



Общество с ограниченной ответственностью  
НАУЧНО-СЕРТИФИКАЦИОННЫЙ УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР  
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ И РЕСУРСА КОМПОНЕНТОВ ЯДЕРНОЙ ТЕХНИКИ  
«ЦЕНТР МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ И РЕСУРСА»  
ООО «НСУЦ «ЦМР»

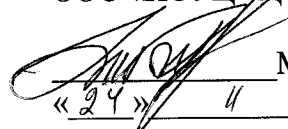
**СОГЛАСОВАНО**

Главный инженер  
Балаковской АЭС

  
В.Н. Бессонов  
« 13 » 12 2010 г.

**УТВЕРЖДАЮ**

Генеральный директор  
ООО «НСУЦ «ЦМР»

  
М.Б. Бакиров  
« 24 » 11 2010 г.

Инв. № 11-Бал1-3-001/21-09

**Заключение № 3-001/ТЦ-1/21-09**

**о техническом состоянии и остаточном ресурсе**

**насоса импульсного 1SE20D01**


**энергоблока № 1 Балаковской АЭС**

приложение к Техническому заключению № 3-001/ТЦ-1/21-09  
от 13.12.10

Москва 2010

**Лист согласования должностных лиц ООО «НСУЦ «ЦМиР»**

Руководитель группы

 В.И. Левчук

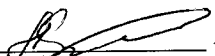
« 24 » 11 2010 г.

Руководитель группы

 А.П. Павлючков

« 24 » 11 2010 г.

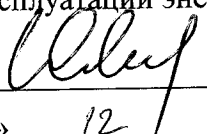
Начальник лаборатории

 А.А. Еремин

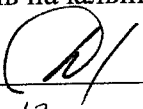
« 24 » 11 2010 г.

**Лист согласования должностных лиц филиала  
ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Балаковская атомная станция»**

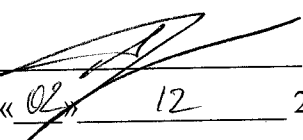
Заместитель главного инженера  
по эксплуатации энергоблоков 1,2

  
Ю.М. Марков  
«02» 12 2010 г.

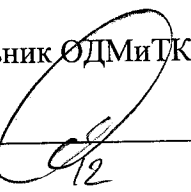
Заместитель начальника ТЦ-1

  
А.В. Дремов  
«02» 12 2010 г.

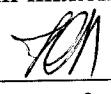
Заместитель начальника ЦЦР

  
А.А. Бурлаков  
«02» 12 2010 г.

Начальник ОДМиТК

  
С.В. Якушев  
«01» 12 2010 г.

Ведущий инженер ОМиПРО

  
Ю.В. Лавриков  
«01» 12 2010 г.

## ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АЭС	– атомная электростанция;
ВВЭР	– водо-водяной энергетический реактор;
ВиИК	– визуальный и измерительный контроль;
ВХР	– водно-химический режим;
ГСР	– гидравлическая система регулирования;
ИМС	– измерение механических свойств;
КК	– капиллярный контроль;
НД	– нормативный(ые) документ(ы);
НТД	– нормативно-техническая документация;
ПКД	– проектно-конструкторская документация;
ППР	– планово-предупредительный ремонт;
ПСС	– продление срока службы;
РД	– руководящий документ;
ТО	– техническое освидетельствование;
ТОБ	– техническое обоснование безопасности;
ТОиР	– техническое обслуживание и ремонт;
УЗТ	– ультразвуковая толщинометрия;
ХТГЗ	– Харьковский турбинный завод;
ТЦ	– турбинный цех;
ЭК	– эксплуатационный контроль;
ЭГСР	– электрогидравлическая система регулирования;
Р	– давление;
Т	– температура.
$S_{min}$	– минимальная фактическая толщина по результатам УЗТ;
$S_n$	– номинальная толщина.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение.....	6
2. Результаты анализа технической и эксплуатационной документации.....	7
3. Результаты контроля состояния металла насоса.....	11
4. Оценка технического состояния насоса.....	12
5. Оценка остаточного ресурса (подтверждение срока службы 60 лет) насоса.....	13
6. Заключение .....	15
Перечень используемой документации .....	16
Приложение 1. Программа № 001/ТЦ-1/21-09 обследования, оценки технического состояния и остаточного ресурса насоса импульсного 1SE20D01 энергоблока № 1 Балаковской АЭС, 2009 г.	
Приложение 2. Комплект актов, протоколов контроля металла насоса импульсного 1SE20D01 турбинного цеха энергоблока №1 Балаковской АЭС.	
Приложение 3. Отчет о научно-исследовательской работе. Расчет на прочность насоса импульсного 1SE20D01 (черт. Б-470-01-60(61)СБ) в рамках работ по продлению срока службы энергоблока №1 Балаковской АЭС (заключительный) № 04/01-10-Р.1., 2010 г.	

## 1. Введение

1.1. Работы по оценке технического состояния и остаточного ресурса, обоснованию возможности и условий дальнейшей эксплуатации насоса импульсного 1SE20D01 системы автоматического регулирования и защиты турбины К-1000-60/1500-2 турбинного цеха энергоблока № 1 Балаковской АЭС (далее по тексту – насос импульсный) выполнены в связи с продлением срока эксплуатации энергоблока №1 Балаковской АЭС сверх назначенного 30-летнего срока службы и в обеспечение выполнения п. 5.1.14 НП-001-97 [1], п. 2.1.11 ПНАЭ Г-7-008-89 [2] и НП-017-2000 [3].

1.2. По результатам выполненных работ по оценке технического состояния и остаточного ресурса насоса импульсного 1SE20D01 разработано настоящее Заключение.

1.3. Заключение разработано в соответствии с требованиями следующих нормативно-технических документов:

1.3.1. НП-017-2000 «Основные требования к продлению срока эксплуатации блока атомной станции» [3];

1.3.2. РБ-029-04 «Состав и содержание материалов по обоснованию остаточного ресурса элементов блока атомной станции для продления срока его эксплуатации» [4];

1.3.3. СТО 1.1.1.01.006.0327-2008 «Продление срока эксплуатации блока атомной станции» [5];

1.3.4. СТО 1.1.1.01.007.0281-2010 «Управление ресурсными характеристиками элементов энергоблоков атомных станций» [6];

1.3.5. РД ЭО 1.1.2.09.0774-2009 «Оценка технического состояния и остаточного ресурса трубопроводов, сосудов и насосов энергоблоков атомных станций. Методика» [7];

1.3.6. «Программа № 001/ТЦ-1/21-09 обследования, оценки технического состояния и остаточного ресурса насоса импульсного 1SE20D01 энергоблока № 1 Балаковской АЭС» (далее по тексту – «Программа обследования...»).

1.4. В соответствии с «Программой обследования...» (см. Приложение 1) выполнен комплекс работ по оценке технического состояния и остаточного ресурса насоса 1SE20D01, включающий:

- анализ технической и эксплуатационной документации;
- контроль состояния металла;
- оценку технического состояния;
- расчёт на прочность;
- оценку и обоснование остаточного ресурса.

1.5. Термины и их определения, применяемые в настоящем Заключении, соответствуют СТО 1.1.1.01.007.0281-2010 [6].

## 2. Результаты анализа технической и эксплуатационной документации

2.1. В рамках работ по оценке технического состояния и остаточного ресурса насоса импульсного выполнен анализ следующей технической и эксплуатационной документации:

- требования правил, норм и руководящие документы в области использования атомной энергии [1÷15];
- рабочий технологический регламент безопасной эксплуатации энергоблока № 1 Балаковской АЭС с реактором ВВЭР-1000 (В-320) [16];
- техническое обоснование безопасности (ТОБ) сооружения и эксплуатации энергоблока № 1 Балаковской АЭС [17];
- эксплуатационная документация [18, 19];
- документация по эксплуатационному контролю металла [20÷25];
- документация по техническому обслуживанию и ремонту [26÷29];
- результаты комплексного обследования энергоблока №1 Балаковской АЭС [30];
- результаты обследования оборудования и трубопроводов системы автоматического регулирования и защиты турбины К-1000-60/1500-2 энергоблока № 1 Балаковской АЭС [31];
- сборочные чертежи Б 470-01-60СБ, Б 470-01-61СБ, Б 470-01-62СБ;
- данные по режимам и условиям эксплуатации.

2.2. Ниже представлены основные сведения о насосе импульсном.

Система регулирования турбины К-1000-60/1500-2 состоит из основной – электрогидравлической системы регулирования (ЭГСР) и резервной – гидравлической системы регулирования (ГСР). ЭГСР выполнена с электронной управляющей частью и гидравлическими исполнительными механизмами. ГСР выполнена с гидравлической управляющей частью и теми же гидравлическими исполнительными механизмами.

Основной системой, выполняющей весь комплекс задач регулирования, является ЭГСР. ГСР управляет турбиной при отказах ЭГСР или регламентных проверках. При работе ЭГСР ГСР находится в стерегушем режиме и не оказывает влияния на работу турбоагрегата. При появлении неисправностей в ЭГСР автоматически вводится в работу ГСР, а ЭГСР отключается. Ввод в работу основной системы регулирования – ЭГСР или резервной – ГСР осуществляется двумя переключающими устройствами.

Насос импульсный (импеллер) 1SE20D01 работает в составе ГСР в качестве датчика частоты вращения ротора турбины. Регулирование скорости вращения ротора производится за счет изменения (увеличения/уменьшения) давления на напоре насоса, которое зависит от частоты вращения ротора турбины.

Насос импульсный представляет собой центробежный двухступенчатый масляный насос. Он соединен непосредственно с ротором турбины и расположен в корпусе опоры переднего подшипника. Общий вид насоса импульсного представлен на рисунке 1.

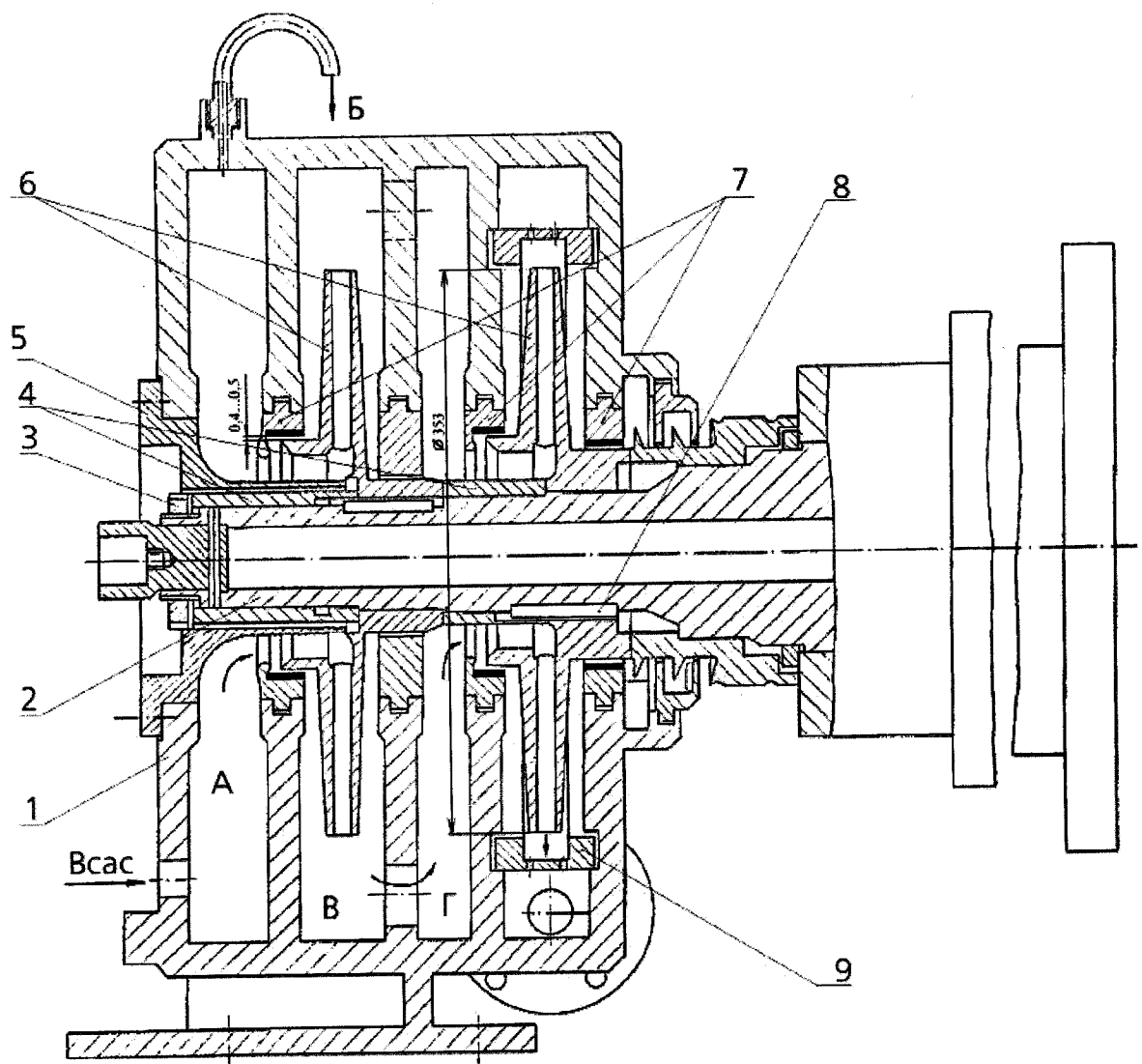
Насос состоит из корпуса (1), вала (2), направляющего аппарата (5), рабочих колес (6) и уплотнительных колец (7). Корпус выполнен из двух половин, соединенных по горизонтальному разъему крепежом. Внутри корпуса выполнены приемные и напорные камеры, а снаружи приварены всасывающий и напорный патрубки. Нижняя часть корпуса выполнена в форме лапы, которой он крепится к опоре через специальную подставку.

Вал (2) представляет собой полый консольный хвостовик ротора турбины. Рабочие колеса (6) насажены на вал (2) на шпонках (8) и стянуты посредством втулок (4) и гайки (3), образуя ротор насоса. Уплотнительные кольца (7) закреплены по наружному диаметру в корпусе, а внутренней поверхностью с баббитовой заливкой охватывают ступицы рабочих колес.

Для обеспечения постоянного давления на всасе импульсного насоса масло к нему поступает самотеком по отдельному трубопроводу из демпферного бака турбины. Вентиль на всасе насоса пломбируют в открытом положении.

Через всасывающий патрубок масло поступает в камеру «А». Из верхней точки этой камеры выполнена постоянная продувка «Б» для удаления воздуха. В камеру «В» масло подается от напора первой ступени и через отверстия в перегородке поступает в камеру «Г», которая является всасывающей камерой для второй ступени. Для успокоения потока на выходе второй ступени установлена сетка (9). Напор второй ступени является импульсом, который поступает в регулятор скорости.

Характеристика насоса «напор – расход» в рабочем диапазоне скоростей вращения является достаточно пологой с тем, чтобы изменение протечек по уплотнительным кольцам не оказывало ощутимого влияния на напор насоса, а характеристика «обороты – напор» была близкой к линейной.



- 1 – корпус; 2 – вал; 3 – гайка; 4 – втулка; 5 – направляющий аппарат; 6 – рабочее колесо;  
7 – уплотнительное кольцо; 8 – шпонка; 9 – сетка.

Рисунок 1 – Общий вид насоса импульсного



Система автоматического регулирования и защиты турбины К-1000-60/15000-2 по влиянию на безопасность относится к системам нормальной эксплуатации, важным для безопасности. Согласно ТОВ [17] насос импульсный, работающий в составе системы автоматического регулирования и защиты турбины К-1000-60/15000-2 и являющийся неотъемлемой частью турбины, имеет классификационное обозначение 3Н в соответствии с НП-001-97 [1], категорию сейсмостойкости Пб согласно НП-031-01 [15], по ПНАЭ Г-7-008-89 [2] не классифицируется.

Основные сведения о насосе импульсном систематизированы по результатам анализа проектно-конструкторской и эксплуатационной документации и представлены в таблице 2.1. Данные о ресурсных характеристиках насоса импульсного в проектной (конструкторской) документации отсутствуют, но так как насос импульсный является неотъемлемой частью турбины, срок службы определен 30 лет.

Таблица 2.1 – Основные сведения о насосе импульсном

Наименование	Данные о насосе
АЭС	Балаковская
Номер блока	1
Наименование и обозначение системы	Система автоматического регулирования и защиты турбины К-1000-60/1500-2 1SE
Цех-владелец	ТЦ-1
Станционное обозначение	1SE20D01
Паспорт/проект	черт. Б 470-01-60СБ, Б 470-01-61СБ, Б 470-01-62СБ
Местонахождение	Передний стул турбины К-1000-60/1500-2
Класс безопасности по НП-001-97	3Н
Группа по ПН АЭГ-7-008-89	Не классифицируется
Категория сейсмостойкости по НП-031-01	Пб
Проектная (конструкторская) организация	ХТГЗ им. Кирова, г. Харьков
Предприятие изготовитель	ХТГЗ им. Кирова, г. Харьков
Документы на изготовление и поставку	Совместно с турбиной
Монтажная организация	Трест «Волгоэнергомонтаж»
Дата окончания монтажа	1985 г.
Дата ввода в эксплуатацию	1985 г.
Тип насоса	Центробежный, двухступенчатый
Особенности конструкции	Разборная конструкция, корпус насоса – литой, состоит из двух частей
Марка основного металла корпуса, перегородок	ВСт3Сп6, ГОСТ 14637-79, ГОСТ 12820-80
Сведения о термообработке	Не требуется

Таблица 2.1 (продолжение)

Наименование			Данные о насосе	
Геометрические размеры основных элементов	Элемент насоса	Диаметр наружный, мм	Толщина стенки, мм	Длина (высота), мм
	Корпус (цилиндрическая часть)	570	18	300
	Корпус (торцевая часть на всасе)	570	19	-
	Корпус (торцевая часть на напоре)	570	23	-
	1-я межсекционная перегородка	570	25	-
	2-я межсекционная перегородка	570	22	-
	3-я межсекционная перегородка	570	25	-
	Вал	66, 80, 120, 152, 260	—	1150
Ресурсные характеристики по проектной (конструкторской) документации		30 лет		
Эксплуатационные параметры насоса при работе турбины под нагрузкой	Давление на всасе, кгс/см <sup>2</sup>		1,20÷1,30	
	Давление на напоре, кгс/см <sup>2</sup>		7,2±0,1	
	Температура перекачиваемой среды, °С		55	
	Номинальная частота вращения, об/мин		1500	
Рабочая среда		Масло		

2.3. В проектной (конструкторской) документации данные по допускаемому числу и виду эксплуатационных режимов насоса импульсного отсутствуют, то есть, количество режимов проектом не устанавливается. Контролируемые показатели вибрации элементов насоса импульсного не выходят за пределы, установленные проектно-конструкторской и нормативной документацией. Данные по условиям и режимам эксплуатации насоса импульсного на период до октября 2009 г. (см. [32, 33]) представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Данные по условиям и режимам эксплуатации

Эксплуатационные режимы	Количество по проекту	Фактическое число циклов за период 1985÷2009 гг.	Фактическое число циклов за последние 10 лет
Пуск / останов с параметрами: T = 50 °С; P = 7,3 кгс/см <sup>2</sup>	Проектом не устанавливается	30	10

2.4. «Типовая программа...» АТПЭ-9-03 [34] не регламентирует объемы и периодичность эксплуатационного контроля (ЭК) состояния металла насоса импульсного. Действующими на энергоблоке № 1 Балаковской АЭС инструкциями проведение периодического ЭК металла насоса импульсного неразрушающими методами также не предусмотрено.

2.5. Насос импульсный ремонтпригоден, что позволяет при проведении планово-предупредительных ремонтов энергоблока выполнять контроль и восстановление/поддержание его технического состояния в соответствии с требованиями проектной (конструкторской) документации.

Стратегия технического обслуживания и ремонта (ТОиР) для поддержания работоспособного, исправного технического состояния насоса импульсного в процессе эксплуатации предусматривает проведение капитального ремонта насоса 1 раз в 4 года. За время эксплуатации ремонтов с применением сварки, модернизаций и реконструкций насоса импульсного не проводилось.

2.6. На Балаковской АЭС контроль показателей качества рабочей среды насоса импульсного – турбинного масла – осуществляется в соответствии с «Регламентом...» Р. ХЦ/02 [19].

Контролируемые показатели качества турбинного масла, их допустимые значения, а также периодичность проведения контроля приведены в разделе 14 «Регламента...». Случаев нарушения показателей качества турбинного масла за все время эксплуатации не зафиксировано.

2.7. За весь период эксплуатации насоса импульсного отказов с нарушением пределов безопасной эксплуатации насоса, а также отклонений от рабочих режимов нормальной эксплуатации не зафиксировано.

### **3. Результаты контроля состояния металла насоса**

На Балаковской АЭС в процессе эксплуатации не проводится периодический контроль состояния металла насоса импульсного неразрушающими методами. В связи с этим в рамках реализации текущих работ по ПСС в соответствии с «Программой обследования...» был установлен дополнительный контроль металла насоса импульсного методами ВиИК, КК, УЗТ и ИМС, выполненный ООО «НСУЦ «ЦМиР» в ППР-2010.

Результаты дополнительного контроля используются для проверки соответствия критериев оценки состояния металла насоса импульсного требованиям проектно-конструкторской и нормативной документации.

Результаты контроля состояния металла насоса импульсного в соответствии с разделом 5 «Программы обследования ...» (Приложение 1) представлены в Приложении 2 и кратко в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты контроля металла

Наименование узлов и элементов насоса	Метод контроля, НД	Объем контроля	Результаты контроля
Корпус насоса (основной металл)	ВиИК [22]	100%	Дефектов не обнаружено (протокол № ОДМиТК 1-14/843 от 10.02.2010 г.).
	КК [23]	По результатам ВиИК	Учитывая положительные результаты ВиИК, КК не проводился.
	УЗТ [24]	В 4-х зонах через 90° по периметру на цилиндрических и торцевых частях корпусов	Оценка качества не производилась в связи с отсутствием предельных значений на момент контроля (заключение № ОДМиТК 1-14/788 от 08.02.2010 г.). После получения дополнительных данных о номинальных геометрических размерах элементов насоса установлено, что фактические замеренные значения толщины превышают номинальные значения толщины согласно ПКД.
	ИМС [25]	2 площадки	Механические свойства металла соответствуют требованиям НД [11] (акты №№ ИМС-001.1/ТЦ-1/21-09, ИМС-001.2/ТЦ-1/21-09 от 30.06.2010 г., отчет [35]).
Крепежные элементы: болты М10х25, М16х55; шпильки 1А-М16х40; винты М6/16.	ВиИК [22]	100% для 2-х болтов, шпильки, винтов каждого типоразмера	Дефектов не обнаружено (протокол № ОДМиТК 1-14/843 от 10.02.2010 г.).
	КК [23]	По результатам ВиИК	Учитывая положительные результаты ВиИК, КК не проводился.

По результатам контроля металла насоса импульсного недопустимых дефектов и повреждений металла не выявлено, состояние металла соответствует нормам оценки качества [21], фактические измеренные значения механических свойств металла соответствуют требованиям нормативной документации [11].

#### 4. Оценка технического состояния насоса

Оценка технического состояния насоса импульсного, представленная ниже, выполнена на основании результатов анализа технической и эксплуатационной документации, а также с учетом результатов обследования насоса.

4.1. Условия и режимы эксплуатации насоса импульсного соответствуют требованиям эксплуатационной и проектно-конструкторской документации (ПКД). За период эксплуатации отклонений от регламентных режимов нагружения и рабочих параметров эксплуатации не зафиксировано.

4.2. ВХР рабочей среды поддерживается в пределах требований действующей эксплуатационной документации (ЭД).

4.3. Действующими на энергоблоке № 1 Балаковской АЭС инструкциями проведение периодического эксплуатационного контроля металла корпуса насоса импульсного неразрушающими методами не предусмотрено. Поддержание работоспособного, исправного технического состояния насоса импульсного в процессе эксплуатации обеспечивается посредством проведения периодического технического обслуживания и ремонта.

В результате проведения дополнительного контроля металла насоса импульсного по «Программе обследования...» (см. Приложение 1) недопустимых дефектов и повреждений металла не выявлено (см. Приложение 2).

За весь период эксплуатации отказов, приводящих к нарушению условий нормальной эксплуатации насоса импульсного, не зафиксировано. Ремонтов с применением сварки, модернизаций и реконструкций насоса импульсного не проводилось.

4.4. В соответствии с результатами анализа технической документации, истории эксплуатации [32, 33], комплексного обследования энергоблока № 1 Балаковской АЭС [30], контроля металла по «Программе обследования...» (Приложение 1) состояние насоса импульсного – работоспособное, исправное (по ГОСТ 27.002-89 [14]), соответствует требованиям ЭД, ПКД и НД. Существующая система эксплуатации и ТОиР обеспечивает поддержание требуемого технического состояния насоса.

Выполненный анализ не выявил принципиальных факторов, препятствующих дальнейшей эксплуатации насоса импульсного при условии поддержания работоспособного, исправного состояния насоса в течение продлеваемого срока службы с соблюдением требований действующей нормативно-технической и эксплуатационной документации.

## **5. Оценка остаточного ресурса (подтверждение срока службы 60 лет) насоса**

5.1. В соответствии с ПНАЭ Г-7-002-86 [11], РД ЭО 0330-01 [12] и НП-031-01 [15] для насоса импульсного выполнены расчёты на:

- статическую прочность;
- циклическую прочность;
- прочность при сейсмических воздействиях.

При этом в соответствии с требованиями [11] не проводились расчеты:

- на устойчивость, в связи с отсутствием наружного давления и общих сжимающих нагрузок (п. 5.5 [11]), то есть виды нагрузок, прикладываемые к насосу импульсному, не могут привести к потере его устойчивости;
- на длительную статическую и циклическую прочность, так как рабочая температура ниже  $T_t = 350^{\circ}\text{C}$  - температуры, при превышении которой необходимо учитывать характеристики длительной прочности, пластичности и ползучести (п.п. 3.3, 5.7.1, 5.9.1 [11]);
- на сопротивление хрупкому разрушению, так как для материалов насоса импульсного и толщин стенок выполняются условия п. 5.8.1.9 [11];
- на вибропрочность, поскольку действующие вибрационные нагрузки на насос незначительны.

5.2. Выполненные расчеты показывают, что насос импульсный удовлетворяет условиям прочности норм расчета ПНАЭ Г-7-002-86 [11], РД ЭО 0330-01 [12] и НП-031-01 [15]. По результатам выполненного расчетного обоснования установлено, что срок службы насоса импульсного может быть продлен до 60 лет (см. Приложение 3).

5.3. По результатам контроля механических свойств металла насоса импульсного, выполненного в ППР-2010 [35], установлено, что фактические механические свойства металла момент окончания проектного срока службы энергоблока № 1 Балаковской соответствуют требованиям ПНАЭ Г-7-002-86 [11].

На этапе прогнозирования изменения механических свойств металла насоса импульсного в процессе длительной эксплуатации [35] проведен комплексный анализ результатов работ по модельному термосиловому старению металла сталей перлитного класса, из которых изготовлен рассматриваемый насос, а также анализ реальных условий эксплуатации насоса.

Выполненный анализ, а также положительные результаты натурного контроля механических свойств металла, выполненного в ППР-2010, позволяют сделать вывод, что значения прочностных и пластических свойств металла насоса импульсного на момент окончания дополнительного сверхпроектного срока службы энергоблока № 1 Балаковской АЭС (2045 г.) будут соответствовать требованиям действующих отраслевых нормативных документов, то есть не выйдут за рамки гарантированных (граничных) значений свойств, установленных в НД.

