

EUROPEAN COMMISSION
DIRECTORATE-GENERAL JRC
JOINT RESEARCH CENTRE
Institute for Energy
Technical and Scientific Support to TACIS and
PHARE



TACIS ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ



TACIS ПРОЕКТ R8.01/97

ПЕРЕВОД, РЕДАКТИРОВАНИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ДОКУМЕНТОВ

(Распространение результатов)

ПРОЕКТ TACIS R1.13/91
КВАЛИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ,
ВАЖНОГО ДЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ
ПРИ АВАРИЙНЫХ УСЛОВИЯХ

ОБЗОРНЫЙ ОТЧЕТ

TSSTP/DISS97/02 02 004

Petten, 2002/05/02

Автор(ы):

К. РИИГ
М. МАЛЬЦЕВ

(EC/JRC-IE)
(АЭП)

Проверено:

Р. РУССО

(EC/JRC-IE)

Утверждено:

М. БИТ

(EC/JRC-IE)

СОДЕРЖАНИЕ

РЕФЕРАТ	4
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
1 ВВЕДЕНИЕ	5
2 ЦЕЛИ ПРОЕКТА	6
3 ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ.....	6
4 ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОЕКТА	8
4.1 ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ФАЗА – ФАЗА I.....	8
4.2 КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ ФАЗА – ФАЗА II.....	13
4.3 ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНАЯ ФАЗА – ФАЗА III.....	14
5 ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОЕКТА.....	22
5.1. ВЫПОЛНЕННЫЙ ОБЪЕМ РАБОТ	22
5.2. ОБСУЖДЕНИЕ	24
6 РЕКОМЕНДАЦИИ.....	24
7 СОКРАЩЕНИЯ	25
8 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	26

РЕФЕРАТ

Главная цель проекта TACIS R1.13/91 заключалась в определении условий окружающей среды, возникающих во время проектных аварий для квалификации оборудования важного для безопасности действующих Российских АЭС с ВВЭР 440/230 (Кольская АЭС блоки 1, 2, Нововоронежская АЭС блоки 3, 4) и предложении соответствующей программы квалификации. Внешние воздействия, например, землетрясение, не входят в объем задач проекта. В объем работ проекта входило только оказание технической помощи для оптимизации программы квалификации различными средствами (исследования, испытания, координация с другими квалификационными средствами), никаких действий по выполнению предложенной программы не проводилось.

Три стадии проекта были успешно реализованы, как планировалось, но с некоторой задержкой относительно начального временного графика. Из-за временных ограничений и организации координации со связанными проектами, первоначальный план работы был откорректирован для выполнения основной задачи. Это привело к некоторому перекрыванию рабочих стадий, а также к переключению активности от одной фазы к другой согласно потребностям проекта.

Западные и Российские эксперты работали в тесном сотрудничестве в рамках этого проекта благодаря созданию технической рабочей группы в самом начале работы. Техническое сотрудничество позволило экспертам ознакомиться с состоянием дел в соответствующих технических областях в странах-участниках. Российские эксперты имели возможность пройти обучение и получать при необходимости дополнительную помощь при использовании Западных кодов, в частности кода WAVCO. Этот код, а также компьютеры и оборудование были переданы российскому бенефициару и субподрядчику. Тестовые сравнения кода WAVCO с кодом MARCH-АЭП привели к модернизации и адаптации моделирования локальных явлений конденсации в помещениях контейнента.

Представительная модель действующей российской АЭС с ВВЭР 440/213 была разработана на основе планировочных решений блоков Нововоронежской АЭС, которая является типичной для этих блоков. Модель использовалась как для референтного анализа, так и для сравнения кодов. Характеристики каждого помещения (объем, свойства стен, связи между помещениями) были определены и тщательно проверены.

Для этого проекта течи первого контура Ду 32 мм были отобраны в качестве консервативных аварийных сценариев, которые рассматривались для определения наиболее тяжелых параметров окружающей среды для квалификации оборудования, важного для безопасности. Соответствующие выбросы массы и энергии в объем контейнента в процессе аварии были взяты из имеющегося расчета ОКБ «Гидропресс», после проверки его полноты и соответствия. Результаты, полученные по коду WAVCO, использовались для выполнения последующих задач проекта. Дополнительные исследования подтвердили надежность результатов расчета (пиковая температура, влажность и давление), которые в дальнейшем использовались для определения квалификационных условий.

Полный анализ политики квалификации оборудования был проведен согласно международной практике и с использованием уточненных аварийных условий окружающей среды. Принимая во внимание особое состояние этих станций и накопленный опыт на АЭС Козлодуй, был предложен список компонентов, важных для безопасности, которые подлежат (ре)квалификации (наибольшая часть – это оборудование КИП).

Была предложена и оценена соответствующая программа квалификации. Глобальная продолжительность оценивается в диапазоне от 12 до 18 месяцев. Бюджет (в российских ценах 1993), необходимый для квалификации указанного оборудования¹ российских АЭС с ВВЭР 440/230, оценивается приблизительно в 2445 миллионов рублей (550,000 US\$). Целесообразно включение такой программы квалификации в программу модернизации действующих российских АЭС с ВВЭР 440/213, поскольку список проектных аварий при этом может быть расширен. В этом случае, квалификационные условия также должны быть

¹ Затраты связанные с использованием нестандартных компонентов должны оцениваться особо.

пересмотрены. Однако, дальнейшая финансовая поддержка для этой цели от Комиссии Европейского Сообщества пока не предусматривается.

В Заключительном отчете по проекту содержатся следующие рекомендации:

1. Использовать переданное НОУ-ХАУ и технологии по квалификации оборудования.
2. Внедрить выполнение предложенной программы квалификации оборудования в программы ППР и программу модернизации действующих Российских АЭС с ВВЭР 440/213.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Работа финансировалась Советом директоров Комиссии Европейского Сообщества по контракту № WW.910303.01B039 с Framatome S.A., возглавлявшему Консорциум Siemens KWU и Electricité de France.

Российская организация-бенефициант – концерн Росэнергоатом, являющийся эксплуатирующей организацией.

Субконтрактором с российской стороны являлся МОХТ-ОТЖИГ РМ, основной участник - АЭП. Эксперты НВАЭС, ОКБ Гидропресс и РНЦ КИ привлекались для решения различных технических задач.

Была создана рабочая группа из экспертов Framatome S.A, Siemens KWU и АЭП для осуществления технического руководства проектом. Западные компании осуществляли дополнительную экспертизу работ и консультации.

Предполагалось, что длительность работ по проекту составит 27 месяцев. Контракт был подписан 21 июля 1993 и завершен в октябре 1995. Субконтракт был подписан 7 октября 1993 г.

Работа выполнялась в соответствии с требованиями программ обеспечения качества на основе соответствующих стандартов МАГАТЭ и других международных стандартов, применяемых для ядерных установок.

1 ВВЕДЕНИЕ

АЭС с ВВЭР 440/230 были спроектированы в 70-х годах и находятся в эксплуатации в различных восточно-европейских странах уже более 25 лет. Некоторые из них были остановлены (Армения, Германия), но большинство из них по-прежнему работает. В России в настоящее время эксплуатируется четыре блока (Кольская АЭС блоки 1 и 2, Нововоронежская АЭС блоки 3 и 4).

