



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
« 16 » 2010 г.

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ООО «НСУЦ «ЦМР»


М.Б. Бакиров
« » 2010 г.

Инв. № 11-Бал1-3-003/21-09

Заключение № 3-003/ТЦ-1/21-09

**о техническом состоянии и остаточном ресурсе
конденсатного насоса второй ступени 1RM43D01
энергоблока № 1 Балаковской АЭС**

присоединил к Техническому решению № ПР-4-03/138-1 от 13.12.10

Москва 2010

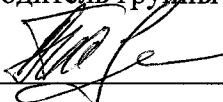
Лист согласования должностных лиц ООО «НСУЦ «ЦМиР»

Руководитель группы

 В.И. Левчук

«24» 11 2010 г.

Руководитель группы

 А.П. Павлючков

«24» 11 2010 г.

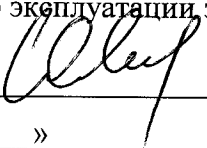
Начальник лаборатории

 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
«__» _____ 2010 г.

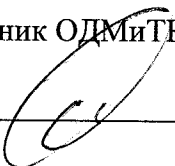
Заместитель начальника ТЦ-1

 А.В. Дремов
«__» _____ 2010 г.


Заместитель начальника ЦЦР

 А.А. Бурлаков
«__» _____ 2010 г.

Начальник ОДМиТК

 С.В. Якушев
«__» _____ 2010 г.

Ведущий инженер ОМиПРО

 Ю.В. Лавриков
«__» _____ 2010 г.

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АЭС	– атомная электростанция;
ВВЭР	– водо-водяной энергетический реактор;
ВиИК	– визуальный и измерительный контроль;
ВО	– внутренний осмотр;
ВХР	– водно-химический режим;
ГИ	– гидравлические испытания;
ИМС	– измерение механических свойств;
КК	– капиллярный контроль;
НД	– нормативный(ые) документ(ы);
НТД	– нормативно-техническая документация;
НО	– наружный осмотр;
ОМ	– основной металл;
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;
ТЦ	– турбинный цех;
УЗТ	– ультразвуковая толщинометрия;
ЭК	– эксплуатационный контроль;
ЭКИ	– эрозионно-коррозионный износ;
Р	– давление;
Т	– температура;
v	– расчетная скорость утонения металла;
s_n	– номинальная толщина стенки;
s_{np}^{60}	– прогнозируемая толщина стенки после 60 лет эксплуатации;
s_R	– расчетная минимально допустимая толщина стенки.

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	16
Перечень используемой документации	17
Приложение 1. Программа № 003/ТЦ-1/21-09 обследования, оценки технического состояния и остаточного ресурса конденсатного насоса второй ступени 1RM43D01 энергоблока № 1 Балаковской АЭС, 2009 г.	
Приложение 2. Комплект актов, протоколов контроля металла конденсатного насоса второй ступени 1RM43D01 турбинного цеха энергоблока №1 Балаковской АЭС.	
Приложение 3. Конденсатный насос второй ступени 1RM43D01. Аннотационный отчет по результатам расчёта на прочность 21/09-Р.2., 2010 г.	

1. Введение

1.1. Работы по оценке технического состояния и остаточного ресурса, обоснованию возможности и условий дальнейшей эксплуатации конденсатного насоса второй ступени 1RM43D01 системы основного конденсата РМ турбинного цеха энергоблока № 1 Балаковской АЭС (далее по тексту – конденсатный насос второй ступени) 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 конденсатного насоса второй ступени 1RM43D01 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 № 003/ТЦ-1/21-09 обследования, оценки технического состояния и остаточного ресурса конденсатного насоса второй ступени 1RM43D01 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 1RM43D01, 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 конденсатного насоса второй ступени 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÷20];
- документация по эксплуатационному контролю металла [21÷26];
- документация по техническому обслуживанию и ремонту [27÷30];
- результаты комплексного обследования энергоблока №1 Балаковской АЭС [31];
- результаты обследования оборудования и трубопроводов системы основного конденсата RM энергоблока № 1 Балаковской АЭС [32];
- паспорт на корпус конденсатного насоса второй ступени, рег. № 1019 [33];
- исполнительная схема;
- сборочные чертежи Н18.66.00.00СБ, Н18.66.21.00СБ;
- результаты контроля и технических освидетельствований;
- данные по режимам и условиям эксплуатации.

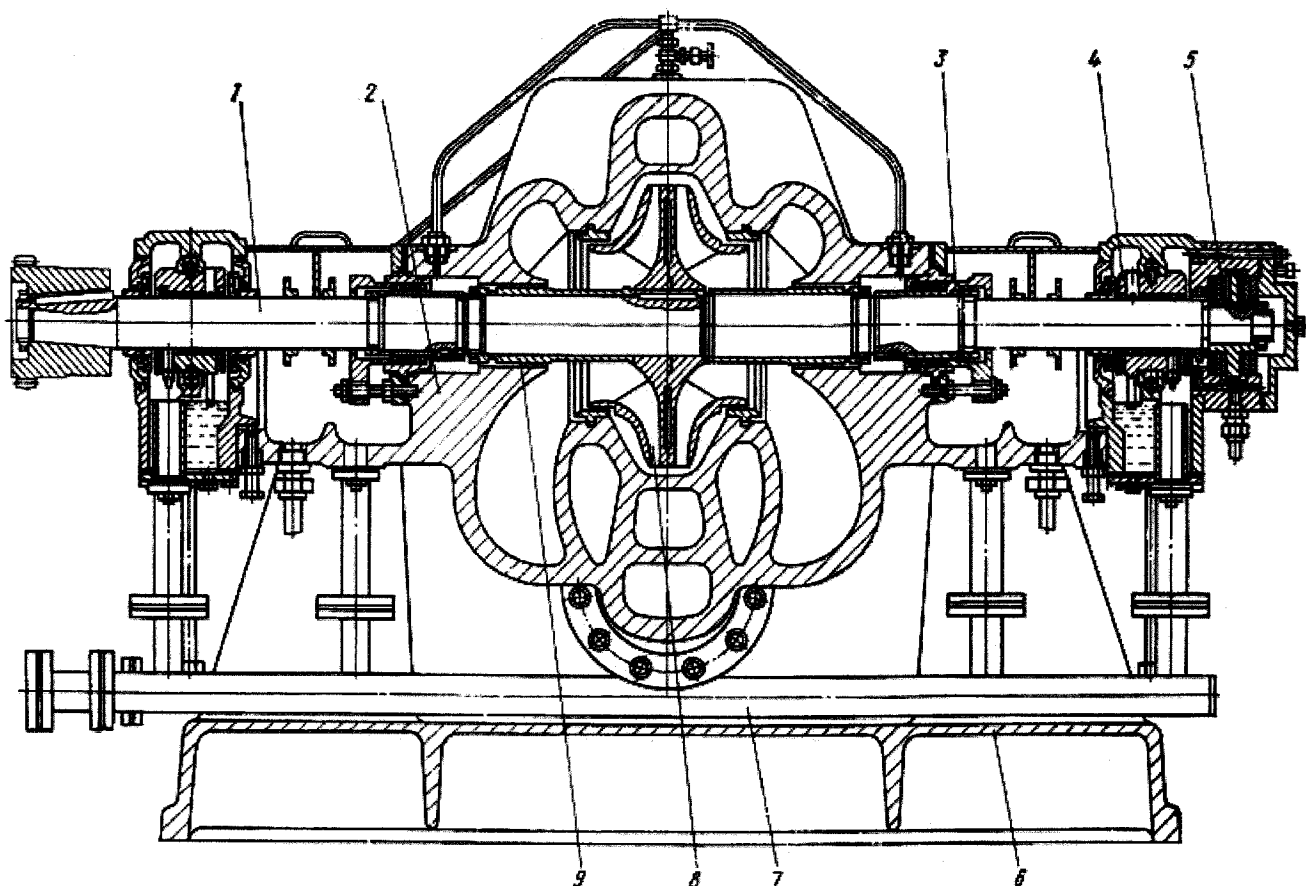
2.2. Ниже представлены основные сведения о насосе.

Конденсатные насосы второй ступени предназначены для перекачки основного конденсата по трубопроводам конденсатно-питательного тракта через подогреватели низкого давления в деаэраторы.

Конденсатный насос второй ступени КсА 1500-240-2а (см. рисунок 1) – центробежный, одноступенчатый с рабочим колесом двустороннего входа, горизонтальный. Диаметр рабочего колеса – 390 мм. Корпус (2) насоса – литой, с полуспиральным подводом и спиральным двухзавитковым отводом, с горизонтальным фланцевым разъемом для соединения с верхней крышкой. Входной и напорный патрубки насоса, расположенные в нижней части корпуса, направлены в разные стороны, перпендикулярно оси вращения насоса. Насос установлен на плите (6).

Соединение валов электродвигателя (1) и насоса (4) осуществляется при помощи зубчатой муфты (2) с проставкой (3) для замены узла торцового уплотнения. Направление вращения ротора по часовой стрелке, если смотреть со стороны привода.

Ротор, который представляет собой самостоятельную сборную единицу, состоит из вала (1), рабочего колеса (8) и втулок (9). Концевые уплотнения изготовлены в двух взаимозаменяемых вариантах: торцевые уплотнения – для постоянной работы, сальниковые уплотнения (3) – для пуско-наладочных работ. Опорами ротора служат два подшипника скольжения (4) с принудительной смазкой. Остаточное осевое усилие ротора воспринимается осевым подшипником (5). Вспомогательные трубопроводы (7) предназначены для подвода масла к подшипникам насоса, слива масла, слива протечек из концевых уплотнений и подвода охлаждающей жидкости к концевым уплотнениям.



1 – вал; 2 – корпус; 3 – уплотнение; 4 – подшипник скольжения; 5 – осевой подшипник;
6 – плита; 7 – вспомогательные трубопроводы; 8 – рабочее колесо; 9 – втулка

Рисунок 1 – Общий вид конденсатного насоса второй ступени

Система основного конденсата RM по влиянию на безопасность относится к системам нормальной эксплуатации, важным для безопасности. Согласно ТОб [17] конденсатный насос второй ступени, работающий в составе системы основного конденсата RM, имеет классификационное обозначение 3Н в соответствии с НП-001-97 [1], группу С по ПНАЭ Г-7-008-89 [2], категорию сейсмостойкости Пб согласно НП-031-01 [15].

На корпус конденсатного насоса второй ступени распространяются требования правил ПНАЭ Г-7-008-89 [2]. Паспорт конденсатного насоса второй ступени (Рег. № 1019) оформлен в установленном порядке, согласно требованиям ПНАЭ Г-7-008-89 [2]. Конденсатный насос второй ступени не является подведомственным Ростехнадзору, корпус насоса зарегистрирован за № 1019 в технадзоре дирекции Балаковской АЭС.

Основные сведения о конденсатном насосе второй ступени систематизированы по результатам анализа проектно-конструкторской и эксплуатационной документации и представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Основные сведения о насосе

Наименование		Данные о насосе	
АЭС		Балаковская	
Номер блока		1	
Наименование и обозначение системы		Система основного конденсата RM	
Цех-владелец		ТЦ-1	
Станционное обозначение		1RM43D01	
Паспорт (номер по архиву)		Корпус насоса КсА 1500-240-2а, зав. № 9, паспорт Н18.66.21.00П, рег. № 1019	
Местонахождение		Машзал, отм. 0,0 м, ряд В, оси 7-8	
Класс безопасности по НП-001-97		3Н	
Группа по ПН АЭГ-7-008-89		С	
Категория сейсмостойкости по НП-031-01		Пб	
Проектная (конструкторская) организация		Гидропроект	
Техническая позиция по проекту		Черт. Н18.66.00.00СБ, Н18.66.21.00СБ	
Предприятие изготовитель		п/я В-2964 (Сумский насосный завод)	
Документы на изготовление и поставку		Разрешение на изготовление №32 от 28.12.1981 г. выдано Управлением Харьковского округа Госгортехнадзора УССР	
Монтажная организация		Трест "Волгоэнергомонтаж", Приволжское м/у	
Дата окончания монтажа		1984 г.	
Дата ввода в эксплуатацию		1985 г.	
Тип насоса		Центробежный, горизонтальный, одноступенчатый, с рабочим колесом двухстороннего входа	
Особенности конструкции		Бесшовная разборная конструкция. Корпус насоса – литой, стальной с полуспиральным подводом и спиральным двухзавитковым отводом, имеет горизонтальный разъем.	
Марка основного металла элементов насоса	Корпус наружный		Отливка 25Л-П ГОСТ 977-75
	Крышка насоса		Отливка 20Л-П ГОСТ 977-75
	Вал		Сталь 40Х ГОСТ 4543-71
	Колесо рабочее		Отливка 20Х13Л-1 ГОСТ 2176-77
	Колесо уплотнительное		Сталь 30Х13 ГОСТ 5632-72
	Втулка защитная		Сталь 20Х13 ГОСТ 5632-72
	Корпус подшипника		СЧ20 ГОСТ 1412-79
	Шпилька по разьему корпуса насоса		Сталь 35ХМ ГОСТ 4543-71
		Плита	
		СЧ20 ГОСТ 1412-79	
Сведения о термообработке	Наименование (чертёж)	Вид термообработки	Режим термообработки
	Корпус, Н18.66.21.01	Отпуск	Нагрев до $T=640^{\circ}\text{C}$, выдержка 300 мин, охлаждение с печью до $T=300^{\circ}\text{C}$
	Крышка, Н18.66.20.02-01	Отжиг	Нагрев до $T=650^{\circ}\text{C}$, выдержка 300 мин, охлаждение с печью до $T=350^{\circ}\text{C}$
	Гайка, Н18.66.20-16, Н18.69.24-03	Нормализация	Нагрев до $T=860^{\circ}\text{C}$, выдержка 90 мин, охлаждение – воздух
	Болт, НФ 6-13	Закалка, отпуск	Нагрев до $T=560-860^{\circ}\text{C}$, выдержка 90-180 мин, охлаждение – масло-воздух
	Шпилька, Н18.66.21-09	Закалка, отпуск	Нагрев до $T=580-860^{\circ}\text{C}$, выдержка 90-180 мин, охлаждение – масло-воздух
	Шпилька, Н18.66.20.08-02, Н18.66.20.08-03	Закалка, отпуск	Нагрев до $T=550-860^{\circ}\text{C}$, выдержка 60-180 мин, охлаждение – масло-воздух
	Контрфланец, Н18.66.20-12	Нормализация	Нагрев до $T=920^{\circ}\text{C}$, выдержка 120 мин, охлаждение – воздух

Таблица 2.1 (продолжение)

Наименование		Данные о насосе		
Геометрические размеры основных элементов	Элемент насоса	Диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Длина (высота), мм
	Корпус	-	35	1350
	Крышка	-	35	820
Ресурсные характеристики по проектной (конструкторской) документации		Не менее 30 лет (расчетное допускаемое число циклов: $1,1 \times 10^4$)		
Эксплуатационные параметры	Расход, м ³ /час	1850		
	Давление на входе, кгс/см ² , не более	2,5		
	Напор, м	170		
	Кавитационный запас, м	25		
	Температура перекачиваемой среды, °С, не более	70		
	Мощность, кВт	998		
	Номинальная частота вращения, об/мин	2975		
	КПД, %	84		
Рабочая среда		Конденсат турбины		

2.3. Допускаемое и проектное число циклов плановых пусков конденсатного насоса второй ступени за 30 лет эксплуатации составляет $1,1 \cdot 10^4$ и 600 циклов соответственно (согласно расчету на прочность корпусных деталей насоса, являющимся приложением 2 к паспорту корпуса насоса, рег. № 1019). В проектной (конструкторской) документации данные по допускаемому числу циклов гидравлических испытаний конденсатного насоса второй ступени отсутствуют, то есть, количество циклов проектом не устанавливается. Контролируемые показатели вибрации элементов конденсатного насоса второй ступени не выходят за пределы, установленные проектно-конструкторской и нормативной документацией. Данные по условиям и режимам эксплуатации конденсатного насоса второй ступени на период до октября 2009 г. (см. [34, 35]) 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
Гидроиспытания с параметрами: $T > 5^\circ\text{C}$; $P = 35,8 \text{ кгс/см}^2$	Проектом не устанавливается	3	2
Пуск / останов с параметрами: $T = 30^\circ\text{C}$; $P = 20,0 \text{ кгс/см}^2$	600	120	40

2.4. В процессе эксплуатации энергоблока № 1 Балаковской АЭС осуществляется периодический контроль состояния основного металла корпуса конденсатного насоса второй ступени. Рабочие программы эксплуатационного контроля за состоянием основного металла и сварных соединений металла оборудования и трубопроводов в период текущего/среднего/капитального ремонта энергоблока № 1 Балаковской АЭС устанавливают объем, периодичность и методы контроля металла конденсатного насоса второй ступени. Конденсатный насос второй ступени не включен в «Типовую программу...» АТПЭ-9-03 [36]. Ввиду того, что конденсатный насос второй ступени относится к оборудованию систем, важных для безопасности, контроль металла насоса в процессе его эксплуатации выполняется в рамках проведения периодических технических освидетельствований в соответствии с требованиями ПНАЭ Г-7-008-89 [2]. Результаты контроля состояния основного металла корпуса конденсатного насоса второй ступени оформляются в виде протоколов, заключений, актов, регистрируются в установленном порядке и хранятся в ОДМиТК Балаковской АЭС.

2.5. В обеспечение выполнения п. 8.2 ПНАЭ Г-7-008-89 [2] в процессе эксплуатации энергоблока № 1 Балаковской АЭС производится периодическое техническое освидетельствование (ТО) корпуса конденсатного насоса второй ступени с проведением наружного осмотра (НО) и внутреннего осмотра (ВО) в доступных местах, гидравлических испытаний (ГИ), а также эксплуатационного контроля (ЭК) состояния основного металла. За истекший период эксплуатации по результатам проведенных технических освидетельствований конденсатного насоса второй ступени дефектов не обнаружено (см. результаты ТО в таблице 4.2 «Программы обследования...», Приложение 1).

2.6. Конденсатный насос второй ступени 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 конденсатного насоса второй ступени в процессе эксплуатации предусматривает проведение капитального ремонта насоса 1 раз в 4 года. При проведении периодических ремонтов насоса производятся замены быстроизнашивающихся и имеющих ограниченный ресурс деталей. За время эксплуатации ремонтов с применением сварки, модернизаций и реконструкций конденсатного насоса второй ступени не проводилось.

2.7. На Балаковской АЭС ведение водно-химического режима (ВХР) второго контура осуществляется в соответствии с «Инструкцией...» И.1,2,3,4.ВХР.ХЦ/20 [19] и «Регламентом...» Р. ХЦ/02 [20].

За время эксплуатации имели место незначительные отклонения показателей качества рабочей среды второго контура от диапазонов допустимых значений, установленных для нормируемых показателей, и контрольных уровней, установленных для диагностических показателей. Зафиксированные отклонения показателей ВХР по величине и продолжительности не выходили за уровни, установленные «Инструкцией...». За все время эксплуатации нарушений ВХР второго контура не зафиксировано.

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

3. Результаты контроля состояния металла насоса

Балаковская АЭС в процессе эксплуатации осуществляет периодический контроль состояния основного металла конденсатного насоса второй ступени методами ВиИК, КК. Наряду с этим в рамках реализации текущих работ по ПСС в соответствии с «Программой обследования...» был установлен дополнительный контроль основного металла корпуса методами УЗТ, ИМС и крепежных элементов (шпилек) методами ВиИК и КК, выполненный ООО «НСУЦ «ЦМиР» в ППР-2010.

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

Результаты контроля состояния металла конденсатного насоса второй ступени 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
Основной металл корпуса, крышки – полуспиральные подводы, спиральные отводы	УЗТ [25]	В 4-х зонах, расположенных равномерно по длине подводов и отводов конденсата	Фактические замеренные значения толщины превышают минимально допустимые расчетные значения (заключение № ОДМиТК 1-14/790 от 08.02.2010 г.).
	ВиИК [23]	100%	Дефектов не обнаружено (протокол № ОДМиТК 1-14/523 от 02.02.2010 г.).
	КК [24]	По результатам ВиИК	Учитывая положительные результаты ВиИК, КК не проводился.
	ИМС [26]	В 1-й зоне на крышке и на корпусе	Механические свойства основного металла соответствуют требованиям НД [11] (акты №№ ИМС-003.1/ТЦ-1/21-09, ИМС-003.2/ТЦ-1/21-09 от 30.06.2010 г., отчет [37]).
Крепежные элементы крышки к корпусу: шпильки М30х180, М30х125	ВиИК [23]	100% для 2-х шпилек М30х180, 2-х шпилек М30х125	Дефектов не обнаружено (протокол № ОДМиТК 1-14/674 от 05.02.2010 г.).
	КК [24]	По результатам ВиИК	Учитывая положительные результаты ВиИК, КК не проводился.

По результатам контроля металла конденсатного насоса второй ступени, недопустимых дефектов и повреждений металла не выявлено, состояние основного металла соответствует нормам оценки качества [22], фактические измеренные значения механических свойств металла соответствуют требованиям нормативной документации [11].