5.4. Корпусные элементы насоса импульсного изготовлены из стали перлитного класса Вст3Спб, вал насоса, на котором установлены рабочие колеса, перекачивающие среду, вращается с большой скоростью (25 оборотов/с). В связи с этим в рамках настоящей работы выполнен выборочный контроль толщины элементов насоса (цилиндрическая и торцевые части корпуса) с целью оценки степени утонения металла в процессе эксплуатации. Поскольку рабочей средой насоса импульсного является турбинное масло, то металл не подвержен коррозии. Эрозионный износ металла также отсутствует, о чем свидетельствуют результаты выполненного контроля. Результаты ультразвуковой толщинометрии элементов насоса приведены в Приложении 2, ниже выполнен анализ результатов:

- торцевая часть корпуса со стороны фланца:  $S_{\min} = 19,9 \text{ мм} < S_n = 19,0 \text{ мм}$ ;
- цилиндрическая часть корпуса:  $S_{\min} = 19,3 \text{ мм} < S_n = 18,0 \text{ мм}$ ;
- торцевая часть корпуса со стороны хвостовика:  $S_{\min} = 23,1 \text{ мм} < S_n = 23,0 \text{ мм}$ ;

Таким образом, по результатам контроля установлено, что измеренные значения толщин элементов насоса на момент окончания проектного срока эксплуатации выше номинальных толщин элементов, согласно на сборочным чертежам. Вследствие этого можно утверждать, что в течение продлеваемого срока службы насоса импульсного такое событие, как утонение стенки элементов насоса и, как следствие, потеря несущей способности (прочности) насоса может быть аргументировано исключено из рассмотрения.

5.5. При принятой модели дальнейшей эксплуатации насоса (см. Приложение 3) с учетом фактических параметров нагружения, условий и режимов работы влияние других механизмов старения (термическое старение, многоцикловая усталость, коррозионная усталость, межкуристаллитное растрескивание, общая коррозия, наводораживание) не будет доминирующим и за предполагаемый дополнительный период эксплуатации энергоблока № 1 Балаковской АЭС (30 лет) не внесёт дополнительных, значимых изменений в состояние металла насоса импульсного.

5.6. Определяющие параметры состояния металла, установленные «Программой обследования...» (см. Приложение 1) в зависимости от рассматриваемых механизмов старения металла и контролируемых эффектов старения, удовлетворяют критериям оценки состояния металла, что подтверждено результатами выполненного неразрушающего контроля. Состояние металла насоса импульсного на момент контроля соответствует требованиям проектно-конструкторской и нормативной документации.

## **6. Заключение**

6.1. Состояние насоса импульсного 1SE20D01 турбинного цеха энергоблока № 1 Балаковской АЭС – работоспособное, исправное, соответствует требованиям ПКД и НД.

6.2. Условия и режимы эксплуатации насоса импульсного 1SE20D01 турбинного цеха энергоблока № 1 Балаковской АЭС соответствуют требованиям ПКД и ЭД.

6.3. Состояние металла насоса импульсного 1SE20D01 турбинного цеха энергоблока № 1 Балаковской АЭС на момент контроля соответствует требованиям НД [11, 21].

6.4. Насос импульсный 1SE20D01 турбинного цеха энергоблока № 1 Балаковской АЭС удовлетворяет условиям прочности норм расчета ПНАЭ Г-7-002-86 [11], РД ЭО 0330-01 [12] и НП-031-01 [15]. По результатам выполненного расчетного обоснования установлено, что срок службы насоса импульсного может быть продлен до 60 лет.

6.5. Учитывая, что насос импульсный 1SE20D01 турбинного цеха энергоблока № 1 Балаковской АЭС ремонтпригоден, существующую систему ТОиР и отсутствие отказов в работе за весь период эксплуатации, насос может эксплуатироваться до 2045 года включительно при соблюдении условий и режимов эксплуатации, периодичности и объемов ТОиР с соблюдением требований действующей нормативно-технической и эксплуатационной документации [16÷29].

## **Перечень используемой документации**

- 1 НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97). Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ-88/97).
- 2 ПНАЭ Г-7-008-89. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.
- 3 НП-017-2000. Основные требования к продлению срока эксплуатации блока атомной станции.
- 4 РБ-029-04. Состав и содержание материалов по обоснованию остаточного ресурса элементов блока атомной станции для продления срока его эксплуатации.
- 5 СТО 1.1.1.01.006.0327-2008. Продление срока эксплуатации блока атомной станции.
- 6 СТО 1.1.1.01.007.0281-2010. Управление ресурсными характеристиками элементов энергоблоков атомных станций.
- 7 РД ЭО 1.1.2.09.0774-2009. Оценка технического состояния и остаточного ресурса трубопроводов, сосудов и насосов энергоблоков атомных станций. Методика.
- 8 П-01-01-2006. Перечень основных нормативных правовых актов и нормативных документов, относящихся к сфере деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору.
- 9 РД-04-31-2001. Требования к составу комплекта и содержанию документов, обосновывающих безопасность в период дополнительного срока эксплуатации блока атомной станции.
- 10 СТО 1.1.1.01.0678-2007. Основные правила обеспечения эксплуатации атомных станций.
- 11 ПНАЭ Г-7-002-86. Нормы расчёта на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.
- 12 РД ЭО 0330-01. Руководство по расчёту на прочность оборудования и трубопроводов реакторных установок РБМК и ВВЭР на стадии эксплуатации.
- 13 М-02-91. Методика определения допустимых дефектов в металле оборудования и трубопроводов во время эксплуатации АЭС.
- 14 ГОСТ 27.002-89. Надёжность в технике. Основные понятия, термины и определения.
- 15 НП-031-01. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций.
- 16 Рабочий технологический регламент безопасной эксплуатации энергоблока № 1 Балаковской АЭС с реактором ВВЭР-1000 (В-320) Р.1.ОУБ/03.
- 17 Балаковская АЭС. Энергоблок 1. Техническое обоснование безопасности сооружения и эксплуатации.
- 18 Инструкция по эксплуатации. Система автоматического регулирования и защиты турбины К-1000-60/1500-2. ИЭ.1.СЕ.ТЦ-1/32.
- 19 Регламент химического контроля качества технологических сред Балаковской АЭС Р. ХЦ/02.
- 20 ПНАЭ Г-7-010-89. Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварные соединения и наплавки. Правила контроля.
- 21 ПК 1514-72. Правила контроля сварных соединений и наплавки узлов и конструкций атомных электростанций, опытных и исследовательских ядерных реакторов и установок.
- 22 ПНАЭ Г-7-016-89. Унифицированные методики неразрушающего контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов



АЭУ. Визуальный и измерительный контроль.

23 ПНАЭ Г-7-018-89. Унифицированные методики неразрушающего контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ. Капиллярный контроль.

24 ПНАЭ Г-7-031-91. Унифицированные методики неразрушающего контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ. Ультразвуковой контроль. Часть III. Измерение толщины монометаллов, биметаллов и антикоррозионных покрытий.

25 РД ЭО 0027-05. Инструкция по определению механических свойств металла оборудования атомных электростанций безобразцовыми методами по характеристикам твердости.

26 РД ЭО 0069-97. Правила организации технического обслуживания и ремонта систем и оборудования атомных станций.

27 Общие технические условия на ремонт. ТУ ЭО 0144-2001.

28 Регламент ТОиР насосного оборудования турбинного отделения. Р.ОППР-1-27/79-02.

29 Технологическая инструкция по исправлению дефектных участков в монтажных сварных соединениях оборудования и трубопроводов АЭУ. № 18-170.00.000. НИПТиКО «Энергомонтажпроект», 1992.

30 Обобщающий отчет по результатам проведения комплексного обследования энергоблока № 1 Балаковской АЭС для продления срока эксплуатации. Балаково, 2008.

31 Отчет по результатам обследования оборудования и трубопроводов системы автоматического регулирования и защиты турбины К-1000-60/1500-2 и турбопривода ТПН ОК-12А SE энергоблока № 1 БалаАЭС. Балаково, 2007.

32 Техническая справка. Сведения об истории нагружения оборудования ТЦ-1 Балаковской АЭС с момента пуска блока по октябрь 2009 г. Балаковская АЭС, 2009 г.

33 Техническая справка. Сведения об истории нагружения оборудования ТЦ-1 Балаковской АЭС за период 1999 г. – 2009 г. Балаковская АЭС, 2009 г.

34 АТПЭ-9-03. Типовая программа эксплуатационного контроля состояния основного металла и сварных соединений оборудования и трубопроводов атомных электростанций с ВВЭР-1000 (с изменениями).

35 Технической отчет «Результаты контроля физико-механических свойств металла тепло-механического оборудования ТЦ-1 энергоблока №1 Балаковской АЭС на период окончания проектного срока эксплуатации» № 11-О-ТЦ-1-21/09, ООО НСУЦ «ЦМиР», 2010 г.

Приложение 1


Программа № 001/ТЦ-1/21-09 обследования, оценки технического состояния и  
остаточного ресурса насоса импульсного 1SE20D01 энергоблока № 1  
Балаковской АЭС, 2009 г.

Открытое акционерное общество  
«Российский концерн по производству электрической и тепловой энергии на атомных станциях»  
(ОАО «Концерн Росэнергоатом»)

**Филиал ОАО «Концерн Росэнергоатом»  
«БАЛАКОВСКАЯ АТОМНАЯ СТАНЦИЯ»  
(Балаковская АЭС)**

**УТВЕРЖДАЮ**

Главный инженер Балаковской АЭС

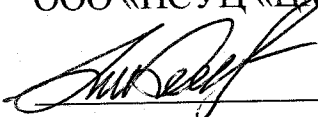
  
\_\_\_\_\_ **В.Н. Бессонов**  
« 24 » 01 2010 г.

**Программа № 001/ТЦ-1/21-09**

**обследования, оценки технического состояния и остаточного ресурса  
насоса импульсного 1SE20D01 энергоблока № 1 Балаковской АЭС**

**РАЗРАБОТАНО**

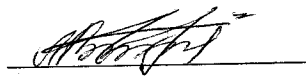
Генеральный директор  
ООО «НСУЦ «ЦМиР»

  
\_\_\_\_\_ **М.Б. Бакиров**  
« 21 » 12 2009 г.


Москва 2009

**Лист согласования должностных лиц ООО «НСУЦ «ЦМиР»**


Руководитель группы

 В.И. Левчук  
«21» 12 2009 г.

Руководитель группы

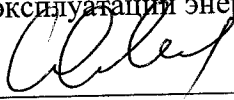
 А.П. Павлючков  
«21» 12 2009 г.

Начальник лаборатории

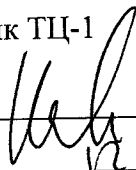
 А.А. Еремин  
«21» 12 2009 г.

**Лист согласования должностных лиц филиала  
ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Балаковская атомная станция»**

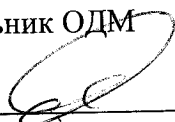
Заместитель главного инженера  
по эксплуатации энергоблоков 1,2

  
Ю.М. Марков  
«13» 01 2010 г.


Начальник ТЦ-1

  
Л.Ю. Колпаков  
«23» 12 2004 г.


Начальник ОДМ

  
С.В. Якушев  
«12» 01 2010 г.

Начальник ОМиПРО

  
И.А. Шевнина  
«12» 01 2010 г.

Начальник ОПНР

  
А.Г. Бубнов  
«12» 01 2010 г.

## ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АЭС	– атомная электростанция;
ВВЭР	– водо-водяной энергетический реактор;
ВиИК	– визуальный и измерительный контроль;
ИМС	– измерение механических свойств;
КК	– капиллярный контроль;
НД	– нормативный(ые) документ(ы);
НТД	– нормативно-техническая документация;
ОМ	– основной металл;
ПКД	– проектно-конструкторская документация;
ППР	– планово-предупредительный ремонт;
ПСС	– продление срока службы;
РД	– руководящий документ;
ТОБ	– техническое обоснование безопасности;
ТОиР	– техническое обслуживание и ремонт;
ТЦ	– турбинный цех;
УЗТ	– ультразвуковая толщинометрия;
ХТГЗ	– Харьковский турбинный завод;
ЭК	– эксплуатационный контроль;
Р	– давление;
Т	– температура.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель программы, назначение, область применения .....	6
2. Общие положения.....	6
3. Проведение анализа технической и эксплуатационной документации.....	7
4. Результаты анализа технической и эксплуатационной документации.....	7
4.1. Сведения об исходных данных.....	7
4.2. Сведения о результатах контроля металла.....	9
4.3. Сведения о ремонтах, модернизациях, реконструкциях.....	9
4.4. Сведения об отклонениях показателей качества рабочей среды от нормируемых значений.....	9
4.5. Сведения об отказах .....	9
4.6. Сведения об условиях и режимах эксплуатации .....	9
4.7. Установление механизмов старения и определяющих параметров состояния металла элементов насоса .....	10
5. Методы и объемы контроля технического состояния .....	10
6. Объем дополнительных работ по восстановлению недостающих исходных данных.....	12
7. Алгоритм оценки технического состояния.....	13
8. Алгоритм оценки остаточного ресурса .....	14
9. Требования по оформлению результатов обследования, оценки технического состояния и остаточного ресурса оборудования.....	15
Перечень используемой документации.....	16
Приложение 1. Схема контроля металла насоса импульсного .....	18

## **1. Цель программы, назначение, область применения**

1.1. Программа обследования, оценки технического состояния и остаточного ресурса (далее по тексту – программа обследования) разработана для корпусных элементов насоса импульсного 1SE20D01 системы автоматического регулирования и защиты турбины К-1000-60/1500-2 турбинного цеха энергоблока № 1 Балаковской АЭС (далее по тексту – насос импульсный) в связи с продлением срока эксплуатации энергоблока № 1 Балаковской АЭС сверх назначенного 30-летнего срока службы.

1.2. Цель программы обследования состоит в организации выполнения работ, установлении их порядка, определении и конкретизации методов и объемов контроля насоса импульсного в рамках реализации работ по оценке его технического состояния и остаточного ресурса в соответствии с положениями и требованиями действующей отраслевой нормативно-технической документации (НТД).

1.3. Результаты работ, выполненные в соответствии с программой обследования, будут являться основанием для принятия решения о возможности и условиях дальнейшей эксплуатации насоса импульсного, исходя из прогнозируемого срока продления эксплуатации энергоблока № 1 Балаковской АЭС на 30 лет (до 2045 г.).

## **2. Общие положения**

2.1. Настоящая программа обследования разработана в соответствии с НП 017-2000 [1], РБ-029-04 [2], СТО 1.1.1.01.006.0327-2008 [3], РД ЭО 0281-01 [4] и РД ЭО 1.1.2.09.0774-2009 [5] в обеспечение выполнения п.2.1.11 ПНАЭ Г-7-008-89 [6] и п.5.1.14 НП-001-97 [7].

2.2. Программа обследования разработана в рамках реализации работ по договору № 21/09 от 28.09.2009 г. «На проведение работ по оценке и обоснованию технического состояния и остаточного ресурса оборудования ТЦ-1 энергоблока № 1 Балаковской АЭС в период дополнительного срока эксплуатации энергоблока № 1», заключенному между ОАО «Концерн Энергоатом» и ООО «НСУЦ «ЦМиР».

2.3. Обследованию по настоящей программе подвергается насос импульсный энергоблока № 1 Балаковской АЭС. В результате выполнения программы обследования осуществляется оценка технического состояния насоса импульсного и после проведения прочностных расчетов дается обоснование его остаточного ресурса.

2.4. В соответствии с п. 7.2.8 СТО 1.1.1.01.006.0327-2008, п. 6.9 РД ЭО 0281-01 и п. 4.4.1 РД ЭО 1.1.2.09.0774-2009 устанавливается следующий порядок согласования и утверждения программы обследования насоса импульсного:

- программа обследования согласовывается с привлекаемыми к работам специализированными организациями и подразделениями Балаковской АЭС;
- программа обследования утверждается главным инженером Балаковской АЭС.

2.5. Термины и определения, применяемые в настоящей программе обследования, соответствуют РД ЭО 0281-01 [4].

2.6. При проведении работ по настоящей программе обследования следует соблюдать требования Норм и Правил, действующих в области использования атомной энергии, в соответствии с «Перечнем...» П-01-01-2006 [8].



### 3. Проведение анализа технической и эксплуатационной документации

При разработке программы обследования проанализирована следующая техническая и эксплуатационная документация:

- требования правил, норм и руководящие документы в области использования атомной энергии [1÷15];
- рабочий технологический регламент безопасной эксплуатации энергоблока № 1 Балаковской АЭС с реактором ВВЭР-1000 (В-320) [16];
- техническое обоснование безопасности (ТОБ) сооружения и эксплуатации энергоблока № 1 Балаковской АЭС [17];
- эксплуатационная документация [18, 19];
- документация по эксплуатационному контролю металла [20÷25];
- документация по техническому обслуживанию и ремонту [26÷29];
- результаты комплексного обследования энергоблока №1 Балаковской АЭС [30];
- результаты обследования оборудования и трубопроводов системы автоматического регулирования и защиты турбины К-1000-60/1500-2 энергоблока № 1 Балаковской АЭС [31];
- сборочный чертеж Б 470-01-60СБ;
- данные по режимам и условиям эксплуатации.

### 4. Результаты анализа технической и эксплуатационной документации

#### 4.1. Сведения об исходных данных

Сведения об исходных данных на насос импульсный систематизированы по результатам анализа проектно-конструкторской и эксплуатационной документации и представлены в таблице 4.1. Данные о ресурсных характеристиках насоса импульсного в проектной (конструкторской) документации отсутствуют, но так как насос импульсный является неотъемлемой частью турбины, срок службы определен 30 лет.

Таблица 4.1

Наименование	Данные о насосе
АЭС	Балаковская
Номер блока	1
Наименование и обозначение системы	Система автоматического регулирования и защиты турбины К-1000-60/1500-2 1SE
Цех-владелец	ТЦ-1
Станционное обозначение	1SE20D01
Паспорт/проект	черт. Б 470-01-60СБ, Б 470-01-61СБ, Б 470-01-62СБ
Местонахождение	Передний стул турбины К-1000-60/1500-2
Класс безопасности по НП-001-97	3Н
Группа по ПН АЭГ-7-008-89	Не классифицируется
Категория сейсмостойкости по НП-031-01	IIб
Проектная (конструкторская) организация	ХТГЗ им. Кирова, г. Харьков
Техническая позиция по проекту	Черт. Б 470-01-60СБ
Предприятие изготовитель	ХТГЗ им. Кирова, г. Харьков
Документы на изготовление и поставку	Совместно с турбиной
Монтажная организация	Трест «Волгоэнергомонтаж»

Таблица 4.1 (продолжение)

Наименование		Данные о насосе			
Дата окончания монтажа		1985 г.			
Дата ввода в эксплуатацию		1985 г.			
Тип насоса		Центробежный, двухступенчатый			
Особенности конструкции		Разборная конструкция, корпус насоса – литой, состоит из двух частей			
Марка основного металла корпуса		Не установлена			
Сведения о термообработке		Не требуется			
Геометрические размеры основных элементов	Элемент насоса	Диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Длина (высота), мм	
	Корпус	–	–	–	
	Вал	66, 80, 120, 152, 260	–	1150	
	Колеса рабочие	–	–	–	
Ресурсные характеристики по проектной (конструкторской) документации		30 лет			
Эксплуатационные параметры насоса при работе турбины под нагрузкой	Давление на всасе, кгс/см <sup>2</sup>		1,20÷1,30		
	Давление на напоре, кгс/см <sup>2</sup>		7,2±0,1		
	Температура перекачиваемой среды, °С		55		
	Номинальная частота вращения, об/мин		1500		
Рабочая среда		Масло			

Система автоматического регулирования и защиты турбины К-1000-60/15000-2 по влиянию на безопасность относится к системам нормальной эксплуатации, важным для безопасности. Согласно ТОБ насос импульсный, работающий в составе системы автоматического регулирования и защиты турбины К-1000-60/15000-2 и являющийся неотъемлемой частью турбины, имеет классификационное обозначение ЗН в соответствии с НП-001-97, категорию сейсмостойкости Пб согласно НП-031-01, по ПНАЭ Г-7-008-89 не классифицируется.

По итогам анализа исходных данных, собранных по насосу импульсному, установлено, что объем имеющихся данных является недостаточным для построения расчетной модели и последующего проведения прочностных расчетов в соответствии с действующими НТД в рамках реализации работ по продлению срока службы (ПСС), в частности, отсутствуют исходные данные по следующим позициям:

- корпус насоса (обе половины), включая опорную конструкцию насоса – геометрические размеры, марка стали;
- патрубки подвода/отвода масла – геометрические размеры, марка стали;
- фланцевые разъемные соединения корпуса и патрубков – геометрические размеры, марка стали.

#### 4.2. Сведения о результатах контроля металла

«Типовая программа...» АТПЭ-9-03 [32] не регламентирует объемы и периодичность эксплуатационного контроля (ЭК) состояния металла насоса импульсного. Действующими на энергоблоке № 1 Балаковской АЭС инструкциями проведение периодического ЭК металла насоса импульсного неразрушающими методами также не предусмотрено.

#### 4.3. Сведения о ремонтах, модернизациях, реконструкциях

Стратегия ТОиР для поддержания работоспособного, исправного технического состояния насоса импульсного в процессе эксплуатации предусматривает проведение капитального ремонта насоса 1 раз в 4 года.

За время эксплуатации ремонтов с применением сварки, модернизаций и реконструкций насоса импульсного не проводилось.

#### 4.4. Сведения об отклонениях показателей качества рабочей среды от нормируемых значений

На Балаковской АЭС контроль показателей качества рабочей среды насоса импульсного – турбинного масла – осуществляется в соответствии с «Регламентом...» Р. ХЦ/02 [19].

Контролируемые показатели качества турбинного масла, их допустимые значения, а также периодичность проведения контроля приведены в разделе 14 «Регламента...». Случаев нарушения показателей качества турбинного масла за все время эксплуатации не зафиксировано.

#### 4.5. Сведения об отказах

За весь период эксплуатации насоса импульсного отказов с нарушением пределов безопасной эксплуатации насоса, а также отклонений от рабочих режимов нормальной эксплуатации не зафиксировано.

#### 4.6. Сведения об условиях и режимах эксплуатации

В проектной (конструкторской) документации данные по допускаемому числу и виду эксплуатационных режимов насоса импульсного отсутствуют, то есть, количество режимов проектом не устанавливается. Контролируемые показатели вибрации элементов насоса импульсного не выходят за пределы, установленные проектно-конструкторской и нормативной документацией. Данные по условиям и режимам эксплуатации насоса импульсного на период до октября 2009 г. (см. [33, 34]) представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Эксплуатационные режимы	Количество по проекту	Фактическое число циклов за период 1985÷2009 гг.	Фактическое число циклов за последние 10 лет
Пуск / останов с параметрами: $T = 50^{\circ}\text{C}$ ; $P = 7,3 \text{ кгс/см}^2$	Проектом не устанавливается	30	10

#### 4.7. Установление механизмов старения и определяющих параметров состояния металла элементов насоса

Анализ проектно-конструкторской и эксплуатационной документации (пп. 4.1 – 4.6) позволяет установить механизмы старения металла элементов насоса импульсного, определяющие его техническое состояние и остаточный ресурс.

Контролируемые эффекты старения, механизмы старения, определяющие параметры состояния и критерии оценки состояния металла элементов насоса импульсного представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3

Элемент насоса	Контролируемый эффект старения	Механизм старения металла	Определяющие параметры состояния металла	Критерии оценки состояния металла
Корпус (основной металл)	Утонение стенки	Эрозионно-коррозионный износ	Толщина стенки	Прогнозируемая толщина стенки больше минимально допустимой (в соответствии с ПКД и расчетами на прочность)
	Изменение механических свойств	Малоцикловая усталость	Предел прочности, предел текучести, относительное удлинение, относительное сужение	Соответствие механических свойств требованиям ПКД и НД [6, 11]
	Растрескивание	Малоцикловая усталость	Геометрические размеры трещин (протяженность, глубина, раскрытие, ориентация в пространстве)	Отсутствие трещин (линейных индикаторных следов) по результатам ВиИК (КК) [21]
Крепежные элементы (болты, шпильки, винты)	Растрескивание, вытягивание резьбы, выкрашивание ниток резьбы	Малоцикловая усталость, многоцикловая усталость вследствие вибрационных нагрузок	Геометрические размеры трещин (протяженность, глубина, раскрытие, ориентация в пространстве); геометрические размеры дефектов металла резьбы.	Отсутствие трещин (линейных индикаторных следов) по результатам ВиИК (КК) [21]; соответствие металла крепежных элементов требованиям ПКД

#### 5. Методы и объемы контроля технического состояния

Выбор методов, объемов и мест дополнительного контроля состояния металла насоса импульсного в рамках работ по ПСС определен исходя из:

- требований нормативно-технической документации;
- анализа проектно-конструкторской и эксплуатационной документации;
- определяющих параметров технического состояния металла;
- возможности доступа к контролируемому участку.

Методы контроля определяющих параметров состояния металла, используемые для оценки технического состояния насоса импульсного, представлены ниже:

- ВиИК в соответствии с ПНАЭ Г-7-016-89 «Унифицированные методики неразрушающего контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ. Визуальный и измерительный контроль» [22];

- КК в соответствии с ПНАЭ Г-7-018-89 «Унифицированные методики неразрушающего контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ. Капиллярный контроль» [23];
- УЗТ в соответствии ПНАЭ Г-7-031-91 «Унифицированные методики неразрушающего контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ. Ультразвуковой контроль. Часть III. Измерение толщины монометаллов, биметаллов и антикоррозионных покрытий» [24];
- ИМС в соответствии с РД ЭО 0027-05 «Инструкция по определению механических свойств металла оборудования атомных электростанций безобразцовыми методами по характеристикам твердости» [25].

На Балаковской АЭС в процессе эксплуатации не проводится периодический контроль состояния металла насоса импульсного неразрушающими методами. В связи с этим в рамках реализации текущих работ по ПСС устанавливается дополнительный контроль металла элементов насоса импульсного методами ВиИК, КК, УЗТ и ИМС, выполняемый ООО «НСУЦ «ЦМиР». Результаты дополнительного контроля насоса импульсного будут использованы для проверки соответствия критериев оценки состояния металла насоса требованиям ПКД и НД.

С учетом оговоренных выше условий в таблице 5.1 определены места, методы и объемы контроля для оценки технического состояния насоса импульсного.

Подготовка рабочих мест контроля должна включать обеспечение доступа к объекту контроля, разборку крепежных элементов и освещение рабочих площадок. Подготовку поверхности металла в местах контроля методами ВиИК, КК выполнить в соответствии с [22, 23]. В местах проведения УЗТ основного металла зачистить площадку 50х50 мм, подготовку поверхности выполнить в соответствии с [24]. В местах измерения механических свойств зачистить площадку 50х50 мм до параметра шероховатости  $R_z \leq 0$ . Места контроля обозначены на схеме контроля (см. Приложение 1).

Таблица 5.1

Наименование узлов и элементов насоса	Метод контроля, НД	Объем контроля	Примечание
Корпус насоса (основной металл)	ВиИК [22]	100%	
	КК [23]	По результатам ВиИК	
	УЗТ [24]	В 4-х зонах через 90° по периметру на цилиндрических и торцевых частях корпусов	В каждой зоне выполнить не менее 5 измерений и определить минимальную толщину стенки.
	ИМС [25]	2 площадки	7-10 точек для ОМ цилиндрической и торцевой частей верхнего корпуса.
Крепежные элементы: болты М10х25, М16х55; шпильки 1А-М16х40; винты М6/16.	ВиИК [22]	100% для 2-х болтов, шпилек, винтов каждого типоразмера	
	КК [23]	По результатам ВиИК	

Контроль металла должен выполняться персоналом, аттестованным в установленном порядке в соответствии с требованиями ПНАЭ Г-7-010-89.

Средства измерения, применяемые при контроле, а также нормы оценки качества должны быть указаны в отчетной документации по контролю металла.

