

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА,**

доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой атомных станций  
и возобновляемых источников энергии Уральского энергетического института  
УРФУ

**Щеклеина Сергея Евгеньевича**

на диссертационную работу Сахипгареева Азамата Радиковича  
«Экспериментальное обоснование технологии удаления неконденсирующихся  
газов для обеспечения работоспособности парогенератора ВВЭР в  
конденсационном режиме», представленную на соискание учёной степени  
кандидата технических наук по специальности 2.4.9 – «Ядерные энергетические  
установки, топливный цикл, радиационная безопасность»

В диссертационной работе соискателя А.Р. Сахипгареева представлены новые научно обоснованные технические решения по системам удаления неконденсирующихся газов из парогенератора, работающего в аварийном конденсационном режиме, с целью продления времени работы пассивных систем безопасности реакторной установки ВВЭР.

**Актуальность темы** диссертационного исследования обусловлена необходимостью повышения безопасности проектируемых АЭС с РУ ВВЭР, что достигается увеличением продолжительности автономной работы пассивных систем безопасности.

В диссертационной работе обобщены ключевые результаты экспериментальных исследований, подтверждающие работоспособность двух предложенных проектантом АЭС технических решений, основанных на пассивных принципах:

– система удаления неконденсирующихся газов из парогенератора, которая осуществляет отвод парогазовой смеси в специальные теплообменники-конденсаторы, размещенные в межбололочном пространстве защитной оболочки, с возвратом конденсата обратно в парогенератор;

– система, обеспечивающая отток парогазовой смеси из парогенератора за счет снижения давления в опустошенных гидроемкостях второй ступени путем

поддачи струй недогретой жидкости в их объем и последующей конденсации пара из парогазовой смеси.

Обоснование работоспособности рассмотренных в работе технических решений способствует внедрению в перспективные проекты АЭС с ВВЭР, что в свою очередь повысит уровень безопасности станции и подчеркивает актуальность представленного исследования.

**Научная новизна** диссертационного исследования заключается в следующем:

- Впервые получены экспериментальные данные о влиянии вида теплообменной поверхности, состава парогазовой смеси и места отвода газов из теплообменников-конденсаторов на эффективность функционирования системы удаления неконденсирующихся газов из парогенератора, работающего в конденсационном режиме, для условий, имеющих место через 24 ч после начала аварии с гильотинным разрывом главного циркуляционного трубопровода и полным обесточиванием АЭС с ВВЭР-1200.

- Получены экспериментальные результаты влияния параметров парогазовой смеси и струи жидкости на теплообмен при контактной конденсации пара в присутствии неконденсирующихся газов при параметрах среды в гидроемкостях второй ступени после ее работы в течение 24 ч.

- Получены обобщающие зависимости для расчетной оценки параметров процесса конденсации пара из парогазовой смеси внутри теплообменников смешивающего и поверхностного типов, отличающиеся от известных зависимостей тем, что применимы для условий, имеющих место через 24 ч после начала аварии с гильотинным разрывом главного циркуляционного трубопровода и полным обесточиванием АЭС с ВВЭР-1200.

**Практическая значимость** диссертационного исследования состоит в том, что:

– создана база экспериментальных данных с результатами исследования процессов теплообмена при конденсации пара из парогазовой смеси применительно к работе пассивных систем безопасности в диапазоне параметров, характерных для аварийной ситуации с разрывом главного

циркуляционного трубопровода и одновременной потерей источников электропитания;

– результаты исследования (как первичные данные, так и обобщающие зависимости) предназначены для использования при разработке новых проектов атомных станций с водо-водяными энергетическими реакторами.

**Личный вклад** соискателя состоит в том, что он как один из основных исполнителей принимал непосредственное участие на всех этапах работ, положенных в основу представленной диссертации: поиск и отбор научно-технической информации; пуско-наладочные операции на экспериментальном оборудовании; выполнение опытов на установке; анализ и обработка экспериментальных данных.

### **Структура диссертации**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованных источников из 94 наименований. Работа представлена на 160 страницах и содержит 54 иллюстрации и 17 таблиц.

Во **введении** обосновывается актуальность темы диссертации, формулируются цель и задачи исследования, а также подчеркивается научная новизна выполненной работы и ее теоретическая и практическая значимость.

В **первой главе** представлен обзор конструкций пассивных систем безопасности, используемых в зарубежных и отечественных реакторных установках с водой под давлением. В главе анализированы факторы, ограничивающие продолжительность автономного функционирования пассивных систем безопасности в рассматриваемых проектах реакторов. Также рассмотрены перспективные способы увеличения времени работы пассивных систем безопасности реакторов ВВЭР. Выполнен обзор литературных источников, посвященных исследованию процессов теплообмена при конденсации пара в теплообменниках поверхностного и смешивающего типов.