4. Оценка технического состояния насоса

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

4.1. Условия и режимы эксплуатации конденсатного насоса второй ступени 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. На протяжении всего периода эксплуатации контроль состояния металла конденсатного насоса второй ступени проводился в полном объеме в соответствии с действующей на каждом этапе эксплуатации проектно-конструкторской и нормативной документацией (НД), предписаниями и требованиями.

В результате контроля по «Программе обследования...» (см. Приложение 1) недопустимых дефектов и повреждений металла конденсатного насоса второй ступени не выявлено (см. Приложение 2).

За весь период эксплуатации отказов, приводящих к нарушению условий нормальной эксплуатации конденсатного насоса второй ступени, не зафиксировано. Ремонт с применением сварки, модернизаций и реконструкций конденсатного насоса второй ступени не проводилось.

4.4. По результатам технических освидетельствований установлено, что состояние конденсатного насоса второй ступени на момент проведения текущих работ по ПСС соответствует требованиям ПКД и НД.

4.5. Результаты технических освидетельствований конденсатного насоса второй ступени зафиксированы в установленном порядке паспорте корпуса конденсатного насоса второй ступени. Комплектность документации, полнота сведений в ней соответствуют требованиям ПНАЭ Г-7-008-89 [2].

4.6. В соответствии с результатами анализа технической документации, истории эксплуатации [34, 35], комплексного обследования энергоблока № 1 Балаковской АЭС [31], эксплуатационного контроля металла, контроля металла по «Программе обследования...» (Приложение 1) состояние конденсатного насоса второй ступени – работоспособное, исправное (по ГОСТ 27.002-89 [14]), соответствует требованиям ЭД, ПКД и НД. Существующая система эксплуатации и ТОиР соответствует требованиям НД и ЭД и обеспечивает поддержание требуемого технического состояния насоса. Выполненный анализ не выявил факторов, препятствующих дальнейшей эксплуатации конденсатного насоса второй ступени при соблюдении периодичности проведения ТО согласно правилам ПНАЭ Г-7-008-89 [2], объемов и периодичности ТОиР, а также при условии проведения периодического эксплуатационного контроля состояния металла в соответствии с требованиями действующей нормативно-технической 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 конденсатного насоса второй ступени 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 конденсатному насосу второй ступени, 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 конденсатного насоса второй ступени 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 конденсатный насос второй ступени 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 конденсатного насоса второй ступени может быть продлен до 60 лет (см. Приложение 3).

5.3. По результатам контроля механических свойств металла конденсатного насоса второй ступени, выполненного в ППР-2010 [37], установлено, что фактические механические свойства основного металла на момент окончания проектного срока службы энергоблока № 1 Балаковской соответствуют требованиям норм ПНАЭ Г-7-002-86 [11].

На этапе прогнозирования изменения механических свойств металла конденсатного насоса второй ступени в процессе длительной эксплуатации [37] 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 конденсатного насоса второй ступени 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 конденсатного насоса второй ступени (корпус, крышка) изготовлены из сталей перлитного класса. Как показывает опыт эксплуатации, оборудование АЭС, изготовленное из сталей перлитного класса с низким содержанием примесных легирующих элементов (Cr, Cu, Mo), в процессе эксплуатации в определенных условиях потенциально подвержено деградации металла по механизму эрозионно-коррозионного износа (ЭКИ). В частности, механизм ЭКИ оказывает существенное влияние на состояние металла оборудования при наличии коррозионно-активной среды, которой, как правило, является вода или паро-водяная смесь, движущаяся с высокими скоростями. При этом в местах резкого изменения геометрии (наличия местных сопротивлений потока с учетом особенностей конструкции) может происходить образование зон турбулизации потока. В этих зонах металл потенциально подвержен утонению стенки вследствие протекания процессов окисления металла по механизму электрохимической коррозии, усиленных влиянием нестационарных режимов движения потока рабочей среды (эрозионная составляющая), что в результате приводит к выносу продуктов коррозии в поток и общему или локальному утонению стенки металла.

Для обоснования возможности продления срока службы конденсатного насоса второй ступени до 2045 г. необходимо выполнить прогнозные оценки степени утонения металла в зависимости от времени эксплуатации. Для этих целей в рамках реализации текущих работ по ПСС в ППР-2010 был выполнен выборочный контроль толщины элементов конденсатного насоса второй ступени (см. Приложение 2). По результатам контроля установлено, что фактические замеренные толщины во всех проконтролированных зонах превышают минимально допустимые расчетные толщины.

Оценка скорости утонения металла конденсатного насоса второй ступени производится на основании результатов ультразвуковой толщинометрии элементов насоса, полученных на момент проведения обследования – через 24 года эксплуатации насоса.

Предэксплуатационный контроль толщины металла элементов насоса не проводился, в связи с чем исходная фактическая толщина стенки металла элементов насоса до его ввода в

эксплуатацию неизвестна. Исходная фактическая толщина металла до ввода насоса в эксплуатацию может быть меньше номинальной толщины на величину минусового технологического допуска на изготовление полуфабриката, который является отрицательной прибавкой к номинальной толщине. Несмотря на это, для выполнения консервативных оценок скорости утонения металла примем исходную фактическую толщину равной номинальному значению по конструкторской документации, что идет в запас проводимого расчетного анализа.

Поскольку периодический контроль толщины элементов конденсатного насоса второй ступени в процессе эксплуатации не производится, то не представляется возможным построить точные тренды, характеризующие скорость утонения металла в процессе эксплуатации в зависимости от времени работы. В связи с этим при анализе скорости утонения металла делается предположение, что утонение металла в процессе эксплуатации происходит равномерно по линейному закону, то есть, с постоянной скоростью.

С учетом принятых допущений ниже представлен алгоритм оценки скорости утонения металла за истекший период эксплуатации, а также прогнозных оценок степени утонения металла конденсатного насоса второй ступени с учетом продления срока службы.

Расчетная скорость утонения металла (мм/год) определяется по формуле:

$$v = \frac{s_n - s_t^\phi}{t}, \quad (5.1)$$

где s_n – номинальная толщина стенки, мм; s_t^ϕ – фактическая измеренная минимальная толщина стенки после эксплуатации в течение времени t ; t – время, прошедшее с начала эксплуатации до момента проведения ультразвуковой толщинометрии, лет.

Прогнозируемая толщина стенки на момент окончания общего срока службы в течение T лет (с учетом продления) определяется по формуле:

$$s_T^{np} = s_t^\phi - v \cdot (T - t) \quad (5.2)$$

Для обоснования остаточного ресурса насоса с позиций анализа степени утонения металла за все время эксплуатации (с учетом продления) необходимо проверить выполнение следующего условия:

$$s_T^{np} \geq s_R, \quad (5.3)$$

где s_R – расчетная минимально допустимая толщина стенки, вычисленная в соответствии с ПНАЭ Г-7-002-86 [11] (см. расчет Н18.66.21.00П [33]).

Результаты прогнозных оценок утонения металла по механизму эрозионно-коррозионного износа с учетом планируемого общего срока эксплуатации конденсатного насоса второй ступени в течение 60 лет приведены ниже.

Полуспиральный подвод со стороны подшипника, $s_n = 35$ мм:

$$s_\phi^{24} = 35,4 \text{ мм} > s_n = 35,0 \text{ мм, утонение отсутствует.}$$

Спиральный отвод, $s_n = 35$ мм:

$$s_\phi^{24} = 41,3 \text{ мм} > s_n = 35,0 \text{ мм, утонение отсутствует.}$$

Полуспиральный подвод со стороны электродвигателя, $s_n = 35$ мм:

$$v = \frac{35,0 - 32,7}{24} = 0,0958 \text{ мм/год – расчетная скорость утонения металла;}$$

$$s_{60}^{np} = 32,7 - 0,0958 \cdot 36 = 29,25 \text{ мм – прогнозируемая толщина стенки после 60 лет;}$$

$$s_{60}^{np} = 29,25 \text{ мм} > s_R = 14,0 \text{ мм, условие (5.3) выполняется.}$$

Таким образом, по результатам прогнозных оценок степени утонения металла установлено, что на момент окончания дополнительного срока эксплуатации конденсатного насоса второй ступени (2045 г.) прогнозируемые толщины металла проконтролированных элементов насоса будут больше минимально допустимых расчетных толщин.

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, межкристаллитное растрескивание, общая коррозия, наводороживание) не будет доминирующим и за предполагаемый дополнительный период эксплуатации энергоблока № 1 Балаковской АЭС (30 лет) не внесёт дополнительных, значимых изменений в состояние металла конденсатного насоса второй ступени.

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 основного металла конденсатного насоса второй ступени на момент контроля соответствует требованиям проектно-конструкторской и нормативной документации.

6. Заключение

6.1. Состояние конденсатного насоса второй ступени 1RM43D01 турбинного цеха энергоблока № 1 Балаковской АЭС – работоспособное, исправное, соответствует требованиям ПКД и НД.

6.2. Условия и режимы эксплуатации конденсатного насоса второй ступени 1RM43D01 турбинного цеха энергоблока № 1 Балаковской АЭС соответствуют требованиям ПКД и ЭД.

6.3. Состояние основного металла конденсатного насоса второй ступени 1RM43D01 турбинного цеха энергоблока № 1 Балаковской АЭС на момент контроля соответствует требованиям НД [11, 22].

6.4. Конденсатный насос второй ступени 1RM43D01 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 конденсатного насоса второй ступени может быть продлен до 60 лет.

6.5. Учитывая, что конденсатный насос второй ступени 1RM43D01 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 проведения ТО, периодичности и объемов ТОиР, а также при проведении эксплуатационного контроля металла в соответствии с требованиями действующей нормативно-технической и эксплуатационной документации [2, 16÷30].

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. Конденсационная установка турбины К-1000-60/1500-2. ИЭ.1.RM.SD.ТЦ-1/07.
- 19 Инструкция по организации и ведению этаноламинового водно-химического режима второго контура И.1,2,3,4.ВХР.ХЦ/20.
- 20 Регламент химического контроля качества технологических сред Балаковской АЭС Р. ХЦ/02.
- 21 ПНАЭ Г-7-010-89. Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварные соединения и наплавки. Правила контроля.
- 22 ПК 1514-72. Правила контроля сварных соединений и наплавов узлов и конструкций атомных электростанций, опытных и исследовательских ядерных реакторов и установок.

- 23 ПНАЭ Г-7-016-89. Унифицированные методики неразрушающего контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ. Визуальный и измерительный контроль.
- 24 ПНАЭ Г-7-018-89. Унифицированные методики неразрушающего контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ. Капиллярный контроль.
- 25 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.
- 26 РД ЭО 0027-05. Инструкция по определению механических свойств металла оборудования атомных электростанций безобразцовыми методами по характеристикам твердости.
- 27 РД ЭО 0069-97. Правила организации технического обслуживания и ремонта систем и оборудования атомных станций.
- 28 Общие технические условия на ремонт. ТУ ЭО 0144-2001.
- 29 Регламент ТОиР насосного оборудования турбинного отделения. Р.ОППР-1-27/79-02.
- 30 Технологическая инструкция по исправлению дефектных участков в монтажных сварных соединениях оборудования и трубопроводов АЭУ. № 18-170.00.000. НИПТиКО «Энергомонтажпроект», 1992.
- 31 Обобщающий отчет по результатам проведения комплексного обследования энергоблока № 1 Балаковской АЭС для продления срока эксплуатации. Балаково, 2008.
- 32 Отчет по результатам обследования оборудования и трубопроводов системы основного конденсата RM энергоблока № 1 БалАЭС. Балаково, 2007.
- 33 Паспорт на корпус конденсатного насоса второй ступени. Рег. № 1019.
- 34 Техническая справка. Сведения об истории нагружения оборудования ТЦ-1 Балаковской АЭС с момента пуска блока по октябрь 2009 г. Балаковская АЭС, 2009 г.
- 35 Техническая справка. Сведения об истории нагружения оборудования ТЦ-1 Балаковской АЭС за период 1999 г. – 2009 г. Балаковская АЭС, 2009 г.
- 36 АТПЭ-9-03. Типовая программа эксплуатационного контроля состояния основного металла и сварных соединений оборудования и трубопроводов атомных электростанций с ВВЭР-1000 (с изменениями).
- 37 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.


Программа № 003/ТЦ-1/21-09 обследования, оценки технического состояния и
остаточного ресурса конденсатного насоса второй ступени 1RM43D01
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

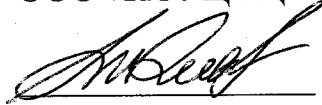

_____ **В.Н. Бессонов**
« 24 » 07 20 10 г.

Программа № 003/ТЦ-1/21-09

**обследования, оценки технического состояния и остаточного ресурса
конденсатного насоса второй ступени 1RM43D01
энергоблока № 1 Балаковской АЭС**

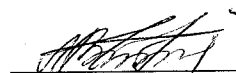
РАЗРАБОТАНО

Генеральный директор
ООО «НСУЦ «ЦМиР»


_____ **М.Б. Бакиров**
« 21 » 12 20 09 г.

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.

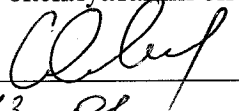
Начальник лаборатории

 А.А. Еремин

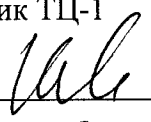
«21» 12 2009 г.

**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
«18» 12 2009 г.


Начальник ОДМ


С.В. Якушев
«12» 01 2010 г.

Начальник ОМиПРО


И.А. Шевнина
«12» 01 2010 г.

Начальник ОППР


А.Г. Бубнов
«12» 01 2010 г.

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АЭС	– атомная электростанция;
ВВЭР	– водо-водяной энергетический реактор;
ВиИК	– визуальный и измерительный контроль;
ВО	– внутренний осмотр;
ВХР	– водно-химический режим;
ГИ	– гидравлические испытания;
ИМС	– измерение механических свойств;
КК	– капиллярный контроль;
НД	– нормативный(ые) документ(ы);
НТД	– нормативно-техническая документация;
НО	– наружный осмотр;
ОМ	– основной металл;
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;
ТЦ	– турбинный цех;
УЗТ	– ультразвуковая толщинометрия;
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 и технических освидетельствований	9
4.3. Сведения о ремонтах, модернизациях, реконструкциях.....	10
4.4. Сведения об отклонениях показателей качества рабочей среды от нормируемых значений.....	10
4.5. Сведения об отказах	10
4.6. Сведения об условиях и режимах эксплуатации	10
4.7. Установление механизмов старения и определяющих параметров состояния металла элементов насоса	11
5. Методы и объемы контроля технического состояния	11
6. Алгоритм оценки технического состояния.....	13
7. Алгоритм оценки остаточного ресурса	14
8. Требования по оформлению результатов обследования, оценки технического состояния и остаточного ресурса оборудования.....	15
Перечень используемой документации.....	17
Приложение 1. Схема контроля металла конденсатного насоса второй ступени.....	19

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 конденсатного насоса второй ступени КН-2 1RM43D01 системы основного конденсата РМ турбинного цеха энергоблока № 1 Балаковской АЭС (далее по тексту – конденсатный насос второй ступени) 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 конденсатного насоса второй ступени 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 конденсатного насоса второй ступени, 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 конденсатный насос второй ступени энергоблока № 1 Балаковской АЭС. В результате выполнения программы обследования осуществляется оценка технического состояния конденсатного насоса второй ступени 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 конденсатного насоса второй ступени:

- 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÷20];
- документация по эксплуатационному контролю металла [21÷26];
- документация по техническому обслуживанию и ремонту [27÷30];
- результаты комплексного обследования энергоблока №1 Балаковской АЭС [31];
- результаты обследования оборудования и трубопроводов системы основного конденсата RM энергоблока № 1 Балаковской АЭС [32];
- паспорт на корпус конденсатного насоса второй ступени, рег. № 1019 [33];
- исполнительная схема;
- сборочные чертежи Н18.66.00.00СБ, Н18.66.21.00СБ;
- результаты контроля и технических освидетельствований;
- данные по режимам и условиям эксплуатации.

4. Результаты анализа технической и эксплуатационной документации

4.1. Сведения об исходных данных

Сведения об исходных данных на конденсатный насос второй ступени систематизированы по результатам анализа проектно-конструкторской и эксплуатационной документации и представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Наименование	Данные о насосе
АЭС	Балаковская
Номер блока	1
Наименование и обозначение системы	Система основного конденсата RM
Цех-владелец	ТЦ-1
Станционное обозначение	1RM43D01
Паспорт (номер по архиву)	Корпус насоса КсА 1500-240-2а, зав. № 9, паспорт Н18.66.21.00П, рег. № 1019
Местонахождение	Машзал, отм. 0,0 м, ряд В, оси 7-8
Класс безопасности по НП-001-97	3Н
Группа по ПН АЭГ-7-008-89	С
Категория сейсмостойкости по НП-031-01	Пб
Проектная (конструкторская) организация	Гидропроект
Техническая позиция по проекту	Черт. Н18.66.00.00СБ, Н18.66.21.00СБ
Предприятие изготовитель	п/я В-2964 (Сумский насосный завод)
Документы на изготовление и поставку	Разрешение на изготовление №32 от 28.12.1981 г. выдано Управлением Харьковского округа Госгортехнадзора УССР
Монтажная организация	Трест "Волгоэнергомонтаж", Приволжское м/у
Дата окончания монтажа	1984 г.
Дата ввода в эксплуатацию	1985 г.
Тип насоса	Центробежный, горизонтальный, одноступенчатый, с рабочим колесом двухстороннего входа

Таблица 4.1 (продолжение)

Наименование			Данные о насосе	
Особенности конструкции			Бесшовная разборная конструкция. Корпус насоса – литой, стальной с полуспираль- ным подводом и спиральным двухзавитковым отводом, имеет горизонтальный разъем.	
Марка основного металла элементов насоса	Корпус наружный		Отливка 25Л-II ГОСТ 977-75	
	Крышка насоса		Отливка 20Л-II ГОСТ 977-75	
	Вал		Сталь 40Х ГОСТ 4543-71	
	Колесо рабочее		Отливка 20Х13Л-1 ГОСТ 2176-77	
	Колесо уплотнительное		Сталь 30Х13 ГОСТ 5632-72	
	Втулка защитная		Сталь 20Х13 ГОСТ 5632-72	
	Корпус подшипника		СЧ20 ГОСТ 1412-79	
	Шпилька по разьему корпуса насоса		Сталь 35ХМ ГОСТ 4543-71	
Плита		СЧ20 ГОСТ 1412-79		
Сведения о термообра- ботке	Наименование (чертёж)	Вид термообработки	Режим термообработки	
	Корпус, Н18.66.21.01	Отпуск	Нагрев до Т=640 °С, выдержка 300 мин, охлаждение с печью до Т=300 °С	
	Крышка, Н18.66.20.02-01	Отжиг	Нагрев до Т=650 °С, выдержка 300 мин, охлаждение с печью до Т=350 °С	
	Гайка, Н18.66.20-16, Н18.69.24-03	Нормализация	Нагрев до Т=860 °С, выдержка 90 мин, охлаждение – воздух	
	Болт, НФ 6-13	Закалка, отпуск	Нагрев до Т=560-860 °С, выдержка 90-180 мин, охлаждение – масло-воздух	
	Шпилька, Н18.66.21-09	Закалка, отпуск	Нагрев до Т=580-860 °С, выдержка 90-180 мин, охлаждение – масло-воздух	
	Шпилька, Н18.66.20.08-02, Н18.66.20.08-03	Закалка, отпуск	Нагрев до Т=550-860 °С, выдержка 60-180 мин, охлаждение – масло-воздух	
	Контрфланец, Н18.66.20-12	Нормализация	Нагрев до Т=920 °С, выдержка 120 мин, охлаждение – воздух	
Геометрические размеры основных элементов	Элемент насоса	Диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Длина (высота), мм
	Корпус	-	35	1350
	Крышка	-	35	820
Ресурсные характеристики по проектной (конструкторской) документации			Не менее 30 лет (расчетное допускаемое число циклов: 1,1х10 ⁴)	
Эксплуатационные параметры	Расход, м ³ /час		1850	
	Давление на входе, кгс/см ² , не более		2,5	
	Напор, м		170	
	Кавитационный запас, м		25	
	Температура перекачиваемой среды, °С, не более		70	
	Мощность, кВт		998	
	Номинальная частота враще- ния, об/мин		2975	
	КПД, %		84	
Рабочая среда			Конденсат турбины	

Система основного конденсата RM по влиянию на безопасность относится к системам нормальной эксплуатации, важным для безопасности. Конденсатный насос второй ступени имеет классификационное обозначение ЗН в соответствии с НП-001-97 и ТОВ, группу С по ПН АЭГ-7-008-89, категорию сейсмостойкости Пб согласно НП-031-01.

На корпус конденсатного насоса второй ступени распространяются требования правил ПНАЭ Г-7-008-89. Паспорт корпуса конденсатного насоса второй ступени (Рег. № 1019) оформлен в установленном порядке, согласно требованиям ПНАЭ Г-7-008-89. Конденсатный насос второй ступени не является подведомственным Ростехнадзору, корпус насоса зарегистрирован за № 1019 в технадзоре дирекции Балаковской АЭС.

По итогам анализа исходных данных, собранных по конденсатному насосу второй ступени, установлено, что объем имеющихся данных является достаточным для построения расчетной модели и последующего проведения прочностных расчетов в соответствии с действующими НТД в рамках реализации работ по продлению срока службы (ПСС).