Результаты контроля металла методами ВиИК, КК, УЗТ должны быть оформлены протоколами (актами, заключениями) в установленном порядке и зарегистрированы в журнале учета результатов контроля в соответствии с требованиями НД. При обнаружении несплошностей, превышающих нормы оценки качества, следует руководствоваться требованиями действующих НД.

Результаты контроля механических свойств металла должны быть оформлены в виде итогового технического отчета по контролю механических свойств металла тепломеханического оборудования ТЦ-1 энергоблока №1 Балаковской АЭС на период окончания проектного срока эксплуатации. Технический отчет должен включать прогноз изменения механических свойств металла оборудования на планируемый срок эксплуатации энергоблока №1 Балаковской АЭС за пределами 30-летнего срока службы.

## **6. Объем дополнительных работ по восстановлению недостающих исходных данных**

Балаковской АЭС в ППР-2010 необходимо организовать работы по восстановлению недостающих исходных данных на насос импульсный, которые необходимы для проведения прочностных расчетов на следующем этапе работы.

Для этих целей необходимо выполнить измерение геометрических размеров и определить марки стали по следующим элементам:

- корпус насоса (обе половины), включая опорную конструкцию насоса – геометрические размеры, марка стали;
- патрубки подвода/отвода масла – геометрические размеры, марка стали;
- фланцевые разъемные соединения корпуса и патрубков – геометрические размеры, марка стали.

Измерение геометрических размеров и контроль химического состава металла с последующим определением марок стали допускается провести на одном типовом элементе: корпус, патрубок, фланец. Если невозможно измерить толщину элемента непосредственно с помощью измерительных инструментов, то в этом случае для измерения толщины допускается использование ультразвукового толщиномера.

Требования к зачистке поверхности (зоны, параметры шероховатости), разборке разъемных соединений определяет непосредственно подразделение Балаковской АЭС, назначенное ответственным за проведение конкретного вида измерений или контроля.

В рамках договорных обязательств, действующих между Балаковской АЭС и ООО «НСУЦ «ЦМиР», недостающие исходные данные, указанные выше, должны быть восстановлены в ППР-2010 специалистами Балаковской АЭС в рамках выполнения работ по настоящей программе обследования и переданы в адрес ООО «НСУЦ «ЦМиР».

## **7. Алгоритм оценки технического состояния**

7.1. После проведения контроля металла насоса импульсного (далее по тексту – оборудования), выполненного в соответствии с настоящей программой обследования, необходимо выполнить анализ результатов контроля и установить фактические значения определяющих параметров состояния металла оборудования.

7.2. При удовлетворении значений фактических определяющих параметров состояния металла оборудования значениям, установленным конструкторской документацией и действующими НД, сравнить сведения о фактической истории нагружения оборудования с принятой в проекте последовательностью во времени режимов работы и нагружения.

Если фактические параметры нагружения – скорости изменения и абсолютные значения температуры и давления, вибрационные нагрузки, количество циклов соответствующих режимов, последовательность режимов, значения перемещений, параметры среды – не превышали проектных или нормируемых параметров и значений, то принимается решение о соответствии оборудования требованиям, установленным конструкторской (проектной) документацией и действующими НД, и целесообразности проведения работ по техническому обоснованию продления срока службы оборудования.

Если фактические параметры нагружения – скорости изменения и абсолютные значения температуры и давления, вибрационные нагрузки, количество циклов соответствующих режимов, последовательность режимов, значения перемещений, параметры среды – превышали проектные или нормируемые параметры и значения, то принимается решение о выводе оборудования из эксплуатации или необходимости выполнения расчета на прочность и соответствующих оценок с учетом фактических режимов нагружения и фактических значений определяющих параметров состояния металла с целью подтверждения остаточного ресурса (срока службы) оборудования. На основании анализа результатов расчета и оценок принимается решение о проведении работ по обоснованию возможного срока безопасной эксплуатации оборудования, и/или ремонте (замене отдельных узлов оборудования или оборудования в целом).

7.3. При превышении фактических значений определяющих параметров состояния металла оборудования допускаемым значениям может быть выполнен расчет на прочность и оценки в соответствии с требованиями действующей НД (например, РД ЭО 0330-01) и действующих методик расчета на прочность при наличии трещиноподобных дефектов с учетом фактических режимов нагружения и фактических значений определяющих параметров состояния металла с целью подтверждения остаточного ресурса (срока службы).

Методы, используемые при расчетах на прочность, должны быть консервативными для того, чтобы скомпенсировать неопределенность исходной информации.

Применяемые программы при расчете на прочность должны быть аттестованы в установленном порядке.

На основании анализа результатов расчетов принять решение о проведении работ по техническому обоснованию возможного срока безопасной эксплуатации оборудования, и/или ремонте (замене отдельных узлов оборудования или оборудования в целом), модернизации или реконструкции оборудования.

7.4. Расчеты на прочность выполнять с учетом реального состояния опор оборудования, их целостности и работоспособности.

## 8. Алгоритм оценки остаточного ресурса

8.1. При положительных результатах контроля металла для оценки остаточного ресурса выполнить расчеты на прочность оборудования в полном объеме требований ПНАЭ Г-7-002-86 и/или других действующих НД (например, РД ЭО 0330-01, НП-031-01).

Если при оценке технического состояния оборудования будут обнаружены дефекты или несплошности, превышающие допустимые по ПК 1514-72 и ПНАЭ Г-7-010-89, рекомендуется использовать соответствующие НД (например, РД ЭО 0330-01).

8.2. Для подтверждения остаточного ресурса установить модель предполагаемых эксплуатационных нагрузок. В качестве модели ежегодных нагрузок принять спектр усредненных нагрузок за последние 10 лет эксплуатации или установить другую модель нагрузок на основе предполагаемых условий и режимов дальнейшей эксплуатации.

На основе принятой модели эксплуатации установить количество циклов нагружения  $N_i$  для каждого режима.

8.3. Выполнить расчет циклической прочности в соответствии с действующей нормативной документацией (например, РД ЭО 0330-01) за период эксплуатации и предполагаемого дополнительного срока эксплуатации оборудования при необходимости с учетом:

- изменений механических свойств;
- изменений толщины стенки оборудования вследствие эрозионно-коррозионного износа;
- влияния среды на зарождение и развитие трещиноподобных повреждений;
- максимальных отклонений геометрических размеров свариваемых узлов оборудования от номинальных;
- влияния вибрационных нагрузок;
- других, влияющих на ресурсные характеристики, факторов.

В результате расчета циклической прочности оборудования получить допускаемое число циклов нагружения  $[N_0]_i$  для режимов, соответствующих принятой модели эксплуатации в предполагаемый дополнительный срок эксплуатации.

Проверить условие прочности оборудования на предполагаемый период эксплуатации по формуле

$$\sum_{i=1}^k \frac{N_i}{[N_0]_i} = a \leq [a_N]$$

где  $a$  – накопленное усталостное повреждение, предельное значение которого  $[a_N] = 1$ .

Если  $a > 0,8$ , выполнить расчет циклической прочности с учетом сейсмических воздействий.

8.4. Ресурс оборудования в течение предполагаемого периода эксплуатации обеспечен при подтверждении условий прочности расчетами, выполненными в соответствии с действующими НД (например, с РД ЭО 0330-01).



## **9. Требования по оформлению результатов обследования, оценки технического состояния и остаточного ресурса оборудования**

9.1. Специализированная организация ООО «НСУЦ «ЦМиР», проводящая работы по оценке технического состояния и остаточного ресурса оборудования, разрабатывает и оформляет следующую документацию:

- Программу обследования;
- Рабочую программу контроля;
- поверочные расчеты на прочность;
- итоговый технический отчет по контролю механических свойств;
- Заключение о техническом состоянии и остаточном ресурсе оборудования, которое согласовывается с главным инженером Балаковской АЭС, привлекаемыми к работам предприятиями и организациями и утверждается руководством ООО «НСУЦ «ЦМиР».

9.2. По результатам оценки технического состояния и остаточного ресурса оборудования оформляется Решение о возможности и условиях дальнейшей эксплуатации оборудования.

К Решению прилагается Заключение о техническом состоянии и остаточном ресурсе оборудования (со всеми приложениями), в том числе отчетная документация по контролю состояния металла оборудования (акты, протоколы, заключения) и расчеты на прочность оборудования с учетом его эксплуатации за пределами срока, установленного в проектной (конструкторской) документации.

Решение о возможности и условиях дальнейшей эксплуатации подписывается членами комиссии, согласовывается с привлекаемыми к работам специализированными организациями и утверждается главным инженером Балаковской АЭС.

ООО «НСУЦ «ЦМиР», в рамках взятых на себя договорных обязательств, разрабатывает проект Решения, на основании которого Балаковская АЭС оформляет Решение в установленном порядке, включая его согласование и утверждение.

9.3. Решение о возможности и условиях дальнейшей эксплуатации прилагается к проектно-конструкторской документации на оборудование.

9.4. Документацию по пп. 9.1 – 9.2 рекомендуется внести в базу данных по контролю и управлению ресурсными характеристиками оборудования энергоблока АЭС.

9.5. Если при оценке технического состояния и остаточного ресурса будет установлено, что возникновение повреждений, дефектов связано с режимами эксплуатации или конструктивными особенностями оборудования, то специализированная организация ООО «НСУЦ «ЦМиР», проводившая оценку технического состояния и остаточного ресурса, должна уведомить об этом центральный аппарат ОАО «Концерн Росэнергоатом» с целью принятия мер по предотвращению выявленных причин.

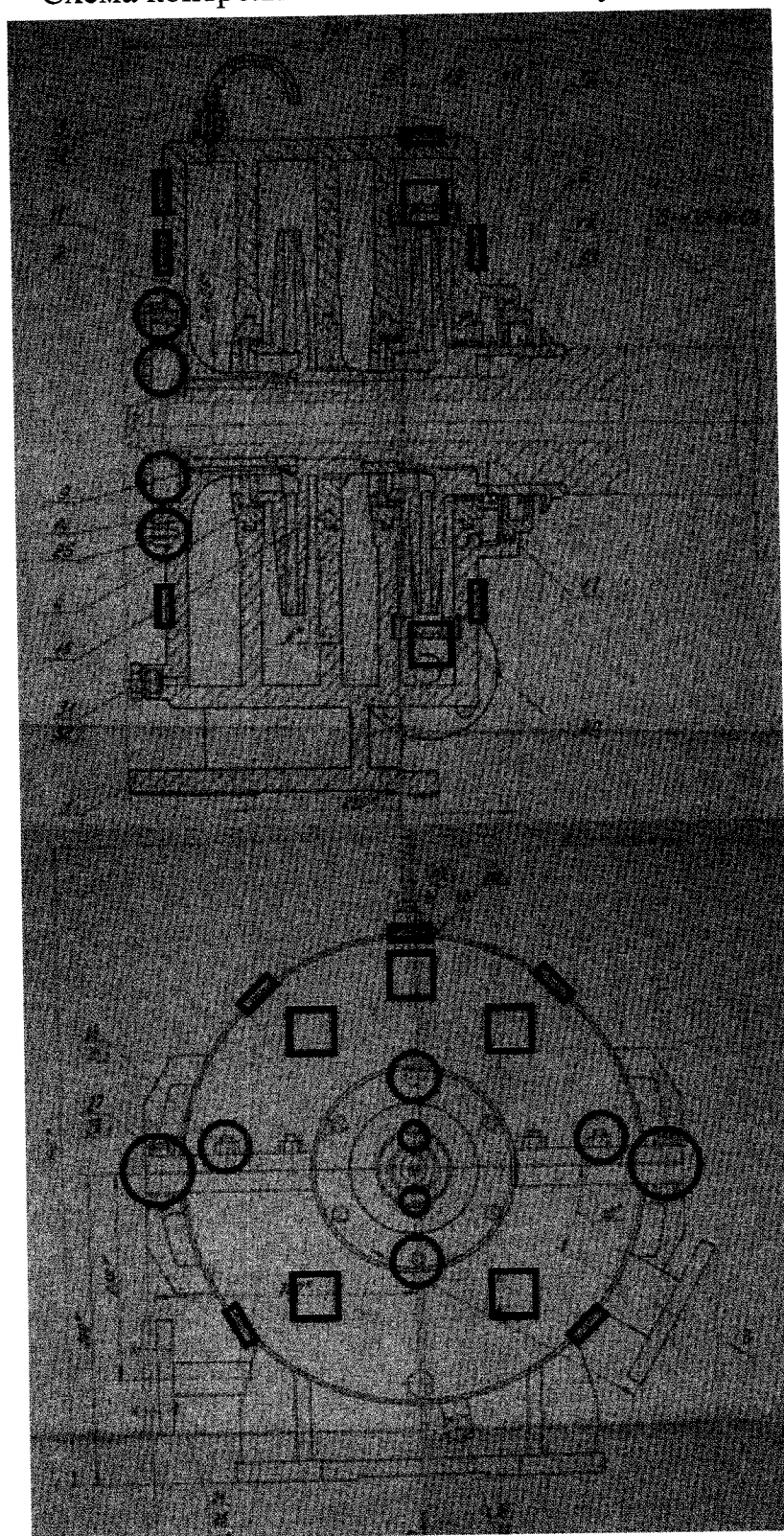
## Перечень используемой документации

- 1 НП-017-2000. Основные требования к продлению срока эксплуатации блока атомной станции.
- 2 РБ-029-04. Состав и содержание материалов по обоснованию остаточного ресурса элементов блока атомной станции для продления срока его эксплуатации.
- 3 СТО 1.1.1.01.006.0327-2008. Продление срока эксплуатации блока атомной станции.
- 4 РД-ЭО-0281-01. Положение по управлению ресурсными характеристиками элементов энергоблоков АС.
- 5 РД ЭО 1.1.2.09.0774-2009. Оценка технического состояния и остаточного ресурса трубопроводов, сосудов и насосов энергоблоков атомных станций. Методика.
- 6 ПНАЭ Г-7-008-89. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.
- 7 НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97). Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ-88/97).
- 8 П-01-01-2006. Перечень основных нормативных правовых актов и нормативных документов, относящихся к сфере деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору.
- 9 РД-04-31-2001. Требования к составу комплекта и содержанию документов, обосновывающих безопасность в период дополнительного срока эксплуатации блока атомной станции.
- 10 СТО 1.1.1.01.0678-2007. Основные правила обеспечения эксплуатации атомных станций.
- 11 ПНАЭ Г-7-002-86. Нормы расчёта на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.
- 12 РД ЭО 0330-01. Руководство по расчёту на прочность оборудования и трубопроводов реакторных установок РБМК и ВВЭР на стадии эксплуатации.
- 13 М-02-91. Методика определения допустимых дефектов в металле оборудования и трубопроводов во время эксплуатации АЭС.
- 14 ГОСТ 27.002-89. Надёжность в технике. Основные понятия, термины и определения.
- 15 НП-031-01. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций.
- 16 Рабочий технологический регламент безопасной эксплуатации энергоблока № 1 Балаковской АЭС с реактором ВВЭР-1000 (В-320) Р.1.ОУБ/03.
- 17 Балаковская АЭС. Энергоблок 1. Техническое обоснование безопасности сооружения и эксплуатации.
- 18 Инструкция по эксплуатации. Система автоматического регулирования и защиты турбины К-1000-60/1500-2. ИЭ.1.СЕ.ТЦ-1/32.
- 19 Регламент химического контроля качества технологических сред Балаковской АЭС Р. ХЦ/02.
- 20 ПНАЭ Г-7-010-89. Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварные соединения и наплавки. Правила контроля.
- 21 ПК 1514-72. Правила контроля сварных соединений и наплавки узлов и конструкций атомных электростанций, опытных и исследовательских ядерных реакторов и установок.

- 22 ПНАЭ Г-7-016-89. Унифицированные методики неразрушающего контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ. Визуальный и измерительный контроль.
- 23 ПНАЭ Г-7-018-89. Унифицированные методики неразрушающего контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ. Капиллярный контроль.
- 24 ПНАЭ Г-7-031-91. Унифицированные методики неразрушающего контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ. Ультразвуковой контроль. Часть III. Измерение толщины металлов, биметаллов и антикоррозионных покрытий.
- 25 РД ЭО 0027-05. Инструкция по определению механических свойств металла оборудования атомных электростанций безобразцовыми методами по характеристикам твердости.
- 26 РД ЭО 0069-97. Правила организации технического обслуживания и ремонта систем и оборудования атомных станций.
- 27 Общие технические условия на ремонт. ТУ ЭО 0144-2001.
- 28 Регламент ТОиР насосного оборудования турбинного отделения. Р.ОППР-1-27/79-02.
- 29 Технологическая инструкция по исправлению дефектных участков в монтажных сварных соединениях оборудования и трубопроводов АЭУ. № 18-170.00.000. НИПТиКО «Энергомонтажпроект», 1992.
- 30 Обобщающий отчет по результатам проведения комплексного обследования энергоблока № 1 Балаковской АЭС для продления срока эксплуатации. Балаково, 2008.
- 31 Отчет по результатам обследования оборудования и трубопроводов системы автоматического регулирования и защиты турбины К-1000-60/1500-2 и турбопривода ТПН ОК-12А SE энергоблока № 1 БалАЭС. Балаково, 2007.
- 32 АТПЭ-9-03. Типовая программа эксплуатационного контроля состояния основного металла и сварных соединений оборудования и трубопроводов атомных электростанций с ВВЭР-1000 (с изменениями).
- 33 Техническая справка. Сведения об истории нагружения оборудования ТЦ-1 Балаковской АЭС с момента пуска блока по октябрь 2009 г. Балаковская АЭС, 2009 г.
- 34 Техническая справка. Сведения об истории нагружения оборудования ТЦ-1 Балаковской АЭС за период 1999 г. – 2009 г. Балаковская АЭС, 2009 г.

## Приложение 1

### Схема контроля металла насоса импульсного



- – ВиИК, КК по результатам ВиИК (прим.: на схеме указаны контролируемые крепежные детали; контроль ОМ корпуса – в объеме 100 %)
- – УЗТ
- – ИМС

Комплект актов, протоколов контроля металла насоса импульсного 1SE20D01  
турбинного цеха энергоблока №1 Балаковской АЭС

Филиал ОАО «Концерн «Росэнергоатом»

«Балаковская атомная станция»

(Балаковская АЭС)

Отдел дефектоскопии металлов

и технического контроля

Энергоблок № 1, ТО

## ПРОТОКОЛ

от 10.02.2010г. № ОДМ и ТК -1-14/843

Визуального контроля  
Насос импульсный 1SE20D01

**1. ОБЪЕКТ КОНТРОЛЯ:** Насос импульсный 1SE20D01, черт. Б-470-01-60СБ, Ду500, завод-изготовитель: ХТГЗ им. Кирова, г. Харьков. Материал корпуса-Вст.3сп5, крепежные элементы: болты: М10х25, материал-30Х13; М16х55, материал-25Х1МФ; шпильки М16х40-материал-ст.35; винты М6/16 материал-ст.35.

**2. ЦЕЛЬ КОНТРОЛЯ:** Оценка состояния основного металла согласно п.16.21 «Рабочей программы контроля...» № РП.ОДМ-08/1-2010 , п. 6.1. «Рабочей программы...» № РП.ЦМиР/ТЦ-1/21-09.

**3. МЕТОДЫ И ОБЪЕМ КОНТРОЛЯ:** Визуальный контроль согласно ПНАЭГ-7-016-89, АТПЭ 9-03.

Дата проведения контроля: 08.02.2010г, с 10-00 до 16 часов.

Освещенность в зоне контроля в соответствии с ПНАЭГ-7-016-89.

Измерительный инструмент: не применялся, оптические приборы – лупа 7-ми крат.

3.1. Корпус насоса, основной металл - в объеме 100%.

3.2. Крепежные элементы:

- болты М10х25-2 шт;
- болты М16х55-2 шт;
- шпильки М16х40-2 шт;
- винты М6/16-2 шт.

**4. РЕЗУЛЬТАТЫ КОНТРОЛЯ:** При визуальном контроле по п. 3.1., 3.2. настоящего протокола дефектов не выявлено.

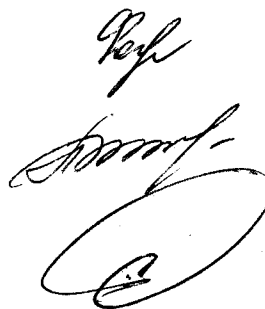
**5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** Визуальный контроль насоса импульсного 1SE20D01 проведен в объеме п.16.21 «Рабочей программы контроля...» № РП.ОДМ-08/1-2010 , п. 6.1. «Рабочей программы...» № РП.ЦМиР/ТЦ-1/21-09.

Дефектов не обнаружено.

Инженер ОДМ и ТК

Ст. мастер ОДМ и ТК

Начальник ОДМ и ТК

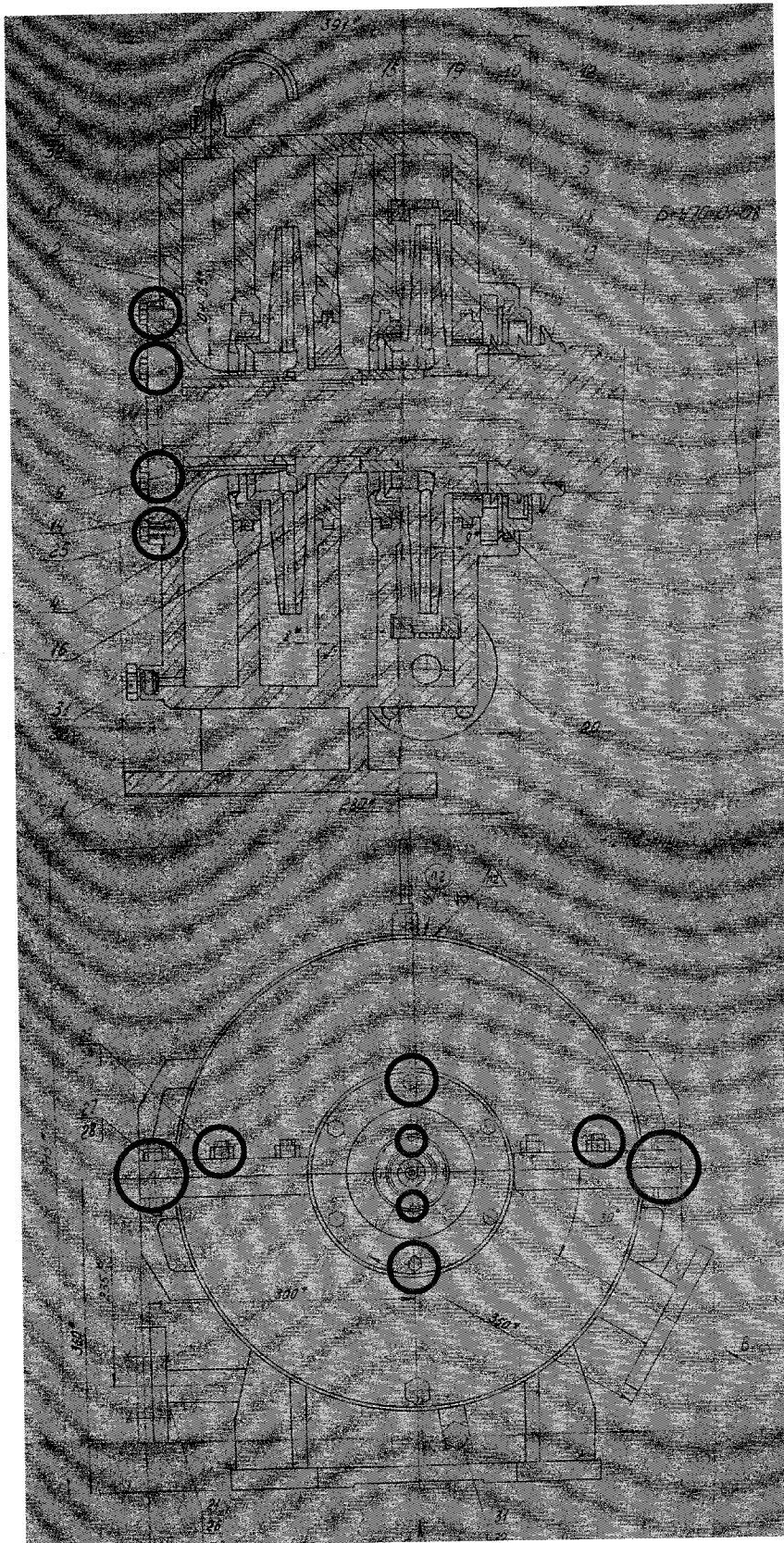


В.С. Фомин

П.В. Жидких

С.В. Якушев

Схема контроля



○ – ВиИК (примечание: на схеме указаны контролируемые крепежные детали; контроль основного металла корпуса – в объеме 100 %)

Составил: инженер ОДМ и ТК:

В.С. Фомин



энергоблок № 1  
ООО «НСУЦ «ЦМиР»  
наименование организации, проводившей контроль

по результатам ультразвукового измерения толщины

ОТ « 08 » 02 201 0 г.

дата пров. контр. « 03 » 02 201 0 г.

