


УТВЕРЖДАЮ

Главный конструктор – начальник отделения


О.П.Архипов

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ на проведение НИОКР

1. Наименование работы:

Обоснование работоспособности конструкционных материалов и сварных соединений парогенератора для АЭС с реактором БН-1200.

2. Целевое назначение работы

Работа является продолжением НИОКР по промышленному освоению и материаловедческому исследованию стали марки 07X12НМФБ и её сварных соединений, а также разработке технологии изготовления парогенератора и разработке методик расчета на прочность элементов ПГ, обеспечивающих проектный ресурс эксплуатации модуля парогенератора РУ БН-1200 в 240 000ч при температуре 527°C.

Результатом данной работы является выпуск аттестационного отчёта по стали марки 07X12НМФБ и её сварных соединений, а также создание на основе отечественного и международного опыта нормативов – стандартов эксплуатирующей организации ОАО «Концерн Росэнергоатом».

3. Объём работ

Работа 2013 года.

3.1 Аттестационные испытания стали марки 07X12НМФБ (доведение суммарной временной базы длительных механических испытаний с 80 000 ч до 130 000 ч). Этап 2013 года. Отчет.

3.1.1 Определение кратковременных механических свойств стали марки 07X12НМФБ в различном сортаменте.

3.1.2 Тепловое старение заготовок образцов из стали марки 07X12НМФБ.

3.1.3 Определение характеристик хрупкому разрушению при испытаниях на ударную вязкость.

3.1.4 Исследование длительной прочности и ползучести стали марки 07X12НМФБ.

3.1.5 Исследование циклической прочности стали марки 07X12НМФБ.

3.1.6 Определение коррозионной стойкости стали марки 07X12НМФБ.

3.2 Аттестационные испытания сварных соединений из стали марки 07X12НМФБ. Этап 2013 года. Отчет.

3.2.1 Подготовка основного металла, скос кромок.

3.2.2 Подготовка сварочных материалов.

3.2.3 Изготовление дополнительных сварных проб:

- автоматической дуговой сваркой под флюсом с использованием сварочной проволоки марки Св-10X12НМФТ;
- ручной дуговой сваркой электродами марки ЭМ-99;
- ручной аргонодуговой сваркой проволокой марки Св-10X12НМФТ.

3.2.4 Контроль качества сварных проб.

3.2.5 Разрезка сварных проб на заготовки.

3.2.6 Изготовление образцов для проведения аттестационных испытаний.

3.2.7 Проведение исследований кратковременных механических свойств металла шва (наплавленного металла) и сварных соединений.

3.2.8 Проведение исследований длительной прочности металла сварных соединений.

3.2.9 Проведение исследований характеристик сопротивления хрупкому разрушению при испытаниях на ударную вязкость металла шва сварных соединений.

3.2.10 Тепловое старение первой партии заготовок образцов из сварных проб.

3.3 Аттестационные испытания разнородных сварных соединений из стали марки 07X12НМФБ. Этап 2013 года. Отчет

3.3.1 Подготовка основного металла, скос кромок.

3.3.2 Подготовка сварочных материалов.

3.3.3 Изготовление дополнительных сварных проб различных вариантов разнородных сварных соединений (выполнение предварительной наплавки кромок, термическая обработка пластин с предварительной наплавкой и сварных проб, контроль качества сварных проб).

3.3.4 Разрезка сварных проб на заготовки.

3.3.5 Изготовление образцов для проведения аттестационных испытаний.

3.3.6 Проведение исследований длительной прочности различных вариантов разнородных сварных соединений.

3.3.7 Проведение исследований циклической прочности различных вариантов разнородных сварных соединений.

3.3.8 Проведение теплового старения 1-ой части заготовок сварных образцов. Исследование влияния теплового старения на механические свойства металла шва (наплавленного металла) и разнородных сварных соединений.

3.4 Разработка технической справки по свойствам стали марки 07X12НМФБ.

3.4.1 В справке для рабочего диапазона температур и времени должны быть приведены гарантируемые характеристики стали 07X12НМФБ, а именно:

- физические величины (модуль нормальной упругости, коэффициент линейного расширения, плотность);
- теплофизические характеристики;
- механические свойства (минимальные и средние);
- минимальные и средние значения длительной прочности;
- прибавка на коррозию за весь ресурс в воде до 270°C, перегретом паре до 515°C и натрии до 527°C;
- диаграмма и зависимости обезуглероживания в жидком натрии;
- критическая температура хрупкости, сдвиг критической температуры хрупкости вследствие старения и циклической повреждаемости;
- изохронные кривые ползучести от 350 до 550 °C;
- средние значения условных пределов длительной пластичности от 350 до 550 °C;
- значения коэффициента снижения циклической прочности для сварных соединений;
- степень загрязненности в баллах.

3.5 Оценка свариваемости стали марки 07X12НМФБ при изготовлении технологических проб из металлургических полуфабрикатов (лист, поковка). Отчет.

3.6 Исследованию качества и свойств сварных проб «труба - трубная» доска в соответствии с программой работ. Отчет

3.7 Разработка проекта руководящего документа (РД) на горячую пластическую обработку и термическую обработку основного металла и сварных соединений стали марки 07X12НМФБ. Техническая справка.

3.8 Рассмотрение и согласование конструкторской документации (КД) технического проекта парогенератора БН-1200. Аннотационный отчет.

3.8.1 Рассмотрение и согласование КД технического проекта парогенератора БН-1200, разработанной в рамках 2013 года.

3.9 Исследование скорости роста трещины при статическом и циклическом нагружении стали марки 07X12НМФБ в соответствии с «Программой аттестационных испытаний стали марки 07X12НМФБ и ее сварных соединений» (этап 2013 года). Отчет.

3.9.1 Разработка программы испытаний, условий проведения экспериментов и согласование с ОКБ «ГИДРОПРЕСС».

3.9.2 Разработка чертежей, изготовление образцов, выращивание в образцах СТ-1 усталостных трещин и изготовление боковых канавок.