4.2. Сведения о результатах контроля и технических освидетельствований

В процессе эксплуатации энергоблока № 1 Балаковской АЭС осуществляется периодический контроль состояния основного металла корпуса конденсатного насоса второй ступени. Рабочие программы эксплуатационного контроля за состоянием основного металла и сварных соединений металла оборудования и трубопроводов в период текущего/среднего/капитального ремонта энергоблока № 1 Балаковской АЭС устанавливают объем, периодичность и методы контроля металла конденсатного насоса второй ступени. Конденсатный насос второй ступени не включен в «Типовую программу...» АТПЭ-9-03 [34]. Ввиду того, что конденсатный насос второй ступени относится к оборудованию систем, важных для безопасности, контроль металла насоса в процессе его эксплуатации выполняется в рамках проведения периодических технических освидетельствований в соответствии с требованиями ПНАЭ Г-7-008-89. Результаты контроля состояния основного металла корпуса конденсатного насоса второй ступени оформляются в виде протоколов, заключений, актов, регистрируются в установленном порядке и хранятся в отделе дефектоскопии и металловедения Балаковской АЭС.

В процессе эксплуатации энергоблока № 1 Балаковской АЭС производится периодическое техническое освидетельствование (ТО) корпуса конденсатного насоса второй ступени с проведением наружного осмотра (НО) и внутреннего осмотра (ВО) в доступных местах, гидравлических испытаний (ГИ), а также эксплуатационного контроля (ЭК) состояния основного металла.

Сведения о результатах контроля и ТО корпуса конденсатного насоса второй ступени представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Дата контроля (ТО)	Предприятие-исполнитель	Метод контроля	Методика контроля	Результаты контроля (ТО)	Мероприятия по результатам контроля (ТО)
10.03.85	БалАЭС	ВО, НО	В доступных местах	Дефектов не обнаружено	—
10.04.85	БалАЭС	НО, ГИ	$R_{\text{ГИ}}=26,8 \text{ кгс/см}^2$	Дефектов не обнаружено	Разрешается эксплуатация насоса при давлении $26,5 \text{ кгс/см}^2$
10.05.87	БалАЭС	ВО, НО	В доступных местах	Дефектов не обнаружено	—
02.08.89	БалАЭС	ВО, НО	В доступных местах	Дефектов не обнаружено	—
06.04.93	БалАЭС	ВО, НО	В доступных местах	Дефектов не обнаружено	—
27.05.97	БалАЭС	ВО, НО	В доступных местах	Дефектов не обнаружено	—
05.01.01	БалАЭС	ВО, НО	В доступных местах	Дефектов не обнаружено	—
08.05.04	БалАЭС	ВО, НО	В доступных местах	Дефектов не обнаружено	—

4.3. Сведения о ремонтах, модернизациях, реконструкциях

Стратегия ТОиР для поддержания работоспособного, исправного технического состояния конденсатного насоса второй ступени в процессе эксплуатации предусматривает проведение капитального ремонта насоса 1 раз в 4 года. При проведении периодических ремонтов насоса производятся замены быстроизнашивающихся и имеющих ограниченный ресурс деталей.

За время эксплуатации ремонтов с применением сварки, модернизаций и реконструкций конденсатного насоса второй ступени не проводилось.

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

На Балаковской АЭС ведение водно-химического режима (ВХР) второго контура осуществляется в соответствии с «Инструкцией...» И.1,2,3,4.ВХР.ХЦ/20 [19] и «Регламентом...» Р. ХЦ/02 [20].

За время эксплуатации имели место незначительные отклонения показателей качества рабочей среды второго контура от диапазонов допустимых значений, установленных для нормируемых показателей, и контрольных уровней, установленных для диагностических показателей. Зафиксированные отклонения показателей ВХР по величине и продолжительности не выходили за уровни, установленные «Инструкцией...». За все время эксплуатации нарушений ВХР второго контура не зафиксировано.

4.5. Сведения об отказах

За весь период эксплуатации конденсатного насоса второй ступени 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

Допускаемое и проектное число циклов плановых пусков конденсатного насоса второй ступени за 30 лет эксплуатации составляет $1,1 \cdot 10^4$ и 600 циклов соответственно (согласно расчету на прочность корпусных деталей насоса, являющимся приложением 2 к паспорту корпуса насоса, рег. № 1019). В проектной (конструкторской) документации данные по допускаемому числу циклов гидравлических испытаний конденсатного насоса второй ступени отсутствуют, то есть, количество циклов проектом не устанавливается. Контролируемые показатели вибрации элементов конденсатного насоса второй ступени не выходят за пределы, установленные проектно-конструкторской и нормативной документацией. Данные по условиям и режимам эксплуатации конденсатного насоса второй ступени на период до октября 2009 г. (см. [35, 36]) представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3

Эксплуатационные режимы	Количество по проекту	Фактическое число циклов за период 1985÷2009 гг.	Фактическое число циклов за последние 10 лет
Гидроиспытания с параметрами: $T > 5^{\circ}\text{C}$; $P = 35,8 \text{ кгс/см}^2$	Проектом не устанавливается	3	2
Пуск / останов с параметрами: $T = 30^{\circ}\text{C}$; $P = 20,0 \text{ кгс/см}^2$	600	120	40

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 конденсатного насоса второй ступени, определяющие его техническое состояние и остаточный ресурс.

Контролируемые эффекты старения, механизмы старения, определяющие параметры состояния и критерии оценки состояния металла элементов конденсатного насоса второй ступени представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4

Элемент насоса	Контролируемый эффект старения	Механизм старения металла	Определяющие параметры состояния металла	Критерии оценки состояния металла
Корпус, крышка - полуспиральные подводы, спиральные отводы (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 течи при ГИ, отсутствие трещин (линейных индикаторных следов) по результатам ВиИК (КК) [22]
Крепежные элементы крышки к корпусу (шпильки, гайки)	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) [22]; соответствие металла крепежных элементов требованиям ПКД

5. Методы и объемы контроля технического состояния

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

- требований нормативно-технической документации;
- анализа проектно-конструкторской и эксплуатационной документации;
- определяющих параметров технического состояния металла;
- анализа результатов периодического эксплуатационного контроля, выполненного за время эксплуатации;
- возможности доступа к контролируемому участку.

Методы контроля определяющих параметров состояния металла, используемые для оценки технического состояния конденсатного насоса второй ступени, 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» [23];
- 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» [24];
- УЗТ в соответствии с 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];
- ИМС в соответствии с РД ЭО 0027-05 «Инструкция по определению механических свойств металла оборудования атомных электростанций безобразцовыми методами по характеристикам твердости» [26].

Балаковская АЭС в процессе эксплуатации осуществляет периодический контроль состояния основного металла конденсатного насоса второй ступени методами ВиИК, КК. По результатам предыдущего эксплуатационного контроля металла конденсатного насоса второй ступени, выполненного в 2005 г., установлено, что состояние основного металла и сварных соединений соответствует нормам оценки качества [22] (протокол № ОДМ-1-01/171 от 16.05.2005 г., акт № ОДМ-1-01/1120 от 14.06.2005 г.).

В ППР-2010 в соответствии с рабочей программой РП.ОДМ-08/1-010 Балаковской АЭС будет выполнен очередной эксплуатационный контроль металла корпуса конденсатного насоса второй ступени. Результаты ЭК металла корпуса методами ВиИК и КК, выполняемого Балаковской АЭС, будут использованы при оценке технического состояния конденсатного насоса второй ступени. Наряду с этим в рамках реализации текущих работ по ПСС устанавливается дополнительный контроль основного металла корпуса методами УЗТ, ИМС и крепежных элементов (шпилек) методами ВиИК и КК. Дополнительный контроль металла выполняется ООО «НСУЦ «ЦМиР». Результаты дополнительного контроля также будут использованы для проверки соответствия критериев оценки состояния металла конденсатного насоса второй ступени требованиям ПКД и НД.

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

Подготовка рабочих мест контроля должна включать разборку крепежных элементов и освещение рабочих площадок. Подготовка поверхности металла в местах контроля методами ВиИК, КК выполнить в соответствии с [23, 24]. В местах проведения УЗТ основного металла зачистить площадку 100x100 мм, подготовку поверхности выполнить в соответствии с [25]. В местах измерения механических свойств зачистить площадку 100x100 мм до параметра шероховатости $Rz \leq 0$. Места контроля обозначены на схеме контроля (см. Приложение 1).

Таблица 5.1

Наименование узлов и элементов насоса	Метод контроля, НД	Объем контроля	Примечание
Основной металл корпуса, крышки – полуспиральные подводы, спиральные отводы	УЗТ [25]	В 4-х зонах, расположенных равномерно по длине подводов и отводов конденсата	В каждой зоне выполнить не менее 5 измерений и определить минимальную толщину стенки.
	ВиИК [23]	100%	Контроль выполняется в рамках РП.ОДМ-08/1-010.
	КК [24]	По результатам ВиИК	Контроль выполняется в рамках РП.ОДМ-08/1-010.
	ИМС [26]	В 1-й зоне на крышке и на корпусе	7-10 точек для ОМ.
Крепежные элементы крышки к корпусу: шпильки М30х180, М30х125	ВиИК [23]	100% для 2-х шпилек М30х180, 2-х шпилек М30х125	
	КК [24]	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. Алгоритм оценки технического состояния

6.1. После проведения контроля металла конденсатного насоса второй ступени (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.

6.2. 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).

6.3. 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.

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

7. Алгоритм оценки остаточного ресурса

7.1. 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).

7.2. 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.

7.3. 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;
- 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.

7.4. 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).

8. Требования по оформлению результатов обследования, оценки технического состояния и остаточного ресурса оборудования

8.1. 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».

8.2. 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.

8.3. Решение о возможности и условиях дальнейшей эксплуатации прилагается к паспорту оборудования.

8.4. Документацию по пп. 8.1 – 8.2 рекомендуется внести в базу данных по контролю и управлению ресурсными характеристиками оборудования энергоблока АЭС.

8.5. 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.

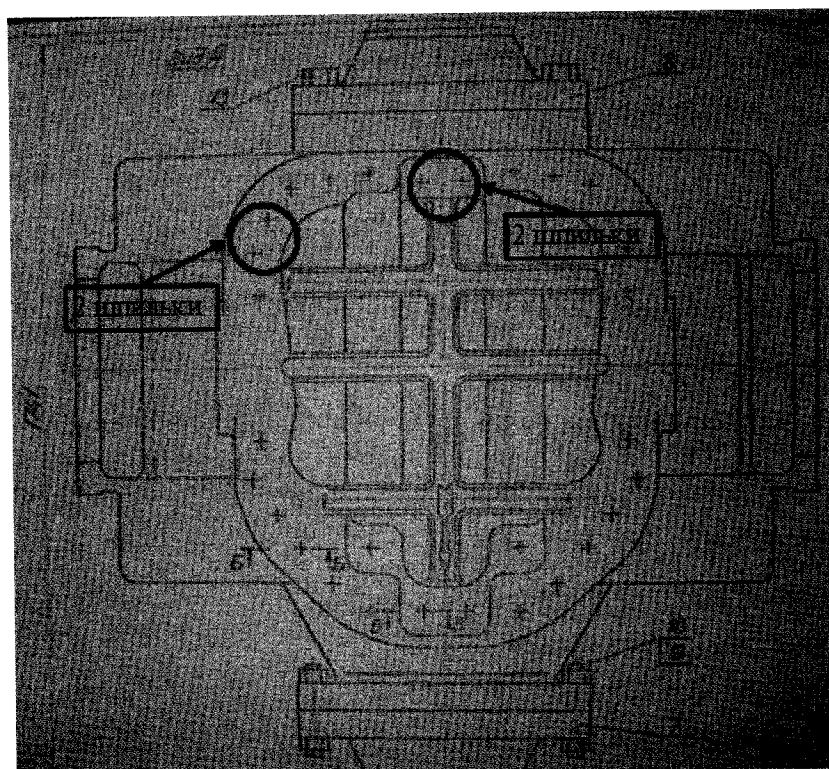
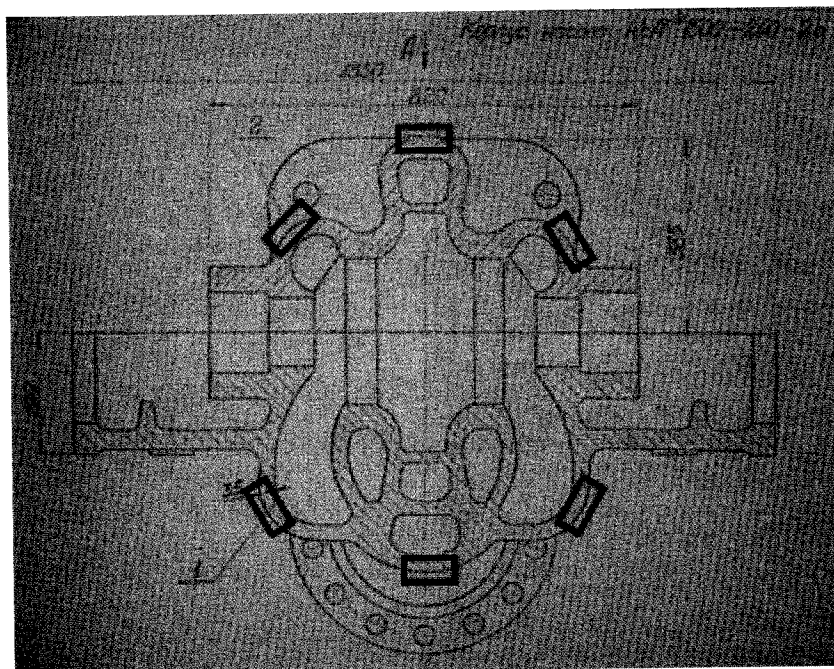
Перечень используемой документации

- 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. Конденсационная установка турбины К-1000-60/1500-2. ИЭ.1.РМ.СД.ТЦ-1/07.
- 19 Инструкция по организации и ведению этаноламинового водно-химического режима второго контура И.1,2,3,4.ВХР.ХЦ/20.
- 20 Регламент химического контроля качества технологических сред Балаковской АЭС Р. ХЦ/02.
- 21 ПНАЭ Г-7-010-89. Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварные соединения и наплавки. Правила контроля.

- 22 ПК 1514-72. Правила контроля сварных соединений и наплавки узлов и конструкций атомных электростанций, опытных и исследовательских ядерных реакторов и установок.
- 23 ПНАЭ Г-7-016-89. Унифицированные методики неразрушающего контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ. Визуальный и измерительный контроль.
- 24 ПНАЭ Г-7-018-89. Унифицированные методики неразрушающего контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ. Капиллярный контроль.
- 25 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.
- 26 РД ЭО 0027-05. Инструкция по определению механических свойств металла оборудования атомных электростанций безобразцовыми методами по характеристикам твердости.
- 27 РД ЭО 0069-97. Правила организации технического обслуживания и ремонта систем и оборудования атомных станций.
- 28 Общие технические условия на ремонт. ТУ ЭО 0144-2001.
- 29 Регламент ТОиР насосного оборудования турбинного отделения. Р.ОППР-1-27/79-02.
- 30 Технологическая инструкция по исправлению дефектных участков в монтажных сварных соединениях оборудования и трубопроводов АЭУ. № 18-170.00.000. НИПТиКО «Энергомонтажпроект», 1992.
- 31 Обобщающий отчет по результатам проведения комплексного обследования энергоблока № 1 Балаковской АЭС для продления срока эксплуатации. Балаково, 2008.
- 32 Отчет по результатам обследования оборудования и трубопроводов системы основного конденсата РМ энергоблока № 1 БалАЭС. Балаково, 2007.
- 33 Паспорт на корпус конденсатного насоса второй ступени. Рег. № 1019.
- 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 Техническая справка. Сведения об истории нагружения оборудования ТЦ-1 Балаковской АЭС с момента пуска блока по октябрь 2009 г. Балаковская АЭС, 2009 г.
- 36 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 конденсатного насоса второй ступени



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

Приложение 2

Комплект актов, протоколов контроля металла конденсатного насоса второй
ступени 1RM43D01 турбинного цеха энергоблока №1 Балаковской АЭС

наименование организации, проводившей контроль

по результатам ультразвукового измерения толщины

ОТ « 08 » 02 201 0 г.

Конденсатный насос второй ступени 1RM43D01, КсА 1500-240-2а, черт. Н18.66.00.00СБ, Н18.66.21.00СБ.
идентификационные данные объекта контроля

Измерение толщины монометалла полуспиральных подводов, спирального отвода.

ПНАЭ Г-7-031-91, расчет на прочность Н18.66.21.00П.

НТД на контрол и оценку квалитета

марка стали 25Л-II погрешность $\pm 0.2\text{мм}$ запись № 25 в журнале № ОДМиТК-2-21

цель контроля п. 18.5.1 РП.ОДМ-08/1-2010, п. 6.3 Рабочей программы РП.ЦМиР/ТЦ-1/21-09.

тип прибора DM4E зав. № 01C3T7 тип ПЭП DA 301 зав. № 513

результаты измерений

Контроль выполнил ведущий инженер

Мишуков А.А.

должность, Фамилия и инициалы, подпись

Руководитель работ руководитель группы

Левчук В.И.

должность, Фамилия и инициалы, подпись

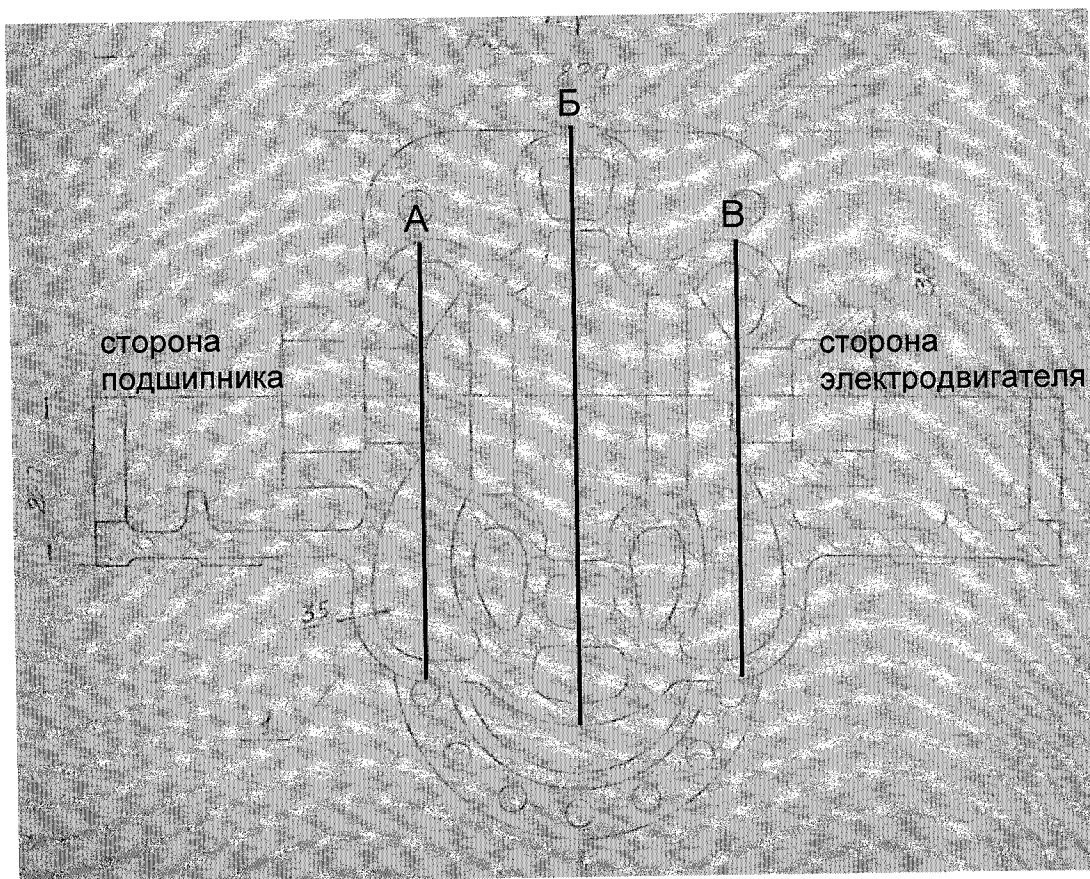
Проверил Высоцкий С.И.