идентификационные данные объекта контроля

наименование выполненного контроля

НТД на контрол и оценка на квалитетот

цель контроля п. 16.21.1 РП.ОДМ-08/1-2010, п. 6.1 Рабочей программы РП.ЦМиР/ТЦ-1/21-09.  
№ п. № РП.О. заявка, тех. процесс, № тех. карты УЗТ

## результаты измерений

Контроль выполнил ведущий инженер

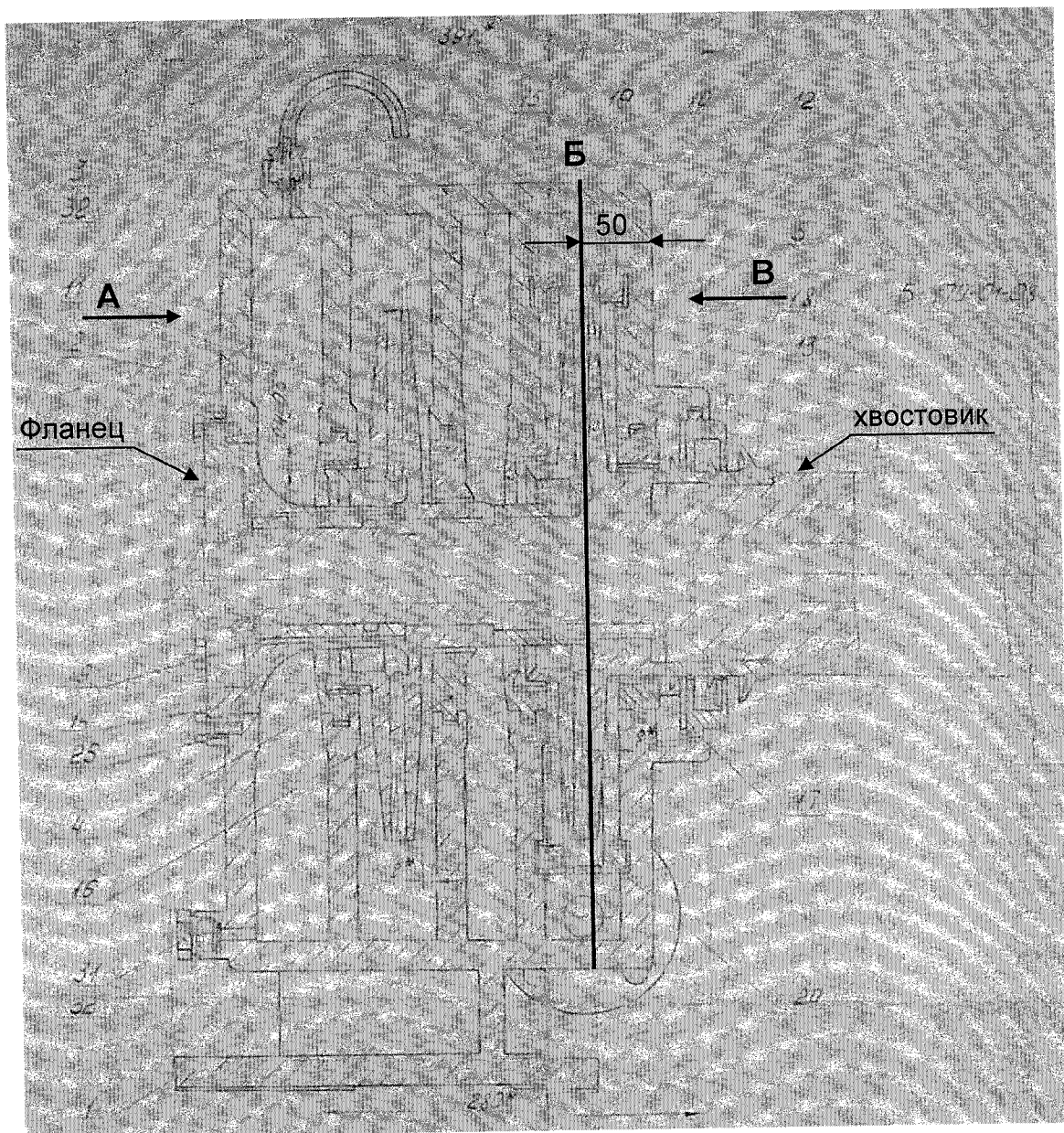
должность, Фамилия и инициалы, подпись

должность, Фамилия и инициалы, подпись

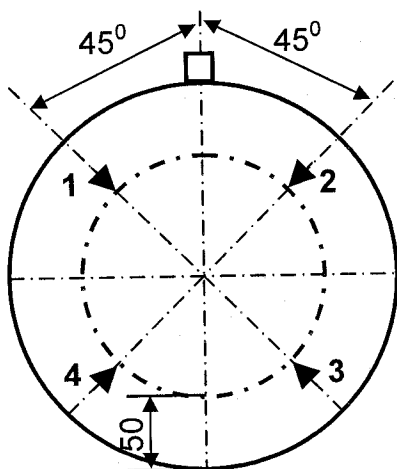
С.В. Якушев

Фамилия и инициалы, подпись



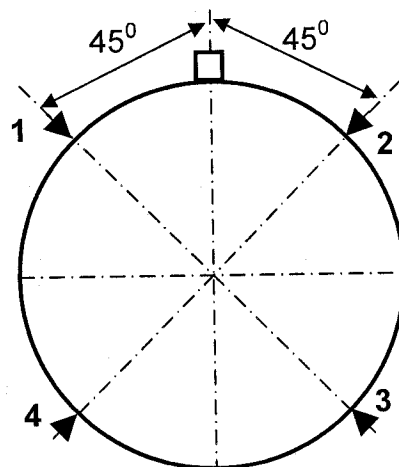


Виды А, В



1-4 – точки замера по периметру торцевых частей корпуса со стороны фланца (вид А) и со стороны хвостовика (вид В)

Сечение Б



1-4 – точки замера по периметру цилиндрической части обечайки, смотря со стороны фланца

Схему контроля составил: рук. группы Левчук В.И.

**АКТ № ИМС-001.1/ТЦ-1/21-09 от 30.06.2010 г.  
об измерении механических свойств**

Объект контроля, зона контроля: насос импульсный 1SE20D01, ОМ торцевой части верхнего корпуса

№ п.п. «Рабочей программы контроля металла тепломеханического оборудования ТЦ-1 энергоблока №1 Балаковской АЭС в период ППР-2010 с целью оценки технического состояния и остаточного ресурса»: 6.1.1

Инструкция по проведению контроля: РД ЭО 0027-05

Документ, по которому производится оценка качества: ПНАЭ Г-7-002-86, ПНАЭ Г-7-010-89

Приборные средства: твердомер ТЕСТ-МИНИ-(УТ), сертификат о калибровке № 3/360-01-10 от 20.01.2010 г.

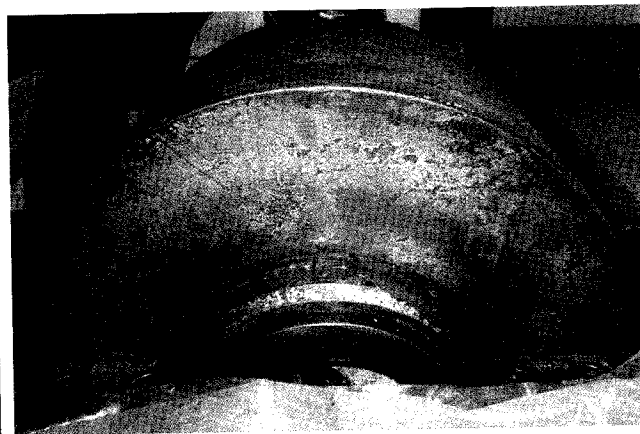
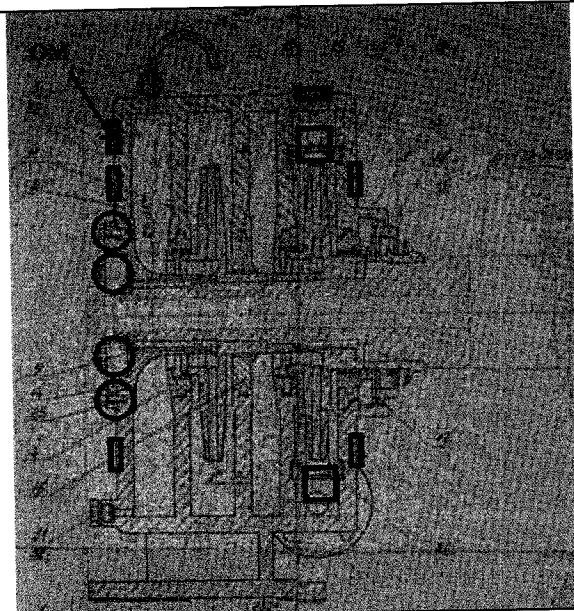
**Результаты контроля**

Зона контроля включает следующие элементы:

- Корпус, материал СтЗспб ГОСТ 14637-79;  
Траб=55 °С.

Траб-55 °С.		20 °C					100 °C		
Контролируемый элемент	Источник данных	НВ	R <sub>m</sub> , МПа	R <sub>0.2</sub> , МПа	A <sub>5</sub> , %	Z, %	R <sub>m</sub> , МПа	R <sub>0.2</sub> , МПа	
Корпус	Нормат. требования* ПН АЭ Г-7-002-86		-	373	245	26	50	353	235
	Нормат. требования ГОСТ 14367-79		-	370-480	245	26	-	-	-
	Данные измерений	ОМ	132±5	469±47	283±42	25±5	69±21	443	272

**Схема расположения элементов в зоне контроля**



*Заключение: Механические свойства металла корпуса соответствуют требованиям нормативной документации с учетом погрешности по РД*

Примечание: \* - Нормативные значения указаны для стали-аналога СтЗсп5;  
\* - Нормативные значения указаны по ГОСТ 14367-89.

Контроль выполнил: старший научный сотрудник ООО НСУЦ «ЦМиР»  
должность

Фролов И.В.  
Фамилия и инициалы

  
подпись

Руководитель работ: руководитель группы ООО НСУЦ «ЦМиР»  
должность

Левчук В.И.  
Фамилия и инициалы

  
подпись

**АКТ № ИМС-001.2/ГЦ-1/21-09 от 30.06.2010 г.  
об измерении механических свойств**

Объект контроля, зона контроля: насос импульсный 1SE20D01, ОМ цилиндрической части верхнего корпуса

№ п.п. «Рабочей программы контроля металла тепломеханического оборудования ТЦ-1 энергоблока №1 Балаковской АЭС в период ППР-2010 с целью оценки технического состояния и остаточного ресурса»: 6.1.1

Инструкция по проведению контроля: РД ЭО 0027-05

Документ, по которому производится оценка качества: ПНАЭ Г-7-002-86, ПНАЭ Г-7-010-89

Приборные средства: твердомер ТЕСТ-МИНИ-(УТ), сертификат о калибровке № 3/360-01-10 от 20.01.2010 г.

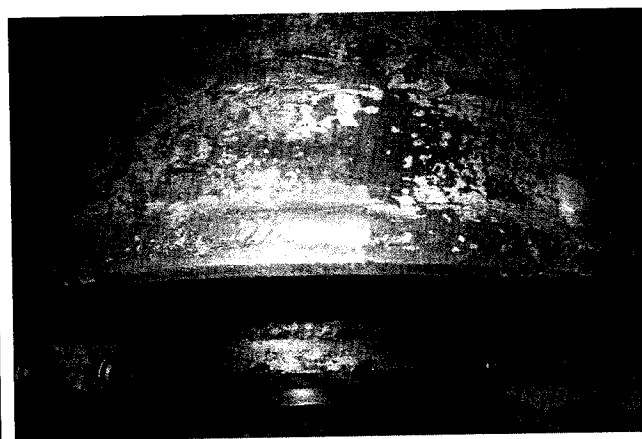
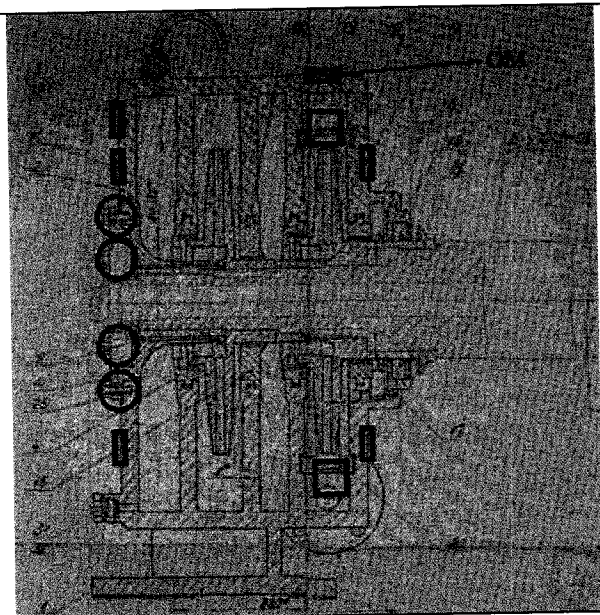
## Результаты контроля

Зона контроля включает следующие элементы:

– Корпус, материал Ст3спб ГОСТ 14637-79;  
Траб=55 °С.

Контролируемый элемент	Источник данных		20 °С					100 °С	
			НВ	R <sub>m</sub> , МПа	R <sub>0,2</sub> , МПа	A <sub>5</sub> , %	Z, %	R <sub>m</sub> , МПа	R <sub>0,2</sub> , МПа
Корпус	Нормат. требования* ПН АЭ Г-7-002-86		-	373	245	26	50	353	235
	Нормат. требования ГОСТ 14367-79**		-	370-480	245	26	-	-	-
	Данные измерений	ОМ	141±15	496±50	311±47	23±5	68±20	470	298

### Схема расположения элементов в зоне контроля



Заключение: Механические свойства металла корпуса соответствуют требованиям нормативной документации с учетом погрешности по РД

Примечание: \* - Нормативные значения указаны для стали-аналога СтЗсп5;

\* - Нормативные значения указаны по ГОСТ 14367-89.

Контроль выполнил: старший научный сотрудник ООО НСУЦ «ЦМиР»  
должность

Фролов И.В.  
Фамилия и инициалы

ПОДПИСЬ

Руководитель работ: руководитель группы ООО НСУЦ «ЦМиР»  
должность

Левчук В.И.  
Фамилия и инициалы

ПОДПИСЬ

# ООО «Инженерный центр «Электродинамика»

**УТВЕРЖДАЮ**

Генеральный директор  
ООО «Инженерный центр  
«Электродинамика»



**В.К. Дзугаев**

2010 г.

УДК -  
№ госрегистрации -  
Инв.№

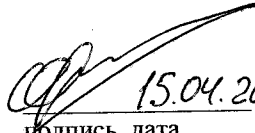
## ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ НАСОСА ИМПУЛЬСНОГО 1SE20D01 (ЧЕРТ. Б-470-01-60(61)СБ) В  
РАМКАХ РАБОТ ПО ПРОДЛЕНИЮ СРОКА СЛУЖБЫ ЭНЕРГОБЛОКА №1  
БАЛАКОВСКОЙ АЭС

(заключительный)

№ 04/01-10-Р.1.

Специалист по прочности  
оборудования АЭС  
канд. техн. наук

  
15.04.2010  
подпись, дата

С. Г. Фиш

## Реферат

Отчет 44 с., 24 рис., 6 источников, 1 прил.

### ИМПУЛЬСНЫЙ НАСОС, СТАТИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ, ЦИКЛИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ, ПРОЧНОСТЬ К СЕЙСМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ, ПРОДЛЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ

Объектом исследования является импульсный насос 1SE20D01 (Черт. Б-470-01-60СБ, Б-470-01-61СБ), находящийся в эксплуатации в цехе ТЦ-1 энергоблока № 1 Балаковской АЭС. Импульсный насос представляет собой центробежный, горизонтальный насос с двумя рабочими колесами. Максимальное давление в выходном патрубке  $7,3 \text{ кгс/см}^2$ .

Цель работы – расчет на прочность в соответствии с РД ЭО 0330-01, ПНАЭ Г-7-002-86 и НП-031-01 с целью расчетного обоснования возможности эксплуатации импульсного насоса в составе системы автоматического регулирования и защиты турбины К-1000-60/1500-2 ТЦ-1 энергоблока № 1 Балаковской АЭС за пределами назначенного 30-летнего срока службы энергоблока, исходя из планируемого срока продления эксплуатации на 30 лет (до 2045 г.).

Расчеты выполнялись методом конечных элементов на аттестованной и лицензионной программе ANSYS и по методикам, изложенным в РД ЭО 0330-01, ПНАЭ Г-7-002-86, НП-031-01, а также с учетом с положений РД ЭО 1.1.2.09.0774-2009.

По результатам работ установлено, что статическая, циклическая прочность и прочность к сейсмической нагрузке импульсного насоса 1SE20D01 для предполагаемого срока продления 30 лет обеспечены.

## Содержание

Нормативные ссылки.....	4
Определения.....	4
Обозначения и сокращения.....	5
1. Введение.....	7
2. Описание работы.....	7
3. Выводы.....	12
Приложение А. Расчетно-пояснительная записка № 04/01-10-РПЗ.1.	

## **Нормативные ссылки**

В настоящем отчете о НИР использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ПНАЭ Г-7-002-86. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.
2. РД ЭО 0330-01. Руководство по расчету на прочность оборудования и трубопроводов реакторных установок РБМК, ВВЭР и ЭГП на стадии эксплуатации.
3. СНиП II-7-81. Строительство в сейсмических районах.
4. НП-031-01. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций.
5. СТО 1.1.1.01.007.0281-2010. Управление ресурсными характеристиками элементов энергоблоков атомных станций.
6. РД ЭО 1.1.2.09.0774-2009. Оценка технического состояния и остаточного ресурса трубопроводов, сосудов и насосов энергоблоков атомных станций. Методика.

## **Определения**

Термины и их определения, применяемые в настоящем отчете, соответствуют СТО 1.1.1.01.007.0281-2010.

## Обозначения и сокращения

ТЦ	турбинный цех
АЭС	атомная электростанция
ВВЭР	водо-водяной энергетический реактор
ПКД	проектно-конструкторская документация
РД	руководящий документ
ППР	планово-предупредительный ремонт
черт	чертеж (чертежи)
НУЭ	нормальные условия эксплуатации
ПЗ	проектное землетрясение
Кг	килограмм
См	сантиметр
(М)Па	(мега) паскаль
Н	ньютон
М	метр
Об	Оборот
Мин	минута
Сек	секунда
Рад	радиан
Гц	герц
$\mu$	коэффициент Пуассона
$\alpha$	коэффициент температурного расширения
Е	модуль упругости
Rm	предел прочности (временное сопротивление) материала
Re (Rp0,2)	предел текучести материала
$\rho$	плотность
P	давление
S	толщина стенки



$\sigma$	напряжение
T	температура
z	количество шпилек (болтов)
D(d)	диаметр
H	высота гайки
$\lambda$	податливость
$\chi$	коэффициент основной нагрузки
M	масса
P	сила
M	момент
J	момент инерции
Z	относительное сужение образца
N	количество циклов
R	коэффициент асимметрии цикла
R-1,	предел усталости
N	коэффициенты запаса прочности
Kп	коэффициент повреждаемости (накопленная циклическая повреждаемость)
x	коэффициент, учитывающий жесткость соединения
Ko	коэффициент формы плоского днища
$\varphi$	коэффициент ослабления

Размерности обозначений физических величин приведены в тексте расчета.

Обозначения, относящиеся к непосредственным геометрическим характеристикам изделия, приведены в тексте расчета.

## **1. Введение**

**1.1.** Настоящий расчет выполнен в рамках реализации работ по договору № 04/01-10 от 19.02.2010 г. «Проведение расчетного обоснования прочности тепло-механического оборудования энергоблока №1 Балаковской АЭС за пределами 30 лет службы», заключенному между ООО «НСУЦ «ЦМиР» и ООО «Инженерный центр «Электродинамика».

**1.2.** ООО «Инженерный центр «Электродинамика» является официальным представителем ОАО «Турбоатом» (ХТГЗ им. Кирова) в России и имеет возможность поиска (восстановления) ПКД на оборудование, спроектированное ХТГЗ им. Кирова, для которого ПКД на Балаковской АЭС имеется не в полном объеме или отсутствует. С учетом сказанного расчет на прочность импульсного насоса выполнен с использованием чертежей, полученных непосредственно с завода-изготовителя.

**1.3.** Задачей настоящего поверочного расчета на прочность импульсного насоса 1SE20D01 (черт. Б-470-01-60(61)СБ), находящегося в эксплуатации в цехе ТЦ-1 энергоблока № 1 Балаковской АЭС, является проверка условий статической, циклической (с учетом повреждаемости от всех эксплуатационных нагрузок) и сейсмической прочности при работе на проектных параметрах в течение продлеваемого срока службы 30 лет.

## **2. Описание работы**

**2.1.** Расчет выполнен в соответствии с ПНАЭ Г-7-002-86, РД ЭО 0330-01, НП-031-01 и включает следующие разделы:

- расчет на статическую прочность в стационарном режиме;
- расчет на сейсмическую прочность (НУЭ+ПЗ);
- расчет шпилек и болтов главного разъёма с учетом сейсмической нагрузки;
- расчет на циклическую прочность, включая расчет накопленного усталостного повреждения;
- расчет по выбору основных размеров для цилиндрической и торцевой частей насоса.

**2.2.** В соответствии с требованиями ПНАЭ Г-7-002-86 не проводились расчеты:

- на устойчивость (в связи с отсутствием наружного давления и общих сжимающих нагрузок) (п. 5.5);
- на длительную циклическую прочность, так как рабочая температура ниже температуры начала ползучести (п. 5.7);
- на хрупкую прочность, так как рассчитываемый насос не находится под воздействием нейтронного облучения интенсивностью более  $10^{22}$  нейтр./м<sup>2</sup> при  $E \geq 0,5$  МэВ (п. 5.8.1.9) и толщина стенки основных элементов не превышает установленную (п. 5.8.1.9) величину;
- на длительную статическую прочность, так как рабочая температура ниже температуры начала ползучести (п. 5.9.1);
- на прогрессирующее формоизменение в связи с отсутствием неравномерных температурных нагрузок по длине элементов насоса (п. 5.10.1);
- на вибропрочность, поскольку действующие вибрационные нагрузки на насос незначительны;
- для режимов срабатывания АЗ, изменения мощности реактора, аварийной ситуации, так как данные режимы не заложены в технической и эксплуатационной документации на изделие и имевшие место нарушения в работе энергоблока в целом (с момента пуска до настоящего времени) не могли оказать влияния на прочность насоса.

### **2.3.** Определение механических характеристик материалов.

Материал корпусных деталей – сталь ВСтЗСП6 по ГОСТ 14637-79, ГОСТ 12820-80. Материал шпилек, болтов, гаек – Ст. 35 по ГОСТ 1050-74. Максимальная рабочая температура 50°C. Механические характеристики материалов импульсного насоса, использованные при расчетном обосновании, приведены в таблице 1. Временное сопротивление  $R_m$ , предел текучести  $R_{p0,2}$  и относительное сужение  $Z$  металла, указанные в таблице 1, приведены для рабочей температуры 50°C и взяты из таблицы П1.1 ПНАЭ Г-7-002-86 (для корпусных деталей насоса) и из ГОСТ 1050-74 (для деталей крепежа).

Таблица 1 - Механические характеристики материалов импульсного насоса, использованные при расчетном обосновании

Характеристики материала	Марка стали (сортамент), элементы насоса	
	ВСт3Сп6 (горячекатаная листовая сталь толщиной более 20 до 100 мм), корпусные элементы	Ст. 35 (сортовой прокат в горячекатанном состоянии, закалка при 840-880 °С), крепежные детали
Rm, МПа	363	600
Re (Rp0,2), МПа	196	430
μ	0,3	
E, МПа	200000	200000
Z, %	49	45
q, кг/м <sup>3</sup>	7800	

Расчет допускаемых напряжений приведен в расчетно-пояснительной записке.

#### 2.4. Прогнозирование режимов работы насоса на 60 лет эксплуатации.

Для обоснования остаточного ресурса насоса необходимо проверить выполнение условия циклической прочности на предполагаемый период эксплуатации по формуле:

$$\sum_{i=1}^k \frac{N_i}{[N_0]_i} = a \leq [a_N] \quad (1), \text{ где}$$

$a$  – накопленное усталостное повреждение, предельное значение которого составляет:  $[a_N] = 1$ ;

$N_i$  – общее число циклов нагружения от режима  $i$  за весь срок службы;

$[N_0]_i$  – допускаемое число циклов нагружения от режима  $i$ .

Ниже в соответствии с п. 5.4.2 РД ЭО 1.1.2.09.0774-2009 установлена предполагаемая модель ежегодных эксплуатационных нагрузок на насос в течение планируемого дополнительного срока службы (до 2045 г.), которая соответствует усредненному спектру ежегодных нагрузок на насос за предыдущие 10 лет эксплуатации энергоблока № 1 Балаковской АЭС.

Прогнозируемое общее число циклов за 60 лет эксплуатации  $N_i$  (с 1985 г. по 2045 г.) от режима  $i$  рассчитывается следующим образом:

$$N_i = N_{i24} + k \cdot N_{i10} + N_{idon} \quad (2), \text{ где}$$

$N_{i24}$  – фактическое число наработанных циклов от режима  $i$  за 24 года (период 1985÷2009 гг.);

$N_{i10}$  – фактическое число наработанных циклов от режима  $i$  за 10 лет (период 1999÷2009 гг.);

$$k = \frac{2045 - 2009}{2009 - 1999} = 3,6 \text{ – коэффициент пропорциональности;}$$

$N_{idon}$  – дополнительное число циклов от режима  $i$ , закладываемое в обеспечение консерватизма расчетного обоснования, т.е. в запас прочности, учитывающее возможные внеплановые остановки.

Прогнозируемое общее число циклов за 60 лет эксплуатации  $N_I$  (с 1985 г. по 2045 г.) от режима пуск/останов составляет (см. формулу 2):

$$N_I = 30 + 3,6 \cdot 10 + 34 = 100$$

Примечание: в расчет циклической прочности насоса заложено дополнительное число циклов в режиме пуск/останов  $N_{idon} = 34$ .

Учитывая вышесказанное, в таблице 2 приведены расчетные параметры импульсного насоса с учетом предполагаемого срока продления службы до 60 лет.

Таблица 2 – Расчетные параметры импульсного насоса

Ррасч	7,3 кгс/см <sup>2</sup>
Трасч	50°C
Количество циклов пуска	100
Количество циклов ПЗ в режиме НУЭ+ПЗ	50

Примечание: количество расчетных циклов ПЗ в режиме НУЭ+ПЗ заложено в соответствии с п. 5.11.2.14 ПНАЭ Г-7-002-86.

## 2.5. Расчетные схемы.

На рисунке 1 приведена расчетная модель нижней части насоса, на рисунке 2 – расчетная модель верхней части насоса, на рисунке 3 – модель насоса для расчета на сейсмическую прочность.

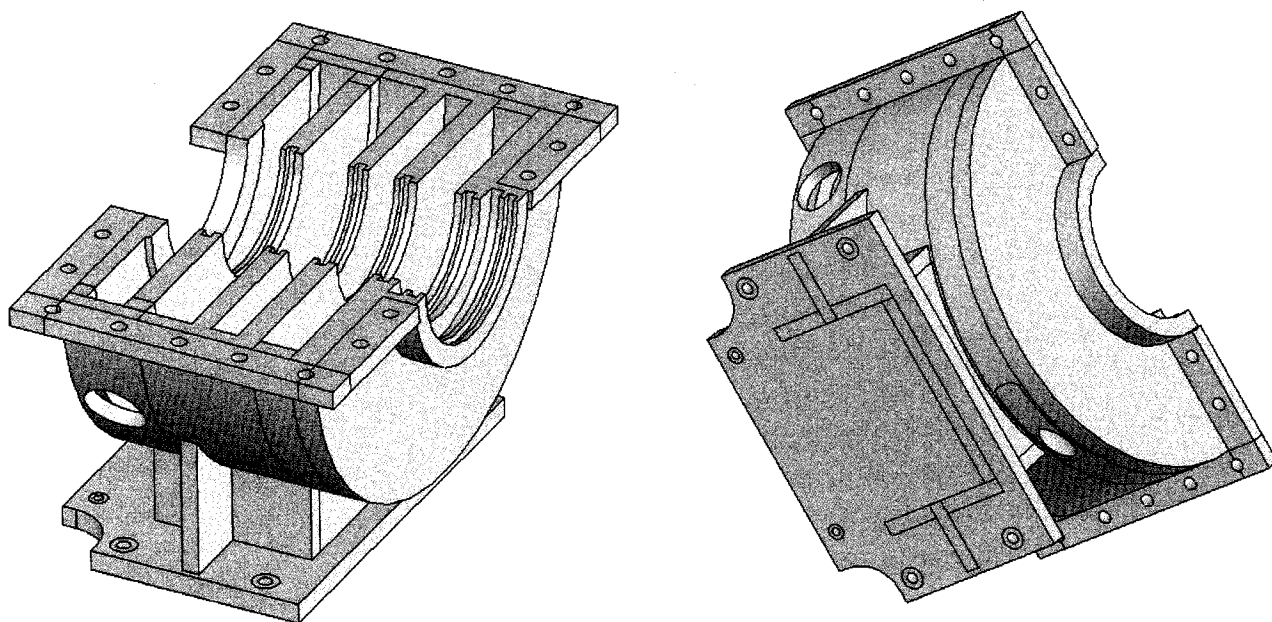


Рисунок 1 – Модель нижней части насоса

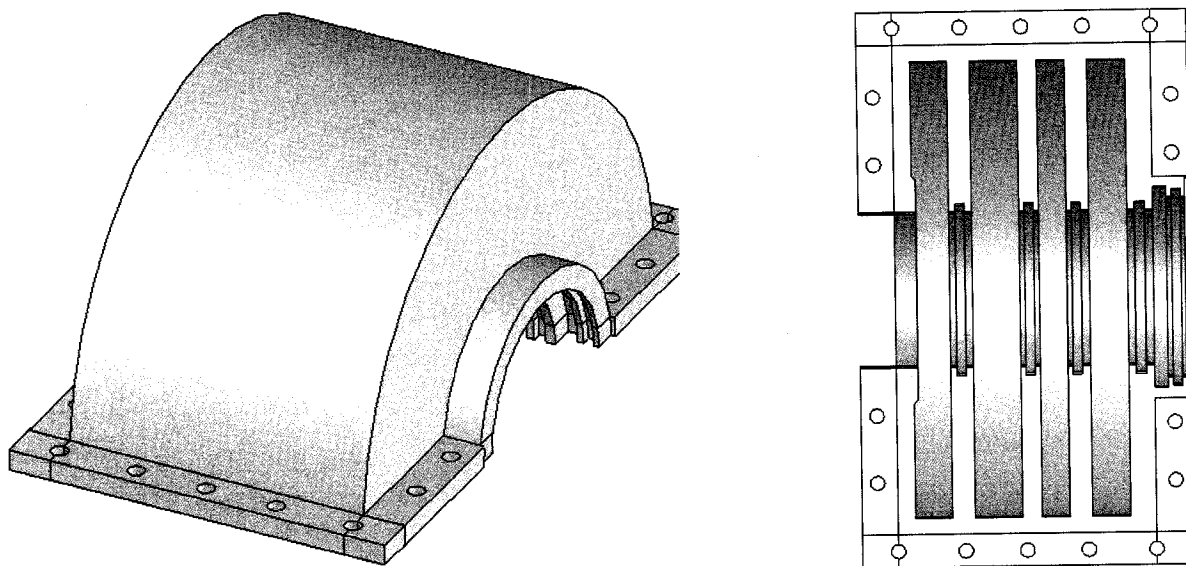


Рисунок 2 – Модель верхней части насоса

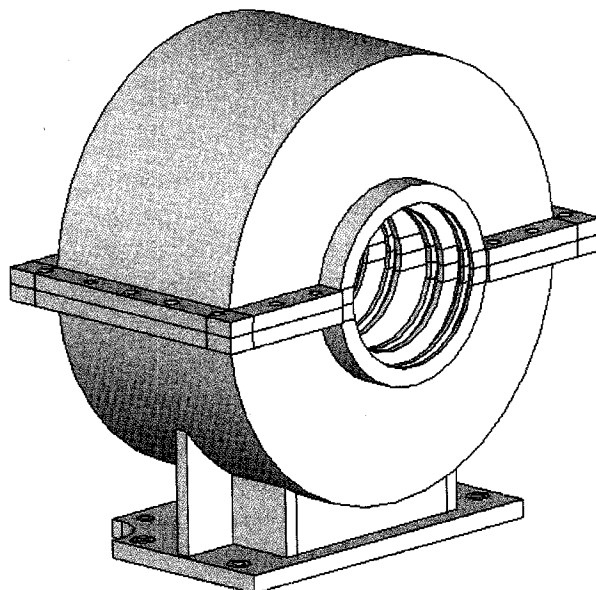


Рисунок 3 – Модель насоса для расчета на сейсмическую прочность

Учитывая сложность оболочек и схем нагружения, расчет был выполнен методом конечных элементов (МКЭ) в программе ANSYS (аттестат ГАН №145 от 31.10.2002 г.).