3.9.3 Экспериментальные исследования кинетики роста трещины при статическом нагружении в стали марки 07X12НМФБ (этап 1) в соответствии с «Программой».

3.9.4 Экспериментальные исследования кинетики роста трещины при циклическом нагружении в стали марки 07X12НМФБ (этап 1) в соответствии с «Программой».

3.9.5 Обработка результатов экспериментов.

Работа 2014 года

3.10 Аттестационные испытания стали марки 07X12НМФБ в соответствии с программой (доведение суммарной временной базы длительных механических испытаний с 130 000 ч до 200 000 ч). Этап 2014 года. Техническая справка.

3.10.1 Продолжение работ по определению кратковременных механических свойств стали марки 07X12НМФБ в различном сортаменте.

3.10.2 Определение кратковременных механических свойств стали марки 07X12НМФБ после теплового старения.

3.10.3 Продолжение работ по исследованию длительной прочности стали марки 07X12НМФБ.

3.10.4 Продолжение работ по исследованию циклической прочности стали марки 07X12НМФБ.

3.10.5 Продолжение работ по определению коррозионной стойкости стали марки 07X12НМФБ.

3.11 Аттестационные испытания сварных соединений из стали марки 07X12НМФБ по программе аттестационных испытаний. Этап 2014 года. Техническая справка.

3.11.1 Изготовление дополнительных сварных проб.

3.11.2 Контроль качества сварных проб.

3.11.3 Разрезка сварных проб на заготовки.

3.11.4 Изготовление образцов для проведения аттестационных испытаний.

3.11.5 Исследование влияния теплового старения на механические свойства металла шва и сварных соединений.

3.11.6 Продолжение работ по исследованию длительной прочности металла сварных соединений и металла шва.

3.11.7 Тепловое старение второй партии заготовок образцов из сварных проб.

3.11.8 Первый этап исследования циклической прочности сварных соединений.

3.12 Аттестационные испытания разнородных сварных соединений из стали марки 07X12НМФБ по программе аттестационных испытаний. Этап 2014 года. Техническая справка.

3.12.1 Подготовка основного металла, скос кромок.

3.12.2 Подготовка сварочных материалов.

3.12.3 Изготовление дополнительных сварных проб различных вариантов разнородных сварных соединений (выполнение предварительной наплавки кромок, термическая обработка пластин с предварительной наплавкой и сварных проб, контроль качества сварных проб).

3.12.4 Разрезка сварных проб на заготовки.

3.12.5 Изготовление образцов для проведения аттестационных испытаний.

3.12.6 Продолжение работ по исследованию длительной прочности различных вариантов разнородных сварных соединений.

3.12.7 Продолжение работ по исследованию циклической прочности различных вариантов разнородных сварных соединений.

3.12.8 Продолжение работ по исследованию влияния теплового старения на механические свойства металла шва (наплавленного металла) и сварных соединений.

3.13 Материаловедческие исследования конструкционных и сварочных материалов, включая их аттестацию Этап 2014 года. Отчет (включает обобщение исследований по п.п. 3.10-3.12).

3.14 Исследование скорости роста трещины при статическом и циклическом нагружении стали марки 07X12НМФБ в соответствии с «Программой аттестационных испытаний стали марки 07X12НМФБ и ее сварных соединений» (этап 2014 года). Отчет.

3.14.1 Экспериментальные исследования кинетики роста трещины при статическом нагружении в стали марки 07X12НМФБ (этап 2).

3.14.2 Экспериментальные исследования кинетики роста трещины при циклическом нагружении в стали марки 07X12НМФБ (этап 2).

3.14.3 Обработка результатов экспериментов.

3.14.4 Разработка приложения по скорости роста трещины при статическом нагружении в стали марки 07X12НМФБ.

3.14.4.1 Анализ и обобщение экспериментальных данных по скорости роста трещины при статическом нагружении.

3.14.4.2 Разработка зависимости скорости роста трещины от J^* -интеграла.

3.15 Завершение отработки технологии изготовления и ремонта ПГ, включая методы диагностики состояния металла и сварных соединений (в соответствии с 485М-ТЗ-003). Техническая справка.

Работы 2015 года

3.16 Аттестационные испытания стали марки 07X12НМФБ (доведение суммарной временной базы длительных механических испытаний с 200 000 ч до 270 000 ч). Этап 2015 года. Техническая справка.

3.16.1 Продолжение работ по исследованию длительной прочности стали марки 07X12НМФБ.

3.16.2 Продолжение работ по исследованию циклической прочности стали марки 07X12НМФБ.

3.16.3 Продолжение работ по определению коррозионной стойкости стали марки 07X12НМФБ.

3.17 Аттестационные испытания сварных соединений из стали марки 07X12НМФБ. Этап 2015 года. Техническая справка.

3.17.1 Продолжение работ по исследованию длительной прочности металла сварных соединений и металла шва.

3.17.2 Продолжение работ по исследованию циклической прочности сварных соединений.

3.17.3 Продолжение работ по исследованию влияния теплового старения на механические свойства металла шва и сварных соединений.

3.17.4 Исследование влияния теплового старения на сопротивление хрупкому разрушению металла шва и зоны термического влияния сварных соединений.

3.17.5 Исследование коррозионной стойкости сварных соединений.

3.17.6 Разработка окончательной редакции РД на сварку стали марки 07X12НМФБ.

3.18 Аттестационные испытания разнородных сварных соединений из стали марки 07X12НМФБ. Этап 2015 года. Техническая справка.

3.18.1 Продолжение работ по исследованию длительной прочности различных вариантов разнородных сварных соединений.

3.18.2 Продолжение работ по исследованию циклической прочности различных вариантов разнородных сварных соединений.

3.18.4 Продолжение работ по исследованию влияния теплового старения на механические свойства металла шва (наплавленного металла) и различных вариантов разнородных сварных соединений.

3.18.5 Исследование коррозионной стойкости сварных соединений.