Фамилия и инициалы, подпись

Начальник ОДМитК

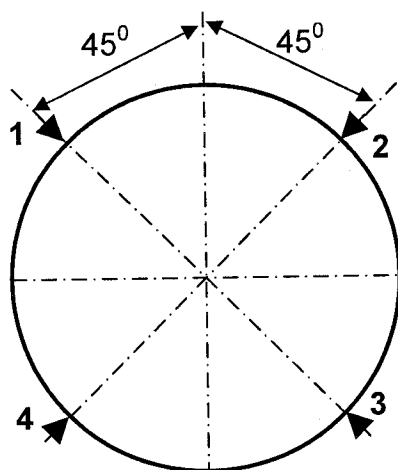
С.В. Якушев

ПОДПИСЬ



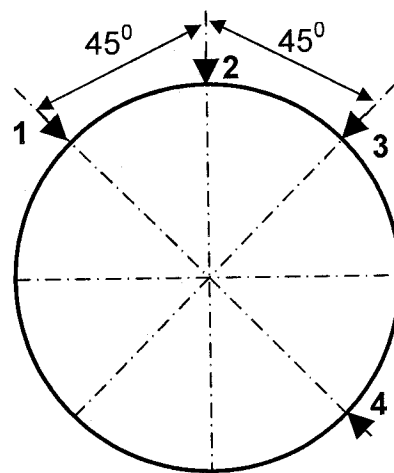
А, Б, В – сечения замеров

Сечения А, В



1-4 – точки замера по периметру полуспиральных подводов, смотря со стороны подшипника для сеч. А и со стороны эл. двиг. для сеч. В

Сечение Б



1-4 – точки замера по периметру спирального отвода, смотря со стороны подшипника

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

**Филиал ОАО «Концерн Росэнергоатом»
«Балаковская атомная станция»
(Балаковская АЭС)
ОДМ и ТК
Энергоблок № 1, ТО**

ПРОТОКОЛ

От 02.02.10г. № ОДМиТК1-14/523

г. Балаково

Визуального и измерительного контроля
Конденсатный насос II ступени 1RM43D01

1.ОБЪЕКТ КОНТРОЛЯ: Конденсатный насос II ступени, КСА 1500-240-2а, 1RM43D01, черт. Н 18.66.21.00П, зав. № 9, материал-25Л-II, завод-изготовитель п/я В-2964 г.Сумы.

2.ЦЕЛЬ КОНТРОЛЯ: Оценка состояния основного металла согласно п.18.5. «Рабочей программы ...» РП. №ОДМ-08/1-2010.

3.МЕТОДЫ И ОБЪЕМ КОНТРОЛЯ: Визуальный и измерительный контроль согласно ПНАЭГ-7-016-89, АТПЭ-9-03 (приложение 6), ТУ ЭО 0044-95, ПНАЭ Г-7-025-90, тех. карты № 1-4/ТЦ-792, ОДМ-23/07.

Дата проведения контроля 01.02.2010г. с 09-00 до 12-00 часов.

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

Измерительный инструмент: ШЦ-1-125, зав.№ Т 81328.

3.1. Основной металл корпуса, крышки, патрубков, радиусные переходы - в объеме 100%.

3.2. Уплотнительные поверхности фланцевых разъемов - в объеме 100%.

4.РЕЗУЛЬТАТЫ КОНТРОЛЯ: Визуальным и измерительным контролем выполненным по п.п. 3.1., 3.2. настоящего протокола, дефектов не обнаружено.

5.ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Визуальный и измерительный контроль выполнен в объеме п. 18.5. «Рабочей программы ...» РП. №ОДМ-08/1-2010, дефектов не обнаружено.

Начальник ОДМиТК

Инженер ОДМиТК



С.В.Якушев

Н.И.Кузнецова

**АКТ № ИМС-003.1/ТЦ-1/21-09 от 30.06.2010 г.
об измерении механических свойств**

Объект контроля, зона контроля: конденсатный насос второй ступени 1RM43D01, основной металл 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»: 6.3.1

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.

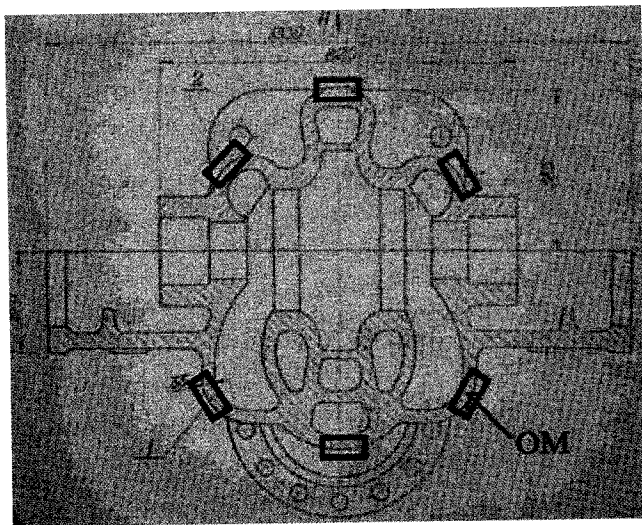
Результаты контроля

Зона контроля включает следующие элементы:

- Корпус, материал отливка 25Л-II ГОСТ 977-75, чертеж Н18.66.10.00.М4;
Т_{раб}=70 °С.

<u>Контролируемый элемент</u>	<u>Источник данных</u>	20 °С					100 °С	
		НВ	R _m , МПа	R _{0.2} , МПа	A ₅ , %	Z, %	R _m , МПа	R _{0.2} , МПа
Корпус	Нормат. требования* ПН АЭ Г-7-002-86	-	441	235	19	30	432	216
	Нормат. требования ГОСТ 977-75**	-	441	235	19	30	-	-
	Данные измерений ОМ	124±11	446±45	267±40	26±5	70±21	437	246

Схема расположения элементов в зоне контроля



Заключение: Механические свойства металла корпуса соответствуют требованиям нормативной документации

Примечание: * - Нормативные значения указаны для стали-аналога 25Л;
** - Нормативные значения указаны по ГОСТ 977-88.

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

Фролов И.В.
Фамилия и инициалы

И.В. Фролов
подпись

Руководитель работ: руководитель группы ООО НСУЦ «ЦМиР»
должность

Левчук В.И.
Фамилия и инициалы

В.И. Левчук
подпись

**АКТ № ИМС-003.2/ТЦ-1/21-09 от 30.06.2010 г.
об измерении механических свойств**

Объект контроля, зона контроля: конденсатный насос второй ступени 1RM43D01, основной металл крышки

№ 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»: 6.3.1

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.

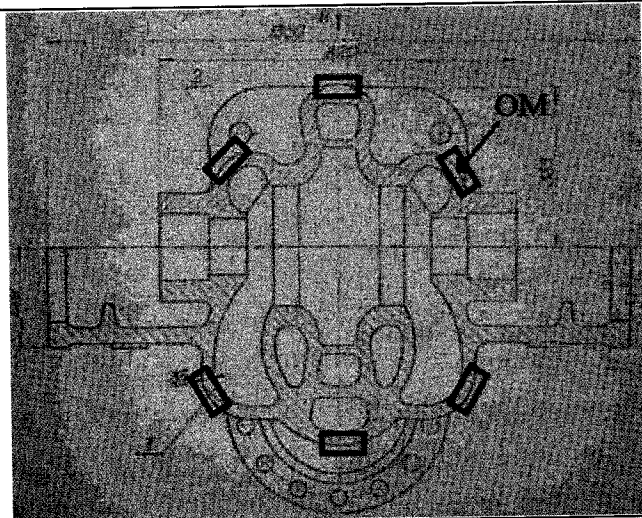
Результаты контроля

Зона контроля включает следующие элементы:

- Крышка, материал отливка 20Л-II ГОСТ 977-75, чертеж Н18.66.10.00.М4;
Траб=70 °С.

Контролируемый элемент	Источник данных		20 °С					100 °С	
			НВ	R _m , МПа	R _{0.2} , МПа	A ₅ , %	Z, %	R _m , МПа	R _{0.2} , МПа
Крышка	Нормат. требования* ПН АЭ Г-7-002-86		-	412	216	22	35	412	196
	Нормат. требования ГОСТ 977-75**		-	412	216	22	35	-	-
	Данные измерений	ОМ	127±10	455±45	274±41	25±5	70±21	455	249

Схема расположения элементов в зоне контроля



Заключение: Механические свойства металла крышки соответствуют требованиям нормативной документации

Примечание: * - Нормативные значения указаны для стали-аналога 20Л;
** - Нормативные значения указаны по ГОСТ 977-88.

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

Филиал ОАО «Концерн Росэнергоатом»

«Балаковская атомная станция»

ОДМиТК

Энергоблок № 1, ТО

ПРОТОКОЛ

от 05.02.2010г. № ОДМиТК -1-14/ 674

Визуального и измерительного контроля

Конденсатный насос II ступени 1RM43D01

1.ОБЪЕКТ КОНТРОЛЯ: Конденсатный насос II ступени, КСА 1500-240-2а, 1RM43D01, черт. Н 18.66.21.00П, зав. № 9, материал-25Л-II, завод-изготовитель п/я В-2964 г.Сумы.

2.ЦЕЛЬ КОНТРОЛЯ: Оценка состояния металла согласно п.18.5.3. «Рабочей программы....» № ОДМ-08/1-2010.

3.МЕТОДЫ И ОБЪЕМ КОНТРОЛЯ: Визуальный и измерительный контроль согласно ПНАЭГ-7-016-89, АТПЭ-9-03 (Приложение 6).

Дата проведения контроля 04.02.10, до 12 часов.

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

Измерительный инструмент: ШЦ-1-125-0,1. зав.№ Т 81328.

3.1. Крепежные элементы крышки к корпусу:

- шпильки М30х180, (2 шт.);

- шпильки М30х125, (2 шт.).

4.РЕЗУЛЬТАТЫ КОНТРОЛЯ: При визуальном и измерительном контроле по п.3.1. настоящего протокола дефектов не обнаружено.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Визуальный и измерительный контроль проведен в объеме п.18.5.3. «Рабочей программы....» № ОДМ-08/1-2010, дефектов не выявлено.

Начальник ОДМиТК

Инженер ОДМиТК

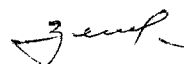
Лаборант ОДМиТК



С.В.Якушев



Н.И.Кузнецова



К.А.Земсков

Приложение 3

Конденсатный насос второй ступени 1RM43D01.

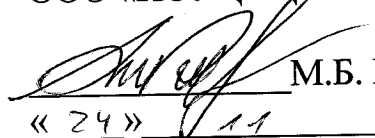
Аннотационный отчет по результатам расчёта на прочность 21/09-Р.2., 2010 г.



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

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ООО «НСУЦ «ЦМР»

 М.Б. Бакиров
« 24 » 11 2010 г.

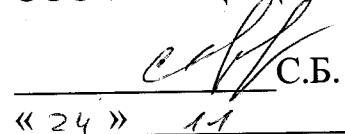
Балаковская АЭС
Энергоблок 1

КОНДЕНСАТНЫЙ НАСОС ВТОРОЙ СТУПЕНИ 1RM43D01

**АННОТАЦИОННЫЙ ОТЧЕТ
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ**

21/09-Р.2.

Ведущий инженер
ООО «НСУЦ «ЦМР»

 С.Б. Кравец
« 24 » 11 2010 г.

Москва 2010

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Данные для расчета	6
1.1 Условные обозначения и сокращения	6
1.2 Геометрические размеры	7
1.3 Расчетные параметры	7
1.4 Материалы и допускаемые напряжения	8
1.5 Классификация напряжений и допускаемые напряжения	10
2 Расчет по выбору основных размеров	12
2.1 Определение толщин элементов корпуса	12
2.2 Расчет фланцевых соединений патрубков	16
2.3 Расчет фланца горизонтального разъема	34
3 Поверочный расчет	41
3.1 Расчет на статическую прочность	41
3.2 Расчет на циклическую прочность	48
3.3 Расчет на сейсмические воздействия	53
4 Заключение	57
Список использованных источников	58
Лист регистрации изменений	59

Инв. № дубл.	Подп. и дата											
Взам. инв. №	Подп. и дата											
Инв. № подл.	Подп. и дата											
		21/09-Р.2.										
		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						
		Разраб.	Афиногенов				Насос 1RM43D01 Расчет на прочность					
		Пров.	Кравец С.Б.									
		Н.контр.	Дашевская									
		Утв.	Бакиров М.Б.									
							Лит.	Лист	Листов			
							И	2	59			
							ООО «НСУЦ «ЦМиР»					

Введение

В данном отчете приведен расчет по выбору основных размеров и поверочный расчет конденсатного насоса второй ступени КН-2 1RM43D01 марки КсА 1500-240-2а (далее по тексту – насоса) системы основного конденсата РМ энергоблока №1 Балаковской АЭС, исходя из прогнозируемого общего срока эксплуатации насоса 60 лет (до 2045 г.). Основные геометрические размеры элементов насоса взяты по чертежам Н18.66.21.01 и Н18.66.20.02-1, а также с учетом результатов измерений фактических значений толщины элементов насоса, выполненных в ППР-2010 на момент окончания проектного срока службы.

Насос КсА 1500-240-2а – центробежный, горизонтальный, одноступенчатый, с рабочим колесом двухстороннего входа, изготовлен в климатическом исполнении «УХЛ», категории размещения 4 по ГОСТ 15150-69. В корпусе насоса в сборе с крышкой происходит превращение механической энергии вращения ротора в энергию потока жидкости. Корпус насоса – литой, стальной с полуспиральным подводом и спиральным двухзавитковым отводом, представляет собой деталь со сложной конфигурацией внутренней полости и имеет горизонтальный разъем для соединения с крышкой. Входной и напорный патрубки насоса расположены в нижней части корпуса и направлены в разные стороны перпендикулярно оси вращения насоса. На литой крышке имеются ребра жесткости, а также выполнены разъемы для соединения с корпусом и другими элементами насоса. Корпус насоса опирается на плиту четырьмя лапами и крепится к ней посредством шпилек.

В соответствии с "Общими положениями обеспечения безопасности атомных станций" НП-001-97 [1] насос относится к классу безопасности 3Н.

В соответствии с "Правилами устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок" ПНАЭ Г-7-008-89 [2] насос относится к группе С.

В соответствии с "Нормами проектирования сейсмостойких атомных станций" НП-031-01 [3] насос относится к категории сейсмостойкости II.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	<div style="font-size: 24px; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;">21/09-P.2.</div>	Лист
						3
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Расчет на прочность выполнен в соответствии с требованиями ПНАЭ Г-7-002-86 [4], НП-031-01 [3], РД ЭО 0330-01 [5], а также с учетом положений РД ЭО 1.1.2.09.0774-2008 [6].

Расчеты корпусных элементов насоса выполнены при параметрах нагружения давлением, соответствующих паспортным данным [7].

Эскизы корпуса и крышки насоса представлены на рисунках 1 и 2 соответственно.

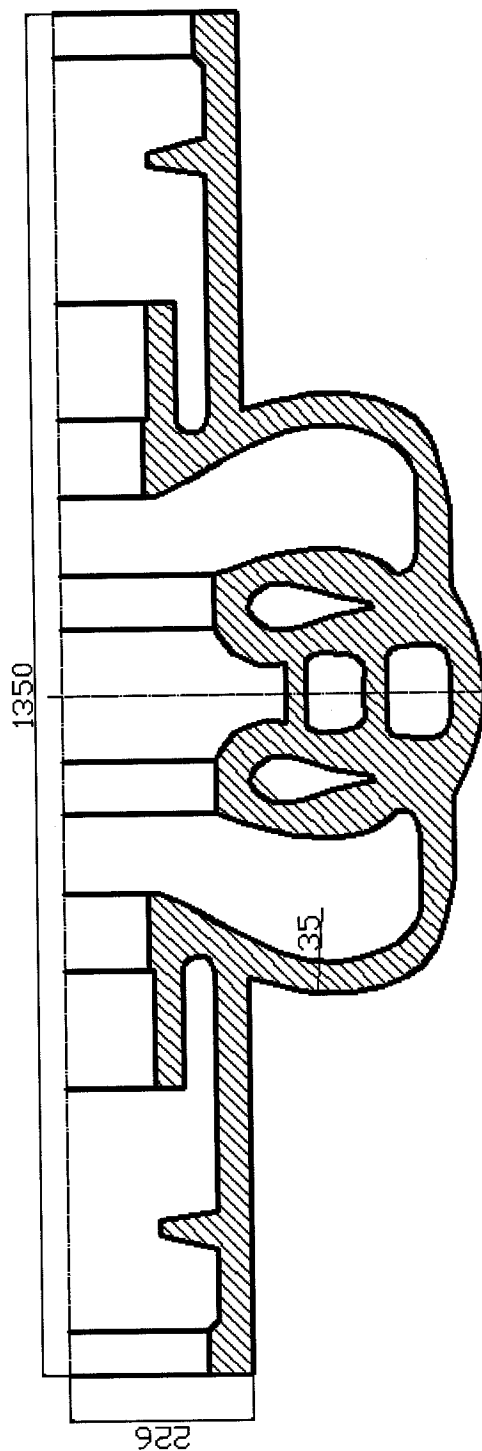


Рисунок 1 - Эскиз корпуса

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

21/09-Р.2.

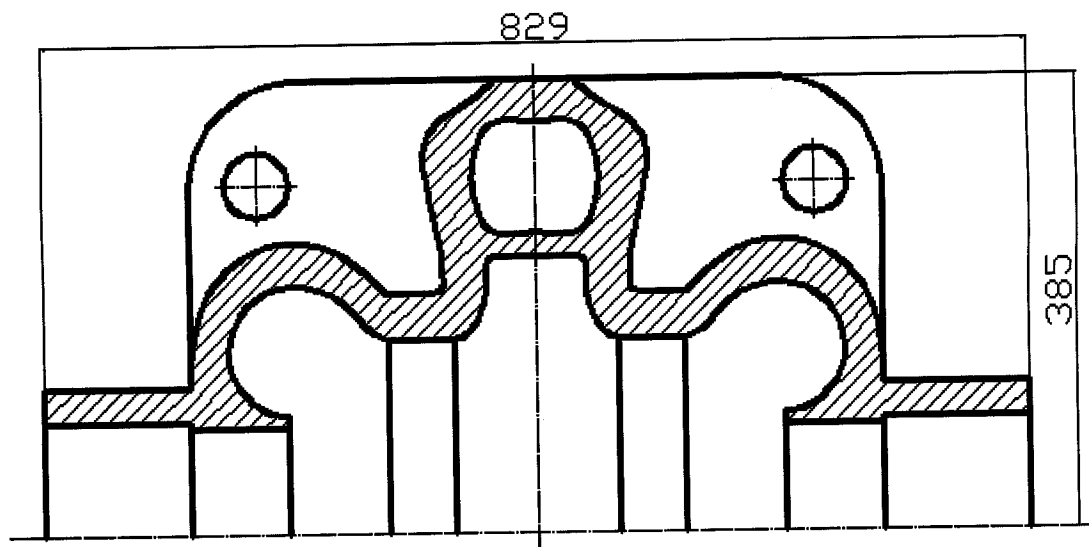


Рисунок 2 - Эскиз крышки

Ине. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
21/09-Р.2.				Лист
				5

1 Данные для расчета

1.1 Условные обозначения и сокращения

Расчетное давление, МПа	P
Расчетная температура, °C	T
Номинальное допускаемое напряжение, МПа	[σ]
Минимальное значение временного сопротивления при расчетной температуре, МПа	R_m^T
Минимальное значение предела текучести при расчетной температуре, МПа	$R_{p0,2}^T$
Приведенные общие мембранные напряжения, МПа	(σ) ₁
Приведенные напряжения, определяемые по суммам составляющих общих или местных мембранных и общих изгибных напряжений, МПа	(σ) ₂
Касательные напряжения среза, МПа	τ, τ _S
Приведенные напряжения от механических нагрузок и сейсмических воздействий, определяемые по составляющим общих мембранных напряжений, МПа	(σ _S) ₁
Приведенные напряжения от механических нагрузок и сейсмических воздействий, определяемые по составляющим мембранных и общих изгибных напряжений, МПа	(σ _S) ₂
Общие мембранные напряжения, МПа	(σ) _m
Местные мембранные напряжения, МПа	(σ) _{mL}
Общие изгибные напряжения, МПа	(σ) _b
Местные изгибные напряжения, МПа	(σ) _{bL}
Размах приведенных напряжений, МПа	(σ) _{RV}
Момент и сила от веса трубопровода	M _B , F _B
Амплитуда приведенных напряжений i-ого цикла	(σ _{aF}) _i
Допускаемая амплитуда напряжений i-ого цикла	[σ _{aF}] _i
Коэффициент, учитывающий влияние водной среды на циклическую прочность	F _{pn}
Накопленное усталостное повреждение	a

Принятые сокращения: НУЭ - нормальные условия эксплуатации;
ГИ - гидравлические испытания; ПЗ - проектное землетрясение.

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

21/09-Р.2.

1.2 Геометрические размеры

Расчет на прочность выполнен для элементов насоса, имеющих геометрические размеры в соответствии с чертежами Н18.66.21.01, Н18.66.20.02-1. 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 [5]. Для корпусных элементов насоса, контактирующих с водной средой, для которых контроль фактических толщин не проводился, толщина стенки выбиралась равной номинальному значению (по чертежам Н18.66.21.01, Н18.66.20.02-1) 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 [4] для компенсации утонения стенки за счет всех видов коррозии в течение рассчитываемого общего срока эксплуатации насоса 60 лет.

1.3 Расчетные параметры

Основные рабочие и расчетные параметры насоса в соответствии с [7] приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Рабочие и расчетные параметры

Наименование параметра, единица измерения	Величина
Расчетное давление, МПа	4,6
Давление гидравлических испытаний, МПа	5,8
Расчетная температура, °С	70
Температура гидравлических испытаний, °С	20
Количество циклов «пуск-останов» за прошедшие 24 года эксплуатации	120
Количество циклов «пуск-останов» за последние 10 лет эксплуатации	40

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	<div style="text-align: right; font-weight: bold;">21/09-P.2.</div>					Лист
										7
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

Продолжение таблицы 1

Наименование параметра, единица измерения	Величина
Планируемое количество циклов «пуск-останов» на последующие 36 лет эксплуатации*	200
Количество гидравлических испытаний за прошедшие 24 года эксплуатации	3
Количество гидравлических испытаний за последние 10 лет эксплуатации	2
Планируемое количество гидравлических испытаний на последующие 36 лет эксплуатации	5
Рабочая среда	вода

*Примечание. Планируемое количество циклов «пуск-останов» насоса на последующие 36 лет эксплуатации выбрано консервативно в запас прочности при оценке величины циклической повреждаемости.

