждаемых энергетических реакторов;
- наработку широкой номенклатуры радионуклидов для медицинских и промышленных целей;
- создание нейтронных пучков для лучевой и захватной терапии;
- облучение тонких полимерных пленок для последующего производства трековых мембран;
- изготовление ядерно-лигированного кремния.

Реализация указанных возможностей существенно повышает коммерческую и социальную привлекательность проекта.

# 1. Энергетические технологии на основе использования РУ РУТА

## *В системе теплоснабжения*

На сегодняшний день с разной глубиной выполнены проработки реакторов РУТА тепловой мощностью от 10 до 70 МВт.

Выполненные маркетинговые исследования показали, что в России имеется достаточно много регионов, где теплоснабжение населенных пунктов может быть эффективно обеспечено путем использования реакторных установок РУТА.

Одно из направлений работ в этой области связано с созданием специализированных установок теплоснабжения на базе реакторов бассейнового типа, предназначенных для выработки низкопотенциальной тепловой энергии для нужд ЖКХ.

Решающим фактором, определяющим экономическую конкурентоспособность установки, является низкая величина капиталовложений, связанная с общей простотой конструкции реакторов бассейнового типа и отсутствием дорогостоящего оборудования.

Необходимым начальным этапом широкомасштабного продвижения технологии теплоснабжения на базе установок РУТА на рынок является прямая демонстрация надежности, безопасности и экономичности этой технологии в ходе создания и эксплуатации головной установки – пилотного образца.

В качестве наиболее перспективного пункта размещения головной установки РУТА рассматривается площадка ГНЦ РФ-ФЭИ, г.Обнинска, где имеется необходимая инфраструктура, научный и кадровый потенциал, позволяющий реализовать такой проект в минимальные сроки и с наименьшими затратами.

Проведенные технико-экономические исследования показали следующее:

- стоимость головной установки РУТА-70 (70 МВт – тепловая мощность) в г. Обнинске составляет ~ 950 млн. руб.;
- помимо своей основной задачи – демонстрации технологии для последующего коммерческого внедрения, обеспечивается окупаемость установки за ~ 11 лет, при полном сроке эксплуатации ~ 60 лет;
- суммарные дисконтированные затраты на отпуск тепла от АСТ – примерно равны затратам на производство тепла от ТЭЦ с учетом тенденции роста цен на ядерное топливо и газ

## *В составе ядерного опреснительного комплекса*

Дефицит пресной воды наблюдается во многих регионах мира в настоящее время, а к 2050 г. прогнозируются потребности в обессоленной воде  $\max\text{-min} (260\text{-}6700) \cdot 10^9 \text{ м}^3/\text{год}$ . Для этого потребуются мощности энергетических установок ~ 1 МВт установленной мощности на 1 млн.  $\text{м}^3$  воды в год.

Решить эту проблему можно за счет использования АСММ, и альтернативу этому найти трудно.

Реактор РУТА в качестве источника низкопотенциальной тепловой энергии в составе ЯОК может обеспечить подогрев воды для осуществления термической дистилляции. В составе ЯОК РУТА рассматривается применение горизонтально-трубных пленочных дистилляционных опреснительных установок, адаптированных к параметрам реактора. Производительность по пресной воде ЯОК на базе реактора РУТА-55 составит около 20 тыс.  $\text{м}^3/\text{сутки}$ , РУТА-70 сможет производить до 30 тыс.  $\text{м}^3/\text{сутки}$  дистиллята. Стоимость дистиллята – 1 долл./ $\text{м}^3$  (соответствует мировым ценам на настоящее время).

## 2. Неэнергетическое использование РУ РУТА

При проектировании РУ РУТА для исследовательских центров, таких как г. Обнинск или создаваемого в городе Курчатове (Республика Казахстан) «Парка ядерных технологий» помимо основного назначения – производство тепла рассматривается использование реактора как многофункционального источника нейтронов для различных целей.