В соответствии с применяемыми проектными документами и стандартами, проектирование компонентов систем важных для безопасности было основано на основных результатах анализа проектных аварий. Анализ проектных аварий был выполнен на этапе проектирования с использованием имеющихся в то время расчетных программах. Таким образом, компоненты систем важных для безопасности классифицировались согласно примененным правилам. Требуемые проектные пределы обеспечивались применением соответствующих проектных критериев для каждой категории компонентов.

За прошедшие годы во всем мире большое внимание уделялось квалификации оборудования. В настоящее время существует улучшенная методология, а также уточненный анализ аварий, выполненный с применением модернизированных компьютерных кодов, более точно описывающих физические явления (паро-воздушная смесь в помещениях контейнента)

Данный проект был предназначен для подготовки (ре)квалификации оборудования, важного для безопасности. Соответствующий объем работ ограничивался действующими российскими АЭС с ВВЭР 440/230 и проектными авариями, исключая внешние события (землетрясения).

Для того чтобы иметь возможность определить параметры окружающей среды для квалификационных целей, в качестве референтной проектной аварии была выбрана течь первого контура Ду 32 мм, без учета результатов анализа аварий проводимых в проекте TACIS R1.3/91.

Учитывая небольшое количество отличий между различными проектами и эксплуатационными условиями АЭС (Кольская АЭС блоки 1 и 2, Нововоронежская АЭС блоки 3 и 4) Нововоронежская АЭС была выбрана в качестве референтной станции. Была разработана соответствующая модель реакторного здания (контейнмента) с использованием адекватных параметров, обеспечивающих при необходимости консервативность результатов. В модели отражены все необходимые помещения и особенности расположения.

«Западный» (WAVCO) и «восточный» (MARCH-АЭП) программные коды вначале сравнивались на нескольких выбранных моделях. Полученные результаты показали удовлетворительный уровень совпадения данных. Эксперты приобрели положительный опыт работы с «продвинутыми» кодами и идентифицировали основные недостатки упрощенных описаний физических явлений.

Для проведения полного расчета аварийного процесса (начиная с исходного события до стабилизации параметров на финальной стадии и с учетом послеаварийного периода) на заключительном этапе использовался код WAVCO. Соответствующие результаты дали возможность определить уточнить список оборудования важного для безопасности подлежащего (ре)квалификации, а также определить соответствующие (консервативные) квалификационные параметры.

В рамках проекта была разработана квалификационная программа, установлен соответствующий временной график и оценена стоимость. Предложенная квалификационная программа была оптимизирована в этом проекте.

2 ЦЕЛИ ПРОЕКТА

Целью проекта TACIS R1.13/91 была подготовка (ре)квалификации оборудования, важного для безопасности действующих российских АЭС с ВВЭР 440/230 с учетом современной методологии и уточненных аварийных параметров окружающей среды. Предполагалось создание программы квалификации и определение временных и финансовых затрат на ее осуществление.

В проекте предусматривалось определение параметров окружающей среды, возникающих в ходе проектных аварий (внешние события, например землетрясения не учитывались) для квалификации оборудования, важного для безопасности действующих Российских АЭС с ВВЭР 440/230 (Кольская блоки 1, 2, Нововоронежская блоки 3, 4). Для этого с помощью кода WAVCO была проанализирована течь первого контура Ду 32 мм и определены соответствующие консервативные квалификационные условия для оборудования, важного для безопасности.

3 ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ

В соответствии с вышеуказанными целями, рабочий план был поделен на три фазы. В таблице 3.1 представлены задачи, сгруппированные по фазам в соответствии с контрактом.

Фазы	Задачи
Предварительная фаза (Фаза I)	<ul style="list-style-type: none"> a Создание рабочей группы b Определение и сравнение российских и западных требований, включая программу обеспечения качества c Выбор западных и российских компьютерных программ d Организация доступа российских специалистов к западным программам e Определение базовой документации, необходимой для подготовки исходных данных для компьютерных программ f Выбор аварийных последовательностей для анализа (взаимодействие с проектом TACIS 91-1.3) g Подготовка основных исходных данных для западных программ h Подготовка основных исходных данных для российских программ i Обучение российских экспертов пользованию западными компьютерными программами j Расчет тестовой задачи по западным и российским компьютерным программам k Оказание помощи российским специалистам при пользовании западными программами l Определение критериев для выбора оборудования, важного для безопасности m Идентификация оборудования, важного для безопасности n Разработка метода квалификации выбранного оборудования o Обзор программы по АЭС "Козлодуй" p Выпуск аннотационного отчета (по предварительной фазе) по результатам работ включающий детальный рабочий план на следующую фазу
Концептуальная фаза (Фаза II)	<ul style="list-style-type: none"> a Получение данных от проекта TACIS R1.3/91 b Подготовка исходных данных для выбранного аварийного сценария c Проведение расчетного анализа по западным программам d Помощь российским экспертам в пользовании западными программами e Выпуск аннотационного отчета (по концептуальной фазе) по результатам работ включающий детальный рабочий план на следующую фазу
Заключительная фаза (Фаза III)	<ul style="list-style-type: none"> a Анализ расчетных результатов b Повторный расчет отдельных вариантов c Оценка времени и стоимости квалификации оборудования d Квалификация оборудования, важного для безопасности e Выпуск аннотационного отчета (по заключительной фазе) f Выпуск Заключительного отчета

Таблица 3.1.: Распределение задач проекта по фазам

Все три фазы были успешно выполнены, как планировалось, но с некоторой задержкой по отношению к первоначальному графику:

- Предварительная фаза (фаза I) октябрь 1993 - ноябрь 1994;
- Концептуальная фаза (фаза II) сентябрь 1994 - декабрь 1994;
- Заключительная фаза (фаза III) январь 1995 - октябрь 1995.

В связи с временными ограничениями и организацией координации со связанными проектами, исходный рабочий план был откорректирован для выполнения основной цели. Это привело к некоторому перекрытию рабочих стадий, а также к переключению активности от одной фазы к другой согласно потребностям проекта.

Обучение Российских экспертов работе с кодом WAVCO проводилось в головном офисе Siemens KWU в Оффенбахе в феврале-марте 1994. Рабочие станции и офисное оборудование было поставлено организации-бенефицианту и АЭП в августе 1994 г.

Первые результаты по проекту TACIS R1.3/91 ожидалось только в мае 1995 г., что вызвало некоторую задержку выполнения данного проекта - до тех пор, пока не было принято решение использовать в качестве исходных данных имеющиеся результаты анализа течей из первого контура Ду 32 мм, выполненного ОКБ Гидропресс.

Рабочие встречи проводились в Москве (АЭП), Оффенбахе (Siemens KWU) и Париже (Framatome). Перечень отчетов о ходе работ [1, 2, 3, 5, 7, 8] и промежуточных аннотационных отчетов [4, 6] приведен в разделе 9. Подготовлен заключительный отчет [8], включающий 12 приложений.

4 Представление и обсуждение результатов проекта

4.1 Предварительная фаза – Фаза 1.

Была организована техническая рабочая группа, состоящая из представителей консорциума Контрактора и ведущего института Субконтрактора (см. Предисловие). Ее задачей было обеспечение технического управления проектом и последовательное определение детального технического содержания второй и третьей фаз.