1.4 Материалы и допускаемые напряжения

По результатам контроля механических свойств металла элементов насоса, выполненного в ППР-2010 на момент окончания проектного срока эксплуатации, установлено, что фактические механические свойства основного металла насоса на момент окончания 30-летнего проектного срока службы соответствуют требованиям действующей НД, 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 НД.

Механические свойства основных применяемых материалов при расчетной температуре и температуре ГИ приняты в соответствии с рекомендациями приложения 1 [4]. Определение механических свойств металла элементов насоса при расчетной температуре выполнено методом линейной интерполяции между значениями свойств, указанных в таблице П 1.1 [4] для соседних с расчетной температурой значений температур (при ближайшей меньшей и ближайшей большей температуре).

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	<div>21/09-Р.2.</div>	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Номинальные допускаемые напряжения для корпусных элементов определяются по формуле:

$$[\sigma] = \min \left(\frac{R_{p,0.2}^T}{n_{0,2}} ; \frac{R_m^T}{n_m} \right) ,$$

где $n_m = 2,6$ - коэффициент запаса прочности по временному сопротивлению;

$n_{0,2} = 1,5$ - коэффициент запаса прочности по пределу текучести.

Номинальные допускаемые напряжения в крепежных деталях определяются по формуле:

$$[\sigma]_w = \frac{R_{p,0.2}^T}{n_{0,2}} ,$$

где $n_{0,2} = 2$ - коэффициент запаса прочности по пределу текучести.

Значения механических свойств и номинальных допускаемых напряжений приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Механические свойства основных конструкционных материалов и номинальные допускаемые напряжения

Наименование элемента	Марка материала	T, °C	$R_{p0.2}^T$, МПа	R_m^T , МПа	Допускаемое напряжение, МПа
Корпус	25Л ГОСТ 977-75	20	235	441	156,6
		70	220	432	146,6
Крышка	20Л ГОСТ 977-75	20	216	412	144
		70	206	412	137,3
Контрфланец	Ст20 ГОСТ 1050-74	20	176	353	117,3
		70	176	338	117,3
Шпильки (горизонтальный разъем)	35ХМ ГОСТ 4543-71	20	640	784	301,6
		70	600	755	290,4
Болты, шпильки (крепёж фланцев и корпуса)	40Х ГОСТ 4543-71	20	590	736	295
		70	569	726	284,5
Гайки	45 ГОСТ 1050-74	20	315	569	210
		70	304	569	202,6

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	21/09-Р.2.					Лист
										9

1.5 Классификация напряжений и допускаемые напряжения

В соответствии с Нормами [4] при проведении расчета на прочность все напряжения в конструкции разделяются на категории. Напряжения, относящиеся к различным категориям, объединяются в расчетные группы, которые сопоставляются с допускаемыми напряжениями.

Для оценки статической и циклической прочности элементов корпуса предусмотрены расчетные группы категорий напряжений:

- $(\sigma)_1$ - приведенные общие мембранные напряжения;
- $(\sigma)_2$ - приведенные напряжения, определяемые по суммам составляющих общих или местных мембранных и общих изгибных напряжений;
- $(\sigma)_{RV}$ - размах приведенных напряжений, определяемый по суммам составляющих общих или местных мембранных, общих и местных изгибных, общих температурных и компенсационных напряжений;
- $(\sigma_{aF})_V$ - амплитуда приведенных напряжений, определяемая по суммам составляющих общих или местных мембранных, общих и местных изгибных, общих и местных температурных и компенсационных напряжений с учетом концентрации напряжений.

Для оценки сейсмической прочности элементов корпуса насоса и крепежных деталей предусмотрены расчетные группы категорий напряжений:

- $(\sigma_s)_2$ - приведенные напряжения, определяемые по суммам составляющих общих или местных мембранных и общих изгибных напряжений с учетом сейсмических воздействий;
- $(\sigma_s)_{mw}$ - группа приведенных напряжений, определяемая по суммам средних по сечению болта или шпильки напряжений растяжения, вызываемых механическими нагрузками и сейсмическими воздействиями.

Напряжения, определенные при расчете элементов корпуса насоса и крепежных деталей для всех расчетных режимов, не должны превышать значений допускаемых напряжений, вычисленных в соответствии с таблицей 3.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	21/09-Р.2.	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		10

Таблица 3 - Определение допускаемых напряжений в элементах насоса для расчетных режимов

Расчетный режим	$(\sigma)_1$, МПа	$(\sigma)_2$, МПа	$(\sigma)_{RV}$, МПа	$(\sigma_s)_2$, МПа	$(\sigma_s)_{mw}$, МПа
НУЭ	$[\sigma]$	$1,3[\sigma]$	$(2,5 - \frac{R_{p0,2}^T}{R_m^T}) \cdot R_{p0,2}^T$	-	-
ГИ	$1,35[\sigma]^{Th}$	$1,7[\sigma]^{Th}$	но не более $2R_{p0,2}^T$	-	-
НУЭ+ПЗ	-	-	-	$1,9[\sigma]$	$1,5[\sigma]_w$

Допускаемые напряжения для корпусных элементов насоса в режимах НУЭ и ГИ приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Допускаемые напряжения по группам категорий напряжений $(\sigma)_1$, $(\sigma)_2$ в режимах НУЭ и ГИ

Наименование элемента	Марка материала	Режим	Т, °С	Допускаемое напряжение, МПа	
				$(\sigma)_1$	$(\sigma)_2$
Корпус	25Л ГОСТ 977-75	НУЭ	70	146,6	190,6
		ГИ	20	211,4	249,3
Крышка	20Л ГОСТ 977-75	НУЭ	70	137,3	187,2
		ГИ	20	194,4	248,8

Допускаемые напряжения для корпусных элементов насоса и крепежных деталей в режиме НУЭ+ПЗ приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Допускаемые напряжения по группам категорий напряжений $(\sigma_s)_2$, $(\sigma_s)_{mw}$ в режиме НУЭ+ПЗ

Наименование элемента	Марка материала	Т, °С	Допускаемое напряжение, МПа	
			$(\sigma_s)_2$	$(\sigma_s)_{mw}$
Корпус	25Л ГОСТ 977-75	70	278,5	-
Крышка	20Л ГОСТ 977-75	70	261,0	-
Шпильки (горизонтальный разъем)	35ХМ ГОСТ 4543-71	70	-	311,3
Болты, шпильки (крепёж фланцев)	40Х ГОСТ 4543-71	70	-	426,8

2 Расчет по выбору основных размеров

2.1 Определение толщин элементов корпуса

Расчеты на прочность выполнены в соответствии с требованиями [4], [5], [6].

2.1.1 Определение толщины стенки корпуса насоса

В качестве расчетной схемы выбираем цилиндр с максимальным расчетным диаметром, обусловленным геометрией конструкции.

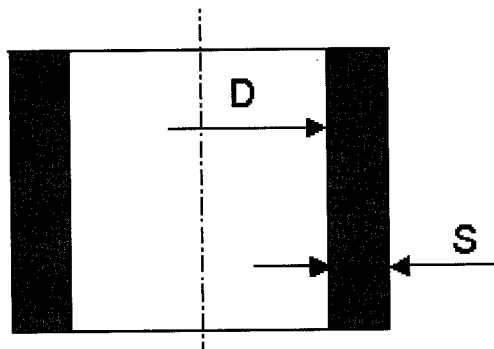


Рисунок 3 - Эскиз обечайки

Исходные данные:

$p := 4.6$ - расчетное давление, МПа;

$T := 70$ - расчетная температура, град С;

$p_h := 5.8$ - давление гидроиспытаний, МПа;

$D_n = 861$ - номинальный внутренний диаметр обечайки, мм;

$s = 32.7$ - фактическая толщина стенки обечайки, мм;

$\phi_w := 1.0$ - коэффициент снижения прочности сварных швов обечайки;

$\sigma_d = 146.6$ - номинальное допускаемое напряжение материала обечайки при расчетной температуре, МПа;

$\sigma_{hd} = 156.6$ - номинальное допускаемое напряжение материала обечайки при температуре гидроиспытаний, МПа;

$C_2 = 36 \cdot (35.0 - 32.7) / 24 = 3.5$ - прибавка к толщине стенки для компенсации коррозии, мм [5].

Суммарная прибавка к толщине стенки

$$c = c_2$$

$$c = 3.5 \text{ мм}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	21/09-Р.2.					Лист	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						12	

Внутренний диаметр обечайки с учетом утонения стенки

$$D = D_n - 2 \cdot c = 854 \text{ мм.}$$

Расчетная толщина стенки

$$s_p := \frac{p \cdot D}{2 \cdot \phi_w \cdot \sigma_d - p},$$

$$s_p = 13.6 \text{ мм.}$$

Принимаемая номинальная толщина стенки должна удовлетворять условию

$$s \geq s_p + c,$$

$$s_p + c = 17,1 \text{ мм.}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление в условиях гидроиспытания p_{hd} определяем по формуле

$$p_{hd} := \frac{(s - c_2) \cdot 2 \cdot \phi \cdot 1.35 \cdot \sigma_{Th}}{D + (s - c_2)},$$

$$p_{hd} = 13,9 \text{ МПа.}$$

$$\text{Поскольку } s_p + c = 17.1 \text{ мм} < S = 32.7 \text{ мм,}$$

$$p_{hd} = 13,9 \text{ МПа} > p_h = 5.8 \text{ МПа, то условие прочности выполняется.}$$

2.1.2 Определение толщины стенки входного патрубка

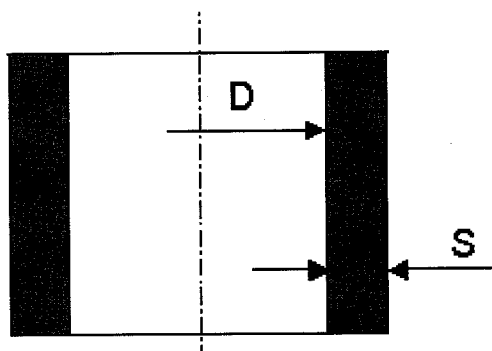


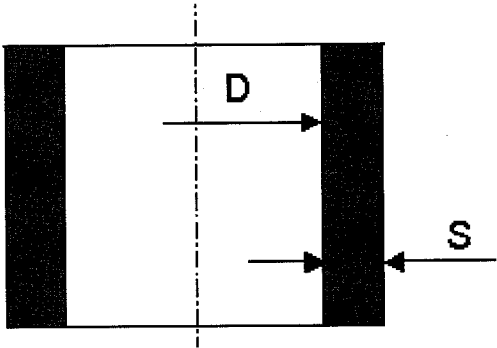
Рисунок 4 - Эскиз стенки входного патрубка

Исходные данные:

$p := 4.6$ - расчетное давление, МПа;

$T := 70$ - расчетная температура, град С;

$p_h := 5.8$ - давление гидроиспытаний, МПа;

Инв. № подл.	Подп. и дата				Лист
	Инв. № дубл.				
Взам. инв. №	Подп. и дата				Лист
	Инв. № дубл.				
<p>$p_{hd}=13,9$ МПа.</p> <p>Поскольку $s_p+c= 17.1$ мм $< S = 32.7$ мм,</p> <p>$p_{hd}=13,9$ МПа $> p_h = 5.8$ МПа, то условие прочности выполняется.</p> <p>2.1.2 Определение толщины стенки входного патрубка</p> <div></div> <p>Рисунок 4 - Эскиз стенки входного патрубка</p> <p>Исходные данные:</p> <p>$p := 4.6$ - расчетное давление, МПа;</p> <p>$T := 70$ - расчетная температура, град С;</p> <p>$p_h := 5.8$ - давление гидроиспытаний, МПа;</p>					
Инв. № подл.	Подп. и дата				Лист
	Инв. № дубл.				
21/09-Р.2.					13
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

2.1.3 Определение толщины стенки напорного патрубка

Исходные данные:

$p := 4.6$ - расчетное давление, МПа;

$T := 70$ - расчетная температура, град С;

$p_h := 5.8$ - давление гидроиспытаний, МПа;

$D_n = 216$ - номинальный внутренний диаметр обечайки, мм;

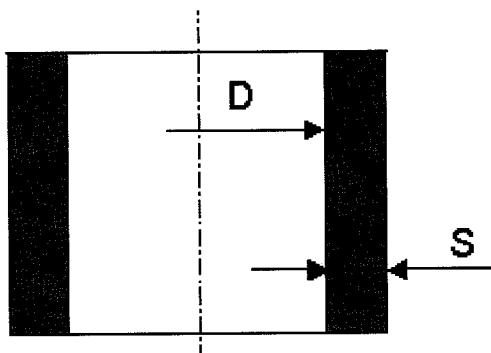


Рисунок 5 - Эскиз стенки напорного патрубка

$s = 40,0$ - номинальная толщина стенки обечайки, мм;

$\phi_w := 1.0$ - коэффициент снижения прочности сварных швов обечайки;

$\sigma_d = 146.6$ - номинальное допускаемое напряжение материала обечайки при расчетной температуре, МПа;

$\sigma_{hd} = 156.6$ - номинальное допускаемое напряжение материала обечайки при температуре гидроиспытаний, МПа;

$c_1 = 6$ - технологическая прибавка к толщине стенки, мм;

$c_2 = 0,6$ - прибавка к толщине стенки для компенсации коррозии, мм [4].

Суммарная прибавка к толщине стенки

$$c := c_1 + c_2,$$

$c = 6,6$ мм

Внутренний диаметр обечайки с учетом утонения стенки

$$D = D_n - 2 \cdot c = 209,4 \text{ мм.}$$

Расчетная толщина стенки

Инв. № подл.	Подп. и дата	Рисунок 5 - Эскиз стенки напорного патрубка				
		Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	Лист
$s = 40,0$ - номинальная толщина стенки обечайки, мм;						
$\phi_w := 1.0$ - коэффициент снижения прочности сварных швов обечайки;						
$\sigma_d = 146.6$ - номинальное допускаемое напряжение материала обечайки при расчетной температуре, МПа;						
$\sigma_{hd} = 156.6$ - номинальное допускаемое напряжение материала обечайки при температуре гидроиспытаний, МПа;						
$c_1 = 6$ - технологическая прибавка к толщине стенки, мм;						
$c_2 = 0,6$ - прибавка к толщине стенки для компенсации коррозии, мм [4].						
Суммарная прибавка к толщине стенки						
$c := c_1 + c_2,$						
$c = 6,6$ мм						
Внутренний диаметр обечайки с учетом утонения стенки						
$D = D_n - 2 \cdot c = 209,4$ мм.						
Расчетная толщина стенки						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	21/09-Р.2.	
					15	

$$s_p := \frac{p \cdot D}{2 \cdot \phi_w \cdot \sigma_d - p},$$

$$s_p = 3,2 \text{ мм.}$$

Принимаемая номинальная толщина стенки должна удовлетворять условию

$$s \geq s_p + c,$$

$$s_p + c = 9,8 \text{ мм.}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление в условиях гидроиспытания p_{hd} определяем по формуле

$$p_{hd} := \frac{(s - c) \cdot 2 \cdot \phi \cdot 1.35 \cdot \sigma_{Th}}{D + (s - c)}$$

$$p_{hd} = 58,8 \text{ МПа,}$$

$$\text{Поскольку } s_p + c = 9,8 \text{ мм} < S = 40 \text{ мм,}$$

$$p_{hd} = 58,8 \text{ МПа} > p_h = 5.8 \text{ МПа, то условие прочности выполняется.}$$

2.2 Расчет фланцевых соединений патрубков

2.2.1 Расчет фланцевого соединения напорного патрубка

Расчет проводится в соответствии с требованиями [4].

Исходные данные:

$\sigma_f := 137.3$ - допускаемое напряжение материала фланца в рабочих условиях, МПа;

$\sigma_{fh} := 144$ - допускаемое напряжение материала фланца при температуре гидроиспытаний, МПа;

$\sigma_s = 284.5$ - допускаемое напряжение материала болтов в рабочих условиях, МПа;

$\sigma_{s20} := 295$ - допускаемое напряжение материала болтов при нормальной температуре, МПа;

$R_{0.2} := 590$ - предел текучести материала болтов при температуре гидроиспытаний, МПа;

$R_{0.2sh} := 569$ - предел текучести материала болтов при рабочей температуре, МПа;

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	$P_{hd} = 58,8 \text{ МПа} > p_h = 5.8 \text{ МПа}$, то условие прочности выполняется.	
					2.2 Расчет фланцевых соединений патрубков	
					2.2.1 Расчет фланцевого соединения напорного патрубка	
					Расчет проводится в соответствии с требованиями [4].	
					Исходные данные:	
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	$\sigma_f := 137.3$ - допускаемое напряжение материала фланца в рабочих условиях, МПа;	
					$\sigma_{fh} := 144$ - допускаемое напряжение материала фланца при температуре гидроиспытаний, МПа;	
					$\sigma_s = 284.5$ - допускаемое напряжение материала болтов в рабочих условиях, МПа;	
					$\sigma_{s20} := 295$ - допускаемое напряжение материала болтов при нормальной температуре, МПа;	
					$R_{0.2} := 590$ - предел текучести материала болтов при температуре гидроиспытаний, МПа;	
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	$R_{0.2sh} := 569$ - предел текучести материала болтов при рабочей температуре, МПа;	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	21/09-P.2.	Лист
						16

$R_{0.2g} := 315$ - предел текучести материала гайки при температуре гидроиспытаний, МПа.

$p := 4.6$ - расчетное давление, МПа;

$p_h := 5.8$ - давление гидроиспытаний, МПа;

$m := 1.6$ - прокладочный коэффициент;

$z := 12$ - количество болтов;

$\delta := 2$ - толщина прокладки, мм;

$D_d := 346$ - наружный диаметр прокладки, мм;

$b_0 := 64$ - условная ширина прокладки, мм;

Расчетный диаметр прокладки

$$D_m := D_d - b_0,$$

$$D_m = 282 \text{ мм.}$$

Эффективная ширина прокладки

$$b := \sqrt{10 \cdot b_0},$$

$$b = 25.298 \text{ мм.}$$

Минимальное удельное давление обжатия прокладки, обеспечивающее герметичность в рабочих условиях

$$q_0 := \frac{80}{\sqrt{10 \cdot \delta}},$$

$$q_0 = 17.889 \text{ МПа.}$$

2.2.1.1 Расчет усилия начальной затяжки болтов

Усилие, необходимое для обжатия прокладки

$$F_{ob} := \pi \cdot D_m \cdot b \cdot q_0,$$

$$F_{ob} = 4.009 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Усилие, обеспечивающее герметичность при рабочем давлении, определяется по формуле

$$F_{pr.p} := \pi \cdot D_m \cdot b \cdot m \cdot p,$$

$$F_{pr.p} = 1.65 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Эффективная ширина прокладки	
					$b := \sqrt{10 \cdot b_0},$	
					$b = 25.298 \text{ мм.}$	
					Минимальное удельное давление обжатия прокладки, обеспечиваю-	
					щее герметичность в рабочих условиях	
Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	$q_0 := \frac{80}{\sqrt{10 \cdot \delta}},$	
					$q_0 = 17.889 \text{ МПа.}$	
					2.2.1.1 Расчет усилия начальной затяжки болтов	
					Усилие, необходимое для обжатия прокладки	
					$F_{ob} := \pi \cdot D_m \cdot b \cdot q_0,$	
Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	$F_{ob} = 4.009 \times 10^5 \text{ Н.}$	
					Усилие, обеспечивающее герметичность при рабочем давлении, оп-	
					ределяется по формуле	
					$F_{pr.p} := \pi \cdot D_m \cdot b \cdot m \cdot p,$	
					$F_{pr.p} = 1.65 \times 10^5 \text{ Н.}$	
Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	21/09-Р.2.	Лист
						17

$$M_k := \frac{(\zeta_1 \cdot F_{ow} \cdot d_0)}{z},$$

$$M_k = 4.446 \times 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

2.2.1.2 Расчет усилий на прокладке

$$\text{Принимаем } F_{pr1} = 5.701 \times 10^5 \text{ Н}.$$

Усилие на прокладке при затяжке

$$F_{pr1} := F_{ow},$$

$$F_{pr1} = 5.9 \times 10^5 \text{ Н}.$$

Усилие на прокладке при гидроиспытании

$$F_{pr2} := F_{ow} - F_{ph},$$

$$F_{pr2} = 2.08 \times 10^5 \text{ Н}.$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях

$$F_{pr3} := F_{ow} - F_p,$$

$$F_{pr3} = 2.829 \times 10^5 \text{ Н}.$$

Проверка удельного давления прокладки

$$q_1 := \frac{F_{pr1}}{\pi \cdot D_m \cdot b},$$

$q_1 = 25.437$ - удельное давление на плоской прокладке при за-
тяжке, МПа;

$$q_2 := \frac{F_{pr2}}{\pi \cdot D_m \cdot b},$$

$q_2 = 10.12$ - удельное давление на плоской прокладке при гидро-
испытании, МПа;

$$q_3 := \frac{F_{pr3}}{\pi \cdot D_m \cdot b},$$

$q_3 = 12.624$ - удельное давление на плоской прокладке в рабо-
чих условиях, МПа.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	21/09-Р.2.	Лист
											19

Т.к. $10 < q_1 < 110$, $10 < q_2 < 110$, $10 < q_3 < 110$, то условия по удельному давлению выполняются.