### *Наработка радиоизотопов и радиационное легирование кремния*

В качестве одного из важных направлений использования установки РУТА рассматривается производство сырьевых радиоизотопов для получения радиофармпрепаратов и источников излучения медицинского назначения. Кроме медицинской сферы спрос на радиоактивные изотопы предъявляется также в таких областях, как промышленность, энергетика, научные исследования. Наиболее востребованным является Мо-99, который используется как материнское ядро для получения радионуклида технеция-99m, который широко используется при ранней диагностике онкологических, сердечно-сосудистых и ряда других заболеваний.

Особенности конструкции бассейновых реакторов и достигаемые величины потоков тепловых нейтронов  $(3\div 4) \cdot 10^{13}$  н/см<sup>2</sup>·сек позволяют разместить до 8 каналов для облучения мишеней: 4 канала для наработки Мо-99 и попутных радиоизотопов: I-123, 131, 132; Хе-133 и 4 канала для получения I-125, Sm-153; P-32, 33; Хе-127. Суммарный объем радиоизотопной продукции ~ 10 тыс. Ки/год и прогнозируемая выручка ~ 4 млн. USD.

В реакторе РУТА проработана возможность создания двух каналов ядерного легирования кремния в которых обеспечивается высокая равномерность облучения как по высоте, так и по сечению слитка, а, следовательно и качество последующих изделий, которые широко используются в электронной промышленности.

### *Нейтронная и нейтрон-захватная терапия*

Целесообразность развития технологий нейтронной, гамма-нейтронной и нейтрон-захватной терапии обусловлена тем, что они ориентированы на лечение онкологических заболеваний, устойчивых к другим терапевтическим методам.

Наиболее широкое распространение имеет лучевая терапия быстрыми нейтронами (ТБН), наряду с которой развивается нейтронно-захватная терапия (НЗТ) опухолей, которая является еще более сложной, наукоемкой и дорогостоящей технологией, и ориентирована на лечение таких видов злокачественных новообразований, которые практически не поддаются никаким другим методам лучевой терапии. Суть метода НЗТ состоит во внутриклеточном взаимодействии тепловых нейтронов с атомами, имеющими высокое сечение захвата нейтронов, которыми предварительно насыщается опухоль. В качестве таких веществ используются препараты на основе В10.

В реакторе РУТА предлагается разместить два канала для организации выведенных нейтронных потоков: один для ТБН, другой – для НЗТ.

Ориентировочная стоимость создания терапевтического комплекса оценивается в ~ 1,5 млн. USD. Терапевтический комплекс может оказывать специализированную медицинскую помощь ~ 200 пациентам в год. Стоимость аналогичных услуг на мировом рынке составляет от 40 до 100 тыс. USD за один курс лечения.

## *Облучение полимерных пленок для производства трековых мембран*

Трековые мембраны (ТМ) являются высокоселективным фильтрующим материалом для микрофльтрации жидких и газообразных сред и широко применяются в микроэлектронике, медицине, фармацевтике, биотехнологии, в пищевой и других отраслях промышленности. ТМ получают облучением тонких полимерных пленок тяжелыми ионами на ускорителях или осколками деления урана при его делении в нейтронном поле, создаваемым ядерным реактором. В результате последующей физико-химической обработки облученной пленки в пленке формируются сквозные каналы – калиброванные поры цилиндрической формы, размеры которых можно регулировать в широких пределах – от 0,03 мкм до 5 мкм и более.

Выполненные конструкторские и расчетные проработки показали возможность создания в составе реактора РУТА установки по производству ТМ.

По предварительным оценкам производительность участка по облучению пленки в реакторе РУТА может составить 150-200 тыс. м<sup>2</sup>/год при существующем уровне цен за пленку от 10 до 20 USD /м<sup>2</sup>.

Для разработки, создания, монтажа, наладки и ввода в эксплуатацию производственного участка облучения пленки для производства трековых мембран на реакторе РУТА необходимы средства в объеме 1,2 млн. USD.

Все указанные технологии отработаны на реакторах АМ, БР-10 в ГНЦ РФ-ФЭИ и ВВРц ГНЦ РФ НИФХИ.