Компоновка Нововоронежской АЭС, являющейся типовой для АЭС с блоками ВВЭР 440/230, представлена на Рисунке 4.1.а и использована для подготовки расчетной модели

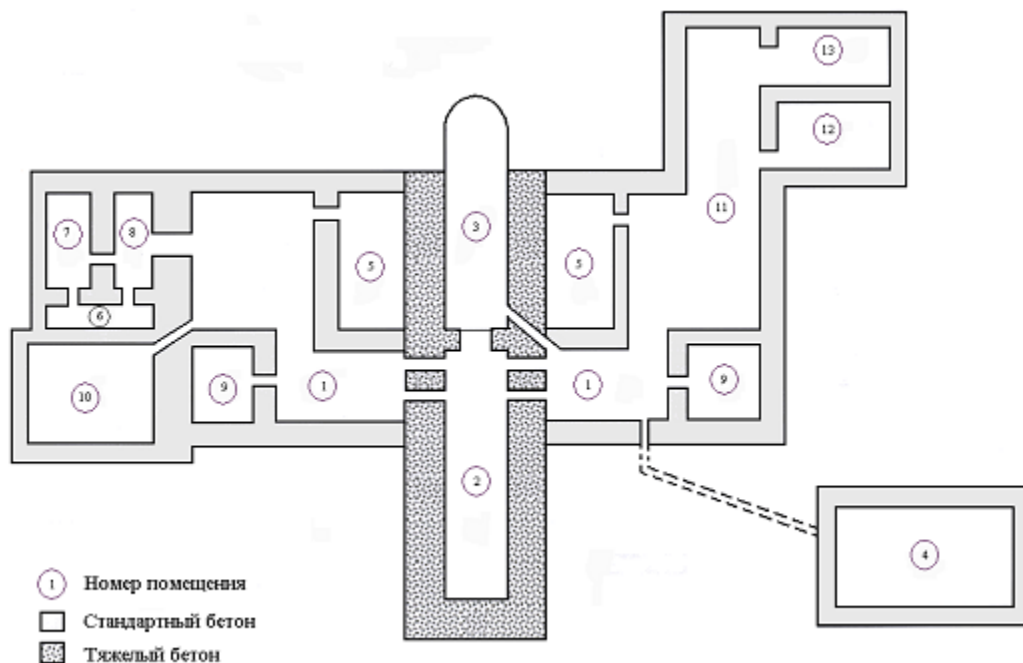


Рисунок 4.1.а: Топологическая модель реакторного здания Новovoroneжской АЭС

Был проведен краткий обзор действующих российских и французских требований к квалификации компонентов, важных для безопасности. Сравнение показало, что в России проектные критерии и требования заводов-изготовителей обеспечивают необходимый уровень качества и квалификации.

Для данного проекта были выбраны две компьютерные программы:

- код WAVCO (см. Приложение 10 к Заключительному отчету [9]), разработанный Siemens KWU и используемый для анализа термодинамических явлений в контейментах АЭС, возникающих при авариях с потерей теплоносителя и оценки их последствий;
- код MARCH-АЭП, используемый в институте АЭП для анализа термодинамических явлений в защитных оболочках при проектных и запроектных авариях и оценки их последствий.

Необходимые условия для использования кода WAVCO (доступ, определение базовой документации необходимой для подготовки исходных данных, подготовка исходных данных) были предоставлены в период обучения Российских экспертов (см. Приложения 1 и 2 к Заключительному отчету [9]).

Топологическая модель учитывает различные помещения реакторного здания и двух шлюзов, перечисленные в таблице 4.1.а.

	Наименование помещения
1	Бокс ПГ и ГЦН
2	Шахта реактора
3	Пространство верхнего блока шахты реактора
4	Бак аварийного запаса раствора борной кислоты
5	Помещение приводов ГЦН и ГЗЗ
6	Венткамера системы СВО-1
7	Помещение теплообменников СВО
8	Помещение фильтров СВО-1
9	Помещение КИП
10	Вентильная камера помещения бокса ПГ
11	Помещение компенсатора давления
12	Вентильная камера компенсатора давления
13	Помещение барботера
14	Шлюз
15	Шлюз

⁽¹⁾: Шлюзы моделируются как отдельные стоки тепла

Таблица 4.1.а: Перечень помещений, учитываемых в топологической схеме

Была разработана расчетная модель, приведенная на рисунке 4.1.б, состоящая из ограниченного числа помещений. Характеристики каждого расчетного помещения (объем, свойства стен, связи между помещениями и т.д.) были определены дополнительно и тщательно проверены.

Во время этой фазы результаты анализа аварий, которые планировалось получить из проекта TACIS R1.3/91, не были готовы. Поэтому выбор аварийных последовательностей для анализа в данном проекте не проводился.

Программа обучения российских специалистов состояла из следующего:

- вводный курс к программе WAVCO;
- вводный курс ОС HP-UH;
- вводный курс по использованию рабочих станций HP;
- установка программы WAVCO на рабочие станции HP;
- вводный курс по использованию программы WAVCO;
- упражнения по использованию программы WAVCO;
- применение программы WAVCO для российских АЭС.

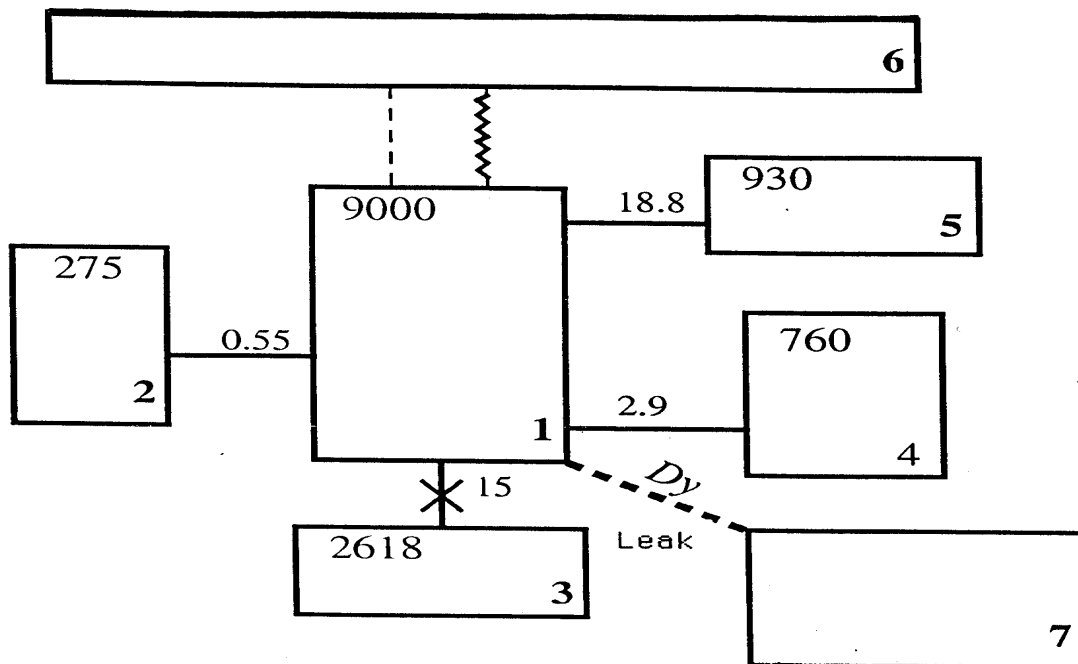


Рисунок 4.1.б: Упрощенная модель для референтного анализа

Сравнение обоих кодов на одной и той же модели было выполнено позднее (в фазе 2) - после выбора референтного сценария аварии для подготовки исходных данных.