3.18.6 Выдача предложений в РД на сварку стали марки 07X12НМФБ по сварочным материалам и технологии выполнения разнородных сварных соединений.

3.19 Материаловедческие исследования конструкционных и сварочных материалов, включая их аттестацию Отчет (включает исследования по п.п. 3.16-3.18).

3.20 Исследование скорости роста трещины при статическом и циклическом нагружении стали марки 07X12НМФБ в соответствии с «Программой аттестационных испытаний стали марки 07X12НМФБ и её сварных соединений» (этап 2015 года). Отчет.

3.20.1 Экспериментальные исследования кинетики роста трещины при статическом нагружении в стали марки 07X12НМФБ (этап 3).

3.20.2 Экспериментальные исследования кинетики роста трещины при циклическом нагружении в стали марки 07X12НМФБ (этап 3).

3.20.3 Обработка результатов экспериментов.

3.20.4 Разработка приложения по скорости роста трещины при циклическом нагружении в стали марки 07X12НМФБ.

3.20.4.1 Анализ и обобщение экспериментальных данных по скорости роста трещины при циклическом нагружении.

3.20.4.2 Разработка зависимости скорости роста трещины при усталости.

3.21 Второй этап апробации методики по расчету прочности трубных досок и узлов заделки в них теплообменных труб. Апробация раздела методики по критическому событию «Достижение трещиноподобным дефектом критического размера». Отчет

3.22 Разработка окончательной редакции стандарта "Методика оценки длительной статической и длительной циклической прочности на ресурс до 60 лет элементов оборудования работающего в условиях ползучести и усталости" и пояснительной записки. Отчет

3.23 Разработка окончательной редакции стандарта "Методика расчета на прочность трубных досок корпусных парогенераторов и узлов заделки в них теплообменных труб» и пояснительной записки.

В пояснительных записках к методикам, являющимся дополнением к Нормам... ПНАЭ Г-7-002-86, должны быть описаны особенности предлагаемых подходов расчета на прочность хромистых сталей в условиях ползучести и циклического нагружения, методика экстраполяции длительных свойств материала, учет остаточных напряжений, обоснование допустимых при изготовлении дефектов.

3.24 Выпуск аттестационного отчёта по стали марки 07X12НМФБ и её сварным соединениям, содержащий результаты испытаний и гарантированные характеристики физико-механических свойств, сопротивления хрупкому разрушению, циклической прочности, длительной прочности и ползучести, коррозионной стойкости, согласованный в установленном порядке в соответствии с ПНАЭ Г-7-008-89, а также стандарты или технические условия на полуфабрикаты и сварочные материалы. Результаты испытаний должны быть приведены в разрабатываемых стандартах-методиках п.3.22-3.23.

Свойства стали 07X12НМФБ должны удовлетворять Приложению Д «Программы испытаний стали марки 07X12НМФБ и её сварных соединений на 2013-2015 гг», общая прибавка на толщину трубы 16x2 (допуск на толщину, технологическая и коррозионная при двустороннем контакте с водой/паром и натрием) за 240 000ч не должна превышать 0,5. 94

4. Технические требования к выполнению работ или оказанию услуг:

4.1 Работа должна проводиться в соответствии с требованиями ПНАЭ Г-7-008-89, ПНАЭ Г-7-009-89, ПНАЭ Г-7-010-89, НП-071-06, НП-001-97, ПНАЭ Г-7-002-89.

4.2 Номенклатура полуфабрикатов, образцов для проведения исследований, объем аттестационных испытаний должны соответствовать документам:

- «Программа испытаний стали марки 07X12НМФБ и её сварных соединений на 2013-2015 гг»

- «Программа аттестационных испытаний стали марки 07X12НМФБ и её сварных соединений».

5. Требования к объему технической документации:

По результатам работы Заказчику передаётся Акт сдачи-приемки с приложением отчетных документов согласно Календарному плану.

6. Место выполнения работ/оказания услуг:

Работа выполняется Исполнителем в месте его нахождения.

7. Сроки выполнения работ:

Этап 2013 года - с даты подписания договора по 15.11.2013 г.

Этап 2014 года – с 10.01.2014 по 15.11.2014 г.

Этап 2015 года – с 10.01.2015 по 15.11.2015 г.

8. Порядок ознакомления с документацией

С разработанными ранее редакцией методики, документами, которые необходимо учесть в окончательной редакции, а также документацией по предшествующим этапам НИОКР по промышленному и материаловедческому исследованию стали марки 07X12НМФБ и её сварных соединений и другой технической документацией можно ознакомиться в ОАО ОКБ «ГИДРОПРЕСС» по адресу: Московская обл., г. Подольск., ул. Орджоникидзе, д. 21. Ознакомление проводится по рабочим дням с 9-00 до 11-30. Для ознакомления необходимо заблаговременно позвонить по телефону, 8 (495) 502-79-12, доб.31-40, 13-50, 8 (4967) 65-29-29 для заказа пропуска и заключить соглашение о конфиденциальности.

9. Прочие условия:

9.1 Для обеспечения выполнения работ по договору Заказчик передаёт Исполнителю основные и сварочные материалы по акту приема передачи товарно-материальных ценностей. Доставка материалов осуществляется самовывозом из г.Санкт-Петербург за счет Исполнителя. Остальные материалы, необходимые для выполнения работы, приобретаются Исполнителем самостоятельно.

По окончании выполнения работ Исполнитель предоставляет акт об использовании товарно-материальных ценностей и отчет об использовании давальческого сырья.

9.2. При завершении Работы Исполнитель представляет Заказчику Акт сдачи-приемки Работы с приложением отчетных документов согласно Календарному плану (Приложение 2).

Передача Заказчику Акта сдачи-приемки Работы и оформленных в установленном порядке отчетных документов осуществляется сопроводительными письмами Исполнителя.