2.2.1.3 Расчет усилий в болтах

$\chi := 1$ - коэффициент, учитывающий прочность прокладок в рабочих условиях (по таблице П10.4 [4]).

Усилие на болтах при затяжке

$$F_{w1} := F_{ow},$$

$$F_{w1} = 5.701 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Усилие на болтах при гидроиспытании

$$F_{w2} := \pi \cdot D_m \cdot b \cdot m \cdot p_h,$$

$$F_{w2} = 2.08 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Усилие на болтах в рабочих условиях

$$F_{w3} := \pi \cdot D_m \cdot b \cdot m \cdot p_h \cdot \chi,$$

$$F_{w3} = 1.65 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Минимальный диаметр стержня болта

Исходные данные:

$d_c := 0$ - диаметр центрального отверстия в болте, мм;

$\sigma_w := 284.5$ - допускаемое напряжение, МПа;

$z := 12$ - количество болтов;

Растягивающие усилия в болтах от рабочего давления определяем по формуле

$$F_p := 0.785 \cdot D_m^2 \cdot p,$$

$$F_p = 2.872 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Растягивающие усилия в болтах от давления гидроиспытаний определяем по формуле

$$F_{ph} := 0.785 \cdot D_m^2 \cdot p_h,$$

$$F_{ph} = 3.621 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	<div>21/09-Р.2.</div>	Лист				
						20				
						Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Растягивающие усилия затяга болта

$$F_0 := \max(F_{ob}, F_{w2} + F_p, F_{w3} + F_{ph}),$$

$$F_0 = 5.701 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Минимальный диаметр стержня болта

$$d_s := \left(1.27 \cdot \frac{F_0}{z \cdot \sigma_w} + d_c^2 \right)^{0.5},$$

$$d_s = 14.562 \text{ мм.}$$

Принимаем для болтов М36 $d_s := 31.1 \text{ мм.}$

Напряжения растяжения в болтах

$$\sigma_{0s20} := \frac{4}{\pi} \cdot \frac{F_{w1}}{z \cdot d_s^2},$$

$\sigma_{0s20} = 62.54$ - напряжение растяжения в болтах при затяге, МПа.

Т.к. $\sigma_{0s20} < \sigma_{s20}$, то условие прочности болтов при затяге выполняется.

$$\sigma_{0sh} := \frac{4}{\pi} \cdot \frac{F_{w2}}{z \cdot d_s^2},$$

$\sigma_{0sh} = 22.816$ - напряжение растяжения в болтах при гидравлическом испытании, МПа.

$$\sigma_{sh} := 0.7 \cdot R_{0.2},$$

$\sigma_{sh} = 413$ - допускаемое напряжение в болтах при гидроиспытании, МПа.

Т.к. $\sigma_{0sh} < \sigma_{sh}$, то условие прочности болтов при гидравлическом испытании выполняется.

$$\sigma_{0st} := \frac{4}{\pi} \cdot \frac{F_{w3}}{z \cdot d_s^2},$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	21/09-Р.2.					Лист
										21

$\sigma_{0st} = 18.096$ - напряжение растяжения в болтах в рабочих условиях, МПа.

Т.к. $\sigma_{0st} < \sigma_s$, то условие прочности болтов в рабочих условиях выполняется.

Напряжение кручения в болтах

$$\tau_s := \frac{M_k}{0.196 \cdot d_s^3},$$

$\tau_s = 75.419$ - напряжения кручения, МПа.

Напряжение среза резьбы болтов

$h := 50$ - минимальная высота резьбы болта М36, мм;

Напряжения среза резьбы болтов

$$\tau_p := \frac{F_{w3}}{\pi \cdot d_s \cdot h \cdot z \cdot 0.75 \cdot 0.75},$$

$\tau_p = 5.002$ МПа.

$\tau_{pd} := 0.25 \cdot R_{0.2sh},$

$\tau_{pd} = 142.25$ - допускаемое напряжение на срез резьбы, МПа.

Т.к. $\tau_p < \tau_{pd}$, то условие прочности резьбы болтов выполняется.

Напряжения среза резьбы гайки

$$\tau_p := \frac{F_{w3}}{\pi \cdot d_s \cdot h \cdot z \cdot 1.0 \cdot 0.8},$$

$\tau_p = 3.517$ МПа.

$\tau_{pd} := 0.25 \cdot R_{0.2g},$

$\tau_{pd} = 78.75$ - допускаемое напряжение на срез резьбы, МПа.

Т.к. $\tau_p < \tau_{pd}$, то условие прочности резьбы гайки выполняется.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №					
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	21/09-Р.2.			
					Лист			
					22			

2.2.1.4 Обоснование выбранных размеров фланца входного патрубка

Расчет проводится в соответствии с требованиями [4]

Изгибающие моменты во фланце

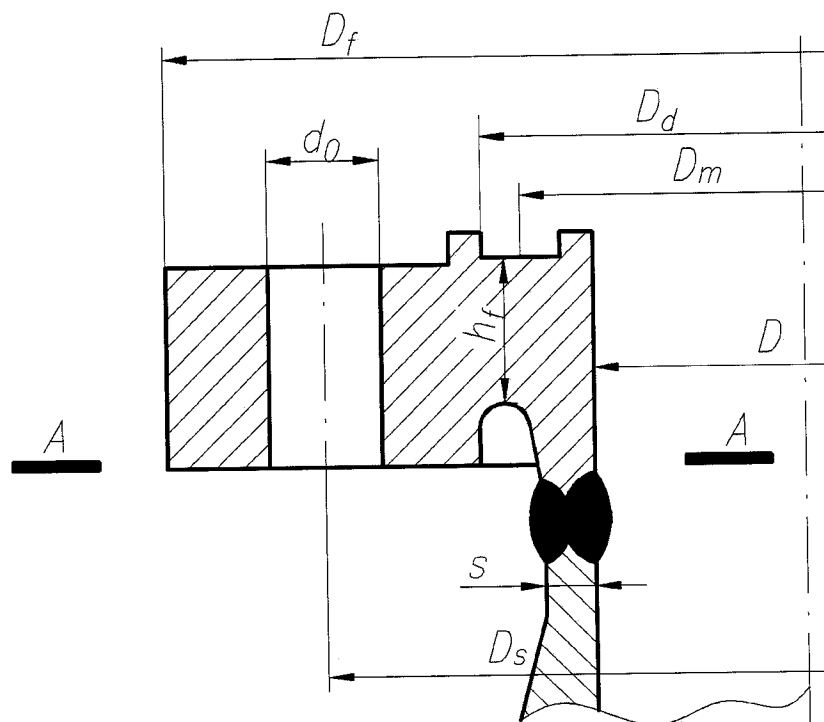


Рисунок 6 - Эскиз фланца

Исходные данные:

$s = 29.3$ - толщина обечайки (см. рисунок 6), мм;

$D_s := 400$ - диаметр окружности болтов, мм;

$D := 250$ - внутренний диаметр фланца, мм;

$h_f := 50$ - минимальная высота тарелки фланца, мм;

$D_f := 480$ - наружный диаметр фланца, мм;

$d_0 := 40$ - диаметр отверстия для болтов, мм.

Изгибающие моменты во фланцах от усилия обжатия прокладки

Плечо действия усилия при затяжке

$$l_2 := \frac{D_s - D_m}{2},$$

$$l_2 = 59 \text{ мм.}$$

$$M_d := F_{ow} \cdot l_2,$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	21/09-Р.2.					Лист	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						23	

$$M_d = 3.364 \times 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Изгибающие моменты во фланцах от усилий, действующих в рабочем состоянии

$$F_1 := 0.785 \cdot D^2 \cdot p - \text{усилие от действия давления внутри корпуса, Н;}$$

$$F_1 = 2.257 \times 10^5 \text{ Н}.$$

$$F_3 := 0.785 \cdot (D_m^2 - D^2) \cdot p - \text{усилие от действия давления среды на внутренний участок тарелки фланца, Н;}$$

$$l_1 := \frac{D_s - D - s}{2},$$

$$l_1 = 58.15 - \text{плечо действия усилия } F_1, \text{ мм;}$$

$$l_3 := \frac{D_s - \frac{D + D_m}{2}}{2},$$

$$l_3 = 67 - \text{плечо действия усилия } F_3, \text{ мм;}$$

$$M_p := F_1 \cdot l_1 + F_{pr.p} \cdot l_2 + F_3 \cdot l_3,$$

$$M_p = 2.69748 \times 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Изгибающие моменты во фланцах от давления гидроиспытаний

$$F_{1h} := 0.785 \cdot D^2 \cdot p_h - \text{усилие от действия давления гидроиспытаний внутри корпуса, Н;}$$

$$F_{3h} := 0.785 \cdot (D_m^2 - D^2) \cdot p_h - \text{усилие от действия давления гидроиспытаний на внутренний участок тарелки фланца, Н;}$$

$$M_h := F_{1h} \cdot l_1 + F_{pr.h} \cdot l_2 + F_{3h} \cdot l_3,$$

$$M_h = 3.401 \times 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Максимальный изгибающий расчетный момент определяем по формуле

$$M_0 := \begin{pmatrix} M_p \\ M_h \\ M_d \end{pmatrix},$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	21/09-Р.2.					24

$$M_0 = \begin{pmatrix} 2.697 \times 10^7 \\ 3.401 \times 10^7 \\ 3.364 \times 10^7 \end{pmatrix},$$

$$M := \max(M_0),$$

$$M = 3.401 \times 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Моменты сопротивления в расчетном сечении фланца

Моменты сопротивления в расчетном сечении фланца А-А

Исходные данные:

$$W_a := \frac{\pi}{4} \cdot \left[(D_f - D - 2 \cdot d_0) \cdot h_f^2 + (D + s) \cdot \left(s^2 - \frac{p^2 \cdot D^2}{16 \cdot \sigma_f^2} \right) \right],$$

$$W_a = 5.466 \times 10^5 \text{ мм}^3.$$

Условие прочности в расчетном сечении А-А

$$\sigma_0 := \frac{M}{W_a},$$

$$\sigma := \max(\sigma_0),$$

$$\sigma = 52.896 \text{ МПа, не превышает допустимое } \sigma_f = 137.3 \text{ МПа}.$$

Условие прочности выполняется.

2.2.2 Расчет фланцевого соединения входного патрубка

Расчет проводится в соответствии с требованиями [4].

Исходные данные:

$\sigma_f := 137.3$ - допускаемое напряжение материала фланца в рабочих условиях, МПа;

$\sigma_{fh} := 144$ - допускаемое напряжение материала фланца при температуре гидроиспытаний, МПа;

$\sigma_s = 284.5$ - допускаемое напряжение материала шпильки в рабочих условиях, МПа;

$\sigma_{s20} := 295$ - допускаемое напряжение материала шпильки при нормальной температуре, МПа;

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	21/09-Р.2.					Лист
										25
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

$R_{0.2} := 590$ - предел текучести материала шпильки при температуре гидроиспытаний, МПа;

$R_{0.2sh} := 569$ - предел текучести материала шпильки при рабочей температуре, МПа;

$R_{0.2g} := 315$ - предел текучести материала гайки при температуре гидроиспытаний, МПа.

$p := 4.6$ - расчетное давление, МПа;

$p_h := 5.8$ - давление гидроиспытаний, МПа;

$m := 1.6$ - прокладочный коэффициент;

$z := 16$ - количество шпилек;

$\delta := 2$ - толщина прокладки, мм;

$D_d := 376$ - наружный диаметр прокладки, мм;

$b_0 := 84$ - условная ширина прокладки, мм;

Расчетный диаметр прокладки

$$D_m := D_d - b_0,$$

$$D_m = 292 \text{ мм.}$$

Эффективная ширина прокладки

$$b := \sqrt{10 \cdot b_0},$$

$$b = 28.983 \text{ мм.}$$

Минимальное удельное давление обжатия прокладки, обеспечивающее герметичность в рабочих условиях

$$q_0 := \frac{80}{\sqrt{10 \cdot \delta}},$$

$$q_0 = 17.889 \text{ МПа.}$$

2.2.2.1 Расчет усилия начальной затяжки шпилек

Усилие, необходимое для обжатия прокладки

Исходные данные:

$$F_{ob} := \pi \cdot D_m \cdot b \cdot q_0,$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	21/09-Р.2.					Лист
										26

$$F_{ob} = 4.756 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Усилие, обеспечивающее герметичность при рабочем давлении, определяется по формуле

$$F_{pr.p} := \pi \cdot D_m \cdot b \cdot m \cdot p,$$

$$F_{pr.p} = 1.957 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Усилие, обеспечивающее герметичность при гидроиспытании, определяется по формуле

$$F_{pr.h} := \pi \cdot D_m \cdot b \cdot m \cdot p_h,$$

$$F_{pr.h} = 2.467 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Гидростатические усилия от рабочего давления определяем по формуле

$$F_p := 0.785 \cdot D_m^2 \cdot p,$$

$$F_p = 3.079 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Гидростатические усилия от давления гидроиспытания определяем по формуле

$$F_{ph} := 0.785 \cdot D_m^2 \cdot p_h,$$

$$F_{ph} = 3.882 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Усилие начальной затяжки шпилек должно быть выбрано из условий

$$F_{ow} \geq F_{ob},$$

$$F_{ow} \geq F_{pr.h} + F_{ph},$$

$$F_{ow} := \max(F_{ob}, F_{pr.h} + F_{ph}),$$

$$F_{ow} = 6.349 \times 10^5 \text{ - усилие начальной затяжки шпилек, Н.}$$

Для сохранения герметичности должно быть выдержано условие

$$F_{ow} \geq F_{pr.p} + F_p,$$

$$F_{ow1} := F_{pr.p} + F_p,$$

$$F_{ow1} = 5.036 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Ине. № подл.	Подп. и дата	Взам. ине. №	Ине. № дубл.	Подп. и дата	Ине. № подл.					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	21/09-Р.2.					Лист
										27

Т.к. $F_{ow} > F_{ow1}$, то условие выполняется.

Крутящий момент на ключе

$\zeta_1 := 0.26$ - коэффициент (таблица П5.8 [4]);

$d_0 := 30$ - наружный диаметр резьбы шпилек М30, мм;

Крутящий момент на ключе определяется по формуле

$$M_k := \frac{(\zeta_1 \cdot F_{ow} \cdot d_0)}{z},$$

$$M_k = 3.095 \times 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

2.2.2.2 Расчет усилий на прокладке

Принимаем $F_{ow} := 6.349 \times 10^5 \text{ Н}.$

Усилие на прокладке при затяжке

$$F_{pr1} := F_{ow},$$

$$F_{pr1} = 6.349 \times 10^5 \text{ Н}.$$

Усилие на прокладке при гидроиспытании

$$F_{pr2} := F_{ow} - F_{ph},$$

$$F_{pr2} = 2.467 \times 10^5 \text{ Н}.$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях

$$F_{pr3} := F_{ow} - F_p,$$

$$F_{pr3} = 3.27 \times 10^5 \text{ Н}.$$

Проверка удельного давления прокладки

$$q_1 := \frac{F_{pr1}}{\pi \cdot D_m \cdot b},$$

$q_1 = 23.88$ - удельное давление на плоской прокладке при затяжке, МПа;

$$q_2 := \frac{F_{pr2}}{\pi \cdot D_m \cdot b},$$

$q_2 := 10.53$ - удельное давление на плоской прокладке при гидроиспытании, МПа;

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	21/09-Р.2.					Лист
										28
					Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

$$q_3 := \frac{F_{pr3}}{\pi \cdot D_m \cdot b},$$

$q_3 = 12.3$ - удельное давление на плоской прокладке в рабочих условиях, МПа.

Т.к. $10 < q_1 < 110$, $10 < q_2 < 110$, $10 < q_3 < 110$, то условия по удельному давлению выполняются.

2.2.2.3 Расчет усилий в шпильках

$\chi := 1$ - коэффициент, учитывающий прочность прокладок в рабочих условиях (по таблице П10.4 [4]).

Усилие на шпильках при затяжке

$$F_{w1} := F_{ow},$$

$$F_{w1} = 6.349 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Усилие на шпильках при гидроиспытании

$$F_{w2} := \pi \cdot D_m \cdot b \cdot m \cdot p_h,$$

$$F_{w2} = 2.467 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Усилие на шпильках в рабочих условиях

$$F_{w3} := \pi \cdot D_m \cdot b \cdot m \cdot p_h \cdot \chi,$$

$$F_{w3} = 1.957 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Минимальный диаметр стержня шпильки

Исходные данные:

$d_c := 0$ - диаметр центрального отверстия в шпильке, мм;

$\sigma_w := 284.5$ - допускаемое напряжение, МПа;

$z := 16$ - количество шпилек;

Растягивающие усилия в шпильках от рабочего давления определяем по формуле

$$F_p := 0.785 \cdot D_m^2 \cdot p,$$

$$F_p = 3.079 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № подл.					Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	21/09-P.2.					29

Растягивающие усилия в шпильках от давления гидроиспытаний определяем по формуле

$$F_{ph} := 0.785 \cdot D_m^2 \cdot p_h,$$

$$F_{ph} = 3.882 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Растягивающие усилия затяга шпилек

$$F_0 := \max(F_{ob}, F_{w2} + F_p, F_{w3} + F_{ph}),$$

$$F_0 = 6.349 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Минимальный диаметр стержня шпильки

$$d_s := \left(1.27 \cdot \frac{F_0}{z \cdot \sigma_w} + d_c^2 \right)^{0.5},$$

$$d_s = 13.31 \text{ мм.}$$

Принимаем для шпилек М30 $d_s := 25.7 \text{ мм.}$

Напряжения растяжения в шпильках

$$\sigma_{0s20} := \frac{4}{\pi} \cdot \frac{F_{w1}}{z \cdot d_s^2},$$

$\sigma_{0s20} = 76.494$ - напряжение растяжения в шпильках при затяге, МПа.

Т.к. $\sigma_{0s20} < \sigma_{s20}$, то условие прочности шпилек при затяге выполняется.

$$\sigma_{0sh} := \frac{4}{\pi} \cdot \frac{F_{w2}}{z \cdot d_s^2},$$

$\sigma_{0sh} = 29.727$ - напряжение растяжения в шпильках при гидравлическом испытании, МПа.

$$\sigma_{sh} := 0.7 \cdot R_{0.2},$$

$\sigma_{sh} = 413$ - допускаемое напряжение в шпильках при гидроиспытании, МПа.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	<div>21/09-Р.2.</div>	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Т.к. $\sigma_{0sh} < \sigma_{sh}$, то условие прочности шпилек при гидравлическом испытании выполняется.

$$\sigma_{0st} := \frac{4}{\pi} \cdot \frac{F_{w3}}{z \cdot d_s^2},$$

$\sigma_{0st} = 23.576$ - напряжение растяжения в шпильках в рабочих условиях, МПа.

Т.к. $\sigma_{0st} < \sigma_s$, то условие прочности шпилек в рабочих условиях выполняется.

Напряжение кручения в шпильках

$$\tau_s := \frac{M_k}{2 \cdot 0.196 \cdot d_s^3},$$

$\tau_s = 93.036$ - напряжения кручения, МПа.

Напряжение среза резьбы шпильки

$h := 50$ - минимальная высота резьбы шпильки М30, мм.

Напряжения среза резьбы шпильки

$$\tau_p := \frac{F_{w3}}{\pi \cdot d_s \cdot h \cdot z \cdot 0.75 \cdot 0.75},$$

$\tau_p = 5.386$ МПа.

$$\tau_{pd} := 0.25 \cdot R_{0.2sh},$$

$\tau_{pd} = 142.25$ - допускаемое напряжение на срез резьбы, МПа.

Т.к. $\tau_p < \tau_{pd}$, то условие прочности резьбы шпильки выполняется.

Напряжения среза резьбы гайки

$$\tau_p := \frac{F_{w3}}{\pi \cdot d_s \cdot h \cdot z \cdot 1.0 \cdot 0.8},$$

$\tau_p = 3.787$ МПа.

$$\tau_{pd} := 0.25 \cdot R_{0.2g},$$

$\tau_{pd} = 78.75$ - допускаемое напряжение на срез резьбы, МПа.

Т.к. $\tau_p < \tau_{pd}$ то условие прочности резьбы гайки выполняется

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	21/09-Р.2.	Лист
											31

2.2.2.4 Обоснование выбранных размеров фланца

Расчет проводится в соответствии с требованиями [4].

Расчетная схема приведена на рисунке 6.