**2.6.** Расчёт оформлен в виде пояснительной записки и приведен в приложении А. Данные о номинальных геометрических размерах изделия приняты по чертежам Б-470-01-60, Б-470-01-61. При построении конечноэлементной расчетной модели толщина стенки цилиндрической и торцевых частей верхнего и нижнего корпусов насоса принята из результатов УЗТ с учетом суммарной прибавки, толщина стенки остальных элементов насоса (опора, фланец, и т.д.) принята согласно ПКД.

### 3. Выводы

Прочностной расчет насоса импульсного 1SE20D01 (черт. Б-470-01-60, Б-470-01-61) выполнен в полном соответствии с требованиями ПНАЭ Г-7-002-86, РД ЭО 0330-01, НП-031-01 на расчетные параметры, указанные в таблице 2.

По результатам расчета на прочность установлено, что условия прочности выполняются для всех элементов импульсного насоса при заданных условиях нагружения. Расчет импульсного насоса на циклическую прочность позволяет сделать вывод о возможности продления срока его службы до 60 лет.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

**насос импульсный 1SE20D01**

**черт. Б-470-01-60СБ**

**черт. Б-470-01-61СБ**

**РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

**№ 04/01-10-РПЗ.1.**

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	04/01-10-РПЗ.1.					Лист
										1



## Содержание

A1 Исходные данные для расчета.....	3
A2 Построение сетки конечных элементов .....	7
A3 Расчет на статическую прочность верхней части насоса .....	9
A4 Расчет на статическую прочность нижней части насоса.....	13
A5 Расчет на прочность к сейсмической нагрузке.....	19
A6 Расчет шпилек и болтов главного разъёма .....	22
A7 Расчет на циклическую прочность.....	26
A8 Расчет по выбору основных размеров .....	30
A9 Лист регистрации изменений .....	31
Список использованных источников.....	32

Инв. № дубл.		Подп. и дата									
Инв. №	Взам. инв. №	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата		
					04/01-10-РПЗ.1.						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата							
Разраб.		Фиш С.Г.			Насос импульсный 1SE20D01 Расчетно-пояснительная записка				Лит.	Лист	Листов
Пров.									И	2	32
Н.контр.									г. Москва ООО «Электродинамика»		
Утв.		Дзугаев В.К.									

# А1 Исходные данные для расчета

## Свойства материалов.

По результатам контроля механических свойств металла элементов импульсного насоса 1SE20D01, выполненного в ППР-2010 на момент окончания проектного срока эксплуатации, установлено, что фактические механические свойства металла насоса на момент окончания 30-летнего проектного срока службы соответствуют требованиям действующих НТД, деградации механических свойств металла не обнаружено. Анализ действующих механизмов старения, выполненный при прогнозировании изменения механических свойств металла элементов насоса в процессе длительной эксплуатации, позволяет сделать вывод, что значения механических свойств металла на момент окончания планируемого сверхпроектного срока службы (30 лет) будут соответствовать требованиям действующих НТД.

В связи с этим механические свойства материалов, использованные при проведении поверочного расчета импульсного насоса, приняты по данным ПНАЭ Г-7-002-86 [1] (для корпусных деталей насоса), ГОСТ 1050-74 (для деталей крепежа) и приведены в таблице 1 (см. п. 2.3 Отчета).

## Геометрические размеры.

Номинальные геометрические размеры элементов импульсного насоса, включая толщины стенок, выбирались в соответствии с чертежами Б-470-01-60, Б-470-01-61. При этом на стадии проведения поверочного расчета на прочность корпусных элементов насоса, для которых в ППР-2010 по результатам ультразвуковой толщинометрии были получены фактические значения толщин после 24 лет эксплуатации, толщина стенки элементов насоса выбиралась в соответствии с требованиями п. 4.1.2 РД ЭО 0330-01 [2]. Для корпусных элементов насоса, контактирующих с рабочей средой, для которых контроль фактических толщин не проводился, толщина стенки выбиралась равной номинальному значению (по чертежам Б-470-01-60, Б-470-01-61) за вычетом прибавок  $C_1$  и  $C_2$  к толщине стенки. При этом прибавка  $C_1$  выбиралась равной минусовому допуску на толщину полуфабриката для компенсации возможного утонения изделия при изготовлении, прибавка  $C_2$  выбиралась равной удвоенному значению по таблице 4.1. Норм расчета ПНАЭ Г-7-002-86 [1] для компенсации утонения стенки за счет всех видов коррозии в течение рассчитываемого общего срока эксплуатации насоса 60 лет.

Учитывая сложность оболочек и схем нагружения, расчет корпусных деталей выполнен методом конечных элементов (МКЭ) в программе ANSYS (аттестат ГАН №145 от 31.10.2002 г.).

Име. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подп. и дата					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	04/01-10-РПЗ.1.				Лист
									3

**Расчетные модели.**

Расчетные модели импульсного насоса приведены на схемах 1÷3.

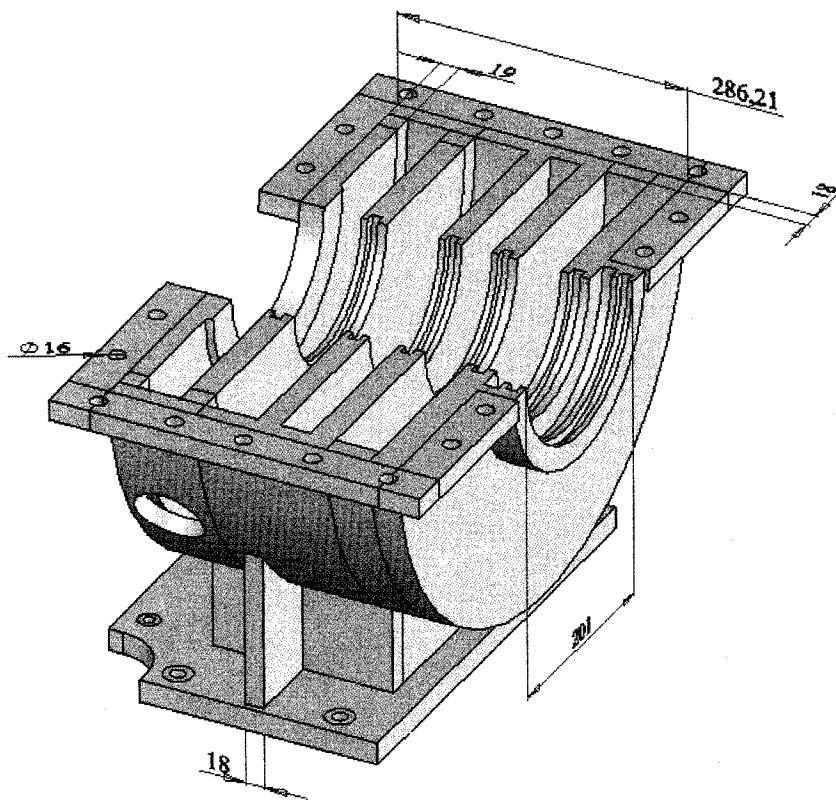


Схема 1 – Модель нижней части насоса

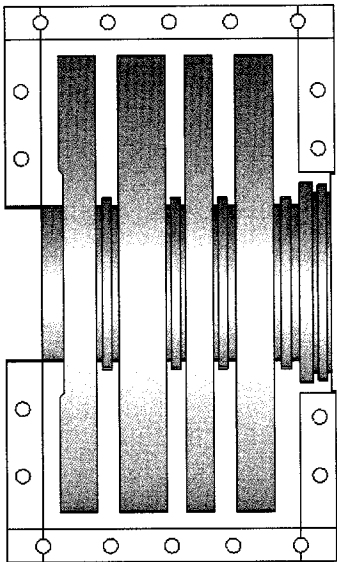
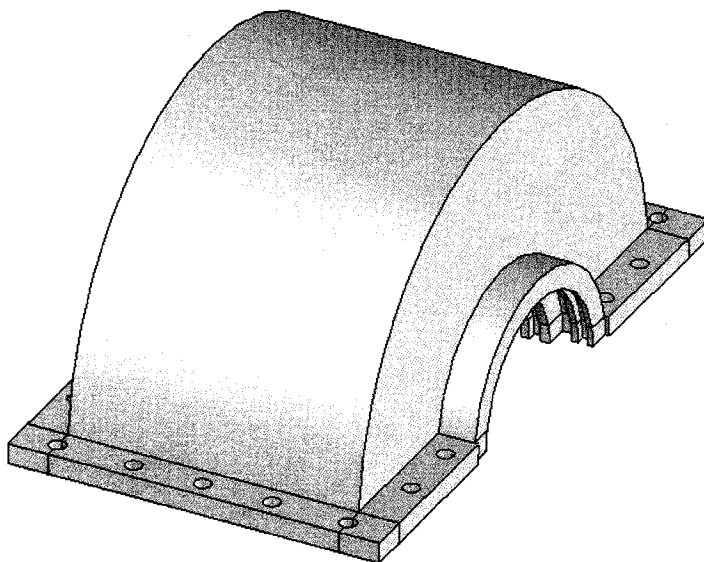


Схема 2 – Модель верхней части насоса

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Подп. и дата
Взам. инв. №			

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

04/01-10-РПЗ.1.

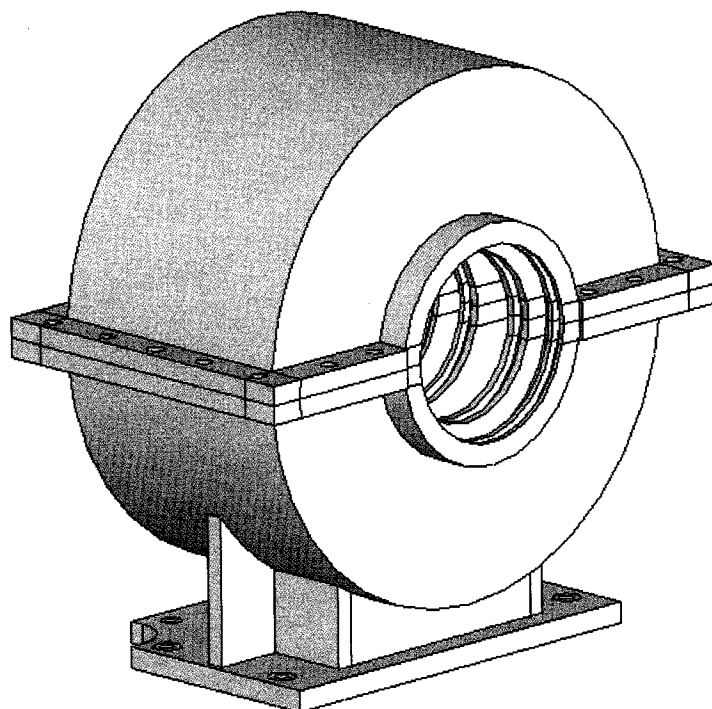


Схема 3 – Модель насоса для сейсмического расчета

Ине. № подл.	Подп. и дата	Взам. ине. №	Ине. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

04/01-10-РПЗ.1.

Лист

5

### Параметры решения при НУЭ.

1. Материал имеет линейные изотропные свойства с модулем упругости  $E_c=200000$  МПа, коэффициентом Пуассона  $\mu=0,3$ , плотностью  $7800$  кг/м<sup>3</sup>.
2. Нагрузки:
  - давление  $7,3$  кгс/см<sup>2</sup> на внутреннюю поверхность (одинаковое давление на все полости насоса, равное выходному, является более «жестким» условием нагружения, чем увеличивающееся от входного давления до выходного пропорционально ступеням);
  - задание гравитационного ускорения  $9,8$  м/с<sup>2</sup>;
  - приложение продольного усилия на места контакта гаек с фланцем, действующего в замкнутой оболочке, нагруженной внутренним давлением;
  - ограничение перемещений по нижним граням опор в направлении Y и в местах крепления гайками в направлении X и Z.
3. Расчет приведенных напряжений в целом для модели и местных мембранных и изгибных напряжений по путям поперек стенки – для зон с наибольшей концентрацией напряжений и характерных сечений модели.

### Параметры решения при НУЭ+ПЗ:

1. Параметры решения при НУЭ.
2. Коэффициент демпфирования  $\xi=0,02$ .
3. Задание спектров ответа (сейсмических ускорений основания), соответственно вдоль осей: X, Y, Z в соответствии с приложением 9 [1] и требованиями [2].

По X

f, Гц	1	2	4	8,2	12,2	22	35
a, м/с <sup>2</sup>	0,84	2,4	3,24	3,2	1,44	0,9	0,5

По Y

f, Гц	1	2	4	8,2	12,2	22	35
a, м/с <sup>2</sup>	0,36	0,6	1,56	0,72	0,65	0,48	0,3

По Z

f, Гц	1	2	4	8,2	12,2	22	35
a, м/с <sup>2</sup>	0,84	2,4	3,24	3,2	1,44	0,9	0,5

4. Расчет приведенных напряжений в целом для модели и местных мембранных и изгибных напряжений по путям поперек стенки – для зон с наибольшей концентрацией напряжений и характерных сечений модели.

### Расчет на циклическую прочность.

По результатам всех расчетов выполнен расчет на циклическую прочность с учетом следующих параметров:

- количество циклов нагружения с учетом прогноза – пуск/останов: 100;
- количество циклов ПЗ в режиме НУЭ+ПЗ: 50.

Выполнен расчет накопленной усталостной повреждаемости.

Име. № подл.	Подп. и дата	Взам. име. №	Име. № дубл.	Подп. и дата						Лист
										6
										6
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	04/01-10-РПЗ.1.					

## А2 Построение сетки конечных элементов

Сетка состоит из элементов solid 95 – для моделирования механики движения стальных элементов. Для улучшения точности и достоверности дальнейших расчетов при построении сетки использовалась преимущественно опция гексаэдров с предварительной разбивкой модели на простые фигуры. Сетка конечных элементов расчетных моделей показана на рисунках А.1а, А.1б, А.1в.

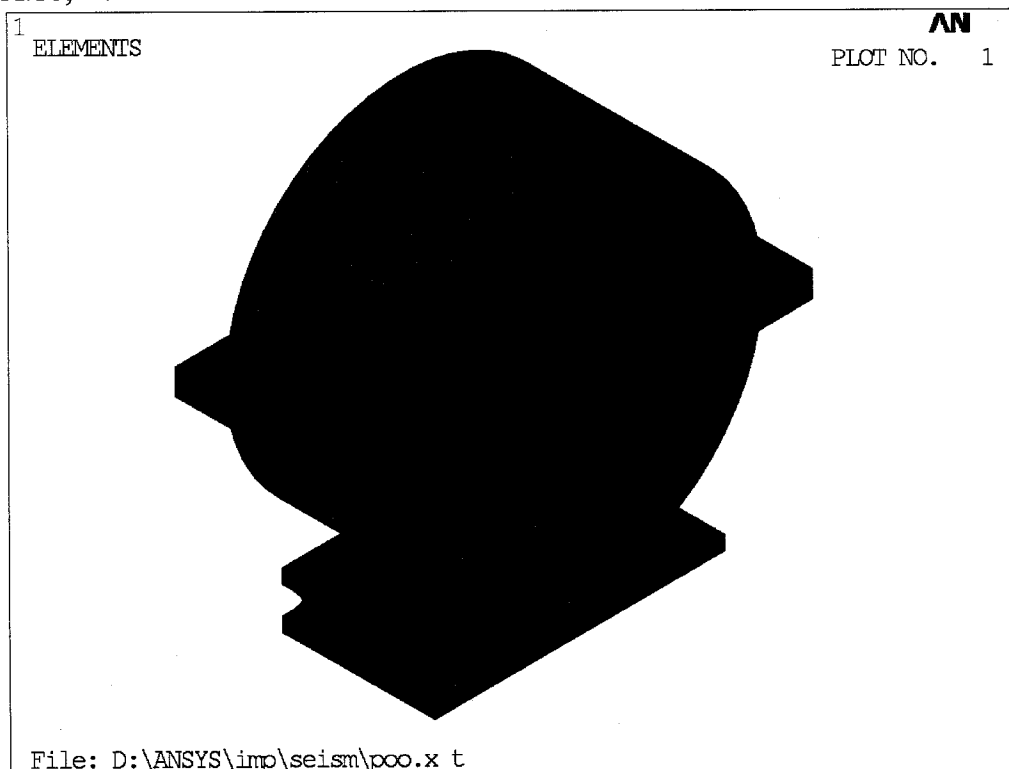
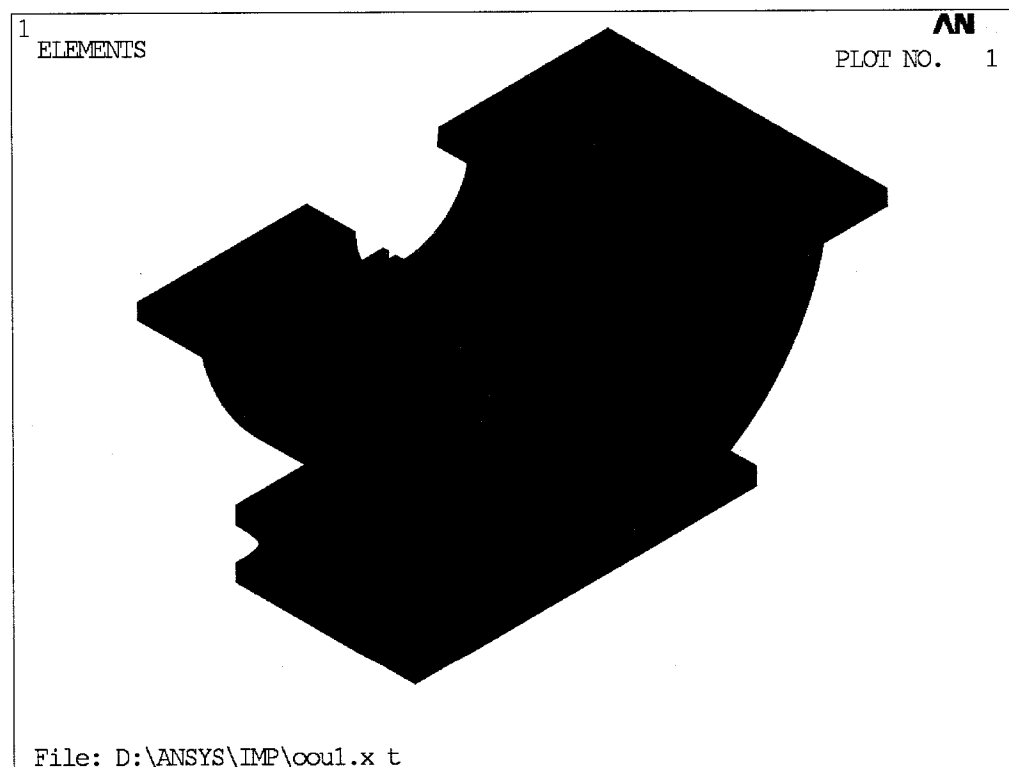


Рисунок А.1а – Модель для расчета на сейсмическое воздействие



Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Лист	Лист

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

04/01-10-РПЗ.1.

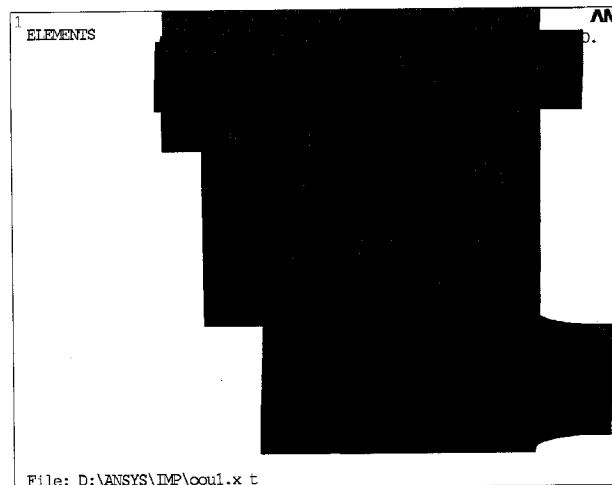
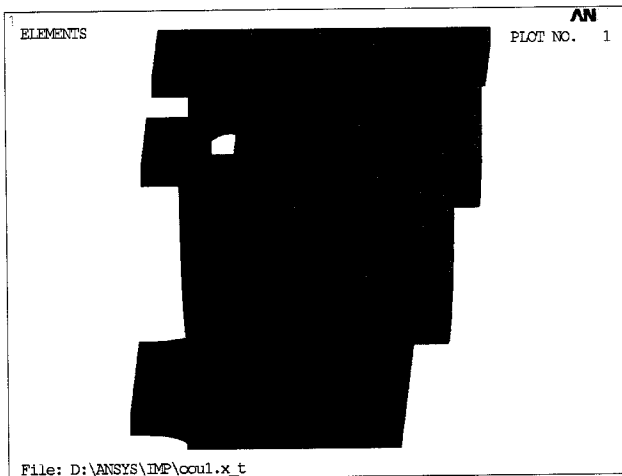


Рисунок А.1б - Модель для расчета нижней части насоса

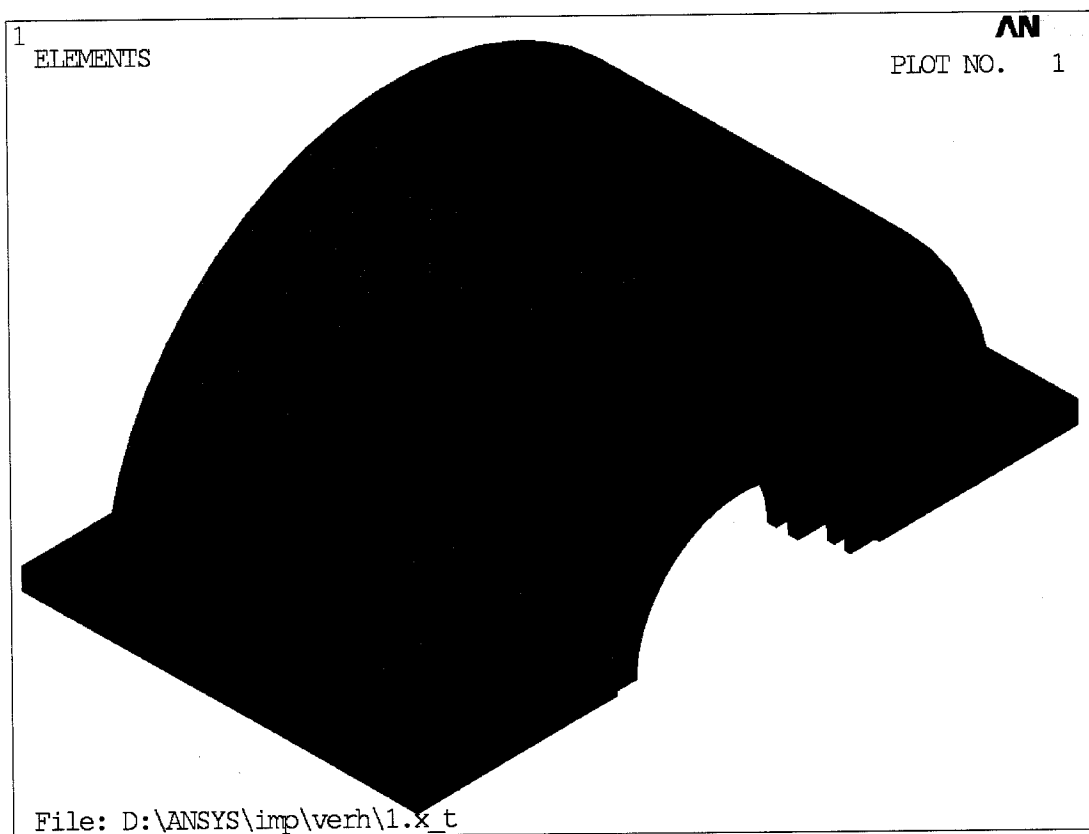


Рисунок А.1в - Модель для расчета верхней части насоса

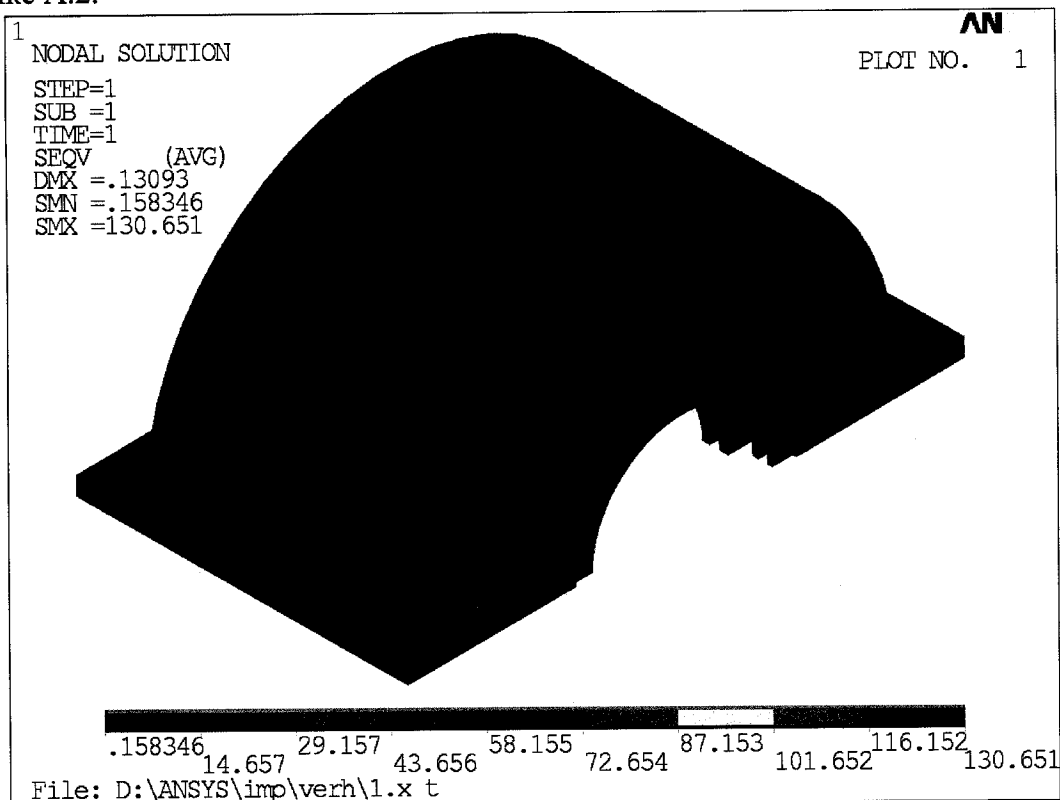
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

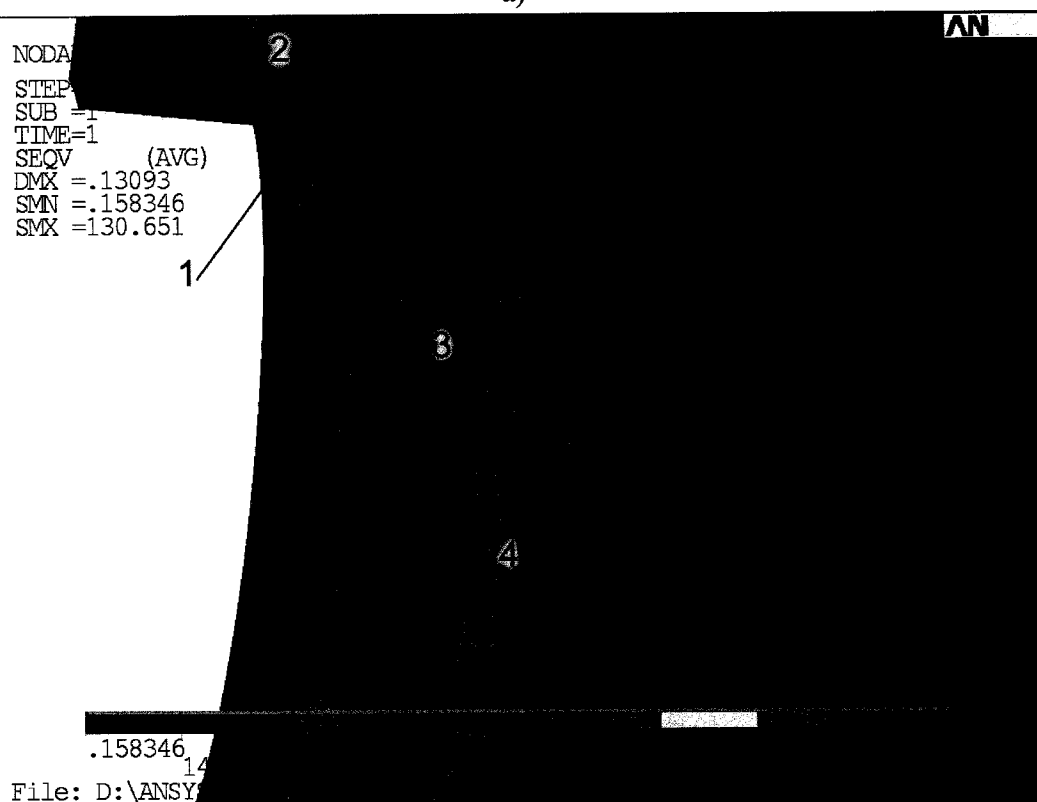
04/01-10-РПЗ.1.