9.3. Отчётная документация в окончательно оформленном виде предоставляется Заказчику Исполнителем за 3 рабочих дня до срока окончания работы в следующем объеме:

- один экземпляр учтённой копии на бумажном носителе в несброшюрованном виде;

- два экземпляра учтённой копии на бумажном носителе в сброшюрованном виде;

- электронная версия отчётной документации на цифровом носителе (один экземпляр в формате исходного файла, один экземпляр отсканированной версии документа в формате PDF или TIFF).

Программа испытаний стали марки 07Х12НМФБ и ее сварных
соединений на 2013-2015гг

1. Общие положения

1.1. Настоящий документ разработан в рамках темы - «НИОКР в обоснование проекта АЭС с реактором БН-1200».

1.2. Программа определяет цель, условия, объем и порядок проведения испытаний конструкционного материала и сварных соединений применительно к условиям эксплуатации парогенератора РУ БН-1200.

1.3. Для выполнения работ должно быть использовано оборудование с характеристиками не ниже чем следующее испытательное оборудование:

- Машина Р-5 для испытания на кратковременный разрыв;
- Копер MetroCom для испытания на ударный изгиб;
- Машина АИМА-5-1 для испытания на длительную прочность (ползучесть);
- Машина УМЭ-10Т для испытания на циклическую прочность;
- Автоклав для испытаний на коррозионное растрескивание на машине АИМА-5-1
- Высокочастотный пульсатор Zwick /Roell Vibrophores Amsler 20.

1.4. На основании выполненных по программе работ в 2015 году будет подготовлен аттестационный отчет по стали марки 07X12НМФБ и ее сварных соединений.

1.5. Объем и номенклатура испытаний, представленных в настоящей программе, могут быть скорректированы с учетом изменения стоимости работ, конструкции парогенератора и имеющихся в наличии материалов.

1.6. Основные и сварочные материалы, необходимые для выполнения работ, передаются Исполнителю Заказчиком по акту приема-передачи товарно-материальных ценностей.

Номенклатура давальческого сырья представлена в таблице №1

Таблица 1 – Перечень товарно-материальных ценностей

№ п/п	Наименование материальных ценностей, их тип (марка)	Количество
1	Листовой прокат из стали марки 07X12НМФБ 16x2200x8000(2,223т)	0,8 шт.
2	Листовой прокат из стали марки 07X12НМФБ 150x1200x3100, разделанный на заготовки	6 заготовок
3	Заготовка диска из стали марки 07X12НМФБ, черт.9900.85.67.361.	¾ шт.
4	Заготовка обечайки 07X12НМФБ черт.9900.85.67.362.	¾ шт.
5	Заготовка вала из стали марки 07X12НМФБ, черт.9900.85.67.363(656кг)	1 шт.
6	Сварочная проволока марки Св-10X12НМФТ, Ø 0,8	12 кг.
7	Сварочная проволока марки Св-10X12НМФТ, Ø 1,0	13,5 кг
8	Сварочная проволока марки Св-10X12НМФТ, Ø 1,2	44 кг
9	Сварочная проволока марки Св-10X12НМФТ, Ø 2,0	11 кг
10	Сварочная проволока марки Св-10X12НМФТ, Ø 3,0	120 кг
11	Сварочная проволока марки Св-10X12НМФТ, Ø 4,0	350 кг
12	Сварочный флюс марки ФЦ-19	270
13	Электроды марки ОК92.26	1,5 кг.

14	Трубы из стали марки 07Х12НМФБ-ВИ, Ø 16×1,5	561 м
15	Трубы из стали марки 07Х12НМФБ-ВИ, Ø 16×2,0	177 м
16	Трубная заготовка 07Х12НМФБ-ВИ	4500 кг
17	Сутунка из стали марки 07Х12НМФБ-ВИ	233 кг
18	Заготовка диска, 07Х12НМФБ-Ш (сегмент 1/4) черт.9900.85.63.881	2 шт.
19	Заготовка диска, 07Х12НМФБ-Ш черт.9900.85.63.882	1 шт.
20	Заготовка вала, 07Х12НМФБ черт.9900.85.63.883	1 шт.
21	Заготовка вала, 07Х12НМФБ-Ш черт.9900.85.63.884	0,3 шт.
22	Пластины под сварку 20х150х500	42 шт.
23	Пластины под сварку 40х200х1000	16 шт.

2. Аттестационные испытания стали марки 07X12НМФБ.

2.1. Работа выполняется в рамках 1, 10, 16 этапов календарного плана.

2.2. План - график объема испытаний основного металла представлен в приложении А.

2.3. Кратковременные механические испытания проводятся на металле следующего сортамента:

- Трубы $\varnothing 16 \times 2,0$ мм;
- Заготовка диска, черт. 9900.85.67.361;
- Заготовка обечайки, черт. 9900.85.67.362;
- Листовой прокат толщиной 16 мм;
- Листовой прокат толщиной 150 мм;
- Листовой прокат толщиной 1,0 мм.

2.4. Для стали марки 07X12НМФБ представляются полученные при кратковременных испытаниях и гарантируемые значения следующих механических свойств: R_m^T , $R_{p0,2}^T$, A_5^T , Z^T .

2.5. Изменение механических свойств стали марки 07X12НМФБ и наплавленного металла (металла шва) и сварных соединений представляется по результатам изучения влияния длительных изотермических выдержек при температуре 600°C на металле листа толщиной 16 мм на характеристики R_m , $R_{p0,2}$, A_5 , Z .

2.6. Указанные по п. 2.4 и 2.5 характеристики определяются при испытаниях на растяжение по ГОСТ 1497-84, ГОСТ 9651-84, ГОСТ 10006-80 в пределах температур от 20°C до $T_{max}=550^\circ\text{C}$ через каждые 50°C, а также при температурах $(T_{max}+25)=575^\circ\text{C}$ и $(T_{max}+50)=600^\circ\text{C}$.

2.7. Критическая температура хрупкости в исходном состоянии T_{K0} определяется на всём сортаменте, перечисленном в п. 2.3 за исключением листового проката толщиной 1 мм и труб $\varnothing 16 \times 2,0$ мм.

