

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального
конструктора – начальник
отделения

«__» _____ 20__ г. М.А. БЫКОВ

Технические требования

к выполнению научно-исследовательской работы по теме:

РАСЧЕТНЫЙ АНАЛИЗ ПРЕДСТАВИТЕЛЬНЫХ СЦЕНАРИЕВ ТЯЖЁЛЫХ
АВАРИЙ. НЕЗАВИСИМАЯ ОЦЕНКА ПРОЕКТНЫХ ПАРАМЕТРОВ
ОХЛАЖДЕНИЯ КОРПУСА РЕАКТОРА. АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ
РАСЧЕТНЫХ ОЦЕНОК РАБОТОСПОСОБНОСТИ УДЕРЖАНИЯ
РАСПЛАВА И ОХЛАЖДЕНИЯ КОРПУСА РЕАКТОРА С УЧЕТОМ
ИЗВЕСТНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ МОДЕЛЕЙ



СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. НАИМЕНОВАНИЕ РАБОТЫ

РАЗДЕЛ 2. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Подраздел 2.1 Выбор направлений исследований

Подраздел 2.2 Цель и задачи научно-исследовательской работы

Подраздел 2.3 Стадийность (этапы работ)

РАЗДЕЛ 3. ОПИСАНИЕ РАБОТ

РАЗДЕЛ 4. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Подраздел 4.1 Исходные данные

Подраздел 4.2 Прочие материалы, предоставляемые Заказчиком для выполнения процедуры закупки

РАЗДЕЛ 5. ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИЧЕСКИМ РЕЗУЛЬТАТАМ РАБОТЫ

Подраздел 5.1 Основные требования к выполнению научно-исследовательской работы

Подраздел 5.2 Внедрение результатов научно-исследовательской работы

Подраздел 5.3 Используемая нормативная документация

РАЗДЕЛ 6. ТРЕБОВАНИЯ И УСЛОВИЯ К РАЗРАБОТКЕ

ПРИРОДООХРАННЫХ МЕР И МЕРОПРИЯТИЙ

РАЗДЕЛ 7. ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

РАЗДЕЛ 8. ТРЕБОВАНИЕ К СРОКУ (ИНТЕРВАЛУ) ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

РАЗДЕЛ 9. ПОРЯДОК ПРИЕМКИ

Подраздел 9.1 Требования к документации для приемки

Подраздел 9.2 Порядок рассмотрения и приемки результатов научно-исследовательской работы

РАЗДЕЛ 10. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТНОСТИ

Подраздел 10.1 Отчетные материалы

Подраздел 10.2 Формат отчетной документации

РАЗДЕЛ 11. ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

РАЗДЕЛ 12. ПЕРЕЧЕНЬ ПРИЛОЖЕНИЙ



РАЗДЕЛ 1. НАИМЕНОВАНИЕ РАБОТЫ

Выполнение научно-исследовательской работы по теме: «Расчетный анализ представительных сценариев тяжёлых аварий. Независимая оценка проектных параметров охлаждения корпуса реактора. Анализ неопределенности расчетных оценок работоспособности удержания расплава и охлаждения корпуса реактора с учетом известных погрешностей используемых моделей»

РАЗДЕЛ 2. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Подраздел 2.1 Выбор направлений исследований

2.1.1 Основанием для выполнения НИР служит «Программа НИОКР в обоснование технических решений для энергоблока АЭС с ВВЭР средней мощности» № 1.2.2.15.999.127-2022 от 17.05.2022, утвержденная первым заместителем генерального директора по операционному управлению Госкорпорации «Росатом» Локшиным А.М.

2.1.2 Концепция внутрикорпусного удержания расплава для проектов АЭС с РУ ВВЭР средней мощности (РУ ВВЭР-600 и РУ ВВЭР-С) предполагает локализацию расплава активной зоны и внутрикорпусных устройств внутри корпуса реактора, что позволяет исключить взаимодействие расплава с бетонными конструкциями защитной оболочки и сопутствующие процессы абляции бетона, генерации горючих газов и интенсивного выхода радиоактивных веществ из расплава.

Для реализации концепции внутрикорпусного удержания расплава в проектах ВВЭР-600 и ВВЭР-С применяется Система Удержания Расплава и Охлаждения Корпуса реактора (СУРОК).

Для выбора и реализации проектных решений СУРОК необходимо выполнение расчётно-аналитического обоснования.

