

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD)
по специальности 6D072300 – «Техническая физика»
Сураева Артура Сергеевича

Исследование характеристик расчетной модели газоохлаждаемого реактора с водным замедлителем

В диссертационной работе представлены результаты исследования возможности повышения эффективности атомной электростанции на тепловых нейтронах путем совершенствования технических характеристик элементов активной зоны и теплообменного оборудования первого контура.

Актуальность темы исследования

Развитие атомной энергетики, основанной на реакторах с тепловым спектром нейтронов, возможно только при условии увеличения эффективности проектируемых реакторных установок и АЭС путем технического совершенствования оборудования и снижения капитальных затрат на строительство энергоблоков. Дальнейшее следование по пути развития технологии водо-водяных корпусных реакторов на тепловых нейтронах скорее всего приведет к неконкурентоспособности атомной энергетики, также, как и разработка новых малоизученных технологий. Для поддержания развития атомной энергетики необходимы проекты, которые смогут доказать свою эффективность в нынешних условиях рынка. К такому выводу приходят многие современные ученые и предлагают свои пути выхода из сложившейся ситуации.

В данной диссертационной работе в качестве такой альтернативы предлагается каналный газоохлаждаемый реактор с водным замедлителем и циклом Ренкина. Уникальность такого типа реакторной установки обусловлена тем, что предлагаемая конфигурация совмещает в себе лучшие характеристики высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов и проверенных временем водо-водяных энергетических реакторов. При этом, ряд технических и конструктивных особенностей позволяет не только достичь высокой эффективности, но и существенно снизить капитальные затраты на строительство и обслуживание.

В рамках данной научной исследовательской работы предлагаются технические решения способные в существенной мере увеличить эффективность реакторного и теплообменного оборудования и при этом уменьшить капитальные затраты на строительство энергоблоков.

Цель работы

Целью диссертационной работы является исследование возможности повышения эффективности и конкурентоспособности атомной энергетики

путем разработки высокоэффективного газоохлаждаемого реактора с водным замедлителем.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- разработать расчетную модель активной зоны газоохлаждаемого реактора для проведения серии нейтронно-физических расчетов и расчетов характеристик кампании реактора;
- разработать расчетную модель теплообменного оборудования первого контура для проведения теплофизических расчетов;
- провести необходимые нейтронно-физические расчеты активной зоны реактора и теплофизические расчеты теплообменного оборудования;
- разработать конструкцию экспериментальной установки исследования процессов парообразования и перегрева пара в едином контуре АЭС;
- провести необходимые экспериментальные работы на установке;
- проанализировать полученные экспериментальные данные;
- сравнить характеристики газоохлаждаемого реактора и теплообменного оборудования с аналогичными характеристиками реакторов типа ВВЭР-1000 и ВТГР.

Основные положения, выносимые на защиту

- Расчетная модель газоохлаждаемого реактора для нейтронно-физических расчетов и нейтронно-физические характеристики активной зоны реактора;
- Усовершенствованные теплофизические характеристики модернизированной конструкции теплообменного оборудования;
- Установка исследования процессов парообразования и перегрева пара.

Научная новизна

Впервые разработана нейтронно-физическая расчетная модель газоохлаждаемого реактора с водным замедлителем и тепловая модель оборудования первого контура для выполнения комплексных расчетов.

Предложена схема АЭС на основе газоохлаждаемого реактора с водным замедлителем.

Предложена модернизированная конструкция теплообменного оборудования первого контура.

Впервые разработаны устройство и проведены экспериментальные исследования процесса образования и перегрева пара в тонкостенной теплообменной трубке, моделирующей единый контур АЭС на основе газоохлаждаемого реактора.

Объект исследования

Теплообменные процессы, протекающие в оборудовании первого контура АЭС на основе газоохлаждаемого реактора с водным замедлителем.

Предмет исследования

Нейтронно-физические и теплофизические характеристики расчетной модели газоохлаждаемого реактора с водным замедлителем, теплообменного оборудования первого контура и экспериментальной установки исследования процессов парообразования и перегрева пара.

Методы исследования

В диссертационной работе были применены как общенаучные, так и специальные методы исследования. К специальным методам исследования относятся: расчетное и экспериментальное исследование процессов, протекающих в теплообменном оборудовании первого контура АЭС на основе газоохлаждаемого реактора с водным замедлителем; компьютерное моделирование сложных теплофизических процессов, происходящих в тепловом оборудовании газоохлаждаемого реактора с водным замедлителем.

Практическая значимость

Разработана расчетная модель газоохлаждаемого реактора с водным замедлителем для нейтронно-физических расчетов и расчета кампании реактора. Расчетным путем обоснована усовершенствованная конструкция тепловыделяющей сборки без теплового экрана.

Предложенная эффективная конструкция теплообменного оборудования первого контура АЭС, в частности подогревателя питательной воды и парогенератора, которая позволит привлечь внимание заводов изготовителей к альтернативным подходам при проектировании данного оборудования.

Разработана экспериментальная установка исследования процессов парообразования и перегрева пара в едином контуре. Проведены практические исследования, доказывающие правильность теоретических предположений.