2.8. Сдвиг критической температуры хрупкости вследствие температурного старения ΔT_r , определяется на основании результатов испытаний образцов из листового проката толщиной 16 мм на ударный изгиб.

2.9. Указанные в п. 2.7 и 2.8 характеристики определяются по методикам, приведенным в «Нормах расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок» ПНАЭ Г-7-002-89.

2.10. Характеристики длительной прочности и ползучести определяются на металле следующего сортамента:

- Заготовка диска, черт. 9900.85.67.361;
- Листовой прокат толщиной 16 мм;
- Листовой прокат толщиной 150 мм.

2.11. Для стали марки 07X12НМФБ представляются полученные при испытаниях в соответствии с ГОСТ 10145-81 гарантируемые ($P=0,95$) и средние ($P=0,5$) значения предела длительной прочности (R_{mt}^T) и длительной пластичности (A_{5t}^T , Z_t^T).

2.12. Указанные в п. 2.11 характеристики определяются при температурах 450, 500, 550 и 600 °С. Продолжительность испытаний до $1,5 \times 10^4$ ч.

2.13. При испытаниях на ползучесть стали марки 07X12НМФБ по ГОСТ 3248-81 представляются:

- первичные кривые ползучести в графическом виде;
- изохронные кривые деформирования в координатах «напряжение-деформация» для 10, 30, 10^2 , $3 \cdot 10^2$, 10^3 , $3 \cdot 10^3$, 10^4 , $3 \cdot 10^4$, 10^5 , $2 \cdot 10^5$, $2,4 \cdot 10^5$ ч.

Изохронные кривые ползучести для времен свыше $3 \cdot 10^3$ допускается рассчитывать по экстраполяционным уравнениям.

2.14. Характеристики циклической прочности определяются на металле следующего сортамента:

- Заготовка диска, черт. 9900.85.67.361;
- Листовой прокат толщиной 16 мм;
- Листовой прокат толщиной 20 мм;
- Листовой прокат толщиной 40 мм;

2.15. Характеристики циклической прочности определяются при температуре +550°C. Для испытаний используются цилиндрические образцы по ГОСТ 25.505-85.

2.16. Для стали марки 07X12НМФБ, работающих при температурах выше 450°C, представляются кривые усталости в интервале циклов от 10^2 до 10^7 , рассчитанные по гарантированным характеристикам длительной прочности и пластичности с учетом скорости деформирования материала и с коэффициентами запаса по напряжению (n_σ) и по количеству циклов (n_N), для температур 450, 500, 550, 600°C.

2.17. Характеристики коррозионной стойкости определяются на металле следующего сортамента:

- Цилиндрическая заготовка Ø200 мм;
- Горячекатаный толстолистовой прокат толщиной 16 мм.

2.18. Для стали марки 07X12НМФБ представляются значения скорости общей, питтинговой и подшламовой коррозии, а также характеристики коррозии под напряжением в рабочих средах, полученные на основании результатов автоклавных испытаний плоских и кольцевых образцов.

3. Аттестационные испытания сварных соединений из стали марки 07X12НМФБ.

3.1. Работа выполняется в рамках 2, 11, 17 этапов календарного плана.

3.2. План - график объема испытаний однородных сварных соединений представлен в приложении Б.

3.3. Для испытаний изготавливаются сварные пробы следующими способами сварки:

- автоматическим дуговым способом (АДС) сварочной проволокой марки Св-10X12НМФТ (Ø 3,0-4,0 мм) под слоем флюса марки ФЦ-19;
- ручным дуговым способом сварки электродами (РДС) марки ЭМ-99 (Ø 3,0-4,0 мм);
- ручным аргодуговым способом (АрДС) сварочной проволокой марки Св-10X12НМФТ (Ø 2,0-3,0 мм);

3.4. Для изготовления сварных проб используется сталь марки 07X12НМФБ следующего сортамента:

- Листовой прокат толщиной 40 мм (для АДС);
- Листовой прокат толщиной 20 мм (для РДС и АрДС);

3.5. Для наплавленного металла (металла шва) представляются полученные при кратковременных испытаниях и гарантируемые значения следующих механических свойств: R_m , $R_{p0,2}$, A_5 , Z в том числе после теплового старения.

Для сварных соединений представляются гарантированные и полученные при испытаниях на статическое растяжение значения предела прочности при температурах +20°C, +550°C и угла изгиба при испытаниях на статический изгиб.

Испытания на статический изгиб наплавленного металла (металла шва) и сварных соединений проводятся в исходном состоянии и после теплового старения.

3.6. Указанные по п. 3.5 характеристики определяются:

- при испытаниях на статическое растяжение при температуре +20°C на образцах тип II, при температуре +550°C на образцах тип IV ГОСТ 6996-66;

- угол изгиба на образцах тип XVII ГОСТ 6996-66.

3.7. Ударная вязкость, критическая температура хрупкости (подтверждение) сварных соединений (с надрезом по металлу шва и зоне термического влияния) определяются в исходном состоянии (T_{K0}) и после теплового старения (T_{K1}) на образцах тип IX ГОСТ 6996-66.

3.8. Характеристики длительной прочности сварных соединений, а также длительной прочности и ползучести наплавленного металла (металла шва) определяются при температурах +550°C и +600°C на базе 10^4 часов. Для испытаний используются цилиндрические образцы диаметром 6 мм ГОСТ 10145-81.

3.9. Характеристики циклической прочности сварных соединений определяются при температуре +550°C. Для испытаний используются цилиндрические образцы ГОСТ 25.505-85.

3.10. Коррозионная стойкость сварных соединений (стойкость против коррозионного растрескивания, общей коррозии, питтинговой коррозии, подшламовой коррозии) (специальные образцы). Испытания проводятся на специальных образцах.

3.11. Физические свойства наплавленного металла типа 10X12НМФТ (модуль нормальной упругости, коэффициент линейного расширения, коэффициент теплопроводности, плотность) определяются на специальных образцах.