Исходные данные:

$p := 4.6$ - расчетное давление, МПа;

$T := 70$ - расчетная температура, град С;

$p_h := 5.8$ - давление гидроиспытаний, МПа;

$D_f := 470$ - наружный диаметр фланца, мм;

$D := 250$ - внутренний диаметр фланца, мм;

$D_s := 410$ - диаметр окружности шпилек, мм;

$s := 33.7$ - толщина обечайки (см. рисунок 6), мм;

$h_f := 50$ - минимальная высота тарелки фланца, мм;

$d_0 = 33$ - диаметр отверстия для шпилек, мм;

$s_2 = 24$ - толщина стенки конического перехода у основания, мм;

$h_2 = 20$ - высота конусной части, мм;

$\sigma_f := 137.3$ - номинальное допускаемое напряжение материала фланца при расчетной температуре, МПа;

$\sigma_{fh} := 144$ - номинальное допускаемое напряжение материала фланца при температуре гидроиспытания, МПа.

Изгибающий момент во фланцах от усилий, действующих в рабочем состоянии

$F_1 := 0.785 \cdot D^2 \cdot p$ - усилие от действия давления внутри корпуса, Н;

$F_1 = 2.257 \times 10^5$ Н;

$F_3 := 0.785 \cdot (D_m^2 - D^2) \cdot p$ - усилие от действия давления среды на внутренний участок тарелки фланца, Н;

$l_1 := 0.5 \cdot (D_s - D - s_1),$

$l_1 = 63.15$ - плечо действия усилия F_1 , мм;

Инв. № подл.	Подл. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подл. и дата	Лист		
						21/09-P.2.	32
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			

$$l_3 := \frac{D_s - \frac{D + D_m}{2}}{2}$$

$l_3 = 69.5$ -плечо действия усилия F_3 , мм;

$$M_p := F_1 \cdot l_1 + F_{pr.p} \cdot l_2 + F_3 \cdot l_3,$$

$$M_p = 3.15103 \times 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Изгибающий момент во фланцах от давления гидроиспытаний

$F_{1h} := 0.785 \cdot D^2 \cdot p_h$ - усилие от действия давления гидроиспытаний внутри корпуса, Н;

$F_{3h} := 0.785 \cdot (D_m^2 - D^2) \cdot p_h$ - усилие от действия давления гидроиспытаний на внутренний участок тарелки фланца, Н;

$$M_h := F_{1h} \cdot l_1 + F_{pr.h} \cdot l_2 + F_{3h} \cdot l_3,$$

$$F_{1h} \cdot l_1 = 1.797 \times 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

$$M_h = 3.973 \times 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Максимальный (расчетный) изгибающий момент определяем по формуле

$$M_0 := \begin{pmatrix} M_p \\ M_h \end{pmatrix}, \quad M_0 = \begin{pmatrix} 3.151 \times 10^7 \\ 3.973 \times 10^7 \\ 3.746 \times 10^7 \end{pmatrix},$$

$$M := \max(M_0),$$

$$M = 3.973 \times 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Момент сопротивления в расчетном сечении фланца А-А определяем по формуле:

$$W_a := \frac{\pi}{4} \cdot \left[(D_f - D - 2 \cdot d_0) \cdot h_f^2 + (D + s) \cdot \left(s^2 - \frac{p^2 \cdot D^2}{16 \cdot \sigma_f^2} \right) \right],$$

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

21/09-Р.2.

Лист

33

$$W_a = 5.545 \times 10^5 \text{ мм}^3,$$

Условие прочности в расчетном сечении А-А

$$W_a = 5.545 \times 10^5 ,$$

$$\sigma := \max(\sigma_0) ,$$

$\sigma = 71.657 \text{ МПа}$, не превышает допускаемого $\sigma_f = 137.3 \text{ МПа}$.

Условие прочности выполняется.

2.3 Расчет фланца горизонтального разъема

Фланец не является круглым, поэтому для определения усилия затяжки будем пользоваться площадями по средней линии прокладки и площадью прокладки. Расчет проводится в соответствии с требованиями [4].

Исходные данные:

$\sigma_f := 137.3$ - допускаемое напряжение материала фланца в рабочих условиях, МПа;

$\sigma_{fh} := 144$ - допускаемое напряжение материала фланца при температуре гидроиспытаний, МПа;

$\sigma_s := 290.4$ - допускаемое напряжение материала шпильки в рабочих условиях, МПа;

$\sigma_{s20} := 301.5$ - допускаемое напряжение материала шпильки при нормальной температуре, МПа;

$R_{0.2} := 640$ - предел текучести материала шпильки при температуре гидроиспытаний, МПа;

$R_{0.2sh} := 600$ - предел текучести материала шпильки при рабочей температуре, МПа;

$R_{0.2g} := 315$ - предел текучести материала гайки при температуре гидроиспытаний, МПа.

$p := 4.6$ - расчетное давление, МПа;

$p_h := 5.8$ - давление гидроиспытаний, МПа;

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Исходные данные:
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	$\sigma_f := 137.3$ - допускаемое напряжение материала фланца в рабочих условиях, МПа;
					$\sigma_{fh} := 144$ - допускаемое напряжение материала фланца при температуре гидроиспытаний, МПа;
					$\sigma_s := 290.4$ - допускаемое напряжение материала шпильки в рабочих условиях, МПа;
					$\sigma_{s20} := 301.5$ - допускаемое напряжение материала шпильки при нормальной температуре, МПа;
					$R_{0.2} := 640$ - предел текучести материала шпильки при температуре гидроиспытаний, МПа;
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	$R_{0.2sh} := 600$ - предел текучести материала шпильки при рабочей температуре, МПа;
					$R_{0.2g} := 315$ - предел текучести материала гайки при температуре гидроиспытаний, МПа.
					$p := 4.6$ - расчетное давление, МПа;
					$p_h := 5.8$ - давление гидроиспытаний, МПа;
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	21/09-Р.2.
					Лист
					34

$m := 1.6$ - прокладочный коэффициент;

$z := 30$ - количество болтов;

$\delta := 1$ - толщина прокладки, мм;

$F_{\Pi} := 33700$ - площадь прокладки, мм² ;

$F := 25300$ - приведенная площадь по среднему диаметру прокладки

Минимальное удельное давление обжатия прокладки, обеспечивающее герметичность в рабочих условиях

$$q_0 := \frac{80}{\sqrt{10 \cdot \delta}}$$

$$q_0 = 25.298 \text{ МПа.}$$

2.3.1 Расчет усилия начальной затяжки шпилек

Усилие, необходимое для обжатия прокладки

Исходные данные:

$$F_{ob} := F_{\Pi} \cdot q_0$$

$$F_{ob} = 8.526 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Усилие, обеспечивающее герметичность при рабочем давлении, определяется по формуле

$$F_{pr.p} := F_{\Pi} \cdot m \cdot p$$

$$F_{pr.p} = 2.48 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Усилие, обеспечивающее герметичность при гидроиспытании, определяется по формуле

$$F_{pr.h} := F_{\Pi} \cdot m \cdot p_h$$

$$F_{pr.h} = 3.127 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Гидростатические усилия от рабочего давления определяем по формуле

$$F_p := F \cdot p$$

$$F_p = 1.164 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Гидростатические усилия от давления гидроиспытания определяем по формуле

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	21/09-Р.2.					Лист
										35

$$F_{ph} := F \cdot p_h$$

$$F_{ph} = 1.467 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Усилие начальной затяжки шпилек должно быть выбрано из условий

$$F_{ow} \geq F_{ob}$$

$$F_{ow} \geq F_{pr.h} + F_{ph}$$

$$F_{pr.h} + F_{ph} = 4.595 \times 10^5 \text{ Н.}$$

$$F_{ow} := \max(F_{ob}, F_{pr.h} + F_{ph})$$

$$F_{ow} = 8.526 \times 10^5 \text{ - усилие начальной затяжки шпилек, Н}$$

Для сохранения герметичности должно быть выдержано условие

$$F_{ow} \geq F_{pr.p} + F_p$$

$$F_{ow1} := F_{pr.p} + F_p$$

$$F_{ow1} = 3.644 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Т.к. $F_{ow} > F_{ow1}$, то условие выполняется.

Крутящий момент на ключе

$\zeta_1 := 0.26$ - коэффициент (таблица П5.8 [4]);

$d_0 := 30$ - наружный диаметр резьбы шпильки М30, мм;

Крутящий момент на ключе определяется по формуле

$$M_k := \frac{(\zeta_1 \cdot F_{ow} \cdot d_0)}{z}$$

$$M_k = 2.217 \times 10^5 \text{ Н·мм}$$

2.3.2 Расчет усилий на прокладке

Принимаем $F_{ow} := 8.526 \times 10^5 \text{ Н.}$

Усилие на прокладке при затяжке

$$F_{pr1} := F_{ow}$$

$$F_{pr1} = 8.526 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Усилие на прокладке при гидроиспытании

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Лист	
						21/09-P.2.
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$F_{pr2} := F_{ow} - F_{ph}$$

$$F_{pr2} = 7.059 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях

$$F_{pr3} := F_{ow} - F_p$$

$$F_{pr3} = 7.362 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Проверка удельного давления прокладки

$$q_1 := \frac{F_{pr1}}{F_{\Pi}}$$

$q_1 = 25.3$ - удельное давление на плоской прокладке при затяжке, МПа.

$$q_2 := \frac{F_{pr2}}{F_{\Pi}}$$

$q_2 = 20.945$ -удельное давление на плоской прокладке при гидроиспытании, МПа.

$$q_3 := \frac{F_{pr3}}{F_{\Pi}}$$

$q_3 = 21.846$ -удельное давление на плоской прокладке в рабочих условиях, МПа

Т.к. $10 < q_1 < 110$ $10 < q_2 < 110$ $10 < q_3 < 110$, то условия по удельному давлению выполняются.

2.3.3 Расчет усилий в шпильках

$\chi := 1$ - коэффициент, учитывающий прочность прокладок в рабочих условиях (по таблице П10.4 [4]).

Усилие на шпильках при затяжке

$$F_{w1} := F_{ow}$$

$$F_{w1} = 8.526 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Усилие на шпильках при гидроиспытании

$$F_{w2} := \pi \cdot D_m \cdot b \cdot m \cdot p_h$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	<div>21/09-P.2.</div>	Лист				
						37				
						Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

$$F_{w2} = 5.575 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Усилие на шпильках в рабочих условиях

$$F_{w3} := \pi \cdot D_m \cdot b \cdot m \cdot p$$

$$F_{w3} = 4.422 \times 10^5 \text{ Н.}$$

Минимальный диаметр стержня шпильки

Исходные данные:

$d_c := 0$ - диаметр центрального отверстия в шпильке, мм;

$\sigma_w := 290.4$ - допускаемое напряжение, МПа;

$z := 30$ - количество шпилек;

Растягивающие усилия в шпильках от рабочего давления определяем по формуле

$$F_p := 0.785 \cdot D_m^2 \cdot p$$

$$F_p = 1.484 \times 10^6 \text{ Н.}$$

Растягивающие усилия в шпильках от давления гидроиспытаний определяем по формуле

$$F_{ph} := 0.785 \cdot D_m^2 \cdot p_h$$

$$F_{ph} = 1.871 \times 10^6 \text{ Н.}$$

Растягивающие усилия затяга шпилек

$$F_0 := \max(F_{ob}, F_{w2} + F_{ph}, F_{w3} + F_p)$$

$$F_0 = 2.428 \times 10^6 \text{ Н.}$$

Минимальный диаметр стержня шпильки

$$d_s := \left(1.27 \cdot \frac{F_0}{z \cdot \sigma_w} + d_c^2 \right)^{0.5}$$

$$d_s = 18.814 \text{ мм.}$$

Принимаем для шпилек М30 $d_s := 25.7$ мм.

Напряжения растяжения в шпильках

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	21/09-P.2.	Лист
											38

$$\sigma_{0s20} := \frac{4}{\pi} \cdot \frac{F_{w1}}{z \cdot d_s^2}$$

$\sigma_{0s20} = 54.786$ - напряжение растяжения в шпильках при затяге, МПа.

Т.к. $\sigma_{0s20} < \sigma_{s20}$, то условие прочности шпилек при затяге выполняется.

$$\sigma_{0sh} := \frac{4}{\pi} \cdot \frac{F_{w2}}{z \cdot d_s^2}$$

$\sigma_{0sh} = 35.824$ - напряжение растяжения в шпильках при гидравлическом испытании, МПа.

$$\sigma_{sh} := 0.7 \cdot R_{0.2}$$

$\sigma_{sh} = 448$ - допускаемое напряжение в шпильках при гидроиспытании, МПа.

Т.к. $\sigma_{0sh} < \sigma_{sh}$, то условие прочности шпилек при гидравлическом испытании выполняется.

$$\sigma_{0st} := \frac{4}{\pi} \cdot \frac{F_{w3}}{z \cdot d_s^2}$$

$\sigma_{0st} = 28.412$ - напряжение растяжения в шпильках в рабочих условиях, МПа.

Т.к. $\sigma_{0st} < \sigma_s$, то условие прочности шпилек в рабочих условиях выполняется.

Напряжение кручения в шпильках

$$\tau_s := \frac{M_k}{0.196 \cdot d_s^3}$$

$\tau_s = 66.625$ - напряжения кручения, МПа;

Напряжение среза резьбы шпильки

$h := 50$ - минимальная высота резьбы шпильки М30, мм;

Напряжения среза резьбы шпильки

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	21/09-Р.2.	Лист
											39

$$\tau_p := \frac{F_{w3}}{\pi \cdot d_s \cdot h \cdot z \cdot 0.75 \cdot 0.75}$$

$$\tau_p = 6.491 \text{ МПа.}$$

$$\tau_{pd} := 0.25 \cdot R_{0.2sh}$$

$$\tau_{pd} = 150 \text{ - допускаемое напряжение на срез резьбы, МПа.}$$

Т.к. $\tau_p < \tau_{pd}$, то условие прочности резьбы шпильки выполняется.

Напряжения среза резьбы гайки

$$\tau_p := \frac{F_{w3}}{\pi \cdot d_s \cdot h \cdot z \cdot 1.0 \cdot 0.8}$$

$$\tau_p = 4.564 \text{ МПа.}$$

$$\tau_{pd} := 0.25 \cdot R_{0.2g}$$

$$\tau_{pd} = 78.75 \text{ - допускаемое напряжение на срез резьбы, МПа.}$$

Т.к. $\tau_p < \tau_{pd}$, то условие прочности резьбы гайки выполняется.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	21/09-Р.2.	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

3 Поверочный расчет

В расчете рассматриваются следующие режимы:

- нормальные условия эксплуатации (пуск-останов);
- гидравлические испытания.

3.1 Расчет на статическую прочность

В данном разделе проведена оценка прочности элементов корпуса и крышки по первой $(\sigma)_1$ и второй $(\sigma)_2$ группам категорий напряжений для расчетных режимов.

3.1.1 Методика оценки напряжений

Напряжения от внутреннего давления

Мембранные напряжения от внутреннего давления в гладкой части цилиндрической оболочки (без учета концентрации напряжений) определяются по формулам:

$$\sigma_{\theta} = \frac{p \cdot D_m}{2S} - \text{кольцевые,}$$

$$\sigma_z = \frac{p \cdot D_m}{4S} - \text{осевые,}$$

$$\sigma_r = -\frac{p}{2} - \text{радиальные,}$$

где p - расчетное давление;

$D_m = (D_n - D_v) / 2$ - диаметр срединной поверхности обечайки;

D_n , D_v - соответственно наружный и внутренний диаметры сечения, в которое попадает расчетная точка;

S - толщина обечайки, определяемая согласно п. 1.2 расчета.

Оценка прочности по общим мембранным напряжениям

Максимальные приведенные общие мембранные напряжения определяются по формуле:

$$(\sigma)_1 = \max \{ |\sigma_{\theta} - \sigma_z| ; |\sigma_z - \sigma_r| ; |\sigma_{\theta} - \sigma_r| \}.$$

Оценка прочности по суммам мембранных и общих изгибных напряжений

Приведенные напряжения по суммам мембранных и общих изгибных напряжений определяются по формуле:

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	21/09-Р.2.					Лист
										41

$$(\sigma)_2 = \max \{ |\sigma_\theta - \sigma_z| ; |\sigma_z - \sigma_r| ; |\sigma_\theta - \sigma_r| \} + \sigma_u,$$

где σ_u - изгибные напряжения.

Оценка размахов напряжений

Напряжения по группе категорий напряжений "размах приведенных напряжений в элементах оборудования" $(\sigma)_{RV}$ оценивается по критерию:

$$(\sigma)_{RV} \leq \min \left\{ \left(2,5 - \frac{R_{p0,2}^T}{R_m^T} \right) R_{p0,2}^T ; 2R_{p0,2}^T \right\}.$$

3.1.2 Результаты расчета

Оценка по первой группе категорий напряжений

Общие мембранные напряжения $(\sigma)_1$ оцениваются на цилиндрических участках входного и напорного патрубков.

Исходные данные и расчетные напряжения от внутреннего давления, определенные по формулам п.3.1.1, в расчетных режимах представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Напряжения от внутреннего давления и усилия затяга болтов

Расчетная зона	Режим	Исходные данные			Напряжения, МПа		
		p, МПа	S, мм	D _m , мм	σ_θ	σ_z	σ_r
Входной патрубок	НУЭ	4,6	29	452	35,4	17,7	-2,3
	ГИ	5,8			44,7	22,3	-2,9
Напорный патрубок	НУЭ	4,6	33,4	263	20,2	10,1	-2,3
	ГИ	5,8			25,4	12,7	-2,9

Общие мембранные напряжения $(\sigma)_1$ определены по формулам п.3.1.1 и представлены в таблице 7.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата						Лист
										42
					Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	21/09-Р.2.

Таблица 7 – Напряжения $(\sigma)_1$

Расчетная зона	Режим	$(\sigma)_1$, МПа	Допускаемое напряжение, МПа
Входной патрубок	НУЭ	37,7	146,6
	ГИ	47,6	211,4
Напорный патрубок	НУЭ	22,5	146,6
	ГИ	28,3	211,4

Как следует из таблицы 7, вычисленные напряжения $(\sigma)_1$ не превышают допускаемых. Условие прочности по первой группе категорий напряжений выполняется.

Оценка по второй группе категорий напряжений

Оценка прочности по сумме мембранных и общих изгибных напряжений $(\sigma)_2$ согласно [4] проводится для наиболее опасных точек зон корпуса и крышки насоса.

На рисунке 7 представлен эскиз корпуса в сборе с крышкой, на котором отмечены рассматриваемые зоны для определения напряжений категории $(\sigma)_2$.

Определение напряжений проведено с помощью конечно-элементной модели, построенной в программном комплексе «Зенит-95» [8]. Расчет напряжений проводился отдельно для корпуса и крышки.

Расчетная модель корпуса показана на рисунке 8. В качестве нагружающих факторов для модели корпуса выступили расчетное давление, давление ГИ, усилие затяга шпилек горизонтального разъема, нагрузки на входной и напорный патрубки со стороны трубопроводов. Закрепление проводилось по опорным лапам.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	21/09-Р.2.					Лист
										43

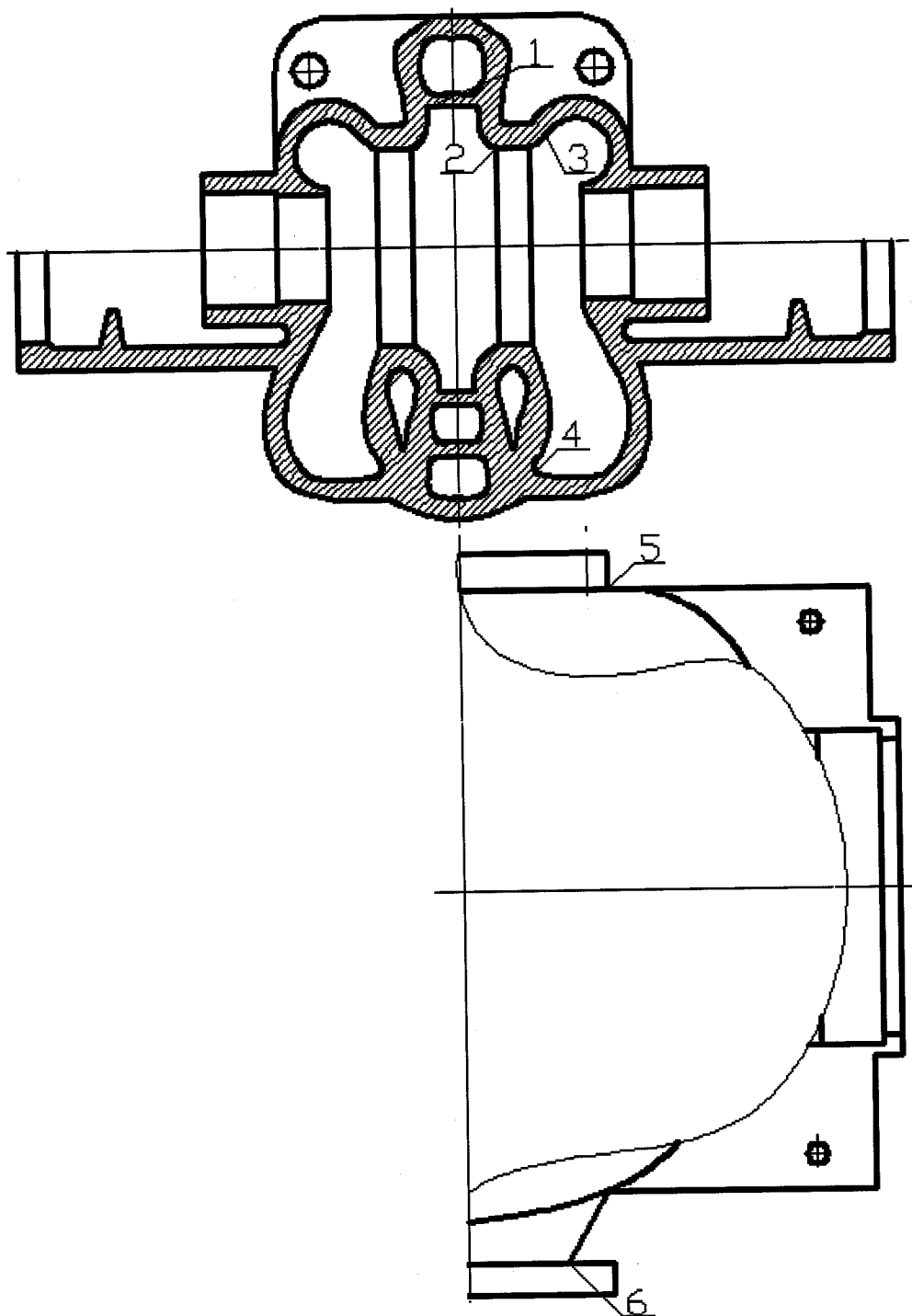


Рисунок 7 - Расчетные зоны на корпусе и крышке

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

21/09-Р.2.