2.1.3 В настоящее время в России для численного моделирования тяжёлых аварий на АЭС типа ВВЭР широко используется программа для ЭВМ. «Программа для численного моделирования внутрикорпусной стадии запроектных аварий на реакторных установках с водой под давлением (СОКРАТ-В1/В2)» (номер государственной регистрации (свидетельства): 2010610562; дата регистрации: 14.01.2010; далее по тексту используется сокращенное наименование – ПрЭВМ СОКРАТ-В1/В2). ПрЭВМ СОКРАТ-В1/В2 содержит модель теплообмена кориума со стенкой в нижней части корпуса реактора, модель теплового разрушения стенки корпуса реактора и модель теплообмена стенки с теплоносителем в контуре наружного охлаждения корпуса. Поэтому ПрЭВМ СОКРАТ-В1/В2 может рассматриваться как базовое расчетное средство для моделирования стадии удержания расплава в корпусе в интегральной постановке задачи.

Подраздел 2.2 Цель и задачи научно-исследовательской работы

2.2.1 Основными целями НИР являются:

- независимая оценка проектных параметров охлаждения корпуса реактора;
- проведение интегрального анализа ключевых процессов, потенциальных механизмов разрушения стенки корпуса реактора и последовательности основных событий в ходе представительных сценариев тяжёлых аварий, анализ условий теплоотвода в аварийном бассейне и теплогидравлических условий в тракте отвода пара и возврата конденсата;
- проведение анализа возможности осаждения борной кислоты на внешней поверхности корпуса реактора;
- проведение анализа неопределенности расчетных оценок работоспособности системы СУРОК с учетом термомеханических и теплогидравлических факторов влияющих на условия отказа корпуса реактора, а также с учетом известных погрешностей используемых моделей.



Также по результатам работ в рамках НИР должно быть сформулировано заключение о необходимости проведения дополнительных работ и экспериментов для уточнения полученных результатов и обоснования погрешности расчётов.

Подраздел 2.3 Стадийность (этапы работ)

Работы в рамках НИР носят комплексный характер и предполагают поэтапную реализацию в течение двух этапов:

Этап №1 «Расчетный анализ представительных сценариев тяжёлых аварий. Независимая оценка проектных параметров охлаждения корпуса реактора».

Этап №2 «Анализ неопределенности расчетных оценок работоспособности удержания расплава и охлаждения корпуса реактора с учетом известных погрешностей используемых моделей».

РАЗДЕЛ 3. ОПИСАНИЕ РАБОТ

3.1 Этап №1 «Расчетный анализ представительных сценариев тяжёлых аварий. Независимая оценка проектных параметров охлаждения корпуса реактора»

3.1.1 В рамках работ по данному этапу должна быть проведена независимая оценка проектных параметров охлаждения корпуса реактора, таких как минимальный расход и максимальная температура охлаждающей воды, давление под защитной оболочкой РУ для рассматриваемых сценариев тяжёлых аварий.

Проведение независимой оценки проектных параметров охлаждения корпуса реактора включает в себя выполнение следующих работ:

- разработка и квалификация входных наборов для ПрЭВМ СОКРАТ-В1/В2 для РУ ВВЭР-С и ВВЭР-600 (на основе данных, переданных Заказчиком) аварийного бассейна, тракта отвода пара из аварийного бассейна системы СУРОК, помещений ГО, включая тракт естественной конвекции парогазовой смеси, и возврат конденсата обратно в аварийный бассейн СУРОК;

- проведение независимого расчётного анализа тяжёлых аварий с целью определения параметров охлаждения корпуса реактора, таких как минимальный расход и максимальная температура охлаждающей воды, давление под защитной оболочкой РУ для рассматриваемых сценариев тяжёлых аварий;

- расчётная оценка возможности превышения плотности критического теплового потока, расчет градиента температуры по толщине и вдоль образующей корпуса реактора для оценки температурных напряжений;

- вычисление профиля остаточной толщины стенки корпуса реактора, определение параметров для оценки возможности механического отказа корпуса реактора.