4. Аттестационные испытания разнородных сварных соединений из стали марки 07X12НМФБ.

4.1. Работа выполняется в рамках 3, 12, 18 этапов календарного плана.

4.2. План – график объема испытаний разнородных сварных соединений представлен в приложении В.

4.3. Проводятся аттестационные испытания разнородных сварных соединений стали марки 07X12НМФБ следующих сочетаний:

- 07X12НМФБ+10X18Н9 (X16Н11М3);
- 07X12НМФБ+12X1МФ;
- 07X12НМФБ+15(16)ГС (09Г2С);
- 07X12НМФБ+10X9МФБ.

4.4. Для испытаний изготавливаются сварные пробы через предварительные наплавки кромок на пластины из стали марки 07X12НМФБ ручным дуговым способом

4.5. Для изготовления сварных проб будут использованы пластины из различных марок стали следующих сортов:

- Листовой прокат из стали марки 07X12НМФБ толщиной 16 и 20 мм;
- Листовой прокат из стали марки 10X18Н9 толщиной 20 мм;
- Листовой прокат из стали марки X16Н11М3 толщиной 20(30) мм;
- Листовой прокат из стали марки 12X1МФ (15X1М1Ф) толщиной 16 (20) мм;
- Листовой прокат из стали марки 10X9МФБ толщиной 20 мм (в наличии нет);
- Листовой прокат из стали марки 09Г2С толщиной 20 мм (листа из стали марки 15(16)ГС в наличии нет).

4.6. Сварные пробы будут выполнены ручным дуговым способом покрытыми электродами. Для изготовления предварительных наплавки и сварных проб используются следующие сварочные материалы:

Таблица 2 – Сварочные материалы для сварки разнородных сварных соединений

Сочетание марок стали	Марка сварочных электродов для предварительной наплавки кромок	Марка сварочных электродов для сварного шва
07X12НМФБ+10X18Н9 (X16Н11М3)	ЭА 395/9+А-1	А-1
07X12НМФБ+12X1МФ	Н-6	Н-6
07X12НМФБ+15(16)ГС (09Г2С)	Н-6	УОНИИ-13/55
07X12НМФБ+10X9МФБ	ЭМ-99	ЭМ-99

4.7. Для наплавленного металла (металла шва) представляются полученные при кратковременных испытаниях и гарантируемые значения следующих механических свойств: R_m , $R_{p0,2}$, A_5 , Z в том числе после теплового старения.

Для сварных соединений представляются гарантированные и полученные при испытаниях на статическое растяжение значения предела прочности при температурах $+20^{\circ}\text{C}$, $+550^{\circ}\text{C}$.

4.8. Указанные по п. 4.7 характеристики определяются при испытаниях на статическое растяжение при температуре $+20^{\circ}\text{C}$ на образцах тип II, при температуре $+550^{\circ}\text{C}$ на образцах тип IV ГОСТ 6996-66.

4.9. Ударная вязкость сварных соединений (с надрезом по границе сплавления, зоне термического влияния стали марки 07X12НМФБ, первому слою наплавки) определяются в исходном состоянии ($T_{к0}$) и после теплового старения ($T_{к}$) на образцах тип IX ГОСТ 6996-66.

4.10. Для сварных соединений при температуре $+20^{\circ}\text{C}$ определяется угол изгиба при испытании на статический изгиб на образцах тип XXVII по ГОСТ 6996-66.

4.11. Характеристики длительной прочности сварных соединений, а также длительной прочности и ползучести наплавленного металла (металла шва) определяются при температурах $+550^{\circ}\text{C}$ и $+600^{\circ}\text{C}$ на базе 10^4 часов. Для испытаний используются цилиндрические образцы диаметром 6 мм ГОСТ 10145-81.

4.12. Характеристики циклической прочности сварных соединений определяются при температуре +550°C. Для испытаний используются цилиндрические образцы ГОСТ 25.505-85.

4.13. Коррозионная стойкость сварных соединений (стойкость против коррозионного растрескивания, общей коррозии, питтинговой коррозии). Испытания проводятся на специальных образцах.

5. Исследование скорости роста трещины при статическом и циклическом нагружениях в стали марки 07X12НМФБ и металле ее сварного шва

5.1. Работа выполняется в рамках 7, 13, 19 этапов календарного плана.

5.2. План – график экспериментальных исследований скорости роста трещины при статическом и циклическом нагружениях представлен в приложении Г.

5.3. Испытания проводятся на основном металле и металле сварного шва из листового проката толщиной 40 мм.

5.4. Механические свойства приведены в приложении Д.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

План - график объема испытаний основного металла

№ п/п	Вид работ	Количество образцов, шт. (не менее)	Срок выполнения, годы
1	Изготовление образцов	422	2013
2	Определение кратковременных механических свойств при испытаниях на кратковременный разрыв	224	2013
3	Старение заготовок	46	2013
4	Определение кратковременных механических свойств после теплового старения при испытаниях на кратковременный разрыв	28	2013
5	Определение характеристик хрупкому разрушению при испытаниях на ударную вязкость	108	2013
6	Определение характеристик хрупкому разрушению после теплового старения при испытаниях на ударную вязкость	18	2013
7	Определение характеристик длительной прочности, пластичности, ползучести при испытаниях на длительную прочность с датчиком на ползучесть (450, 550, 600 °С до $1,5 \cdot 10^4$ ч)	55	2013-2015
8	Определение характеристик циклической прочности	10	2013-2015
9	Испытания на КР	9	2013-2015
10	Испытания на общую коррозию	10	2013-2015
11	Испытания на питтинговую коррозию	10	2013-2015
12	Испытания на подшламовую коррозию	10	2013-2015

