



УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе

В.К. Драгунов

2017 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Диссертация «Исследование выравнивания паровой нагрузки в горизонтальном парогенераторе ВВЭР с помощью дырчатого листа» выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Национальном исследовательском университете «МЭИ».

В период подготовки диссертации соискатель Емельянов Дмитрий Алексеевич учился в аспирантуре в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Национальном исследовательском университете «МЭИ» на кафедре Атомных электрических станций.

В 2011 г. окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» по специальности «Атомные электростанции и установки» (квалификация «магистр»).

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2014 г. Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Национальным исследовательским университетом «МЭИ».

Научный руководитель (консультант) – д.ф.-м.н. Мелихов Олег Игорьевич, работает в Открытом акционерном обществе «Электрогорский научно-исследовательский центр по безопасности атомных электростанций», заместителем директора по научной работе – начальником Управления НИР и НИОКР в области теплофизики.

По итогам обсуждения на заседании кафедры Атомных электрических станций Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» принято следующее заключение:

Диссертация Д.А. Емельянова «Исследование выравнивания паровой нагрузки в горизонтальном парогенераторе ВВЭР с помощью дырчатого листа» выполнена на высоком научном уровне и является научно-квалифицированной работой. В работе проведен ряд экспериментальных исследований на стенде ПТВ,

решены вопросы, связанные с разработкой расчетного инструмента, позволяющего проводить анализ эффективности применения погруженных дырчатых листов различной перфорации в составе горизонтальных парогенераторов АЭС с ВВЭР. В процессе работы над диссертацией был усовершенствован ряд математических моделей, которые впоследствии были имплементированы в усовершенствованную версию кода STEG. Усовершенствованная версия кода STEG была верифицирована на опытных данных. В процессе верификации расчетные и экспериментальные значения показали хорошее совпадение. Расчетным методом была определена оптимальная перфорация погруженного дырчатого листа в составе горизонтальных парогенераторов АЭС с ВВЭР.

#### **Актуальность темы диссертации:**

Одной из актуальных задач российской и мировой атомной энергетики является повышение уровня мощности энергоблоков АЭС с ВВЭР. Новые проекты АЭС с ВВЭР с самого начала проектируются на повышенную мощность.

Повышение уровня мощности энергоблоков реализуется путем снятия инженерных запасов оборудования с учетом фактических характеристик, полученных в результате его изготовления, и модернизации систем и оборудования.

Важнейшим оборудованием энергоблоков АЭС с ВВЭР являются горизонтальные парогенераторы (ПГ), предназначенные для отвода тепла от теплоносителя первого контура и генерации сухого насыщенного пара. От эффективности ПГ в значительной степени зависят показатели работы энергоблока, в том числе его мощность. Одним из основных факторов определения приемлемости характеристик ПГ является качество генерируемого пара. Ухудшение качества пара, т.е. повышение его влажности и увеличение количества загрязняющих примесей, приводит к эрозионному износу турбинных лопаток. Качество генерируемого пара зависит от нескольких факторов, но в первую очередь от конструктивных особенностей ПГ и его сепарационных устройств.

Актуальность диссертационной работы заключается в расчетно-экспериментальном исследовании закономерностей процессов выравнивания паровой нагрузки зеркала испарения при использовании погруженного дырчатого листа (ПДЛ) неравномерной перфорации и разработке предложений для его применения в составе ПГ для повышения мощности новых разрабатываемых парогенераторов и парогенераторов действующих энергоблоков АЭС с ВВЭР.

#### **Научная новизна диссертационной работы:**

- Впервые выполнены экспериментальные исследования выравнивающей способности ПДЛ на стенде ПГВ;

- Проведена валидация расчетного кода STEG на опытных данных, полученных на стенде ПГВ как для ПДЛ с равномерной перфорацией, так и для ПДЛ с неравномерной перфорацией;
- Усовершенствована математическая модель кода STEG в части описания межфазного силового взаимодействия, гидросопротивления ПДЛ двухфазному потоку и внедрено уравнение межфазной поверхности;
- Проведена валидация усовершенствованного кода STEG. С помощью этого кода выполнено расчетное исследование выравнивающей способности ПДЛ.