## А3 Расчет на статическую прочность верхней части насоса

Вид напряженно-деформированного состояния верхней части корпуса насоса приведен на рисунке А.2.



a)



б)

Рисунок А.2 - Напряженно-деформированное состояние модели

Инев. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Лнев. № дубл.
Подп. и дата	
Инев. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

04/01-10-РПЗ.1.

Лист

9



Диаграммы местных напряжений в соответствующих сечениях показаны на рисунках А.3, А.4, А.5, А.6.

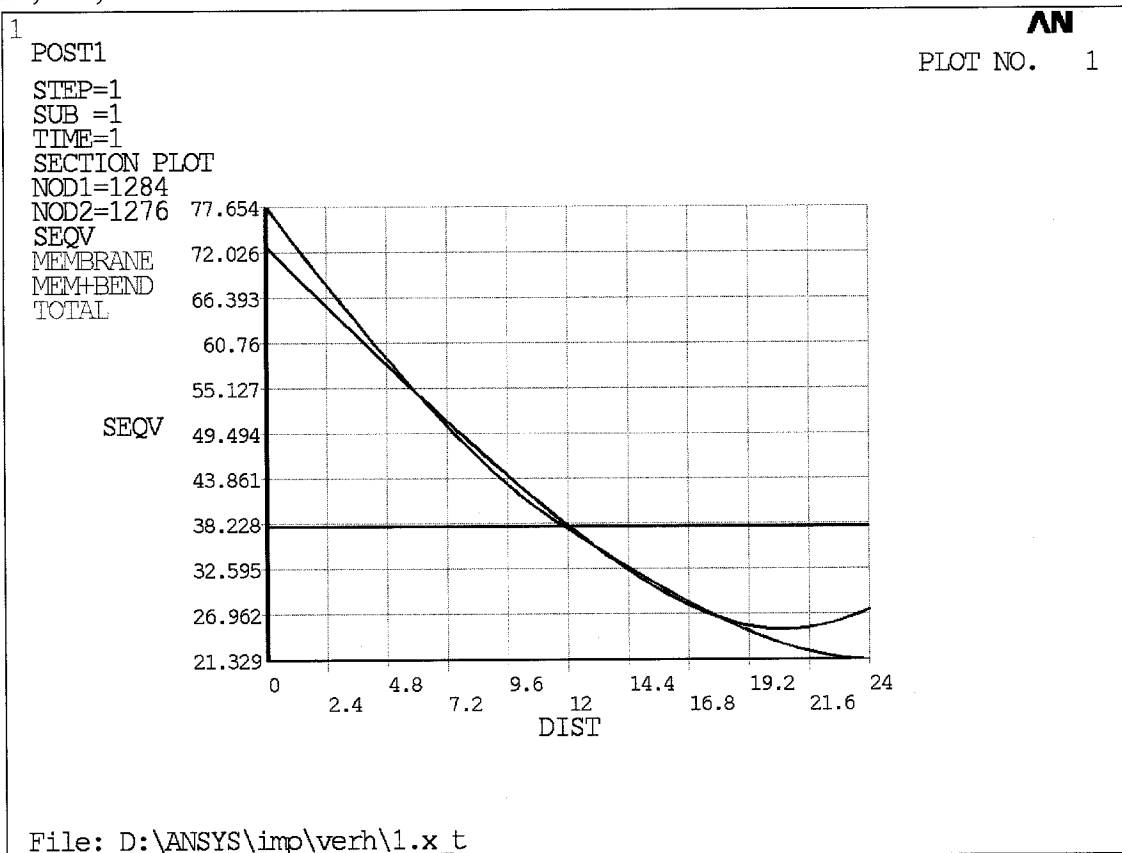


Рисунок А.3 - Напряжения для зоны 1

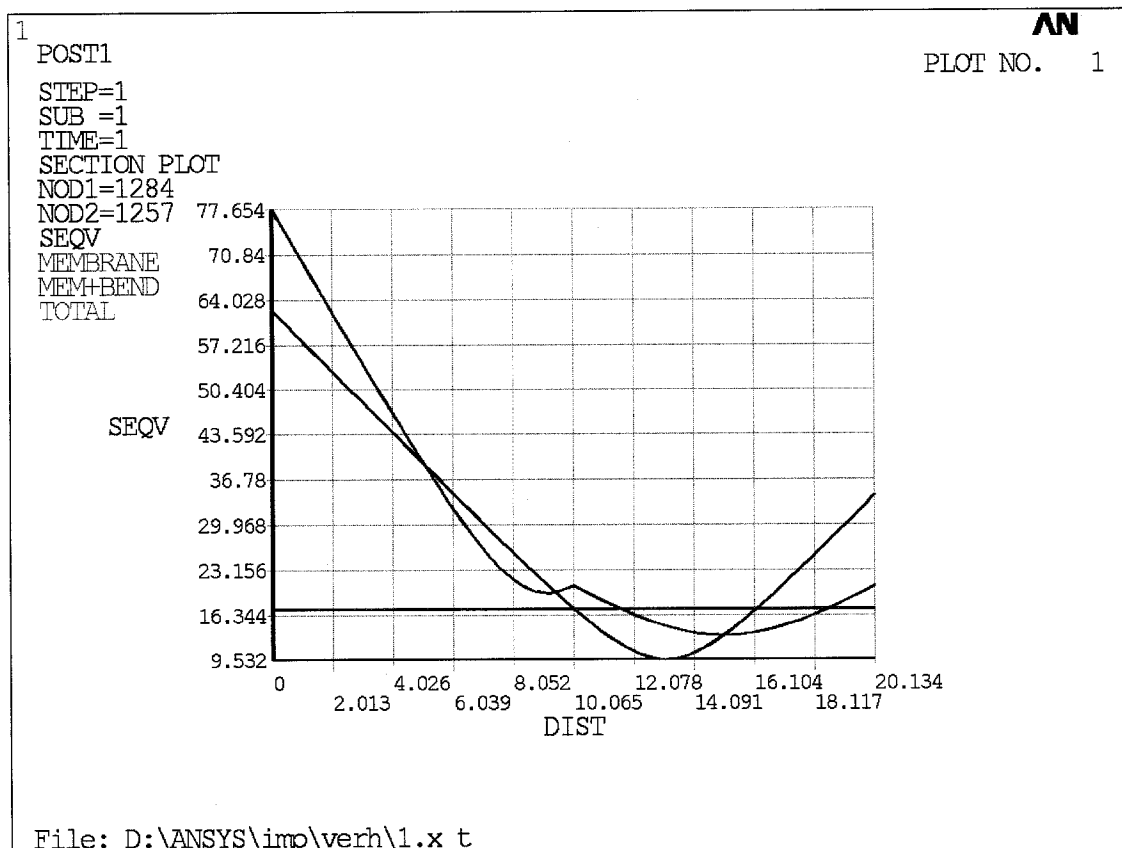


Рисунок А.4 - Напряжения для зоны 2

Име. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

04/01-10-ППЗ.1.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Лист	Дата
Инв. № дубл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Лист	Дата

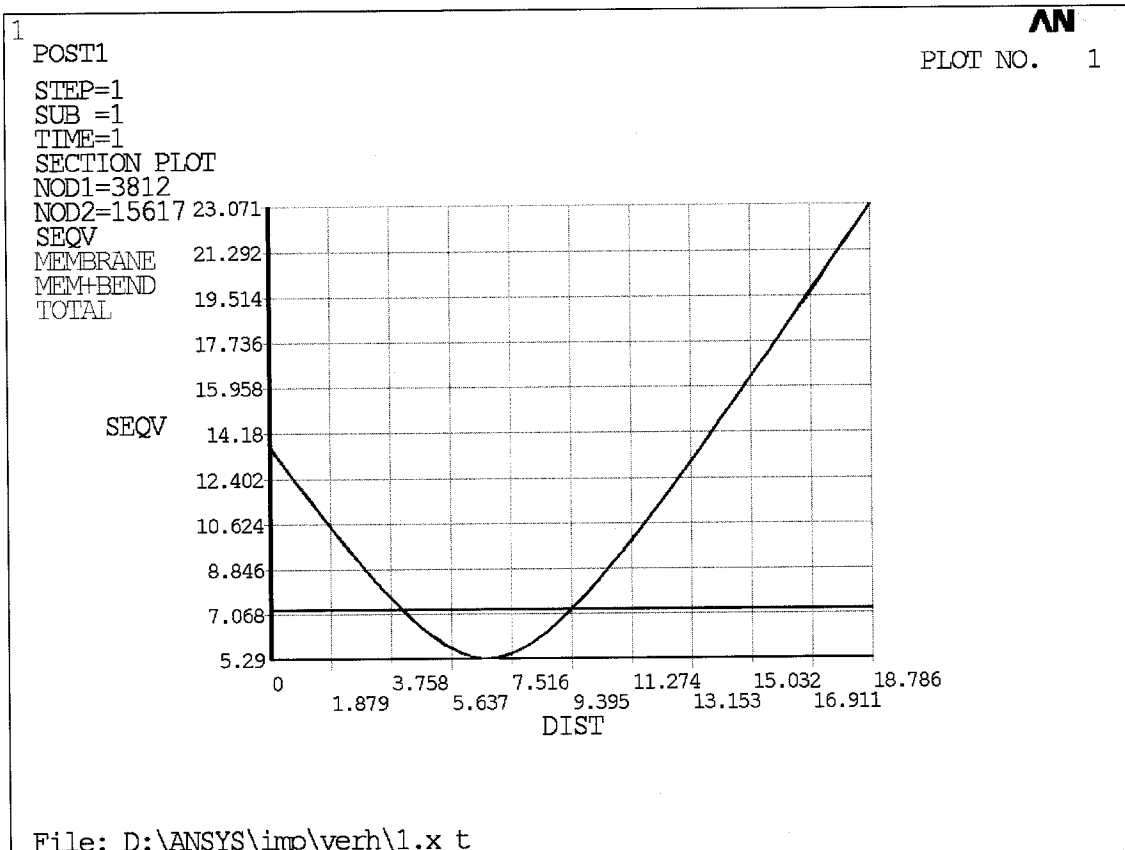


Рисунок А.5 - Напряжения для зоны 3

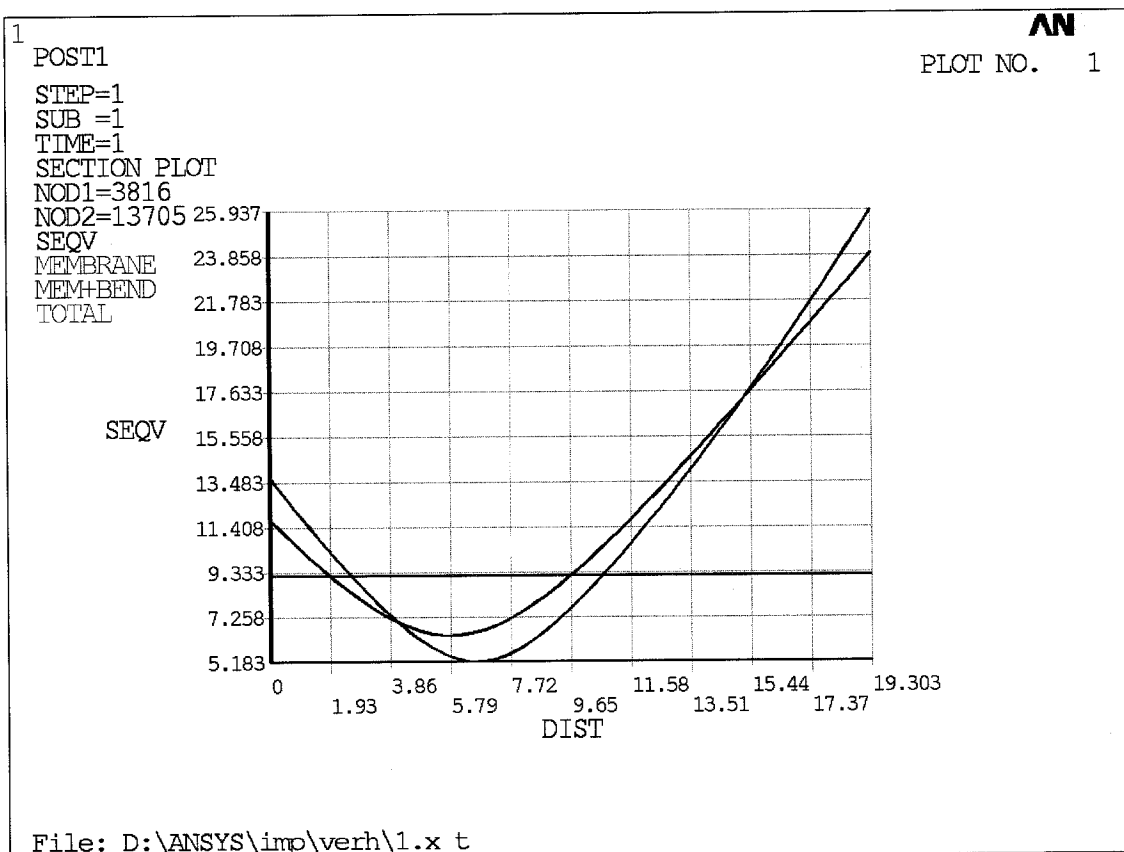


Рисунок А.6 - Напряжения для зоны 4

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Расчет допустимых напряжений для материала сталь ВСтЗспб при рабочей температуре:

$$[\sigma]_1 = \eta \cdot \min\{R_e/1.5; R_m/2.6\} = 1 \cdot \min(196/1.5; 363/2.6) = 130,6 \text{ МПа}$$

$$[\sigma]_2 = \eta \cdot \min\{R_e/1.5; R_m/2.6\} = 1,3 \cdot 1 \cdot \min(196/1.5; 363/2.6) = 169,8 \text{ МПа}$$

$$(\sigma)_{RV} = (2,5 - R_{p0,2}^T / R_m^T) \cdot R_{p0,2}^T, \text{ но не более } 2R_{p0,2}^T = 384,2 \text{ МПа}$$

Напряжения  $(\sigma)_{RV}$  вычислялись функцией «stress intensity», математическое описание которой полностью соответствует требованиям п.5.3.6. ПНАЭ Г-7-002-86 [1].

Сводная таблица результатов расчета по зонам

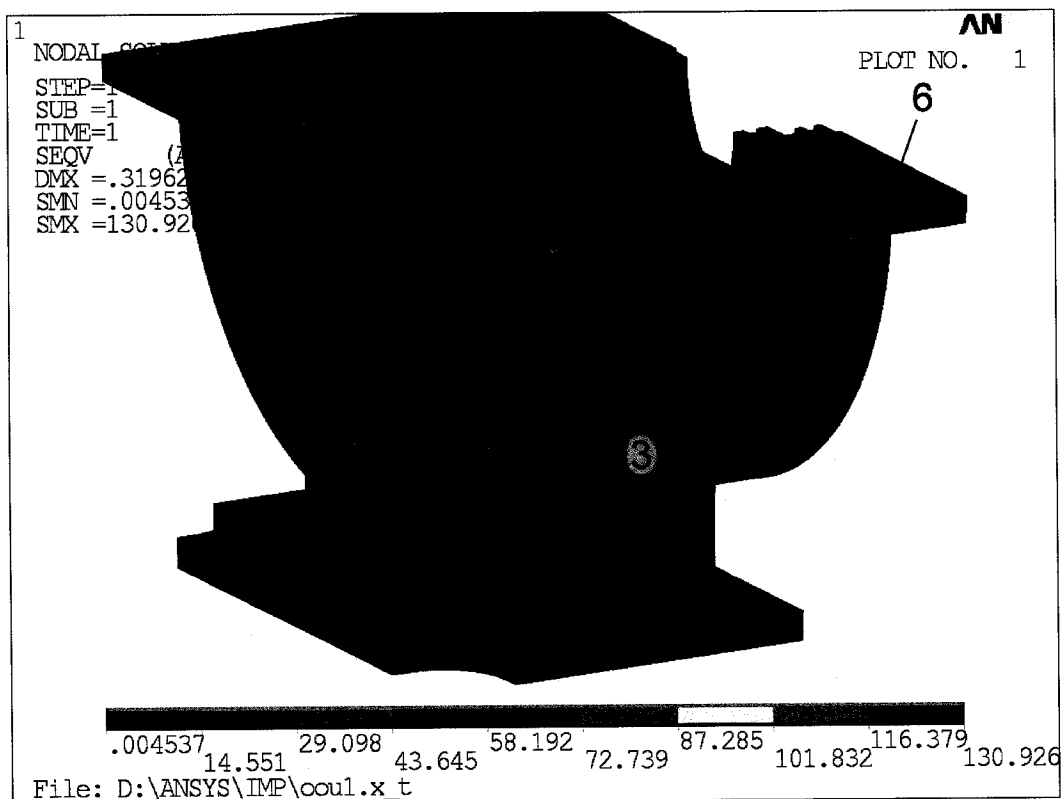
№ зоны	Расчетные напряжения, МПа			Выполнение условия
	$(\sigma)_1$	$(\sigma)_2$	$(\sigma)_{RV}$	
1	38,2	77,6	89,4	да
2	16,4	77,6	89,4	да
3	7,1	23,1	24,7	да
4	9,3	25,9	27,5	да

**Вывод:** расчетные напряжения меньше допустимых – условия статической прочности выполняются.

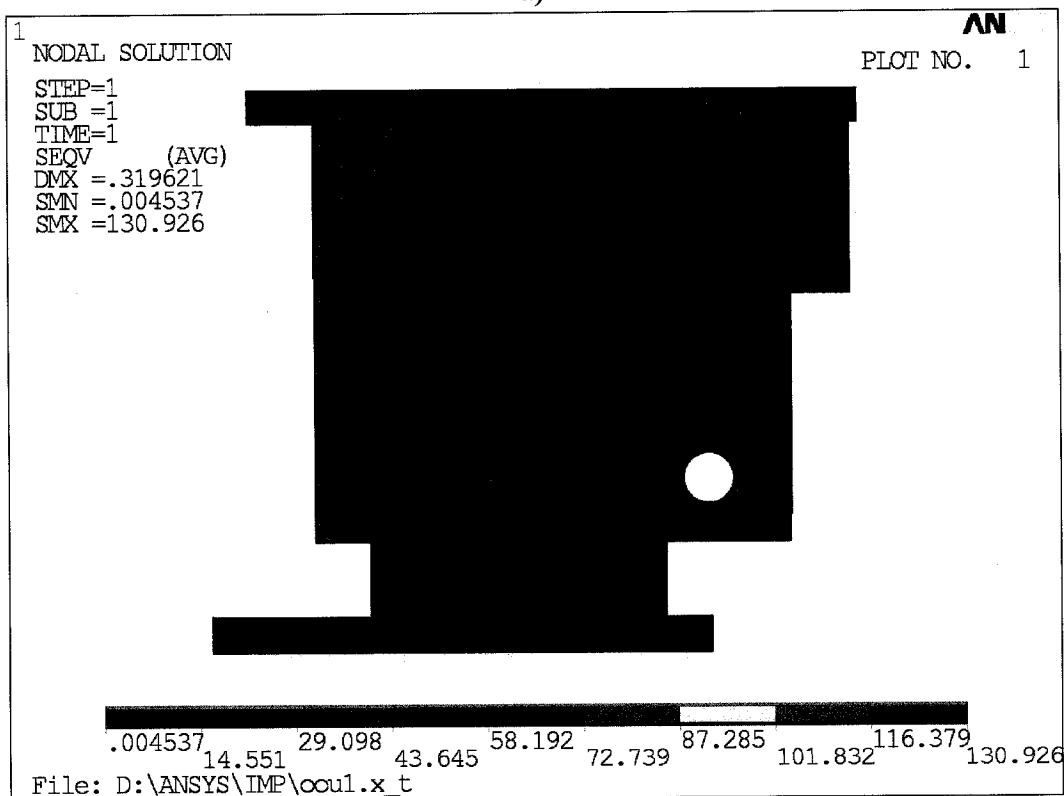
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	04/01-10-РПЗ.1.					Лист
										12

## А4 Расчет на статическую прочность нижней части насоса

На рисунке А.7 показан вид напряженно-деформированного состояния модели нижней части корпуса насоса.



а)



б)

Рисунок А.7 - Напряженно-деформированное состояние модели

Име. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Име. № дубл.
Подп. и дата	
Име. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

04/01-10-РПЗ.1.

Лист

13

На рисунке А.8 показана схема расположения путей в области примыкания напорного патрубка.

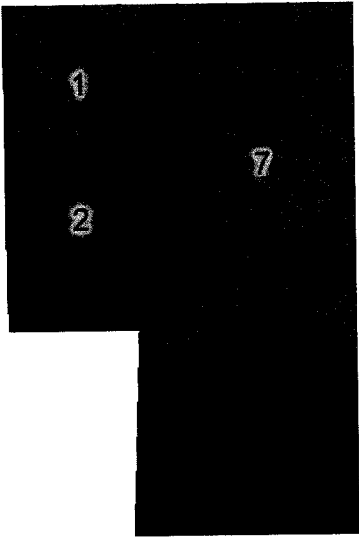


Рисунок А.8 - Схема расположения путей (сечений) для расчета местных напряжений

Диаграммы местных напряжений в соответствующих сечениях показаны на рисунках А.9÷А.15.