**Вторая глава** диссертации посвящена экспериментальной установке, созданной для исследования теплообмена при конденсации пара в теплообменниках поверхностного и смешивающего типов в условиях присутствия неконденсирующихся газов. Описаны методики проведения

экспериментов на рабочих участках «Устройство удаления газов» и «Конденсация на струях».

**В третьей главе** представлены результаты исследования на экспериментальной установке с рабочим участком «Устройство удаления газов». Показано влияние таких параметров, как вид теплообменной поверхности, состав парогазовой смеси и концентрации неконденсирующихся газов в ней на эффективность работы исследуемого теплообменника-конденсатора.

**В четвертой главе** приведены результаты экспериментального исследования процессов, имеющих место при конденсации пара в присутствии неконденсирующихся газов на свободно падающей струе недогретой жидкости. Были получены обобщающие зависимости для расчета температуры прогрева диспергированной струи, интенсивности конденсации пара на струе жидкости в присутствии неконденсирующихся газов, а также отношения эффективных коэффициентов теплоотдачи.

**В пятой главе** представлены результаты расчетной оценки эффективности систем удаления неконденсирующихся газов из парогенератора, работающего в конденсационном режиме, при их применении на АЭС с ВВЭР. Показано, что применение одной из таких систем позволит до 72 часов увеличить время функционирования парогенератора ВВЭР в конденсационном режиме в случае аварии с гильотинным разрывом главного циркуляционного трубопровода и полным обесточиванием АЭС.

**В заключении** подведены основные выводы по результатам диссертационной работы.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на отраслевых и международных научно-технических конференциях, а также были изложены в 7 печатных изданиях: 4 публикации в журналах, входящих в перечень ВАК, 3 – в других изданиях.

К диссертации имеются несколько **вопросов и замечаний**:

1. Предложенные в работе решения относятся к группе пассивных систем обеспечения безопасности. Однако из текста диссертации не ясно, каким образом парогазовая смесь будет поступать в предлагаемые системы удаления

газов. Например, в экспериментах для подачи струи воды применялось повышение давления в баках. В реальных условиях длительной работы систем такие решения не подойдут. Не нарушат ли предлагаемые усовершенствования принципа пассивности?

2. Автором предполагается, что диспергирование струи подаваемой жидкости произойдет естественным образом, но не рассмотрен вариант принудительной пассивной диспергации подаваемой воды.

3. Рассматривалась ли возможность предварительного удаления растворенных газов из гидроекостей ГЕ-1 и ГЕ-2 методами, например, химической деаэрации?

4. Рассматривался ли вопрос очистки удаляемых газов от радиоактивных аэрозолей?

Может быть, целесообразно использование для их сбора и удержания пассивных газгольдеров?

5. На рис. 1.7 и ряде других схем не показаны линии удаления (сдувок) неконденсирующихся газов.

6. В табл. 3.1 показано, что большая часть экспериментов проведена при отсутствии сдувок неконденсирующихся газов. Следовательно, газы при этом остаются в контуре?

Однако указанные выше замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования.

Диссертация А.Р. Сахипгареева представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Изложенный в ней материал научно обоснован, а результаты, собранные в базу экспериментальных данных, предназначены для использования при разработке перспективных проектов АЭС с ВВЭР и вносят вклад в повышение их безопасности.

Автореферат отражает основные положения диссертационной работы.

Тема и содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 2.4.9 – Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность.

Диссертация «Экспериментальное обоснование технологии удаления неконденсирующихся газов для обеспечения работоспособности парогенератора ВВЭР в конденсационном режиме» отвечает всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. (ред. от 25.01.2024 г.) № 842, а соискатель Сахипгареев Азамат Радикович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент,  
доктор технических наук,  
профессор, заведующий  
кафедрой атомных станций и  
возобновляемых источников энергии  
Федерального государственного  
автономного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Уральский федеральный  
университет имени первого  
Президента России Б. Н. Ельцина»  
Щеклеин Сергей Евгеньевич

«17» 01 2025 г.

  
С.Е. Щеклеин

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина». (ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»)

Адрес: 620002, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 5.

Тел.: +7 (343) 375-95-08,

Электронная почта: s.e.shcheklein@urfu.ru

ПОДПИСЬ  
ЗАВЕРЯЮ.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ УРФУ  
МОРОЗОВА В.А.