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

План – график объема испытаний однородных сварных соединений

№ п/п	Вид работ	Количество образцов, шт. (не менее)	Срок выполнения, годы
1	Подготовка основного металла, скос кромок, сварка проб (АДС, РДС, АрДС), термическая обработка и контроль качества	9 стыков (40×400×1000) 13 стыков (20×300×500)	2013-2014
2	Разрезка проб на заготовки под образцы	7 стыков (40×400×1000) 13 стыков (20×300×500)	2013-2014
3	Тепловое старение (600 °С – 6000 ч.)	2 садки	2013-2014
4	Изготовление образцов (в том числе для исследования ЛРОЗ – 12 шт.)	340	2013-2015
5	Определение кратковременных механических свойств наплавленного металла (металла шва) и сварных соединений при испытаниях на разрыв (в том числе и после теплового старения)	72	2013-2015
6	Определение угла загиба сварных соединений при испытании на статический изгиб	6	2013-2014
7	Определение характеристик сопротивления хрупкому разрушению при испытаниях на ударную вязкость сварных соединений (T_{K0}), МШ, ОЗШ (в том числе и после теплового старения)	144	2013-2015
8	Определение характеристик длительной прочности сварных соединений и длительной прочности, пластичности, ползучести наплавленного металла (металла шва) при испытаниях на длительную прочность с датчиком на ползучесть (550, 600 °С – до 10^4 ч.)	30	2014-2015
9	Определение характеристик циклической прочности сварных соединений при 550 °С	8	2014-2015
10	Исследование коррозионной стойкости сварных соединений (коррозионное растрескивание, общая коррозия, питтинговая коррозия, подшламовая коррозия)	60	2014-2015
11	Определение физических свойств (модуль нормальной упругости, коэффициент линейного расширения, коэффициент теплопроводности, плотность)	8	2013-2014

ПРИЛОЖЕНИЕ В

План – график объема испытаний разнородных сварных соединений

№ п/п	Вид работ	Количество образцов, шт. (не менее)	Срок выполнения, годы
1	Подготовка основного металла, предварительная наплавка кромок, сварка, термообработка, неразрушающий контроль качества: 1)07X12НМФБ+08X18Н9(Х16Н11М3); 2)07X12НМФБ+12Х1МФ; 3)07X12НМФБ+15(16)ГС(09Г2С); 4)07X12НМФБ+10Х9МФБ.	Не менее 15 стыков (20(16)х300х400 мм)	2013-2014
2	Разрезка проб на заготовки под образцы	15 стыков (245 заготовок)	2013-2014
3	Тепловое старение заготовок 600°С, 6000 часов	2 закладки в печь	2013-2014
4	Изготовление образцов	245	2013-2014
5	Определение кратковременных механических свойств наплавленного металла(металла шва) и сварных соединений при испытаниях на разрыв (в том числе после теплового старения)	96	2013-2015
6	Определение характеристик сопротивления хрупкому разрушению при испытаниях на ударную вязкость сварных соединений (Тко) (ГС, металл предварительной наплавки, ЗТВ _{07X12НМФБ}) (в том числе после теплового старения)	72	2013-2015
7	Определение характеристик длительной прочности сварных соединений и длительной прочности, пластичности, ползучести наплавленного металла (металла шва) при испытаниях на длительную прочность с датчиком на ползучесть (550°С – до 10 ⁴ час.) (3 варианта сварных соединений)	15	2013-2015
8	Определение характеристик циклической прочности сварных соединений при 550°С	12	2013-2015
9	Исследования коррозионной стойкости сварных соединений (коррозионное растрескивание, общая коррозия, питтинговая коррозия)	40	2014-2015

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

План – график экспериментальных исследований скорости роста трещины при статическом и циклическом нагружениях

Тип испытания	Тип образца	Количество образцов, шт. (не менее)	сроки выполнения
Кинетика трещины при циклическом нагружении	СТ-1	12	2013-2015
Кинетика трещины при ползучести	СТ-1	8	2013-2015

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Таблица Д.1 - Механические свойства

В мегапаскалях

T, °C	20	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
$R_{p0,2}^T$ мин, трубы	420	400	375	367	362	359	355	349	338	320	292	254	203
$R_{p0,2}^T$ мин, плиты	400	390	375	367	362	359	355	349	338	320	292	254	203
$R_{p,2}^T$ средние	486	475	460	450	442	434	426	416	403	385	361	329	288
R_m^T мин, трубы, плиты	580	559	536,5	525	519	514	506	493	471	439	395	340	273
R_m^T средние	652	621	589	572	564	558	550	536	513	479	435	381	318

Таблица Д.2 - Минимальные значения предела длительной прочности

T, °C	t, ч										
	1	10	30	100	300	1000	3000	10000	30000	100000	300000
	Значение R_{mt}^T , МПа										
425	444	432	426	420	415	409	386	361	340	317	296
450	428	418	413	408	384	359	336	313	292	270	250
475	396	378	369	360	337	312	290	267	247	226	207
500	366	339	327	314	292	268	247	225	206	186	168
525	344	320	296	272	250	227	207	187	168	149	133
550	328	278	256	232	211	190	171	151	134	116	101
575	288	240	218	195	176	155	137	119	103	87	74
600	250	204	183	161	143	124	107	90	76	63	51
625	214	170	150	130	113	95	81	66	54	43	34
650	181	139	121	102	86	71	58	46	36	28	22
675	151	111	94	77	64	50	40	31	24	19	

Таблица Д.3 - Средние значения предела длительной прочности

T, °C	t, ч										
	1	10	30	100	300	1000	3000	10000	30000	100000	300000
	Значение R_{mt}^T , МПа										
425	489	481	477	472	469	465	440	414	391	366	344
450	474	469	466	464	438	411	387	362	340	316	295
475	442	427	420	412	388	361	338	314	292	269	249
500	401	370	359	347	340	314	292	268	247	225	206
525	389	359	345	318	295	270	249	226	206	185	167
550	379	325	301	275	253	229	209	187	168	149	132
575	336	284	260	236	214	192	172	152	134	116	100
600	296	244	222	198	178	157	138	119	103	87	73
625	256	208	187	164	145	125	108	91	76	62	51
650	220	174	154	133	115	97	81	66	54	42	34
675	187	143	124	105	88	72	59	46	37	28	