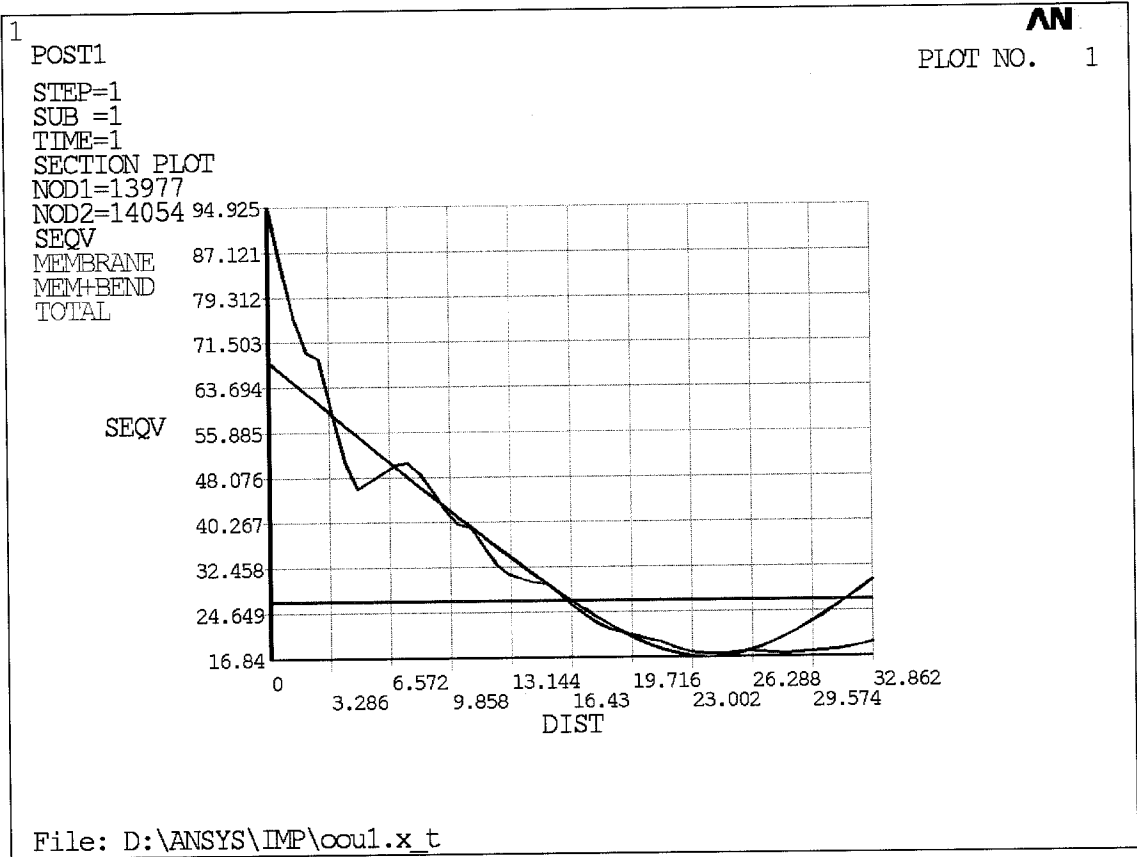


Рисунок А.9 - Напряжения для зоны 1

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	04/01-10-РПЗ.1.					Лист
										14
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

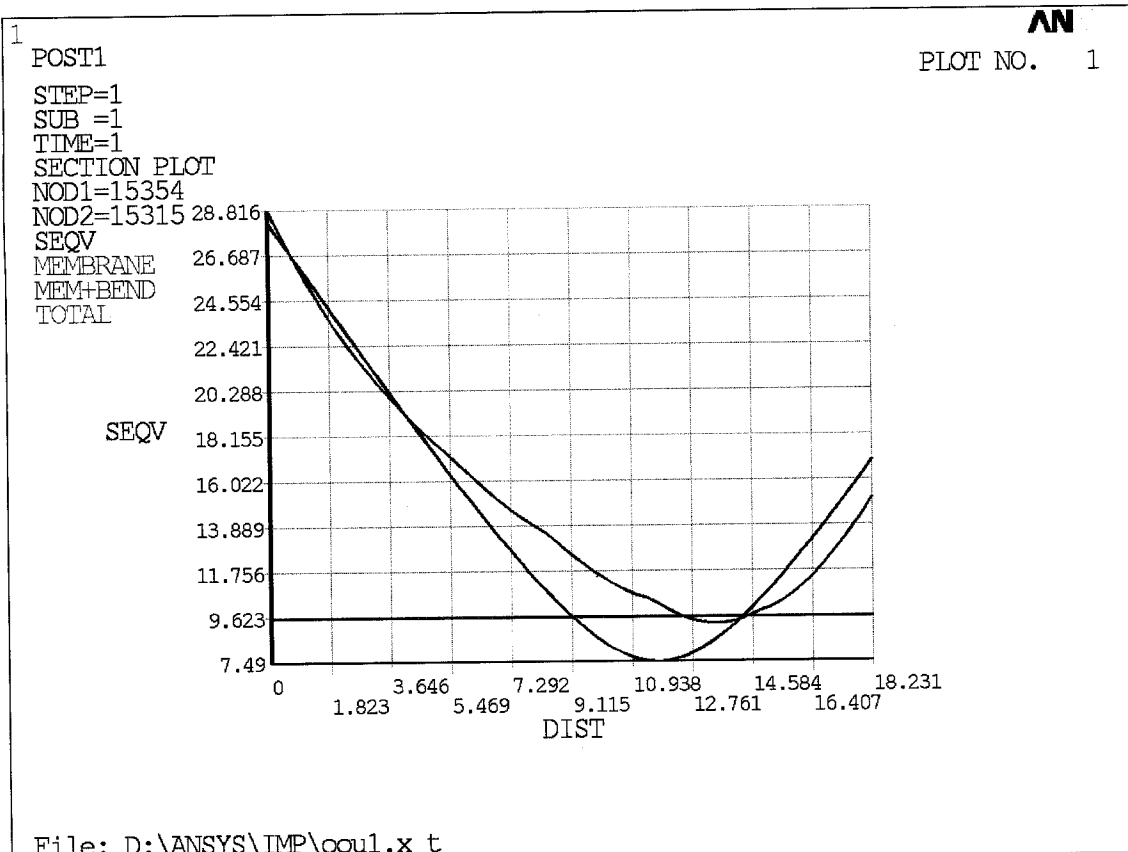


Рисунок А.10 - Напряжения для зоны 2

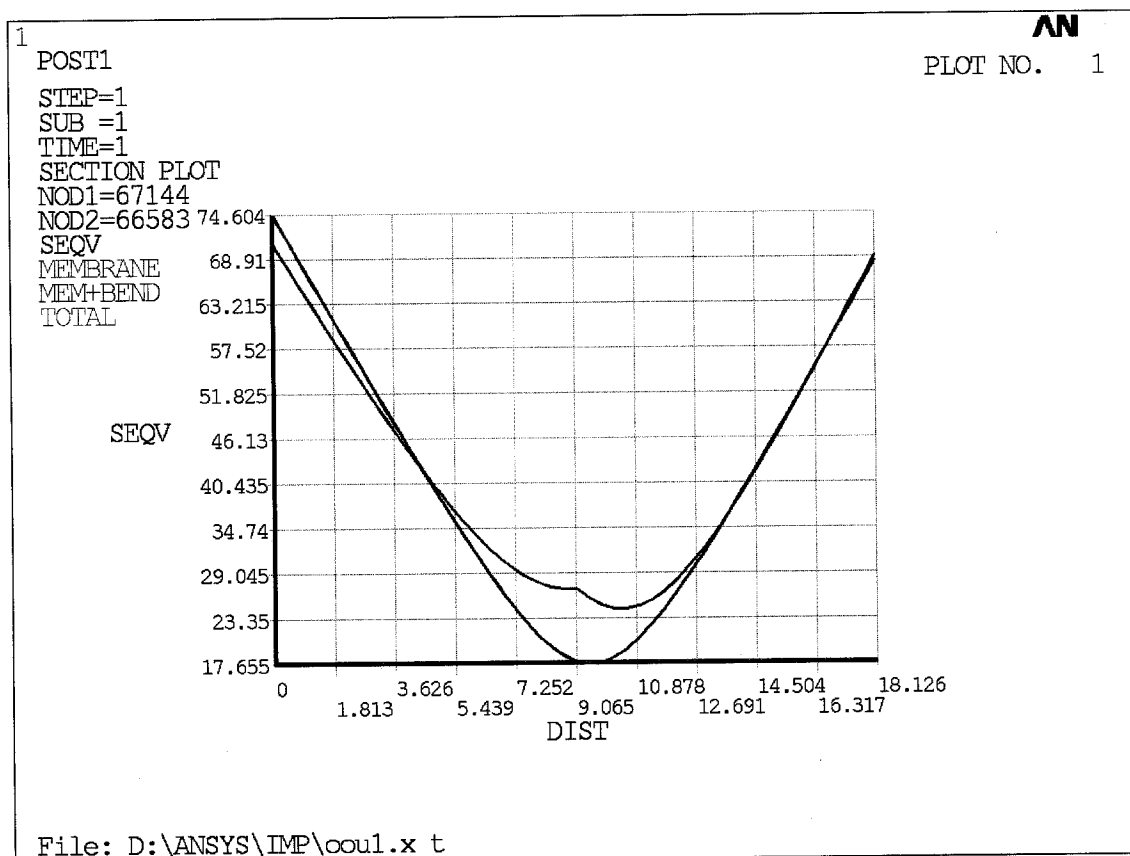


Рисунок А.11 - Напряжения для зоны 3

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

04/01-10-ППЗ.1.

Лист

15

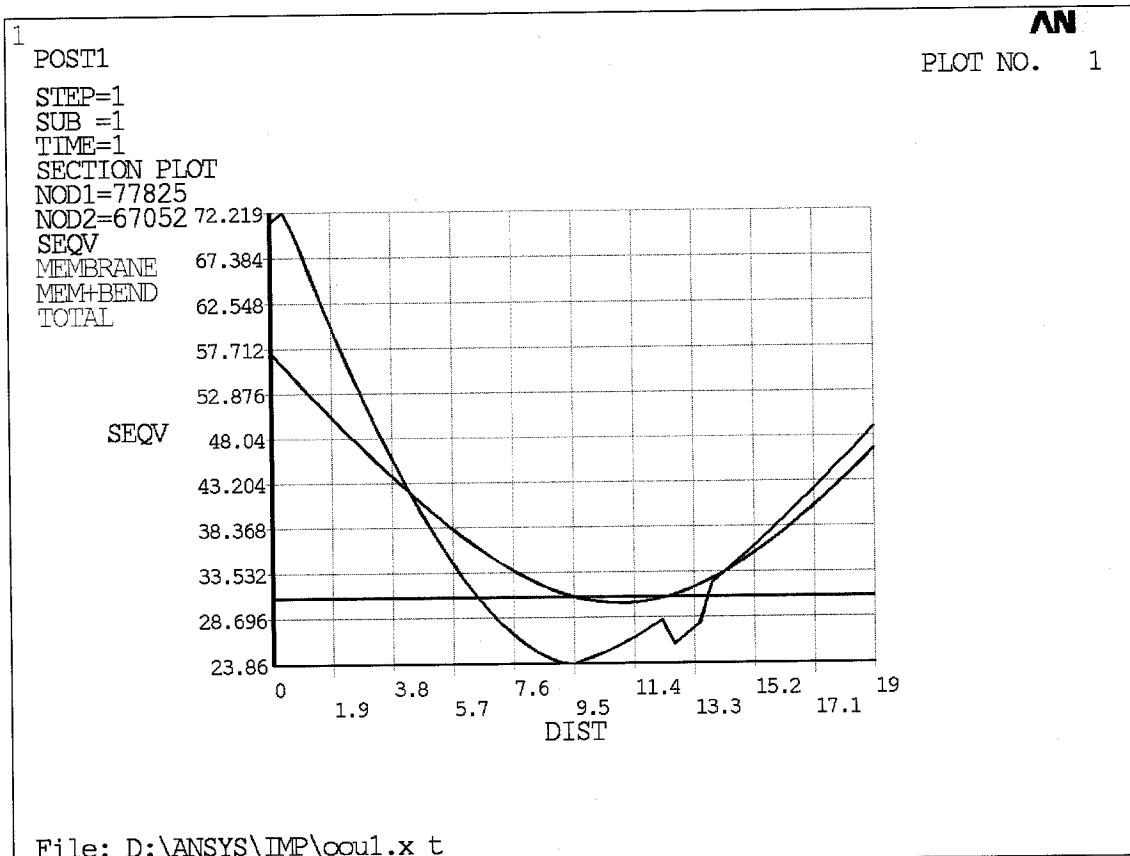


Рисунок А.12 - Напряжения для зоны 4

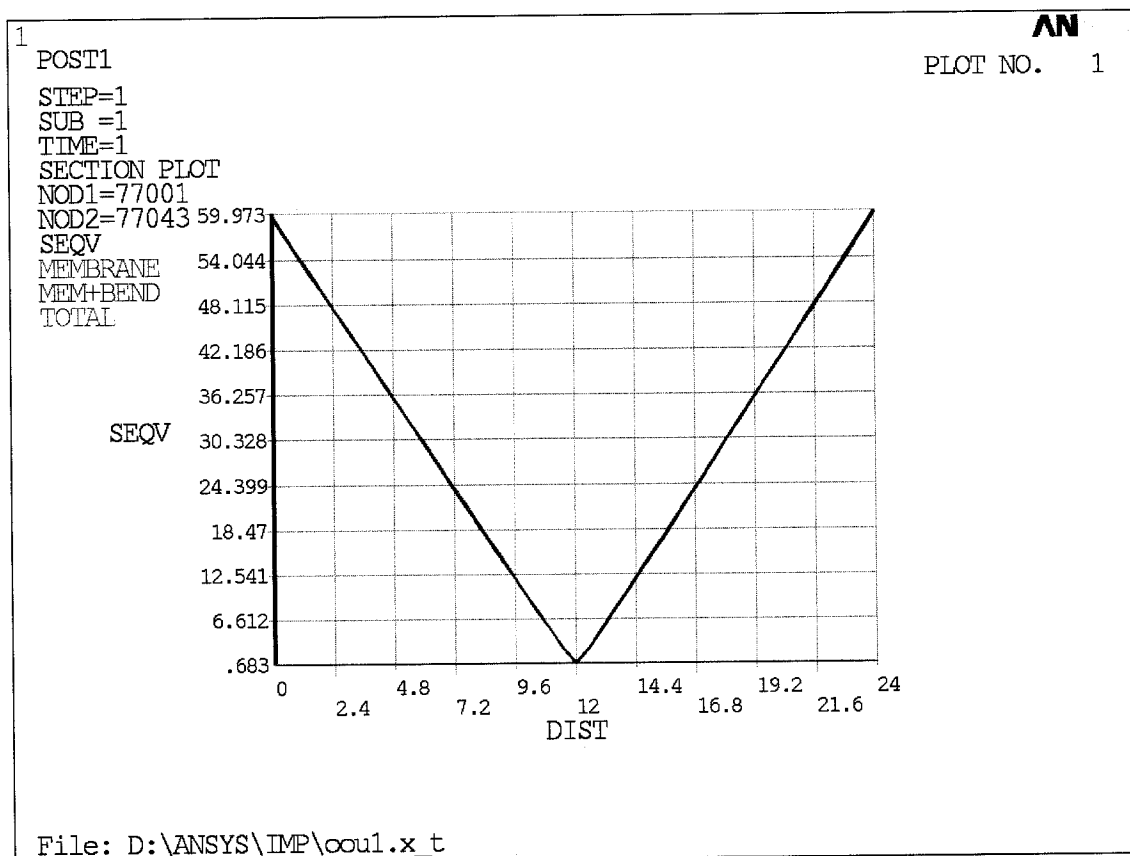


Рисунок А.13 - Напряжения для зоны 5

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

04/01-10-ППЗ.1.

Лист

16

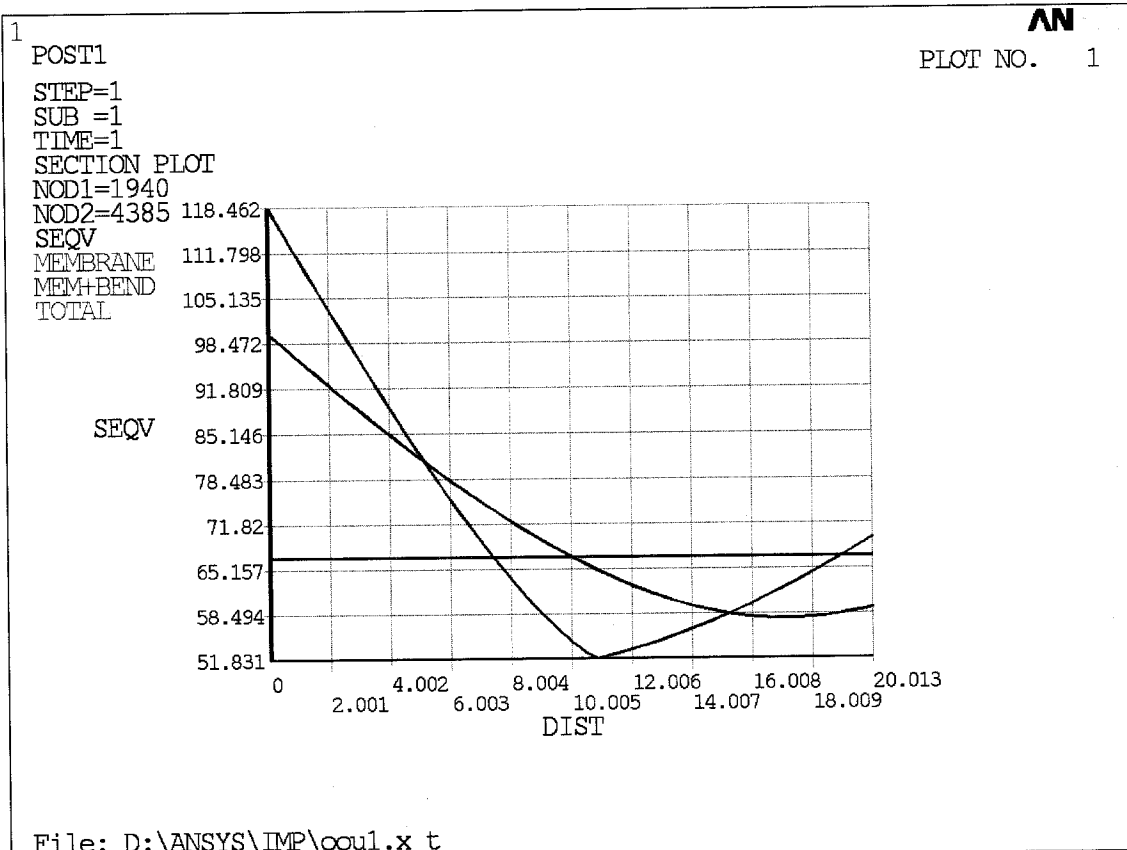


Рисунок А.14 - Напряжения для зоны 6

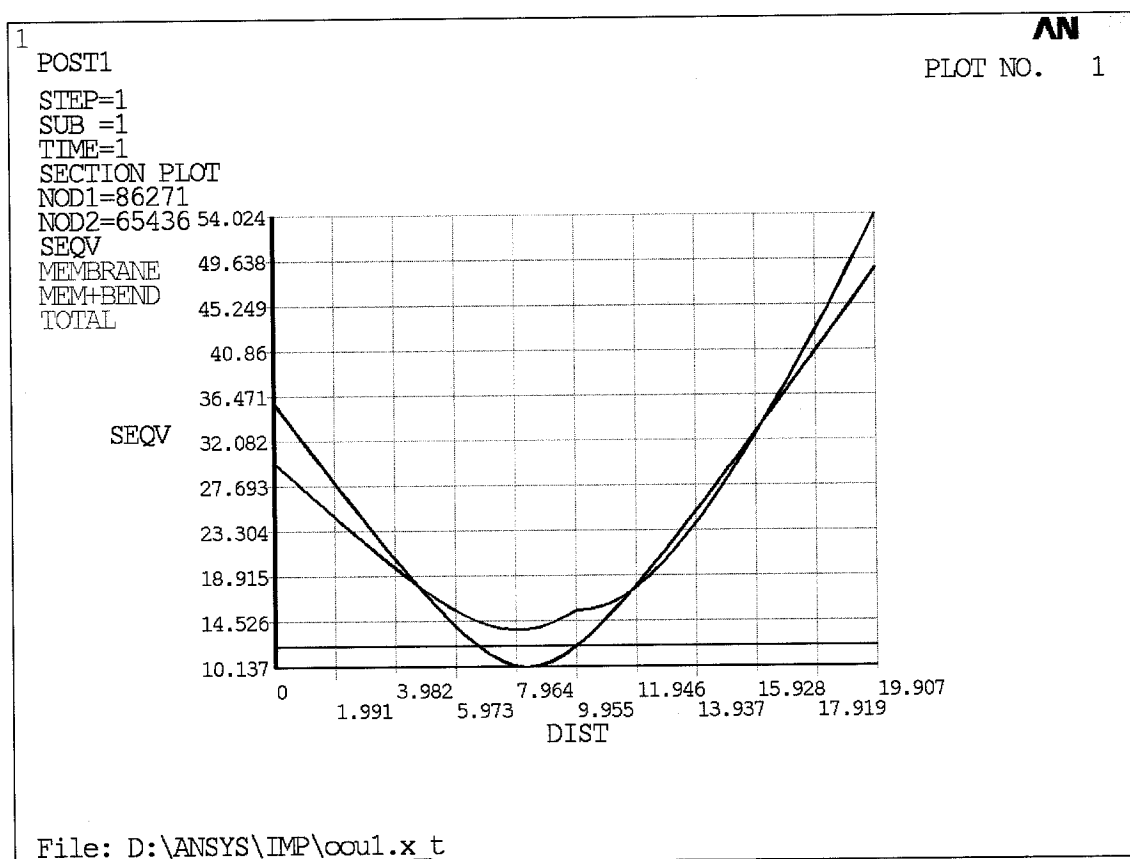


Рисунок А.15 - Напряжения для зоны 7

Подп. и дата

Лист. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм. Лист № докум. Подп. Дата

04/01-10-РПЗ.1.

Лист

17





## А5 Расчет на прочность к сейсмической нагрузке

Расчет на землетрясение ПЗ при НУЭ.

Проведен расчет первых 12 собственных частот (modal analysis, block Lanczos) с учетом напряженного состояния от статической нагрузки.

№	f, Гц
1.	4,247
2.	6,846
3.	9,44
4.	15,47
5.	17,73
6.	20,47
7.	20,92
8.	21,8
9.	22,59
10.	24,34
11.	25,7
12.	26,37

Вид перемещений конструкции для 1-й, 3-й, 6-й, 9-й и 12-й собственных частот приведен на рисунках А.16÷А.20.

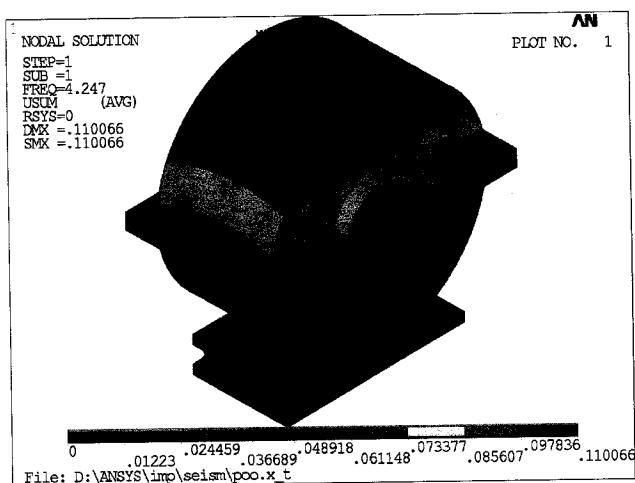


Рисунок А.16

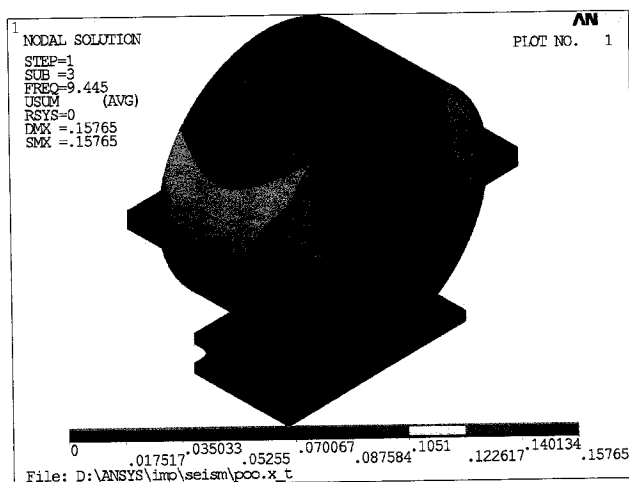


Рисунок А.17

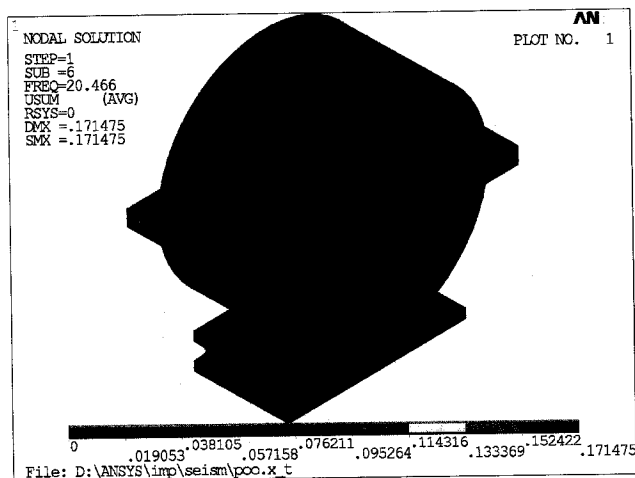


Рисунок А.18

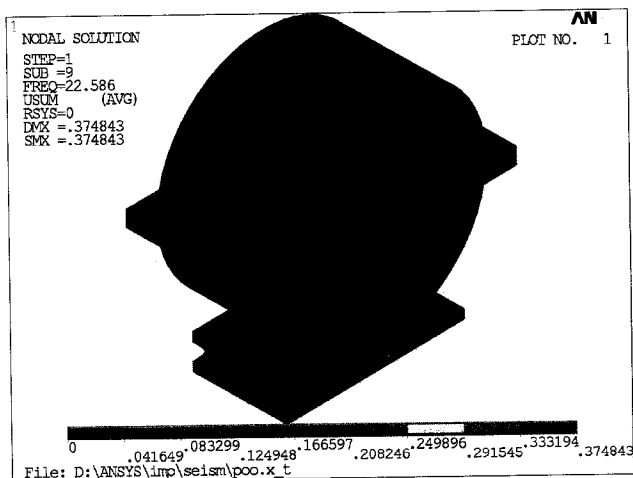


Рисунок А.19

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

04/01-10-ППЗ.1.

Лист

19

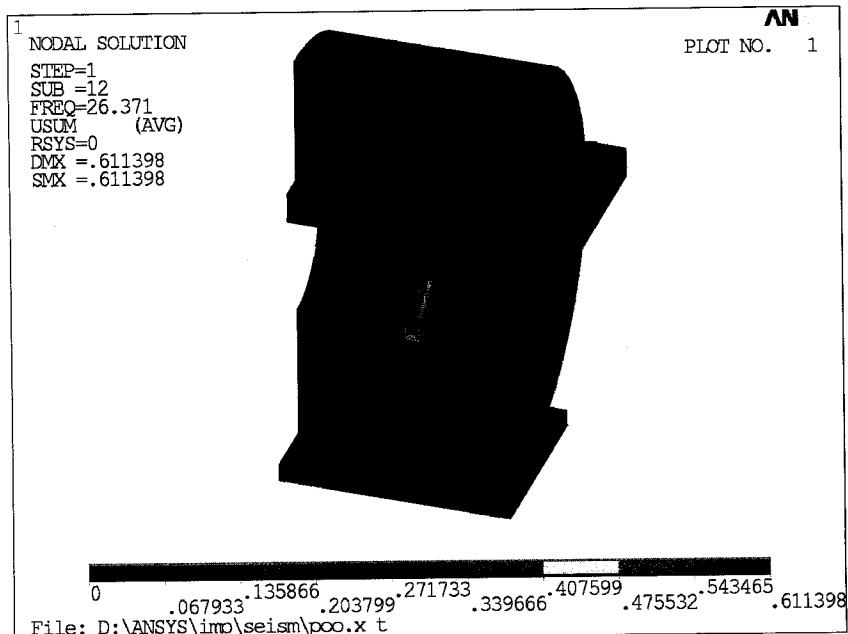


Рисунок А.20

Выполнен расчет круговых частот одномассовой модели по трем координатам:

$W_{ox} = 704,4$  рад/сек;  $W_{oy} = 2506$  рад/сек;  $W_{oz} = 1179$  рад/сек.

Для расчета сейсмических ускорений центра масс модели относительно основания использована формула 4.12 [3]. Комбинирование составляющих в соответствии с п. 2.5.4 [1] и в соответствии с [5]. На рисунке А.21 приведен вид напряженно деформированного состояния модели от сейсмической нагрузки.