Помощь российским экспертам в пользовании западными программами оказывалась в течение обучения и выполнения расчетов референтных аварий.

До определения критерия для выбора оборудования, важного для безопасности, подлежащего квалификации, был проведен обзор отчетов по обоснованию безопасности 3, 4 блоков НВАЭС с целью идентифицировать пути развития аварий, которые могли бы быть определяющими для квалификационных условий (см. Приложение 3 к Заключительному отчету [9]). Дополнительно в качестве примеров подобных работ были переданы методология квалификации и список квалифицируемого оборудования французских АЭС серии 900 МВт (см. Приложение 4 к Заключительному отчету [9]).

В результате, в качестве наиболее важных параметров для выработки квалификационных требований к оборудованию, важному для безопасности, были определены:

- требуемые функции безопасности при аварийных условиях окружающей среды (давление, температура, влажность и др.);
- период времени, в течение которого любой отказ функции безопасности при аварийных условиях окружающей среды должен быть исключен;
- период времени, в течение которого оборудование остается работоспособным (выполняет функции безопасности) при более реалистических условиях окружающей среды по сравнению с консервативными квалификационными условиями.

Эти параметры должны рассматриваться в качестве критериев для выбора оборудования, важного для безопасности, подлежащего квалификации.

В результате анализа был подготовлен предварительный перечень оборудования, важного для безопасности, подлежащего квалификации:

1. Оборудование, расположенное в боксах ПГ и ГЦН (компоненты первого контура)

1.1 Проходки трубопроводов из бокса ПГ в помещение аварийной и нормальной подпитки.

1.2 Проходки бассейна выдержки.

1.3 Отсечная арматура контайнмента и компоненты системы вентиляции Б-2.

1.4 Оборудование системы управления и защиты реактора и диагностическое оборудование, расположенное в пространстве под крышкой шахты реактора:

- датчики положения приводов;
- электрические разъемы;
- датчики температуры активной зоны;
- компоненты для локального дозиметрического контроля.

1.5 Компоненты дозиметрического контроля активной зоны (ионизационные камеры и счетчики).

1.6 Термопары для контроля температуры холодных и горячих ниток ГЦК.

1.7 Датчики уровня в баках запаса борной кислоты (Б-8).

2 Помещение приводов ГЦН и ГЗЗ

2.1 Компоненты системы обнаружения уровня воды в приемке.

2.2 Электроприводная арматура клапанов на реакторе, ГЦН и ГЗЗ.

2.3 Воздуховоды и отсечная арматура системы вентиляции Б-4.

2.4 Электродвигатели ГЦН, АНГЦН и ВГЦН, кабели и система мониторинга параметров этих устройств.

2.5 Компоненты системы дозиметрического контроля в помещениях ПГ и приводов ГЦН и ГЗЗ.

2.6 Датчики, разъемы и кабели устройств, которые управляют развитием аварии.

2.7 Электропривод ГЗЗ.

2.8 Электропривод клапана рециркуляционной вентиляционной системы (P20).

2.9 Электродвигатель вентилятора ГЦН.

2.10 Кнопки аварийного отключения ГЦН, АНГЦН, ВГЦН и НДР-1.

3. Помещения КИП

3.1 Оборудование, расположенное в помещении А004/1,3:

- датчики на предохранительных клапанах компенсатора объема;
- датчики на предохранительных клапанах парогенераторов ПГ-4,5,6;
- датчики для запуска АПН 1 - 6;
- датчики системы обнаружения течей трубчатки ПГ – 4,5,6.

3.2 Оборудование, расположенное в помещении А004/2,4:

- датчики на предохранительных клапанах ПГ-1,2,3;
- датчики системы обнаружения течей трубчатки ПГ – 1,2,3.

4. Кабельные проходки через границы контайнмента

Были предложены основы методологии квалификации оборудования, важного для безопасности (см. Приложение 5 к Заключительному отчету [9]). Они получены из практического опыта западных стран и соответствуют соответствующим международным требованиям. В Приложении 5 к Заключительному отчету кратко описан применяемый на Западе подход к квалификации оборудования. Принимая во внимание, что 3 и 4 блоки НВАЭС находятся в эксплуатации, в программе квалификации предпочтение должно отдаваться методам квалификации, осуществляемым путем анализа и испытаний представительных (типичных) запасных частей и компонентов.

Обзор программы квалификации АЭС Козлодуй не удалось выполнить, как планировалось из-за недостатка информации из проекта TACIS R1.3/91 и отсутствия координации между программами TACIS и PHARE. В результате этого во время третьей фазы (см. Приложение 9 к Заключительному отчету [9]) были проанализированы только имеющиеся отчеты, выпущенные в рамках 6-месячной программы WANO для АЭС Козлодуй. Сравнение программы и условий квалификации показали схожесть обоих случаев. Для АЭС Козлодуй референтная динамика параметров окружающей среды была определена по результатам расчета течи первого контура Ду 45мм. Было представлено только время квалификации (которое можно понимать или как период существования параметров среды, превышающих допустимые, или как время, в течение которого конкретный компонент обязан выполнять свои функции безопасности).

4.2 Концептуальная фаза – Фаза II

Из-за временных ограничений, выбор аварийной последовательности для анализа, в конце концов, был сделан на детерминистской основе и с использованием ограниченного количества данных, полученных в проекте TACIS R1.3/91. В качестве референтной проектной аварии, являющейся наиболее тяжелым случаем с точки зрения параметров среды внутри контейнента, была выбрана течь первого контура Ду 32 мм.

Исходные данные (масса и энергия, выбрасываемая из первого контура в контейнент во время аварии) предполагалось получить из уточненных расчетов, которые планировалось выполнить в рамках проекта TACIS R1.3/91. К сожалению, эта цель не была достигнута, в основном по двум причинам:

- Во-первых, прямое использование результатов проекта TACIS R1.3/91 было технически неприемлемым без их корректировки, т.к. при выборе исходных данных для анализа аварий в этом проекте стремились максимизировать последствия аварий с точки зрения реактивных параметров. А для определения параметров среды в контейненте при выборе исходных данных надо стремиться к получению максимальных последствий вне первого контура.
- Во-вторых, уже в процессе выполнения проекта TACIS R1.3/91 было решено основные усилия сконцентрировать на запроектных авариях (течи первого контура свыше 32 мм) чтобы более реалистично оценить имеющиеся запасы по реактивным параметрам. Поэтому, референтная авария, необходимая для проекта TACIS R1.13/91 (течь первого контура 32 мм) не была проанализирована с помощью кода CATHARE в проекте TACIS R1.3/91.

Поэтому, детерминистский выбор исходных данных для этого проекта был сделан в координации с руководителем группы проекта TACIS R1.3/91 (Siemens KWU). С этой целью результаты проектного анализа течей первого контура Ду 32мм, выполненные ОКБ Гидропресс, сравнивались с результатами, полученными в проекте TACIS R1.3/91 для течи 64 мм. Сравнение показало, что имеется корреляция выброса массы и энергии для обоих случаев. Поэтому было принято консервативное решение использовать данные по выходу массы и энергии, имеющиеся в результатах расчета течей Ду 32 мм из холодной и горячей ниток, выполненных ОКБ Гидропресс, для определения параметров окружающей среды для квалификации оборудования (см. Приложение 6 к Заключительному отчету [9]).