Полученные нейтронно-физические и тепловые характеристики оборудования АЭС на основе газоохлаждаемого реактора с водным замедлителем послужат основой для развития данного типа реакторов в перспективе их использования в будущих проектах АЭС.

Акт о внедрении «Процедуры подготовки и проведения экспериментов», патент на полезную модель и «Протокол проведения испытаний на экспериментальной установке» приведены в Приложениях к настоящей диссертации.

Личный вклад автора

Личный вклад автора заключается в постановке и формулировке задач исследования, проведении аналитического обзора литературных данных, проведении теоретических и расчетных исследований, разработке и создании установки образования и перегрева пара, подготовке и проведении пуско-наладочных и экспериментальных работ, анализе и обработке полученных

экспериментальных данных, разработке компьютерных расчетных моделей для нейтронно-физических и теплофизических расчетов, а также оптимизации классической методики проведения расчетных исследований характеристик теплообменного оборудования. Все работы проводились в тесном сотрудничестве со специалистами ИАЭ РГП НЯЦ РК. Анализ результатов, полученных в ходе проведения диссертационного исследования, а также формулировка основных выводов выполнены совместно с научными консультантами.

Связь темы с планами научно-исследовательских программ

Значительная часть настоящей работы выполнена при финансовой поддержке Государственного учреждения «Комитет науки Министерства образования и науки Республики Казахстан» в рамках Договора №271 от 12.02.2015 года по теме «АЭС на основе газоохлаждаемого реактора с водным замедлителем» на 2015-2017 гг.

Степень обоснованности и достоверности результатов, полученных в работе, обеспечивается корректностью, точностью и оригинальностью поставленных задач, применением хорошо апробированных общенаучных методов исследования и экспериментальных методик, большим объемом полученных расчетных и экспериментальных данных, их статистической обработкой и сопоставлением полученных данных с ранее опубликованными результатами исследований известных ученых СНГ и дальнего зарубежья. Основные результаты диссертации опубликованы в изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, а также рецензируемых зарубежных научных журналах, входящих в базу данных Scopus.

Апробация результатов работы

Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на семи международных конференциях:

1. VII Eurasian conference «Nuclear Science and Its Application», Institute of Radiation Problems Azerbaijan National Academy of Sciences (Baku, Azerbaijan, October 21-24, 2014);
2. X Международная конференция «Ядерная и радиационная физика», Национальный ядерный центр РК (г. Курчатов, Казахстан, 8-11 сентября 2015 г.);
3. International conference «21 Century: Nuclear technologies and Nonproliferation problems» (Astana, Kazakhstan, 2015, October 7–9);
4. VIII Международная научно-практическая конференция «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине», Физико-технический институт НИТПУ (г. Томск, Россия, 1-3 июня 2016 г.);
5. Научно-техническая конференция «Нейтронно-физические проблемы ядерной энергетики» (г. Обнинск, Россия, 12–16 октября 2015 г.);

6. XXIII Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика», Национальный исследовательский университет МЭИ (г. Москва, Россия, 2-3 марта 2017 г.);

7. Всемирный конгресс инженеров и ученых WSEC-2017 (Астана, Казахстан, 19-20 июня 2017 г.);

8. VIII Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы урановой промышленности (г. Астана, Казахстан, 03-05 августа 2017 г.);

9. Semipalatinsk test site: Legacy and Prospects for Scientific and Technical Potential Development (September 11-13, 2018, Kurchatov, Republic of Kazakhstan);

А также на шести конференциях-конкурсах и научных школах:

1. XIII Конференция-конкурс НИОКР молодых ученых и специалистов РГП НЯЦ РК, Национальный ядерный центр РК, (г. Курчатов, Казахстан, 14-16 мая 2014 г.);

2. XIV Конференция-конкурс НИОКР молодых ученых и специалистов РГП НЯЦ РК, Национальный ядерный центр РК (г. Курчатов, Казахстан, 13-15 мая 2015 г.);

3. Научно-техническая конференция «Нейтронно-физические проблемы ядерной энергетики» (Обнинск, Россия, 12–16 октября 2015 г.);

4. XV Конференция-конкурс НИОКР молодых ученых и специалистов РГП НЯЦ РК, Институт атомной энергии НЯЦ РК (г. Курчатов, Казахстан, 18-20 мая 2016 г.);

5. XIV Курчатовская междисциплинарная молодежная научная школа (г. Москва, Россия, 8-11 ноября 2016 г.);

6. X международная школа-семинар молодых ученых и специалистов «Энергосбережение. Теория и практика» (г. Москва, Россия, 19-23 октября 2020 г.);

Также основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры технической физики и теплоэнергетики, на объединенных научных семинарах Инженерно-технологического факультета ГУ имени Шакарима города Семей и на научно-технических советах Института атомной энергии Национального ядерного центра Республики Казахстан и на семинарах PhD-студентов во Вроцлавском политехническом университете (г. Вроцлав, Польша).

Публикации

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 25 печатных работах, из них: 1 статья входит в базу данных Scopus, 4 публикации в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МОН РК.

Структура и объем диссертации

Работа состоит из введения, пяти разделов, заключения и списка использованных источников. Она изложена на 118 страницах, содержит 42 рисунка, 36 таблиц и список использованных источников из 109 наименований.