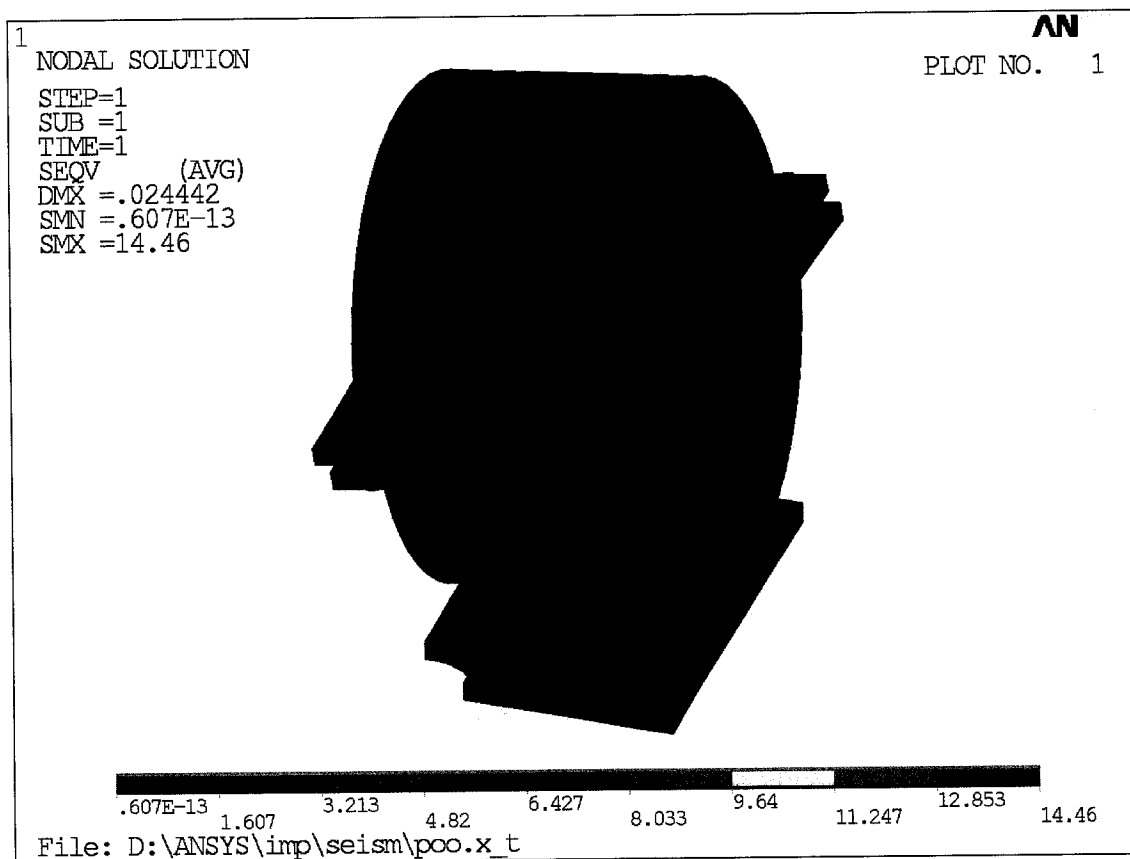


Рисунок А.21 – напряженно-деформированное состояние от сейсмической нагрузки

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

04/01-10-РПЗ.1.

Лист

20

Расчет напряжений для НУЭ+ПЗ.

Местные напряжения определяем в зоне 7 (см. рисунок. А.8).

Расчет допустимых напряжений для материала сталь ВСт3сп6 для НУЭ+ПЗ:

$$[\sigma_s]_1 = 1,5 \cdot \eta \cdot \min \{ R_e / 1.5; R_m / 2.6 \} = 1,5 \cdot 130,6 = 195,9 \text{ МПа}$$

$$[\sigma_s]_2 = 1,9 \cdot \eta \cdot \min \{ R_e / 1.5; R_m / 2.6 \} = 1,9 \cdot 130,6 = 248,1 \text{ МПа}$$

Сводная таблица расчета по зонам

№ зоны	Расчетные напряжения, МПа		Выполнение условия
	$(\sigma_s)_1$	$(\sigma_s)_2$	
7	14,3	58,3	да

**Вывод:** расчетные напряжения меньше допустимых – условия прочности при сейсмических воздействиях выполняются.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Лист	Инв. № дубл.	Подп. и дата					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	04/01-10-РПЗ.1.					Лист
										21

## А6 Расчет шпилек и болтов главного разъёма

Расчет выполнен по п.3 Приложения 5 ПНАЭ Г-7-002-86 [1].

### А6.1 Исходные данные:

материал фланцев – ВСт.3спб;  
материал шпилек и болтов – Ст. 35;  
Т = 50°C – рабочая температура;  
Р<sub>раб</sub> = 7,3 кг/см<sup>2</sup> – рабочее давление.

#### А6.1.1 Исходные данные по шпилькам, болтам и гайкам:

z<sub>1</sub> = 14 количество шпилек;  
z<sub>2</sub> = 4 количество болтов;  
z = 18 общее количество болтов и шпилек;  
d = 1,6 см, диаметр стержня шпильки (болта);  
d<sub>1</sub> = 1,355 см, диаметр впадин шпильки;  
d<sub>sr</sub> = 1,355 см, средний диаметр шпильки;  
H = 1,28 см, высота гайки;  
A = 33 см, расстояние между центрами параллельных рядов шпилек по стороне А;  
B = 58,4 см, расстояние между центрами параллельных рядов шпилек по стороне В;  
σ<sub>v1</sub> = 5880 кг/см<sup>2</sup>, предел прочности;  
σ<sub>t1</sub> = 4214 кг/см<sup>2</sup>, предел текучести;  
E<sub>1</sub> = 2000000 кг/см<sup>2</sup>, модуль упругости.

#### А6.1.2 Исходные данные по фланцам:

l = 2 см, толщина в месте крепления;  
lk<sub>1</sub> = 2,1 см, длинна стержня шпильки между нижним торцом гайки первого фланца и верхним торцом второго фланца;  
lk<sub>2</sub> = 2,1 см, длинна стержня болта от нижнего фланца до верхнего торца второго фланца;  
d<sub>o</sub> = 1,7см, диаметр отверстия;  
E<sub>2</sub> = 2000000 кг/см<sup>2</sup>, модуль упругости.

#### А6.1.3 Исходные данные по прокладке

Уплотнение разъёма по притертым поверхностям фланцев. Специальных требований (нормированных) к степени герметичности разъёма в ПКД не указывается.

b<sub>k</sub> = 502,8 см<sup>2</sup> общая площадь контактирующих поверхностей.

### А6.2 Расчет

#### А6.2.1 Расчет коэффициента основной нагрузки

Коэффициент податливости резьбового соединения

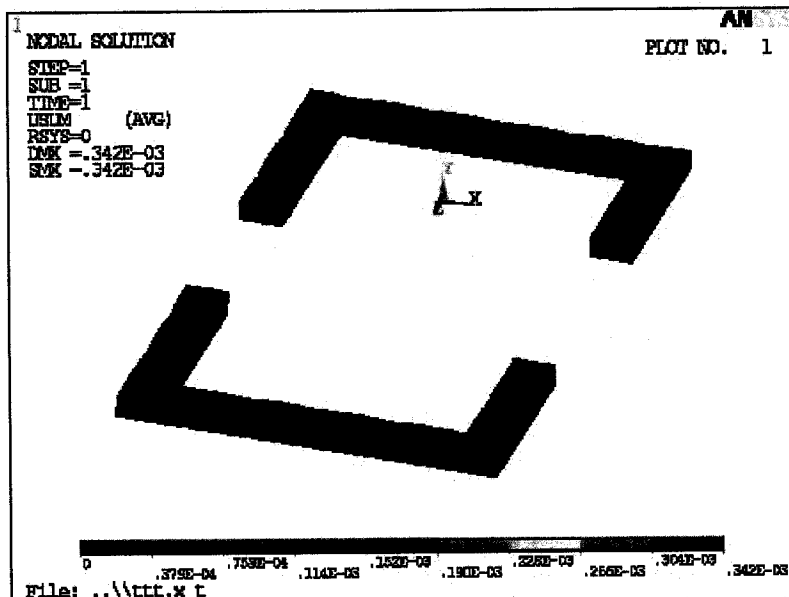
$$\lambda_{рс} := \frac{lk_1 + 0.6 \cdot d}{z_1 \cdot E_1 \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot \pi} + \frac{lk_2 + 0.6 \cdot d}{z_2 \cdot E_1 \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot \pi} \quad \lambda_{рс} = 2,721 \cdot 10^{-7} \text{ см/кг}$$

Расчет коэффициента податливости фланцев выполнен в программе Ansys. Суммарное усилие 10000Н. Максимальное перемещение 0,000342 мм.

Ив. № подл.	Подп. и дата	Лист	Взам. инв. №	Лист

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

04/01-10-РПЗ.1.



Коэффициент податливости фланцев:

$$\lambda_k := \frac{0.342 \cdot 10^{-4}}{1000} \quad \lambda_k = 3,42 \cdot 10^{-8} \text{ см/кг}$$

Коэффициент податливости деталей системы шпильки:

$$\lambda_1 = \lambda_k + \lambda_{pc}$$

$$\lambda_1 = 3,063 \cdot 10^{-7} \text{ см/кг}$$

$$\lambda_2 = \lambda_k = 3,42 \cdot 10^{-8} \text{ см/кг}$$

Коэффициент основной нагрузки:

$$\chi := \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \quad \chi = 0,1004$$

#### А6.2.2 Расчет усилия начальной затяжки

$m = 3$  прокладочный коэффициент (согласно п.п. 3.6.4 ПНАЭ Г-7-002-86 [1]):

$P_2' = b_k \cdot P_{rab} \cdot m = 1,101 \cdot 10^4$  кгс, усилие на уплотняющих поверхностях в рабочем состоянии;

$P_2'' = P_2' + (1 - \chi) \cdot (A \cdot B \cdot P_{rab}) = 2,367 \cdot 10^4$  кгс, усилие для плотности стыка;

Выбираем наибольшее значение усилия и учитываем коэффициент затяжки:

$$P_2 = 2,367 \cdot 10^4 \cdot 1,4 = 3,313 \cdot 10^4 \text{ кгс}$$

#### А6.2.3 Расчет напряжений в шпильках (болтах)

Усилие в шпильках при затяге:

$$F_w' = 3,313 \cdot 10^4 \text{ кгс}$$

Усилие в шпильках при рабочих условиях:

$$F_w'' = P_2 + \chi \cdot (A \cdot B \cdot P_{rab}) = 3,455 \cdot 10^4 \text{ кгс}$$

Принимаем наибольшее значение из  $F_w'$  и  $F_w''$ .

Крутящий момент на одну шпильку (болт):

$$M_k = 0,13 \cdot P_2 \cdot d/z = 382,88 \text{ кг·см}$$

Напряжение растяжения в шпильке (болте):

$$\sigma_m := \frac{F_w}{0.785 \cdot d_1^2 \cdot z} \quad \sigma_m = 1.332 \cdot 10^3 \text{ кгс/см}^2$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

04/01-10-РПЗ.1.

Лист

23

Напряжение кручения в шпильке;

$$\tau_s := \frac{M_k}{0.196 \cdot d_1^3} \quad \tau_s = 785,2 \text{ кгс/см}^2$$

Учет действия сейсмических нагрузок на шпильки

$M = 2,279 \cdot 10^3 \text{ кгс/см}^2$  изгибающий момент (от сейсмических нагрузок);

$J_x = 6405 \text{ см}^4$  момент инерции сечения шпилек относительно оси X;

$J_y = 22559 \text{ см}^4$  момент инерции сечения шпилек относительно оси Y;

$$h_x := \frac{A + d}{2} \quad h_x = 17,3 \text{ см, расстояние от оси X до максимально удаленной точки шпилек;}$$

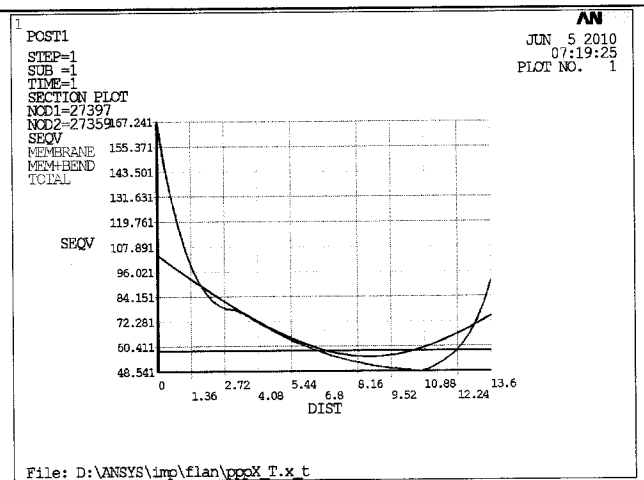
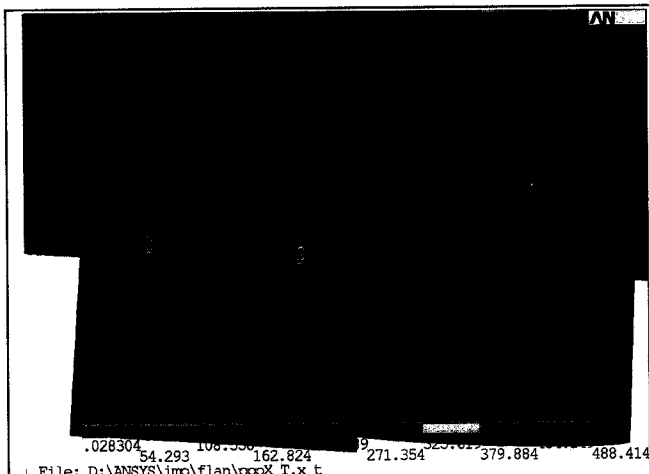
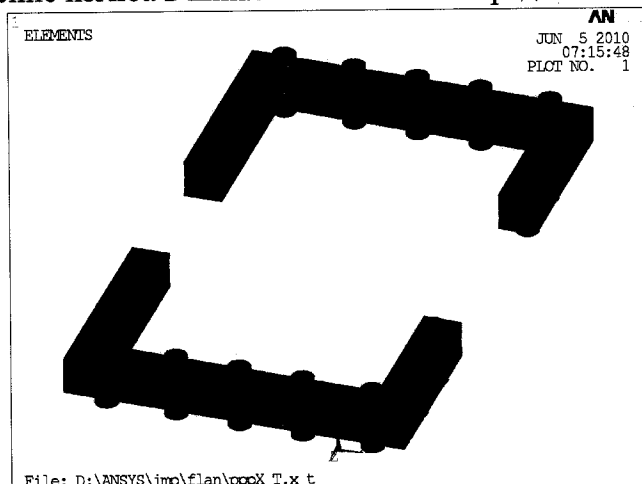
$$h_y := \frac{B + d}{2} \quad h_y = 30 \text{ см, расстояние от оси Y до максимально удаленной точки шпилек;}$$

$$W_x := \frac{J_x}{h_x} \quad W_x = 370,23 \text{ см}^3, \text{ момент сопротивления шпилек;}$$

$$W_y := \frac{J_y}{h_y} \quad W_y = 751,96 \text{ см}^3, \text{ момент сопротивления шпилек;}$$

$$\sigma_s := \frac{M}{W_x} \quad \sigma_s = 6,156 \text{ кгс/см}^2, \text{ максимальное напряжение изгиба в шпильках (от сейсмических нагрузок).}$$

Максимальное напряжение изгиба в шпильках и болтах определяем по КЭ модели:



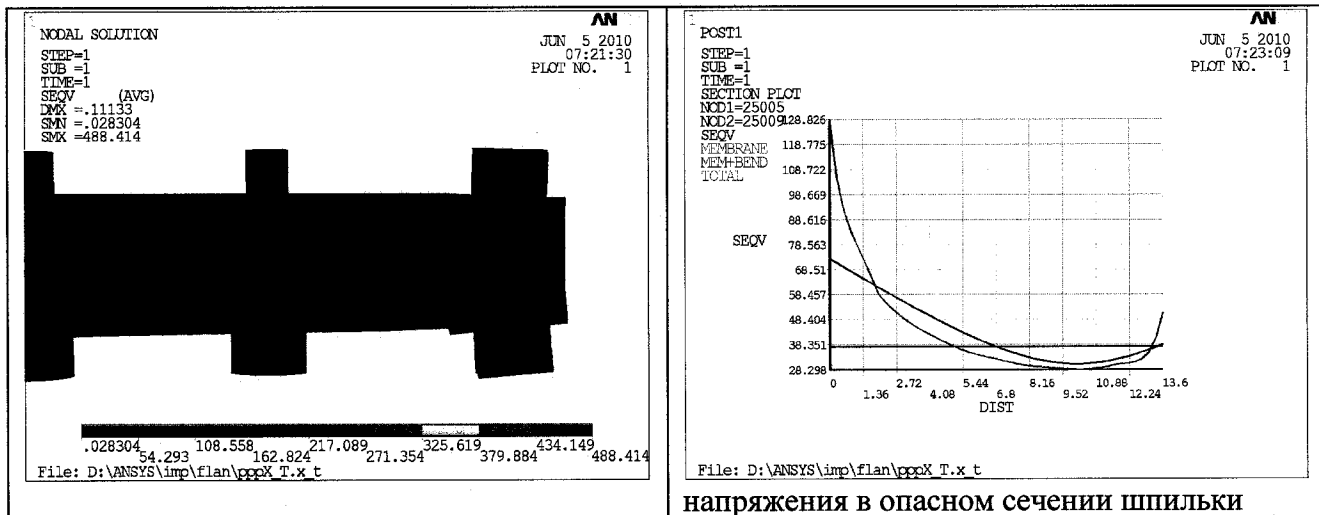
напряжения в опасном сечении болта

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

04/01-10-РПЗ.1.

Лист

24



напряжения в опасном сечении шпильки

$\sigma_i = (104,4 - 59,5) \cdot 9,8 = 440 \text{ кгс/см}^2$ , напряжение изгиба в болте;

$\sigma_{ш} = (73,5 - 38,4) \cdot 9,8 = 344 \text{ кгс/см}^2$ , напряжение изгиба в шпильке;

$\sigma_b = \sigma_i + \sigma_s = 446,16 \text{ кгс/см}^2$ , напряжение изгиба в болте от рабочих и сейсмических нагрузок.

$\sigma_{ш} = \sigma_i + \sigma_s = 350,16 \text{ кгс/см}^2$ , напряжение изгиба в шпильке от рабочих и сейсмических нагрузок.

Напряжение среза резьбы:

$$\tau_p := \frac{F_w}{\pi \cdot d_1 \cdot H \cdot z \cdot 0.75 \cdot 0.7} \quad \tau_p = 670,927 \text{ кгс/см}^2$$

Условия прочности по группам напряжений

Расчетное напряжение кгс/см <sup>2</sup> Болт/шпилька	Допустимое напряжение кгс/см <sup>2</sup>	Выполняемость условия
$\sigma_m$	$\frac{\sigma_{H1}}{2} = 2107$	да
1332	1332	
$\sigma_m + \sigma_b + \tau_s$	$\frac{\sigma_{H1}}{2} \cdot 1.7 = 3582$	да
2563	2467	
$\sigma_m + \sigma_b + \tau_s + 5\tau_p$	Расчетное количество циклов с данной амплитудой состав- ляет 610 по рис. 5.9 ПНАЭ Г-7-002-86 [1]	да
5918	5822	

**Вывод:** по результатам расчета условия статической и циклической прочности для шпилек и болтов главного разъема выполняются.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	04/01-10-РПЗ.1.	Лист
						25



## А7 Расчет на циклическую прочность

Определяем эффективный коэффициент концентрации напряжений по рекомендациям, приведенным в гл.20 [4]. Коэффициент вычисляем для зоны примыкания фланца к корпусу. Используем приложение 2 [4], расчетную схему ступенчатой полосы  $K_\sigma = 1,8$ . Тогда амплитуду напряжений соответствующего цикла в зоне концентрации находим как  $K_\sigma \cdot \sigma_{\text{экв}}$ .

Основные параметры циклов, а именно максимальное условное упругое напряжение цикла  $\sigma_F$  и амплитуда циклического напряжения  $\sigma_{aF}$  сведены в таблицу:

Наименование цикла	$\sigma_F$ , МПа	$\sigma_{aF}$ , МПа	Кол-во циклов
Пуск/останов	235,2	235,2	100
ПЗ в режиме НУЭ+ПЗ	235,5	26	50

### А7.1 Пуск/останов

Расчет выполнен в соответствии с п. 5. 6 ПНАЭ Г-7-002-86 [1].

#### Исходные данные:

$R_m = 363$  МПа временное сопротивление материала;

$R_{p02} = 196$  МПа предел текучести материала;

$Z = 49\%$  относительное сужение образца;

$\sigma_F = 235,2$  МПа максимальное приведенное условное упругое напряжение цикла с учетом коэффициента концентрации (по рисунку А.7 напряженно-деформированного состояния);

$\sigma_{aF} = 235,2$  МПа амплитуда циклического напряжения;

$E = 200000$  МПа модуль упругости материала;

$N_o = 100$  расчетное количество циклов, принято исходя из годовой наработки, количества лет в эксплуатации и прогноза на продляемый срок эксплуатации.

#### Проверка условий применимости формул:

$$0,7 \geq \frac{R_{p02}}{R_m} = 0.54 \text{ условие применимости выполняется;}$$

$$10^{12} \geq N_o = 100 \text{ условие применимости выполняется.}$$

#### Расчет:

Коэффициент асимметрии цикла:

$$r = \frac{\sigma_F - 2\sigma_{aF}}{\sigma_F} = -1$$

Характеристика прочности  $R_c$ :

$$R_c = R_m (1 + 1.4 \cdot 10^{-2} \cdot Z)$$

$$R_c = 612,018 \text{ МПа}$$

Характеристика пластичности  $e_c$ :

$$e_c = 1.15 Lg \frac{100}{100 - Z} = 0,336$$

Ив. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	04/01-10-РПЗ.1.	Лист
						26



**Проверка условий применимости формул:**

$$0,7 \geq \frac{R_{p02}}{R_m} = 0,54 \text{ условие применимости выполняется;}$$

$$10^{12} \geq N_o = 100 \text{ условие применимости выполняется.}$$

**Расчет:**

Коэффициент асимметрии цикла:

$$r = \frac{\sigma_F - 2\sigma_{aF}}{\sigma_F} = 0,778912$$

Характеристика прочности Rc:

$$Rc = Rm (1 + 1,4 \cdot 10^{-2} \cdot Z)$$

$$Rc = 612,018 \text{ МПа}$$

Характеристика пластичности  $e_c$ :

$$e_c = 1,15 Lg \frac{100}{100 - Z} = 0,336$$

Характеристики материала  $m$ ,  $m_e$  и  $R_{-1}$  определяются по таблице 5.7 ПНАЭ Г-7-002-86 [1]:

$$m = 0,5;$$

$$R_{-1} = 0,4 Rm = 145,2 \text{ МПа;}$$

$$m_e = 0,1321 \cdot \lg \left( \frac{Rm}{R_{-1}} \cdot (1 + 1,4 \cdot 10^{-2} Z) \right) = 0,083.$$

Коэффициенты запаса прочности:

$$n_{\sigma} = 2 \text{ по напряжениям;}$$

$$n_N = 10 \text{ по числу циклов.}$$

Допустимая амплитуда условного упругого напряжения:

$$\sigma'_{aF} = \frac{E \cdot e_c}{n_{\sigma} (4No)^m} + \frac{Rc}{n_{\sigma} \left[ (4No)^{m_e} + \frac{1+r}{1-r} \right]} = 2401,9 \text{ МПа;}$$

$$\sigma'_{aF} = \frac{E \cdot e_c}{(4n_N No)^m} + \frac{Rc}{(4n_N No)^{m_e} + \frac{1+r}{1-r}} = 1550,2 \text{ МПа.}$$

Проверка условия

$$\min(\sigma'_{aF}) > \sigma_{aF}$$

$$1550,2 \text{ МПа} > 26 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполняется.

Максимальное допустимое количество циклов с указанными параметрами не рассчитывалось, т.к. амплитуда циклического напряжения намного меньше предела усталости, и коэффициент повреждаемости по данному виду нагружения близок к нулю.

Име. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Подп. и дата	$m = 0,5;$ $R_{-1} = 0,4R_m = 145,2 \text{ МПа};$ $m_e = 0.1321 \cdot \lg(\frac{R_m}{R_{-1}} \cdot (1 + 1.4 \cdot 10^{-2} Z)) = 0,083.$  Коэффициенты запаса прочности: $n_\sigma = 2$ по напряжениям; $n_N = 10$ по числу циклов.  Допустимая амплитуда условного упругого напряжения: $\sigma_{aF}' = \frac{E \cdot e_c}{n_\sigma (4No)^m} + \frac{Rc}{n_\sigma \left[ (4No)^{me} + \frac{1+r}{1-r} \right]} = 2401,9 \text{ МПа};$ $\sigma_{aF}' = \frac{E \cdot e_c}{(4n_N No)^m} + \frac{Rc}{(4n_N No)^{me} + \frac{1+r}{1-r}} = 1550,2 \text{ МПа.}$  Проверка условия $\min(\sigma_{aF}') > \sigma_{aF}$ $1550,2 \text{ МПа} > 26 \text{ МПа}$ Условие прочности выполняется.  Максимальное допустимое количество циклов с указанными параметрами не рассчитывалось, т.к. амплитуда циклического напряжения намного меньше предела усталости, и коэффициент повреждаемости по данному виду нагружения близок к нулю.

					04/01-10-РПЗ.1.	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Суммарное накопленное усталостное повреждение (с учетом срока продления на 30 лет):

$$a = \sum_i \frac{N_{0i}}{[N_0]_i} = 0,00719,$$

где  $N_{0i}$  – общее число циклов нагружения от режима  $i$  за весь срок службы;

$[N_0]_i$  – допускаемое число циклов нагружения от режима  $i$ .

Проверка условия:

$$a \leq [a_N]$$

$$0,00719 < 1$$

Условие прочности выполняется.

**Вывод:** условия циклической прочности импульсного насоса выполняются при заданных условиях циклического нагружения, соответствующих общему сроку эксплуатации насоса в течение 60 лет.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	04/01-10-РПЗ.1.					Лист
										29

## A8 Расчет по выбору основных размеров

Целью расчета является определение минимально допустимых толщин стенок цилиндрической и торцевой частей корпуса насоса в соответствии с п.4 ПНАЭ Г-7-002-86 [1].

Толщина стенки цилиндрической части корпуса:

$$\varphi = \frac{2}{\frac{d}{\sqrt{Ds}} + 1.75} = \frac{2}{\frac{6.8}{\sqrt{51 \cdot 1.7}} + 1.75} = 0.806, \text{ коэффициент ослабления отверстием}$$

$$s = \frac{pD}{2\phi[\sigma] - p} = \frac{7,3 \cdot 51}{2 \cdot 0,806 \cdot 1280 - 7,3} = 0,181 \text{ см, расчетная толщина стенки}$$

Толщина стенки торцевой части корпуса:

$$x = 0,5 + \sqrt{0,25 - \frac{s1}{s} \frac{0,5\sqrt{p[\sigma]}}{2[\sigma]} - p} = 0,5 + \sqrt{0,25 - \frac{0,5\sqrt{7,3 \cdot 1280}}{2 \cdot 1280 - 7,3}} = 0,981, \text{ коэффициент жесткости}$$

$$s = xK_o D \sqrt{\frac{p}{\phi[\sigma]}} = 0,981 \cdot 0,47 \cdot 51 \cdot \sqrt{\frac{7,3}{1 \cdot 1280}} = 1,77 \text{ см, расчетная толщина стенки}$$

Расчет укрепления отверстия в днище (торцевой части) фланцем и усиливающим буртом проведен в рамках поверочного расчета на прочность, т.к. расчет данной схемы усиления аналитическими формулами п.4. ПНАЭ Г-7-002-86 [1] не предусмотрен.

Име. № подл.	Подп. и дата	Взам. име. №	Име. № дубл.	Подп. и дата	

$$s = xK_o D \sqrt{\frac{p}{\phi[\sigma]}} = 0,981 \cdot 0,47 \cdot 51 \cdot \sqrt{\frac{7,3}{1 \cdot 1280}} = 1,77 \text{ см, расчетная толщина стенки}$$

Расчет укрепления отверстия в днище (торцевой части) фланцем и усиливающим буртом проведен в рамках поверочного расчета на прочность, т.к. расчет данной схемы усиления аналитическими формулами п.4. ПНАЭ Г-7-002-86 [1] не предусмотрен.

					04/01-10-РПЗ.1.	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		30

## A9 Лист регистрации изменений

[illegible]

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

## Список использованных источников

1. ПНАЭ Г-7-002-86. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.
2. РД ЭО 0330-01. Руководство по расчету на прочность оборудования и трубопроводов реакторных установок РБМК, ВВЭР и ЭГП на стадии эксплуатации.
3. Сейсмостойкость атомных электростанций. Кирилов А.П. – М.: Энергоатомиздат, 1985г. –184с.
4. Справочник по сопротивлению материалов/ Писаренко Г.С., - 2-е изд., - Киев. 1988г. – 736с.
5. СНиП II-7-81. Строительство в сейсмических районах.

[illegible]