После принятия этого решения были проведены расчетные анализы по кодам WAVCO и MARCH-АЭП для представительной консервативной модели, описывающей четыре действующие

российские АЭС с ВВЭР 440/230. Эти анализы были выполнены для сравнения отдельных возможностей программ. Кроме этого, их целью являлось оказание помощи российским специалистам в овладении «улучшенными» кодами и выявление основных отклонений в описании физических явлений имеющимися «упрощенными» моделями.

Особое внимание было уделено способам описания в компьютерных программах поведения паро-воздушной смеси (включая поведение водорода) в помещениях контейнмента при авариях с течами соответствующими физическими или аналитическими зависимостями. В коде WAVCO явление конденсации на каплях спринклерной воды моделируется уравнением термодинамического баланса, использующего два параметра, задаваемых пользователем. Также оказалось необходимым откорректировать модель работы спринклерной системы в различных помещениях, чтобы правильно определять ее эффективность.

Сравнение результатов, полученных по обоим кодам, выявило некоторое расхождение в скорости снижения давления при работе спринклерной системы, что вызвано сложностью протекающих явлений конденсации паро-воздушной смеси на каплях и различиями в их моделировании. Не смотря на это, основные результаты, полученные по обоим кодам для референтной аварии, необходимые для определения консервативных параметров окружающей среды (максимальное давление, влажность, температура и др.) обнаруживают хорошее качественное и количественное совпадение (см. Приложение 8 к Заключительному отчету [9]).

Было проанализировано поведение паро-воздушной смеси во время аварии в различных помещениях с учетом локальной работы спринклерной системы. Соответствующие значения абсолютного давления, парциального давления пара и температуры, полученные по коду WAVCO, приведены в Приложении 7 к Заключительному отчету [9]. Максимальные значения этих параметров, являющиеся ключевыми данными для нашего исследования, приведены в таблице 4.2.

Наименование помещения	Максимальное значение		
	Абсолютное давление, МПа	Парциальное давление пара, МПа	Температура, °С
Шахта реактора	0.1344	0.01236	62.7
Помещение ГЦН	0.1342	0.01413	65.9
Бак запаса раствора борной кислоты	0.1343	0.01245	60.7
Помещение компенсатора давления	0.1342	0.01209	62.0
Помещение ПГ	0.1343	0.04163	76.9
Помещение КИП	0.1343	0.01232	62.8

Таблица 4.2: WAVCO : максимальные значения давления и температуры в помещениях

Помощь российским экспертам в использовании западных программ оказывалась постоянно – во время подготовки модели, исходных данных и проведении анализа.

4.3 Заключительная фаза – фаза III

Результаты референтного случая были тщательно проанализированы. Сравнение кодов (см. п. 4.1) дало возможность оценить качество и надежность способа моделирования физических явлений.

Был проведен дополнительный анализ для подтверждения первых результатов, полученных по первоначальной версии кода WAVCO. Результаты, полученные по модернизированной программе, в которой описание локальных физических явлений более детализировано, не выявило существенных отличий в основных параметрах и их максимальных значениях.

Был проведен полный анализ политики квалификации оборудования согласно международной практике и с использованием уточненных аварийных условий окружающей среды.

Прежде всего, были определены основные функции безопасности, приведенные в таблице 4.3.а. В качестве первого шага в направлении применения описанного процесса выбора (см. п. 4.1) эти функции были сопоставлены для каждого компонента.

	Описание функции безопасности
1	Контроль за реактивностью реактора
2	Обеспечение расхода теплоносителя через активную зону
3	Обеспечение условий охлаждения реактора со стороны второго контура
4	Целостность первого контура
5	Обеспечение целостности контайнмента
6	Снижение радиоактивных выбросов в окружающую среду после аварий

Таблица 4.3.а: Основные функции безопасности, учитываемые при выборе оборудования

Так, в таблице 4.3.б приводится информация по каждому предварительно выбранному компоненту (см. п. 4.1) – количество компонентов на блоке, расположение на блоке, завод-изготовитель, наличие запасных частей, требуемые функции безопасности. Наличие представительных запасных частей является важной информацией для оценки возможности экспериментальной квалификации. Был определен подробный перечень компонентов, обеспечивающих управление аварийным процессом, выбранным для расчета консервативных квалификационных условий. Для каждого компонента обозначены требуемые от него функции безопасности.

Из информации, собранной в таблице 4.3.в видно, что для выбранных компонентов оборудования, важного для безопасности, консервативные аварийные условия при течи Ду 32 мм, рассчитанные по коду WAVCO (см. таблицу 4.2), превышают указанные в технических условиях. Отметим, что проектные значения выше рассчитанных, за исключением нескольких случаев (см. Приложение 11 к Заключительному отчету [9]).

В таблице 4.3.г приведен список ограниченного числа компонентов, предлагаемых к дальнейшей (ре)квалификации. Этот список состоит из компонентов, для которых аварийные условия окружающей среды при течи Ду 32 мм превышают указанные на этапе проектирования. При определении окончательного количества компонентов должен быть применен инженерный подход, чтобы выделить наиболее важные для безопасности компоненты, а также принципы практической целесообразности.

Наименование	Кол-во на блок	Расположение на блоке	Завод-изготовитель	Наличие запасных частей	Номер функции безопасности
Реактор	1	A001	Ижорский завод	Нет	2,4
ПГ	6	A001	Ижорский завод	Нет	3
ГЦН	6	A001	Завод им. Кирова	Нет	3
Проходки из помещения ПГ в помещения аварийной и нормальной подпитки	17	A001	Изготавливается при монтаже на блоке	Нет	5
Проходки бассейна выдержки	8	A001	Изготавливается при монтаже на блоке	Нет	5
Вентиляторы системы Б-2	2	Б303	Завод в Николаеве-20	Нет	6
Фильтры Петрянова системы вентиляции Б-2	2	A001	Завод в Таллинне	Да	6
Угольный фильтр системы вентиляции Б-2	3	A001	Электромеханический завод, Электросталь	Нет	6
Воздуховоды системы вентиляции Б-2	10	A001	Изготавливается в момент монтажа на блоке		5, 6
Арматура 3,4 – Р-20	1	A102	Тулапривод	Нет	2
ГЗЗ	12	A102	Ванюковский арматурный завод, г. Чехов	Нет	2,3
Вентиляторы системы Б-4	2	A102	Механико-инженерный завод им. Маркса	Нет	6
Фильтры Петрянова системы вентиляции Б-4	5	A102	Завод в Таллинне	Да	6
Воздуховоды системы вентиляции Б-4	2	A102	Изготавливается в момент монтажа на блоке	Нет	6
Трубопроводные проходки из герметичных помещений в соседние	225	A102	Изготавливается в момент монтажа на блоке	Нет	5
Электродвигатель ГЦН типа ГЦЕН-310	6	A102	Завод им. Кирова	Да	2,3
Электродвигатель АНГЦН типа ВЦЕН-315	6	A102	Завод им. Кирова	Да	2,3
Электродвигатель вентилятора ВГЦН типа ВГЦН-318	6	A102	Завод им. Кирова	Да	2,3