3.1.2 Также на данном этапе проводятся следующие расчётно-аналитические исследования:

- интегральный анализ ключевых процессов, потенциальных механизмов разрушения стенки корпуса реактора;

- сбор и обработка существующих данных по свойствам и поведению материалов корпуса реактора в области расчетных температур;

- анализ влияния ползучести (температурной и радиационной), мгновенных пластических деформаций, гидростатического давления (как воды, так и расплава) и температурного воздействия на напряжённо-деформируемое состояние элементов корпуса реактора в условиях реализации внутрикорпусного удержания расплава;

- анализ возможности осаждения борной кислоты на внешней поверхности корпуса реактора. При подтверждении возможности осаждения борной кислоты на внешней поверхности корпуса реактора проводится анализ влияния данного процесса на условия теплоотвода от корпуса реактора.



3.2 Этап № 2 «Анализ неопределенности расчетных оценок работоспособности удержания расплава и охлаждения корпуса реактора с учетом известных погрешностей используемых моделей».

3.2.1 На данном этапе должно быть выполнено моделирование нескольких (не более пяти) представительных сценариев тяжелых аварий на основании которых должен быть проведен анализ неопределенности расчетных оценок работоспособности СУРОК с учетом термомеханических и теплогидравлических факторов, влияющих на условия отказа корпуса реактора, а также с учетом известных погрешностей используемых моделей.

3.3 Общие требования к выполнению работ по Этапам № 1 и № 2

3.3.1 Результаты работ, выполняемых на Этапе №1 в соответствии с п.3.1.1 настоящих Технических требований, должны быть оформлены в виде Отчёта о НИР (промежуточного): «Независимая оценка проектных параметров охлаждения корпуса реактора».

3.3.2 Результаты расчётно-аналитических исследований, выполняемых на Этапе № 1 в соответствии с п.3.1.2 настоящих Технических требований, должны быть оформлены в виде Отчёта о НИР (промежуточного): «Расчётно-аналитические исследования в обоснование системы удержания расплава и охлаждения корпуса реактора».

3.3.3 По результатам работ на Этапе № 2 должен быть оформлен Отчёт о НИР (заключительный). Отчёт о НИР (заключительный) должен включать в себя результаты работ, выполняемых на Этапе № 2 в соответствии с п.3.2.1 настоящих Технических требований. Также в Отчёт о НИР (заключительный) должна быть включена краткая информация об основных результатах работ, представленных в разработанных на Этапе № 1 Отчётах о НИР (промежуточных).

3.3.4 По результатам работ по Этапам № 1 и № 2 должно быть сформулировано заключение о необходимости проведения дополнительных работ и экспериментов для уточнения полученных результатов и обоснования погрешности расчётов. Заключение должно быть представлено в Отчёте о НИР (заключительном).

РАЗДЕЛ 4. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Подраздел 4.1 Исходные данные

В течение 5 (пяти) рабочих дней с даты подписания договора Заказчик передает Исполнителю материалы проектов РУ ВВЭР-С и РУ ВВЭР-600, включающие данные о конструкторских решениях, используемых материалах, и перечень сценариев рассматриваемых тяжелых аварий. Материалы предаются в бумажном и/или электронном виде (на CD-диске или на электронную почту) с сопроводительным письмом и актом приема-передачи исходных данных.

Исполнитель обязуется использовать данные отчеты только в рамках работ по договору.

Дополнительные материалы (замечания, вновь разработанные отчеты и другая информация, которая может потребоваться для выполнения НИР) будут передаваться в ходе выполнения работ по договору по письменным запросам или в соответствии с двухсторонними протоколами.

Подраздел 4.2 Прочие материалы, предоставляемые Заказчиком для выполнения процедуры закупки

Отсутствуют



РАЗДЕЛ 5. ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИЧЕСКИМ РЕЗУЛЬТАТАМ РАБОТЫ

Подраздел 5.1 Основные требования к выполнению научно-исследовательской работы

5.1.1 Исполнитель предоставит Заказчику рабочие материалы не позднее 14 (четырнадцати) рабочих дней до срока окончания выполнения работ, указанного в Календарном плане (приложение 1).

5.1.2 Оформление отчетной документации должно выполняться в соответствии с требованиями ЕСКД (требования к оформлению текстовых документов) или ГОСТ 7.32-2017 (Отчет о научно-исследовательской работе Структура и правила оформления). Дополнительные требования (при наличии) передаются Исполнителю работ не позднее двух недель с начала действия договора.

При перевыпуске отчетных материалов Исполнитель использует тот же номер документа, но с указанием следующей ревизии. Заполняется лист регистрации изменений.

Все разработанные Исполнителем материалы представляются на русском языке в составе отчетной документации.