Календарный план
выполнения НИОКР по договору

«Обоснование работоспособности конструктивных материалов и сварных соединений парогенератора для АЭС с реактором БН-1200»

№ п/п	Наименование работ по договору и основных этапов его выполнения	Сроки выполнения Начало-Окончание	Перечень документации, передаваемой заказчику	Стоимость работ тыс. руб.
	2013 год			
1	Аттестационные испытания стали марки 07X12НМФБ в соответствии с программой (доведение суммарной временной базы длительных механических испытаний с 80 000 ч до 130 000 ч). Этап 2013 года.	Дата подписания договора -11.11.2013	Отчет.	14000,0
2	Аттестационные испытания сварных соединений из стали марки 07X12НМФБ по программе аттестационных испытаний. Этап 2013 года.	Дата подписания договора -11.11.2013	Отчет.	9000,0
3	Аттестационные испытания разнородных сварных соединений из стали марки 07X12НМФБ по программе аттестационных испытаний. Этап 2013 года.	Дата подписания договора -11.11.2013	Отчет	12000,0
4	Разработка технической справки по предварительным свойствам стали марки 07X12НМФБ.	Дата подписания договора -11.11.2013	Техническая справка.	1000,0
5	Оценка свариваемости стали марки 07X12НМФБ при изготовлении технологических проб из металлургических полуфабрикатов (лист, поковка).	Дата подписания договора -11.11.2013	Отчет.	2000,0
6	Исследованию качества и свойств сварных проб «труба - трубная» доска в соответствии с программой работ.	Дата подписания договора -11.11.2013	Отчёт	2300,0
7	Разработка проекта РД на горячую пластическую обработку и термическую обработку основного металла и сварных соединений стали марки 07X12НМФБ.	Дата подписания договора -11.11.2013	Техническая справка	800,0
8	Рассмотрение и согласование КД технического проекта парогенератора БН-1200	Дата подписания договора -11.11.2013	Аннотационный отчёт	2500,0

9	Исследование скорости роста трещины при статическом и циклическом нагружениях в стали марки 07X12НМФБ в соответствии с «Программой аттестационных испытаний стали марки 07X12НМФБ и ее сварных соединений» (Этап 2013 года.)	Дата подписания договора -11.11.2013	Отчёт	9000,0
Итого 2013 год				
2014 год (обязательства по договору 2014 года наступают после подтверждения финансирования)				
10	Аттестационные испытания стали марки 07X12НМФБ (доведение суммарной временной базы длительных механических испытаний с 130 000 ч до 200 000 ч). Этап 2014 года.	13.01.2014-10.11.2014	Техническая справка	2740,0
11	Аттестационные испытания сварных соединений из стали марки 07X12НМФБ. Этап 2014 года	13.01.2014-10.11.2014	Техническая справка.	2025,0
12	Аттестационные испытания разнородных сварных соединений из стали марки 07X12НМФБ. Этап 2014 года.	13.01.2014-10.11.2014	Техническая справка.	2935,0
13	Материаловедческие исследования конструкционных и сварочных материалов, включая их аттестацию. Этап 2014 года.	13.01.2014-10.11.2014	Отчет.	300,0
14	Исследование скорости роста трещины при статическом и циклическом нагружениях в стали марки 07X12НМФБ в соответствии с «Программой аттестационных испытаний стали марки 07X12НМФБ и ее сварных соединений» (Этап 2014 года).	13.01.2014-10.11.2014	Отчет	4500,0
15	Завершение отработки технологии изготовления и ремонта ПП, включая методы диагностики состояния металла и сварных соединений	13.01.2014-10.11.2014	Техническая справка	2500,0
Итого 2014 год				
2015 год (обязательства по договору 2015 года наступают после подтверждения финансирования)				
16	Аттестационные испытания стали марки 07X12НМФБ (доведение суммарной временной базы длительных механических испытаний с 200 000 ч до 270 000 ч). Этап 2015 года.	12.01.2015-13.11.2015	Техническая справка	5000,0

17	Аттестационные испытания сварных соединений из стали марки 07X12НМФБ. Этап 2015 года.	12.01.2015-13.11.2015	Техническая справка.	3475,0
18	Аттестационные испытания разнородных сварных соединений из стали марки 07X12НМФБ. Этап 2015 года.	12.01.2015-13.11.2015	Техническая справка.	4825,0
19	Материаловедческие исследования конструкционных и сварочных материалов, включая их аттестацию. Этап 2015 года.	12.01.2015-13.11.2015	Отчет.	300,0
20	Исследование скорости роста трещины при статическом и циклическом нагружении в стали марки 07X12НМФБ в соответствии с «Программой аттестационных испытаний стали марки 07X12НМФБ и ее сварных соединений» (Этап 2015 года.).	12.01.2015-13.05.2015	Отчет.	4500,0
21	Второй этап апробации методики по расчету прочности трубных досок и узлов заделки в них теплообменных труб. Апробация раздела методики «Расчет на прочность по критическому событию «Достижение трещиноподобным дефектом критического размера».	12.01.2015-13.08.2015	Отчет	1000,0
22	Разработка окончательной редакции стандарта "Методика оценки длительной статической и длительной циклической прочности на ресурс до 60 лет элементов оборудования работающего в условиях ползучести и усталости" и пояснительной записки.	12.01.2015-13.10.2015	Стандарт Пояснительная записка Отчет	3000,0
23	Разработка окончательной редакции стандарта "Методика расчета на прочность трубных досок корпусных парогенераторов и узлов заделки в них теплообменных труб» и пояснительной записки.	12.01.2015-13.11.2015	Стандарт Пояснительная записка Отчет	3000,0
24	Оформление аттестационного отчёта по стали марки 07X12НМФБ и её сварным соединениям	12.01.2015-13.11.2015	Аттестационный отчёт	2900,0
Итого 2015 год				28000,0
ИТОГО:				95600,0