Наименование	Кол-во на блок	Расположение на блоке	Завод-изготовитель	Наличие запасных частей	Номер функции безопасности
Кнопки аварийного отключения электродвигателей насосов ГЦН, АНГЦН, ВГЦН и НДР-1	6	A102	«Реостат», Великие Луки	Да	2,3
Силовые и измерительные кабели электродвигателей и кнопок аварийного отключения	21 силовых 19 управляющих	A102	«Камкабель», Пермь, «Москабель» Подольск	Да	1,2,3,4,5
Механизм приводов СУЗ	73	A001	Ижорские заводы, Колпино	Да	1
Внутренняя часть	73			Да	
Внешняя часть	146			Да	
Электроразъемы	18			Да	
Ионизационные камеры и счетчики	343	A001	Запрудненский Электроламповый завод	Да	4,5
Термоэлектрические преобразователи ТХК	8	A001, A102, A004/1,2	«Прибор» НИИАТ, Москва	Да	4,5
Манометры МЭД, МИД	21	A001, A102, A004/1,2	«Манометр», Москва	Да	4,5
Силовые и инструментальные кабели приводов	425	A001, A102, A004/1,2	Москабель, Подольск	Да	1,2,3,4,5
Электроприводы арматуры, ГЗЗ, ЗР20	13	A001, A102	Электропривод, Тула	Нет	2,3
Датчики давления типа «Сапфир», МПЕ-МИ	18	A001, A004/1,2	Манометр, Москва	Да	4
Кабели блоков питания для датчиков «Сапфир»	18	A001, A004/1,2	Приборостроительный завод, Иванофранковск	Да	4
Дифференциальные манометры типа ДМ-3564, 3566, 3583	3	A001, A102, A004/1,2	Приборостроительный завод, Иванофранковск	Нет	2,3
Датчики обнаружения воды на основной площадке обслуживания реактора	1	A001	Тензор	Нет	4

Таблица 4.3.6: Перечень выбранных компонентов, важных для безопасности

Наименование	Номинальные значения параметров среды по техническим условиям			Параметры среды в режиме нормальной эксплуатации			Проектные значения параметров окружающей среды			Параметры, рассчитанные по WAVCO		
	T, °C	H,%	P, бар	T, °C	H,%	P	T, °C	H,%	P, бар	T, °C	H,%	P, бар
Реактор	80	90	1.0	40...65	40...90	1	120	100	2.0			
ПГ	80	90	1.0	40...65	40...90	1	120	100	2.0	76.9	100	1.343
ГЦН	80	90	1.0	40...65	40...90	1	120	100	2.0	76.9	100	1.343
Проходки из помещения ПГ в помещения аварийной и нормальной подпитки				30...65	40...90	1	120	100	2.0	76.9	100	1.343
Проходки бассейна выдержки				25...65	30...60	1	120	100	2.0	76.9	100	1.343
Вентиляторы системы Б-2	-40...+40	45		40...65	40...90		100	100	2.0	76.9	100	1.343
Фильтры Петрянова системы вентиляции Б-2	30	95	0.03	40...65	40...90		60			76.9	100	1.343
Угольный фильтр системы вентиляции Б-2				40...65	40...90			80		76.9	100	1.343
Воздуховоды системы вентиляции Б-2				40...65	40...90		100	100	2.0	76.9	100	1.343
Арматура 3,4 – Р-20	40...90			25...40	40...90	1	50	80	2.0	65.9	100	1.342
ГЗЗ	40...90			25...40	40...90		120	100	2.0	65.9	100	1.342
Вентиляторы системы Б-4	40...90			25...40	40...90			100		65.9	100	1.342
Фильтры Петрянова системы вентиляции Б-4	30	95	0.03	25...40	40...90		60			65.9	100	1.342
Воздуховоды системы вентиляции Б-4												
Трубопроводные проходки из герметичных помещений в соседние				40...65	40...90	1	120	100	2.0	65.9	100	1.342
Электродвигатель ГЦН типа ГЦЕН-310	40	100	1				120	100	1.0	65.9	100	1.342

Наименование	Номинальные значения параметров среды по техническим условиям			Параметры среды в режиме нормальной эксплуатации			Проектные значения параметров окружающей среды			Параметры, рассчитанные по WAVCO		
	T, °C	H, %	P, бар	T, °C	H, %	P	T, °C	H, %	P, бар	T, °C	H, %	P, бар
Электродвигатель АНГЦН типа ВЦЕН-315	40	100	1	25...40	40...90	1	120	100	2.0	65.9	100	1.342
Электродвигатель вентилятора ВГЦН типа ВГЦН-138	40	100	1	25...40	40...90	1	120	100	2.0	65.9	100	1.342
Кнопки аварийного отключения электродвигателей ГЦН, АНГЦН, ВГЦН, НДР-1 типа КСЖ-1(2-21)	40	100	1	25...40	40...90	1	120	100	2.0	65.9	100	1.342
Силовые и инструментальные кабели электродвигателей и кнопки аварийного отключения	-50...+50	98		25...40	40...90	1	120	100	2.0	65.9	100	1.342
Привода СУЗ						1				76.9	100	1.343
- внутренний объем привода,	100	100	125	60...80	100		200	>100	140.0			
- внешняя поверхность привода,	100	100	125	60...80	100		120	100	2.0			
- электрические разъемы приводов	100	100	0.55... 1.6	25...40			120	100	2.0			
Ионизационные камеры и счетчики системы контроля нейтронной мощности	200			55...70			200	100	0.0	76.9	100	1.0
Термоэлектрические преобразователи ТХК системы контроля температуры реактора	60	90	0.85... 1.03	25...40	40...90		120	100.0	2.0	76.9	100	1.343

Наименование	Номинальные значения параметров среды по техническим условиям			Параметры среды в режиме нормальной эксплуатации			Проектные значения параметров окружающей среды			Параметры, рассчитанные по WAVCO		
	T, °C	H, %	P, бар	T, °C	H, %	P	T, °C	H, %	P, бар	T, °C	H, %	P, бар
Манометры МЕД, МИД	50	80		25...40	40...90		120	100	2.0	76.9	100	1.343
Электрические контактные манометры	50	80		25...40	40...90		120	100	2.0	76.9	100	1.343
Силовые и инструментальные кабели приводов					40...90		120	100	2.0	76.9	100	1.343
Электроприводы арматуры, ГЗЗ, ЗР20	50	95		25...40	40...90		120	100	2.0	76.9	100	1.343
Датчики давления типа «Сапфир», МПЕ-МИ	60	95	0.85... 1.1	25...40	40...90		120	100	2.0	76.9	100	1.343
Кабели блоков питания для датчиков «Сапфир»				25...40	40...90		120	100	2.0	76.9	100	1.343
Дифференциальные манометры типа ДМ-3564, 3566, 3583	50	80		25...40	40...90		120	100	2.0	76.9	100	1.343
Датчики обнаружения воды на основной площадке обслуживания реактора	200	100	25.0	35...60	40...90		200	100	2.0	76.9	100	1.343

*: +/- 30 мм водяного столба

Таблица 4.3.в: Сравнение различных параметров среды для выбранных компонентов

	Наименование оборудования
1	Трубопроводные проходки из боксов ПГ в помещения аварийной и нормальной подпитки
2	Проходки бассейна выдержки
3	Трубопроводные проходки из герметичных помещений
4	Термоэлектрические преобразователи ТХК
5	Манометры МЕД, МИД
6	Электрические контактные манометры
7	Датчики давления типа «Сапфир» и МПЕ-МИ
8	Инструментальные и силовые кабели приводов
9	Кабели блоков питания «Сапфир»
10	Электропривод арматуры (ЗР20)
11	Электропривод арматуры (ГЗЗ)
12	Дифференциальные манометры типа ДМ 3564, 3566,

Таблица 4.3.г: Список оборудования, подлежащего (ре)квалификации

В соответствии с международными требованиями и с учетом имеющегося опыта была предложена программа квалификации. В зависимости от типа оборудования предлагается специальная методика квалификации, учитывающая возможность проведения частичных или полных испытаний запасных частей или демонтированного оборудования на станции или в сертифицированной лаборатории в России.