5.1.3 Исполнитель обязуется предоставлять материалы, разработанные согласно условиям настоящих Технических требований, официальным письмом.

5.1.4 Исполнитель обязуется использовать все полученные от Заказчика материалы (включая исходные данные, отчеты, экспериментальные данные и т.д.) только в рамках выполнения работ по договору. Все полученные материалы будут возвращены Заказчику по требованию или одновременно с окончанием работ по этапу (если материалы требуются для выполнения работ только по одному этапу) или с окончанием работ по договору.

5.1.5 Работы выполняются Исполнителем по месту его нахождения или на территории Заказчика.

Подраздел 5.2 Внедрение результатов научно-исследовательской работы

Заказчик использует результаты НИР в рамках выполнения проектных и исследовательских работ применительно к АЭС с ВВЭР-С.

Подраздел 5.3 Используемая нормативная документация

При выполнении работ будут учтены требования следующих документов (размещены в свободном доступе в сети Интернет):

- НП-001-15 «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций»;
- НП-082-07 «Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций»;

- Приказ № 141 от 04.04.2023 «Об утверждении порядка проведения экспертизы программ для электронных вычислительных машин, используемых в целях постороения расчётных моделей процессов, влияющих на безопасность объектов использования атомной энергии и (или) видов деятельности в области атомной энергии»;

- Требования к составу и содержанию отчета о верификации и обосновании программных средств, применяемых для обоснования безопасности объектов использования атомной энергии. РД-03-34-2000;

- Approaches and Tools for Severe Accident Analysis for Nuclear Power Plants, Safety Report Series No.56, International Atomic Energy Agency, Vienna (2008);

- Best Estimate Safety Analysis for Nuclear Power Plants: Uncertainty Evaluation, Safety Report Series No.52, International Atomic Energy Agency, Vienna (2008).

- Accident Analysis For Nuclear Power Plants, Safety Reports Series No. 23, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2002.

В случае выпуска новой редакции отечественных нормативных документов, определяющих требования к составу и содержанию документов, необходимых для аттестации программных средств, Исполнитель приводит текущие рабочие версии



документов по ПрЭВМ в соответствие с новыми требованиями.

РАЗДЕЛ 6. ТРЕБОВАНИЯ И УСЛОВИЯ К РАЗРАБОТКЕ ПРИРОДООХРАННЫХ МЕР И МЕРОПРИЯТИЙ

Отсутствуют

РАЗДЕЛ 7. ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

7.1 Оформление отчетной документации должно выполняться в соответствии с требованиями ЕСКД (требования к оформлению текстовых документов) или ГОСТ 7.32-2017 (Отчет о научно-исследовательской работе Структура и правила оформления). Дополнительные требования (при наличии) передаются Исполнителю работ не позднее двух недель с начала действия договора.

Программа по обеспечению качества не требуется.

Гарантийный период на выполненные работы составляет 24 месяца с момента завершения работ по договору.

РАЗДЕЛ 8. ТРЕБОВАНИЕ К СРОКУ (ИНТЕРВАЛУ) ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

Дата начала работ – с даты заключения договора.

Дата завершения работ по договору – 6 (шесть) месяцев, но не позднее 30.08.2024.

Сроки этапов приведены в Календарном плане (Приложение 1).

РАЗДЕЛ 9. ПОРЯДОК ПРИЕМКИ

Подраздел 9.1 Требования к документации для приемки

Отчетная документация по каждому этапу (отчеты по Этапам № 1 и № 2) передается Заказчику в бумажном виде в одном экземпляре (1 экз. – несброшюрованная учтенная копия) и в электронном виде на 2-х оптических носителях (документация в электронном виде должна быть в форматах тех программных продуктов, с помощью которых она создавалась, и в отсканированном виде). При выполнении работ, связанных с корректировкой входных наборов, или выполнении расчетов – все результаты и входные наборы предоставляются на CD-диске.

Состав отчетной документации в соответствии с Подразделом 10.1 настоящих Технических требований.

Подраздел 9.2 Порядок рассмотрения и приемки результатов научно-исследовательской работы

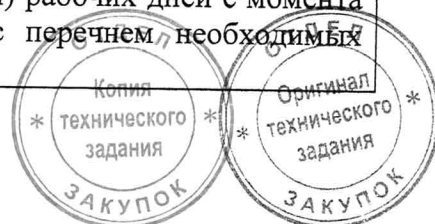
При завершении работ по каждому этапу Исполнитель передаст Заказчику аннотационный отчет, акт сдачи-приемки выполненных работ и отчетную документацию.