### **Достоверность работы:**

Опытные данные были получены на экспериментальной установке, построенной с использованием общепризнанных принципов моделирования. Экспериментальные исследования базировались на применении: проверенных методик исследований, метрологически аттестованных приборов, автоматизации выполнения экспериментов и обработки полученных результатов, расчетов погрешности измерений, а также программы качества. Результаты численных исследований основаны на использовании общепризнанных методов и подходов механики многофазных сред. Достоверность выполненных в работе усовершенствований математических моделей кода STEG подтверждается результатами их валидации на опытных данных.

### **Практическая ценность работы:**

Экспериментально-расчетным путем изучены закономерности двухфазной гидродинамики, определяющей эффективность выравнивания паровой нагрузки зеркала испарения с помощью ПДЛ неравномерной перфорации. В результате создан усовершенствованный и валидированный расчетный код STEG, позволяющий проводить практические расчеты с целью определения оптимальной конструкции ПДЛ неравномерной перфорации.

Все основные этапы исследования выполнялись по договору между ОАО ОКБ «Гидропресс» и ОАО «ЭНИЦ» № 02074-1 от 01.09.2010 и по двум государственным контрактам с Министерством образования и науки РФ (ГК № П491 от 13.05.2010 и ГК № П1091 от 31.05.2011 и по проекту РФФИ № 14-08-00388.

### **Личный вклад автора:**

1. Определение режимных параметров, разработка сценариев экспериментов на стенде ПГВ по исследованию двухфазной гидродинамики погруженного дырчатого листа постоянной и переменной перфорации и выполнение экспериментов, обработка опытных данных, определение влияния объемного паросодержания на гидросопротивление погруженного дырчатого листа.

2. Разработка усовершенствованных математических моделей кода STEG в части описания межфазного силового взаимодействия и гидросопротивления ПДЛ двухфазному потоку. Внедрение в код STEG уравнения переноса межфазной поверхности.

3. Валидация усовершенствованного кода STEG на экспериментальных данных, полученных на стенде ПГВ.

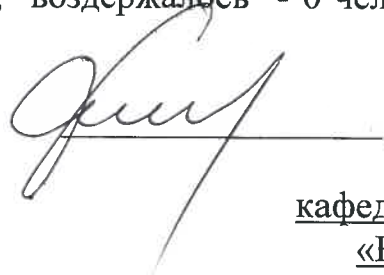
4. Расчетный анализ усовершенствованным кодом STEG влияния переменности перфорации ПДЛ на выравнивание паровой нагрузки. Предложены рекомендации по степени перфорации ПДЛ вдоль его длины.

Диссертация «Исследование выравнивания паровой нагрузки в горизонтальном парогенераторе ВВЭР с помощью дырчатого листа» Емельянова Дмитрия Алексеевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации. Результаты диссертации с достаточной полнотой опубликованы в открытой печати. По теме диссертации опубликовано 6 статей в ведущих рецензируемых научных журналах, определенных Высшей аттестационной комиссией, сделано 7 докладов на международных и всероссийских конференциях. Все работы выполнены в соавторстве. Доля авторского участия в публикациях с соавторами варьировалась от 60 % до 80 %.

Диссертация «Исследование выравнивания паровой нагрузки в горизонтальном парогенераторе ВВЭР с помощью дырчатого листа» Емельянова Дмитрия Алексеевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации.

Заключение принято на заседании кафедры Атомных электрических станций Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ».

Присутствовало на заседании 19 чел. Результаты голосования: "за" - 19 чел., "против" – 0 чел., "воздержалось" - 0 чел., протокол N 3-16/17 от "8" ноября 2016 г.



(Парфенов Юрий Вячеславович,  
д.т.н, доцент,  
кафедра Атомных электрических станций  
«НИУ «МЭИ», заведующий кафедрой  
Атомных электрических станций)

Ученый секретарь каф. АЭС (Байбаков В.Я.)  
Байбаков