Поэтому компоненты были разделены на четыре группы в соответствии с их функциональным назначением и технологией:

- Группа I: Различные трубные проходки;
- Группа II: Термоэлектрические преобразователи;
- Группа III: Манометры;
- Группа IV: Кабели (силовые и КИП).

Для каждой группы компонентов предложен наиболее подходящий метод квалификации. Предпочтение отдано испытаниям на станции установленного оборудования (когда возможно). Другие методы (лабораторные испытания на запасных частях или демонтированных компонентах, аналитические оценки) являются альтернативой. Сказанное можно обобщить в следующем виде:

- оборудование группы I (проходки) должны квалифицироваться путем проведения прочностных расчетов вместо испытаний (обоснование, что проходка способна выдержать аварийные тепловые и силовые нагрузки) и выборочных индивидуальных испытаний на герметичность (10 % проходов каждого типа) на станции во время предусматриваемых ППР. Для этих целей должны быть обеспечены специальные испытательные средства;
- оборудование групп II и III предлагается квалифицировать в лаборатории на представительных демонтированных со станции компонентах. Предлагается выборочная проверка 10% образцов каждого типа;
- оборудование группы IV (все типы инструментальных и силовых кабелей), для того, чтобы снизить затраты на демонтаж, предлагается квалифицировать в лаборатории на представительных запасных частях.

Отдельная группа V содержит оборудование, которое невозможно квалифицировать ни одним из вышеуказанных методов и которое должно быть заменено новыми квалифицированными компонентами. В эту группу входит оборудование, образцы которого отсутствуют в запасных частях и которое невозможно изъять для проведения квалификации.

Российские эксперты из АЭПа и персонал НВАЭС оценили ожидаемую стоимость и длительность квалификации с учетом следующих необходимых условий:

- отдельные испытания должны проводиться в течение 24 часов при моделируемых консервативных параметрах окружающей среды (период восстановления нормальных условий);
- испытания трубных проходок должны проводиться во время ППР;
- оценки выполнены в ценах России в 1993 г.;
- стоимость установки новых компонентов для замены изымаемых для испытаний в лабораторных условиях не включена в оценку стоимости.

Таблица 4.3.д обобщает информацию, предоставляя для каждого важного для безопасности компонента, подлежащего квалификации, номер соответствующей группы, предлагаемый метод квалификации, оценку стоимости и длительности квалификации.

Как видно из таблицы 4.3.д, полная длительность квалификационной программы оценивается в 12-18 месяцев. Бюджет (в ценах 1993 г.) необходимый для квалификации оборудования российской АЭС с ВВЭР 440/230 оценивается в 2445 миллионов рублей (550,000 US\$).

Предложенная программа квалификации (см. Приложение 12 к Заключительному отчету [9]) не была осуществлена в рамках проекта TACIS R1.13/91 как из-за недостатка средств, так и невозможности продлить проект на столь длительный срок.

Было рекомендовано внедрить программу как часть программы ППР и программы модернизации, которая будет проводиться на действующих АЭС с ВВЭР 440/213 для приведения их уровня безопасности к международным требованиям. При этом может возникнуть необходимость расширить перечень проектных аварий, что скажется на квалификационных параметрах.

В любом случае, дальнейшая финансовая поддержка от Европейского сообщества для этих целей не была предусмотрена. Поэтому российской организации-бенефицианту рекомендовано взять на себя ответственность за внедрение программы и необходимое финансовое обеспечение.

5 ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОЕКТА

5.1. Выполненный объем работ

Некоторые трудности, связанные с проектами PHARE и TACIS потребовали применения компенсирующих мер для выполнения основной цели проекта. Так, обзор квалификационной программы, подготовленной в ходе 6-месячной программы WANO для АЭС Козлодуй, свелся к ознакомлению с отчетом. Для компенсации отсутствия уточненных данных по выходу массы и энергии в контейнер из проекта TACIS R1.3/91 было решено использовать имеющиеся российские данные после проверки их полноты и состоятельности.

В объем работ проекта входила только техническая поддержка для оптимизации квалификационной программы путем использования различных средств (анализ, испытания, координация с другими квалификационными программами, например сейсмической), никаких действий по осуществлению программы не проводилось. Контрактор считает необходимым выполнить предложенную программу в рамках проводимых ППР и программы модернизации действующих российских АЭС с ВВЭР 440/213 для приведения их уровня безопасности в соответствие с международными требованиями для дальнейшей безопасной работы.

	Наименование	Квалификация				Примечание
		Группа	Методы	Стоимость (Млн. руб)	Длительность	
1	Трубные проходки из боксов ПГ в помещения нормальной и аварийной подпитки	I	Прочностные расчеты до испытаний Выборочные (10% каждого типа) индивидуальные испытания на герметичность на блоке	50	3 месяца	Длительность примерная, должна рассматриваться для каждого типа проходки (пункты 1,2,3)
2	Трубные проходки бассейна выдержки			450	Во время ППР	
3	Трубные проходки через контайнмент					
4	Термоэлектрические преобразователи ТХК системы контроля температуры реактора	II	Выборочные (10% каждого типа) лабораторные испытания демонтированных представительных компонентов	775	3 месяца	
5	Манометры МЭД, МИД	III		540	2 месяца	
6	Электроконтактные манометры					
7	Датчики давления типа "Сапфир" и МПЕ-МИ					
8	Силовые и инструментальные кабели приводов арматуры	IV	100% лабораторные испытания представительных запасных частей	630	2 месяца	
9	Кабели блоков питания 22 БП-36 для "Сапфир"					
10	Электродвигатели арматуры Р-20	V	Замена на новые квалифицированные компоненты			Стоимость и длительность будут определены после выбора нового оборудования
11	Электродвигатели ГЗЗ					
12	Дифференциальные манометры ДМ 3564, 3566, 3583					

Таблица 4.3.д: Предлагаемая программа квалификации для выбранного оборудования, важного для безопасности, с оценкой длительности и стоимости

5.2. Обсуждение

Западные и Российские эксперты работали в тесном сотрудничестве в рамках этого проекта благодаря созданию технической рабочей группы в самом начале работы. Техническое сотрудничество позволило экспертам ознакомиться с состоянием дел в соответствующих технических областях в странах-участниках. Российские эксперты имели возможность пройти обучение и получать при необходимости дополнительную помощь при использовании Западных кодов, в частности кода WAVCO. Этот код, а также компьютеры и оборудование были переданы Российскому Бенефициару и субподрядчику. Тестовые сравнения WAVCO и кодом MARCH-АЭП были очень эффективны для улучшения и адаптации моделирования локальных явлений конденсации в помещениях контейнента.