Работа принимается Заказчиком на основании проверки выполнения требований настоящей работы.

Заказчик в течение 14 (четырнадцати) рабочих дней со дня получения документов, обязан проверить комплектность и соответствие предоставленной документации требованиям, предъявляемым к результатам работ.

Заказчик осуществляет приемку выполненных работ по договору в течение 14 (четырнадцати) рабочих дней с даты получения отчетной документации и направляет Исполнителю либо оформленный акт сдачи-приемки выполненных работ, либо мотивированный отказ от приемки работ.

В случае получения Исполнителем мотивированного отказа от подписания акта сдачи-приемки выполненных работ в течение 14 (четырнадцати) рабочих дней с момента его получения Сторонами составляется двусторонний акт с перечнем необходимых доработок и сроков их выполнения.



Устранение замечаний Заказчика в пределах установленных договором объёмов работ осуществляется Исполнителем за свой счет.

РАЗДЕЛ 10. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТНОСТИ

Подраздел 10.1 Отчетные материалы
10.1.1. Состав отчетной документации по Этапу №1 НИР включает в себя: - Отчёт о НИР (промежуточный): «Независимая оценка проектных параметров охлаждения корпуса реактора»; - Отчёт о НИР (промежуточный): «Расчётно-аналитические исследования в обоснование системы удержания расплава и охлаждения корпуса реактора»
10.1.2. Состав отчетной документации по Этапу №2 включает в себя: - Отчёт о НИР (заключительный).
Подраздел 10.2 Формат отчетной документации
В соответствии с требованиями по п. 9.1 настоящих Технических требований.

РАЗДЕЛ 11. ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АЭС	Атомная электростанция
ВВЭР	Водо-водяной энергетический реактор
ВВЭР-С	Водо-водяной энергетический реактор со спектральным регулированием
НИР	Научно-исследовательская работа
ПрЭВМ	Программа для ЭВМ
ОЯТ	Отработавшее ядерное топливо
РУ	Реакторная установка
СУРОК	Система Удержания Расплава за счёт Охлаждения Корпуса реактора
ЭВМ	Электронно-вычислительная машина
CD	Компакт-диск (оптический носитель)

РАЗДЕЛ 12. ПЕРЕЧЕНЬ ПРИЛОЖЕНИЙ

Номер приложения	Наименование приложения	Количество листов
1	КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН	1

Начальник отдела

Начальник группы

Ведущий инженер-конструктор

С.И. Пантюшин

А.В. Литышев

Д.Л. Гаспаров



КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

на выполнение научно-исследовательской работы по теме:
 «Расчетный анализ представительных сценариев тяжёлых аварий. Независимая оценка проектных параметров охлаждения корпуса реактора. Анализ неопределенности расчетных оценок работоспособности удержания расплава и охлаждения корпуса реактора с учетом известных погрешностей используемых моделей»

№ этапа	Наименование работ по этапу	Срок начала выполнения работ по этапу	Срок окончания выполнения работ по этапу	Стоимость работ*	Результаты работ (перечень отчетной документации, представляемой с актом сдачи-приемки выполненных работ)
1	Расчетный анализ представительных сценариев тяжёлых аварий. Независимая оценка проектных параметров охлаждения корпуса реактора	Дата заключения договора	6 (шесть) месяцев, но не позднее 30.08.2024	50%	Аннотационный отчет, CD с результатами работ, Отчёт о НИР (промежуточный): «Независимая оценка проектных параметров охлаждения корпуса реактора», Отчёт о НИР (промежуточный): «Расчётно-аналитические исследования в обоснование системы удержания расплава и охлаждения корпуса реактора», заключение ПДТК
2	Анализ неопределенности расчетных оценок работоспособности удержания расплава и охлаждения корпуса реактора с учетом известных погрешностей используемых моделей	Дата заключения договора	6 (шесть) месяцев, но не позднее 30.08.2024	50%	Аннотационный отчет, CD с результатами работ, Отчёт о НИР (заключительный), заключение ПДТК
ИТОГО:				100%	

* В стоимость работ входят затраты на служебное командирование специалистов в размере : _____ руб. без учета НДС