Представительная модель действующей Российской АЭС с ВВЭР 440/213 была разработана на основе планировочных решений блоков Нововоронежской АЭС, которая является типичной для этих блоков. Модель использовалась как для референтного анализа, так и для сравнения кодов. Характеристики каждого помещения (объем, свойства стен, связи между помещениями и др.) были определены и тщательно проверены.

Для этого проекта, течи первого контура Ду 32 мм были отобраны в качестве консервативных аварийных сценариев, которые рассматривались для определения наиболее тяжелых параметров окружающей среды для квалификации оборудования, важного для безопасности. Соответствующие выбросы массы и энергии в объем контейнента в течение аварии были взяты из имеющегося расчета ОКБ Гидропресс, после проверки его полноты и соответствия. Результаты, полученные по коду WAVCO, использовались для выполнения последующих задач проекта. Дополнительные исследования показали надежность выходных данных (пиковая температура, влажность и давление), которые в дальнейшем использовались для определения квалификационных условий.

Был проведен полный анализ политики квалификации оборудования согласно международной практике и с использованием уточненных аварийных условий окружающей среды. Принимая во внимание особое состояние этих станций и накопленного опыта на АЭС Козлодуй, был предложен список компонентов, важных для безопасности, которые подлежат (ре)квалификации. Большая часть – это оборудование КИП.

Была предложена и оценена соответствующая программа квалификации. Глобальная продолжительность оценивается в диапазоне от 12 до 18 месяцев. Бюджет (в российских ценах 1993), необходимый для квалификации указанного оборудования российского ВВЭР 440/230 NPP, оценивается приблизительно в 2445 миллионов рублей (550,000 US\$). Имеет смысл включение такой программы квалификации в программу модернизации действующих российских АЭС с ВВЭР 440/213, поскольку список проектных аварий может быть расширен. В этом случае, квалификационные условия также должны быть пересмотрены. В любом случае, дальнейшая финансовая поддержка от Комиссии Европейского Сообщества для этой цели пока не предусматривается.

6 РЕКОМЕНДАЦИИ

В Заключительном отчете по проекту содержатся следующие рекомендации:

1. Использовать переданное НОУ-ХАУ и технологии по квалификации оборудования:

С точки зрения передачи опыта и оборудования, полученные в проекте, результаты носят универсальный характер. Соответствующая их адаптация может быть проведена российскими экспертами при необходимости применения программы для оборудования АЭС других серий или специальных установок.

2. Внедрить выполнение предложенной программы квалификации оборудования в программы ППР и программу модернизации действующих российских АЭС с ВВЭР 440/213.

Модернизация действующих российских АЭС с ВВЭР 440/213 подготавливается концерном Росэнергоатом для обеспечения требуемого международного уровня безопасности для дальнейшей эксплуатации. При этом перечень проектных аварий будет расширен в соответствии с “Заданием на техническое перевооружение и модернизацию 3 и 4 блоков НВАЭС”, опубликованном в 1994 г. Поэтому до начала выполнения квалификационной программы вначале должны быть уточнены квалификационные условия.

7 СОКРАЩЕНИЯ

АНГЦН	циркуляционный насос (часть системы подпитки ГЦН)
АПН	аварийный питательный насос
АЭП	Атомэнергопроект
АЭС	атомная электрическая станция
ВВЭР	водо-водяной энергетический реактор
ВГЦН	Вспомогательный циркуляционный насос (часть системы подпитки ГЦН)
ГЗЗ	главная запорная задвижка
ГЦН	главный циркуляционный насос
КИП	контрольно-измерительные приборы
КЕС	Комиссия Европейского Союза
МАГАТЭ	Международное агентство по атомной энергии
НВАЭС	Нововоронежская атомная электрическая станция
ПГ	парогенератор
ППР	планово-предупредительный ремонт
РНЦ «КИ»	Российский научный центр «Курчатовский институт»
РЭА	Росэнергоатом
СВО	спецводоочистка
СУЗ	система управления и защиты
ТХК	термопара хромель-капелевая
MARCH-АЭП	Программа для анализа термодинамических явлений в контейнменте (АЭП)
WAVCO	Программа для анализа термодинамических явлений в контейнменте (Siemens KWU)
CATHARE	Программа для анализа аварий в PWR (Framatome & EDF)
FRA	Framatome S.A. (Framatome ANP = Framatome Advanced Nuclear Power)
Siemens KWU	Siemens Kraftwerkunion
EDF	Electricité de France
TACIS	Technical Assistance for the Commonwealth of Independent States
PHARE	Poland Hungary Assistance in Reconstruction of the Economy
WANO	World Association of Nuclear Operators

8 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. NVOD CR 94.0773 - TACIS 91-1.13 – First progress report (Phase I) - Safety-related equipment qualification – October 1993 / February 1994
2. NVOD CR 94.1970 - TACIS 91-1.13 – Second progress report (Phase I) - Safety-related equipment qualification - March 1994 / June 1994
3. NVOD CR 94.3259 - TACIS 91-1.13 – Third progress report (Phase I) - Safety-related equipment qualification - July 1994 / November 1994
4. NVOD CR 94.3474 - TACIS 91-1.13 – Phase I Summary report - Safety-related equipment qualification - July 1993 / November 1994
5. NVOD CR 94.3260 - TACIS 91-1.13 – Third progress report (Phase II) - Safety-related equipment qualification - July 1994 / November 1994
6. NVOD CR 95.0602 - TACIS 91-1.13 – Phase II Summary report - Safety-related equipment qualification - September 1994 / January 1995
7. NVOD CR 95.0492 - TACIS 91-1.13 – Fourth progress report (Phase III) - Safety-related equipment qualification - December 1994 / February 1995
8. NVOD CR 95.2565 - TACIS 91-1.13 – Fifth progress report (Phase III) - Safety-related equipment qualification – February 1994 / July 1995
9. NVOD NT 95 2365 Rev. A – TACIS 91-1.13 – Final Report – Safety-related equipment qualification – July 1993 / October 1995, with:
 - Annex 1: Modelling and data for calculations – VVER 440-V 179 project – Units 3 and 4 of Novovoronezh NPP
 - Annex 2: Information on description of VVER 440-179 Project – Units 3 and 4 of Novovoronezh NPP
 - Annex 3: Revue of Safety Analyses Reports for 3 and 4 units of Novovoronezh NPP
 - Annex 4: Qualification methodology and qualified equipment list of the French 900 MWe series plant (FRA ET/SS/DC 638 A)
 - Annex 5: Safety-related equipment qualification method proposed for equipment qualifications (NVOD NT 94.2049 B)
 - Annex 6: Listing of 32 mm hot and cold legs LOCA input data for WAVCO programme
 - Annex 7: Calculation results of the 32 mm LOCA for 3rd and 4th units of Novovoronezh NPP
 - Annex 8: Comparison between the results of the WAVCO programme and the MARCH-AEP programme for the sample problem
 - Annex 9: Analysis of the Kozloduy qualification report in the PHARE programme (NVOD NT 95.1173 B)
 - Annex 10: Aim and description of the WAVCO programme
 - Annex 11: Safety-related equipments - Main technical specimens and environmental operation conditions VVER 440-V179 units 3 and 4 of Novovoronezh NPP
 - Annex 12: Qualification methodology qualification programme schedule and cost estimation VVER 440-V179 units 3 and 4 of Novovoronezh NPP