Лист
44

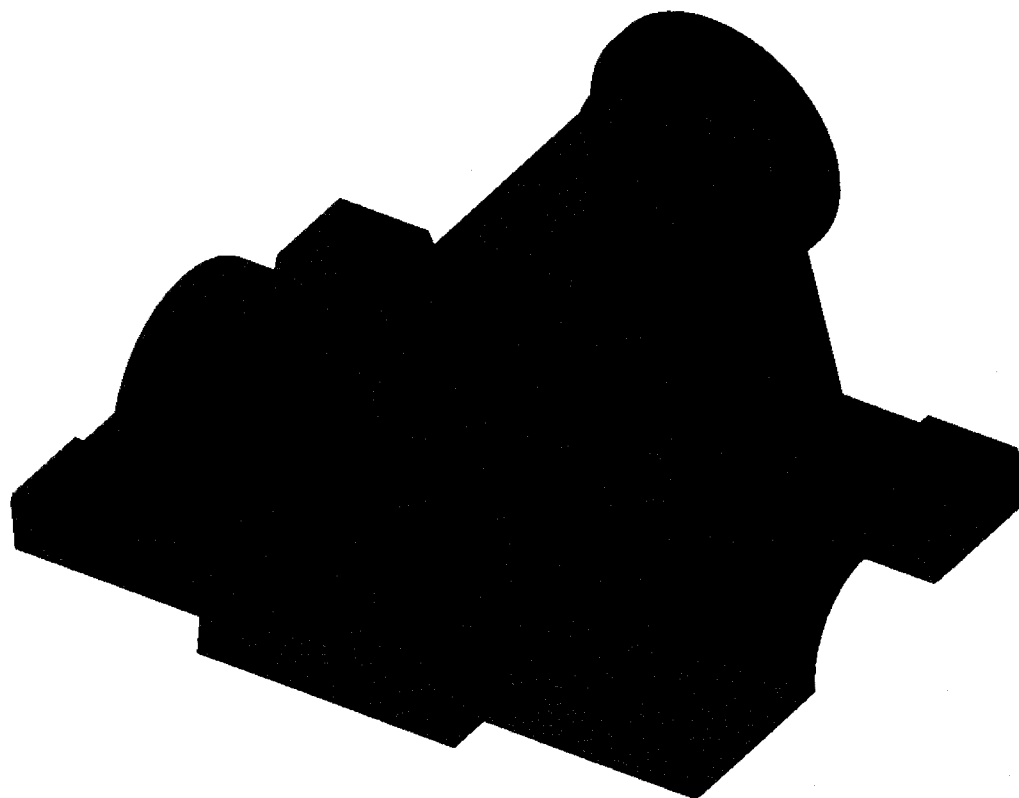
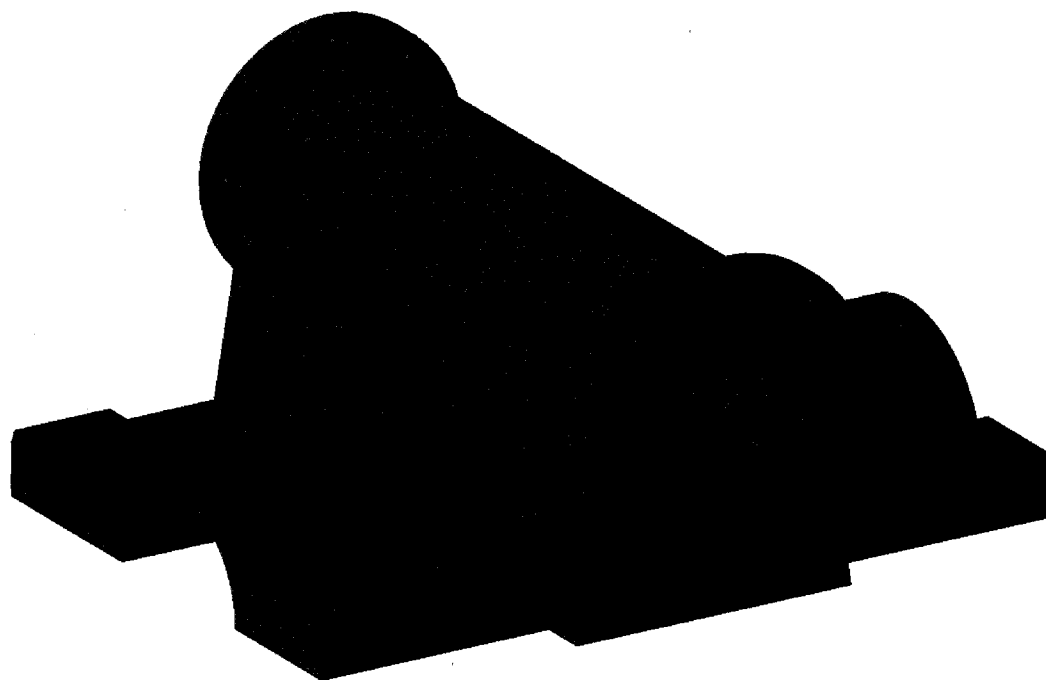


Рисунок 8 – Модель корпуса

Расчетная модель крышки показана на рисунке 9. В качестве нагружающих факторов для модели крышки выступили расчетное давление, давление ГИ. По контуру расположения отверстий горизонтального разъема запрещены линейные перемещения (шарнирное закрепление).

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	21/09-Р.2.					Лист
										45
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

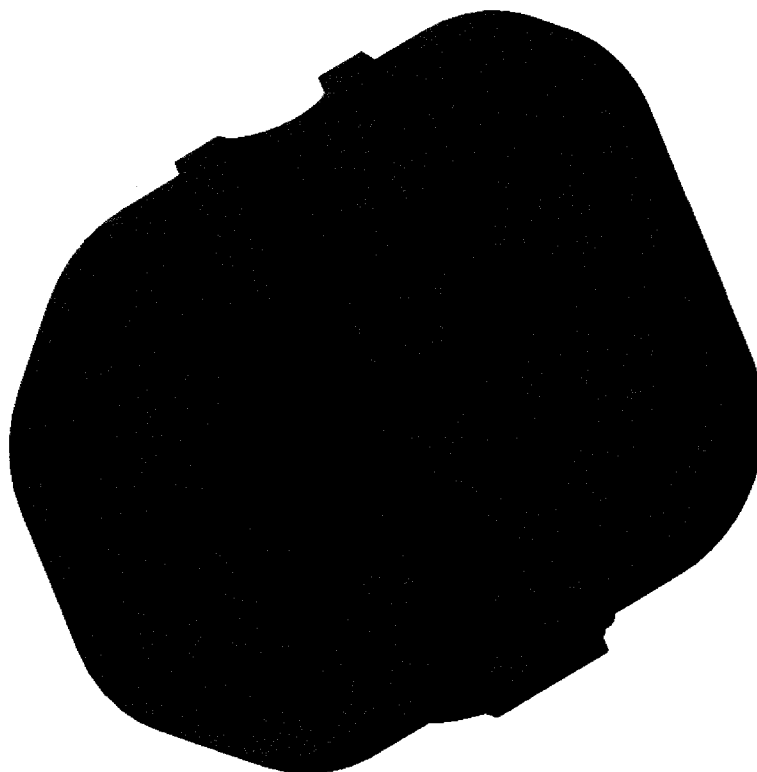
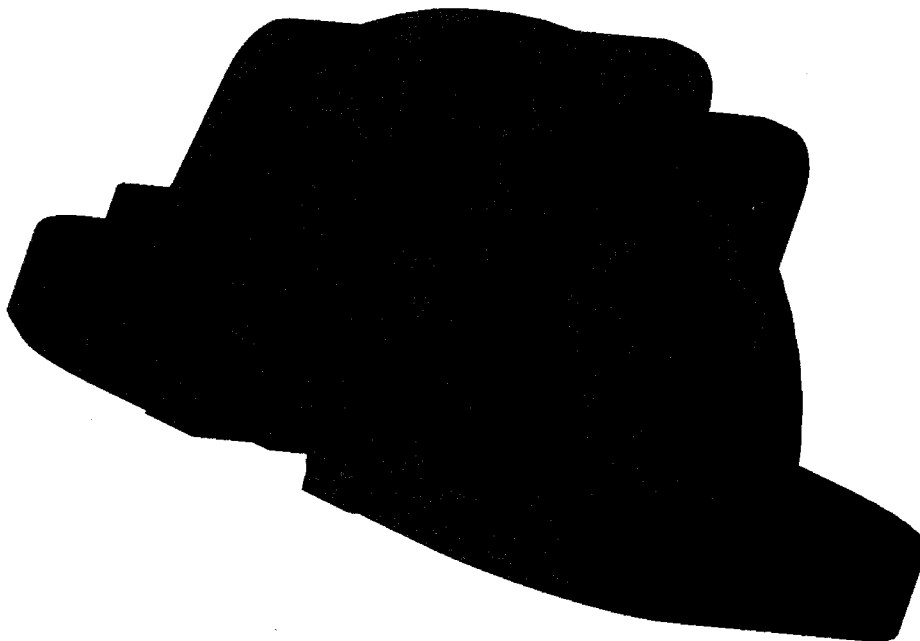


Рисунок 9 – Модель крышки

Результаты расчетов по второй группе категорий напряжений $(\sigma)_2$ для корпуса представлены в таблице 8.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	21/09-Р.2.					Лист
										46

Таблица 8 – Результаты расчета по второй группе категорий напряжений $(\sigma)_2$ для корпуса и крышки

Расчетная зона	Режим	Напряжения, МПа	
		$(\sigma)_2$	Допускаемое напряжение
1. Зона спирального отвода	НУЭ	172,3	187,2
	ГИ	215,4	248,8
2. Зона перехода в крышке	НУЭ	71,6	187,2
	ГИ	89,4	248,8
3. Зона перехода в крышке	НУЭ	66,2	187,2
	ГИ	83,1	248,8
4. Зона перехода в корпусе	НУЭ	134,7	190,6
	ГИ	168,7	249,3
5. Зона соединения фланца с обечайкой	НУЭ	85,1	190,6
	ГИ	106,7	249,3
6. Зона соединения фланца с обечайкой	НУЭ	68,3	190,6
	ГИ	85,4	249,3

Как следует из таблицы 8, вычисленные напряжения $(\sigma)_2$ не превышают допускаемых. Условия прочности корпуса и крышки по второй группе категорий напряжений выполнены.

Оценка размахов напряжений

Как следует из таблицы 8, максимальный размах напряжений $(\sigma)_{RV}$, имеющий место в зоне 1, во всем диапазоне изменения нагрузок не превышает допускаемого значения:

$$(\sigma)_{RV}^{\max} = 215,4 \text{ МПа} < \min \left\{ \left(2,5 - \frac{R_{p0,2}^T}{R_m^T} \right) R_{p0,2}^T; 2R_{p0,2}^T \right\} = 432 \text{ МПа},$$

где $R_{p0,2}^T = 216 \text{ МПа}$; $R_m^T = 412 \text{ МПа}$.

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	21/09-Р.2.	Лист
						47

3.2 Расчет на циклическую прочность

В данном разделе выполнен расчет циклической прочности для корпуса и крышки насоса с учетом влияния водной среды в соответствии с [5] и Нормами [4].

При расчете циклической прочности рассматривались следующие циклы нагружения (с учетом планируемого общего срока эксплуатации насоса 60 лет):

- цикл 1: пуск-останов $N_{\text{нуз}}=320$;
- цикл 2: гидравлическое испытание $N_{\text{ти}}=8$.

Анализ результатов расчета статической прочности показывает, что во всех рассматриваемых зонах полученные максимальные местные приведенные напряжения (σ_L) не превышают предела текучести материала, то есть напряжения (σ_L) находятся в упругой зоне. Следовательно, $\sigma_{\text{max}} = (\sigma_L)$, где σ_{max} - алгебраическое максимальное приведенное напряжение цикла.

Предположим, что в рассматриваемых зонах алгебраические минимальные приведенные напряжения цикла будут равны 0, тогда согласно [4] амплитуда приведенных напряжений от i -го цикла нагружения с учетом концентрации будет равняться:

$$(\sigma_{aF})_i = 0,5 \cdot (\sigma_F^*)_{\text{max}} \cdot (\varphi_S)^{-1} \cdot K_{F,i}, \text{ где} \quad (1)$$

$K_{F,i}$ - коэффициент концентрации напряжений в i -м цикле;

φ_S - коэффициент снижения прочности для сварного шва, который консервативно принимаем равным 0,6 согласно [4].

Расчетные модели, эскизы которых представлены на рисунках 8 и 9, использовались для нахождения (σ_L) и учитывают в себе зоны концентрации напряжений, поэтому в данном случае расчетная зависимость для определения амплитуды приведенных напряжений в i -м цикле принимает вид:

$$(\sigma_{aF})_i = 0,5 \cdot (\sigma_F^*)_{\text{max}} \cdot (\varphi_S)^{-1}$$

Для обеспечения циклической прочности во всех зонах должны выполняться два условия:

Име. № подл.	Подп. и дата	Име. № дубл.	Подп. и дата	Взам. име. №	Подп. и дата		Лист	
						21/09-Р.2.	48	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				

1) амплитуды приведенных напряжений для всех циклов нагружения не должны превышать допускаемых значений, вычисленных по зависимостям, приведенным ниже, в соответствии с [5];

2) накопленное усталостное повреждение "а" для всех циклов нагружения не должно превышать предельного значения, равного единице.

1. Проверка выполнения первого условия циклической прочности проведена для наиболее нагруженных зон насоса. Расчет допускаемых амплитуд напряжений проведен в соответствии с [5].

Примем $[\sigma_{aF}] > R_{p0.2}^T$, тогда согласно [5] допускаемые амплитуды напряжений без учета влияния водной среды на снижение циклической прочности определяются аналогичным образом, как и в [4], зависимостями:

$$[\sigma_{aF}]_1 = \frac{E^T \cdot e_c^T}{(4 \cdot n_N \cdot (N_0))^m} + \frac{R_c^T}{(4 \cdot n_N \cdot (N_0))^{m_e}} \quad (2)$$

$$[\sigma_{aF}]_2 = \frac{E^T \cdot e_c^T}{n_\sigma \cdot (4 \cdot N_0)^m} + \frac{R_c^T}{n_\sigma \cdot (4 \cdot N_0)^{m_e}}, \text{ где} \quad (3)$$

E^T - модуль упругости материала при расчетной температуре, МПа;

e_c^T - характеристика пластичности, определяемая по формуле:

$$e_c^T = 1.15 \cdot \lg \frac{100}{100 - Z_c^T};$$

R_c^T - характеристика прочности, определяемая по формуле:

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

$Z_c^T = Z^T$ при $Z^T \leq 50\%$, $Z_c^T = 50\%$ при $Z^T > 50\%$, где Z^T - относительное сужение поперечного сечения образца материала при расчетной температуре;

$n_N = 10$, $n_\sigma = 2$ - коэффициенты запаса прочности по числу циклов и по напряжениям согласно [5].

Показатели степени m , m_e и предел выносливости R_{-1} определяются в соответствии с таблицей 4.6 [5]:

$$m = 0.5; R_{-1} = 0.4 \cdot R_m^T; m_e = 0.132 \cdot \lg \frac{R_m^T}{R_{-1}} (1 + 1.4 \cdot 10^{-2} \cdot Z^T),$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	21/09-Р.2.					Лист
										49

где R_m^T - временное сопротивление материала при расчетной температуре, МПа.

В соответствии с [5] допускаемые амплитуды напряжений с учетом влияния водной среды на снижение циклической прочности определяются зависимостями:

$$[\sigma_{aF}]_3 = \frac{E^T \cdot e_c^{20}}{(4 \cdot n_N \cdot F_{pn} \cdot (N_0))^{0.5}} + \frac{R_{cF}^T}{(4 \cdot n_N \cdot (N_0))^{m_{eF}}} \quad (4)$$

$$[\sigma_{aF}]_4 = \frac{E^T \cdot e_c^{20}}{n_\sigma \cdot (4 \cdot F_{pn} \cdot (N_0))^{0.5}} + \frac{R_{cF}^T}{n_\sigma \cdot (4 \cdot (N_0))^{m_{eF}}}, \text{ где} \quad (5)$$

e_c^{20} - характеристика пластичности, определяемая по формуле:

$$e_c^{20} = 1.15 \cdot \lg \frac{100}{100 - Z_c^{20}};$$

$Z_c^{20} = Z^{20}$ при $Z^{20} \leq 50\%$, $Z_c^{20} = 50\%$ при $Z^{20} > 50\%$, где Z^{20} - относительное сужение поперечного сечения образца материала при температуре 20 °С.

Значения характеристики прочности R_{cF}^T и показателя степени m_{eF} определяются с учетом влияния водной среды по формулам:

$$R_{cF}^T = R_m^T \cdot (1 + 1.4 \cdot 10^{-2} \cdot Z_F),$$

$$m_{eF} = 0.132 \cdot \lg [2.5 \cdot (1 + 0.014 \cdot Z_F)], \text{ где}$$

$$Z_F = 100 \cdot (1 - [\exp(2 \cdot e_c^{20} \cdot F_{pn}^{-0.5})]^{-1}).$$

Коэффициент F_{pn} для углеродистых сталей определяется по формуле:

$$F_{pn} = \exp(0.912 - 0.101 \cdot S^* \cdot T^* \cdot O^* \cdot \varepsilon^*).$$

Поскольку рабочая температура $T < 150$ °С, то коэффициент $T^* = 0$, тогда $F_{pn} = \exp(0.912) = 2.49$.

Согласно [5] для рассматриваемой зоны без сварного шва и со сварным швом соответственно значения допускаемых амплитуд напряжений будут определяться из условий:

$$[\sigma_{aF}] = \min([\sigma_{aF}]_1, [\sigma_{aF}]_2, [\sigma_{aF}]_3, [\sigma_{aF}]_4) - \text{зона без шва};$$

$$[\sigma_{aF}]_S = \min(\varphi_S \cdot [\sigma_{aF}]_1, \varphi_S \cdot [\sigma_{aF}]_2, [\sigma_{aF}]_3, [\sigma_{aF}]_4) - \text{зона со швом}.$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	21/09-Р.2.				
					Лист				
					50				

В таблице 9 представлены результаты расчета амплитуд напряжений и их допускаемых значений для наиболее нагруженных зон насоса. При этом допускаемые амплитуды напряжений рассчитывались по числу циклов нагружения, определенному с учетом прогноза, исходя из продления срока службы насоса до 60 лет.

Таблица 9 – Результаты расчета амплитуд напряжений и их допускаемых значений

Расчетная зона	Режим	(σ_L) , МПа	(σ_{aF}) , МПа	$[\sigma_{aF}]$, МПа
1. Зона спирального отвода	НУЭ	172,3	86,2	689,4
	ГИ	215,4	107,7	2676
2. Зона перехода в крышке	НУЭ	71,6	35,8	689,4
	ГИ	89,4	44,7	2676
3. Зона перехода в крышке	НУЭ	66,2	33,1	689,4
	ГИ	83,1	41,6	2676
4. Зона перехода в корпусе	НУЭ	134,7	67,4	689,4
	ГИ	168,7	84,4	2676
5. Зона соединения фланца с обечайкой	НУЭ	85,1	42,6	689,4
	ГИ	106,7	53,4	2676
6. Зона соединения фланца с обечайкой	НУЭ	68,3	34,2	689,4
	ГИ	85,4	42,7	2676

Как видно из таблицы 9, амплитуды напряжений ни в одной из рассматриваемых расчетных зон не превышают допускаемых значений, следовательно, первое условие обеспечения циклической прочности выполняется.

2. Согласно [5] для определения накопленного усталостного повреждения необходимо методом итераций по каждому из уравнений (2), (3), (4), (5) для рассматриваемых циклов нагружения определить допускаемое число циклов N_{0i} и выбрать из полученных результатов минимальное значение N_{0i} для каждой зоны. При этом значения допускаемых амплитуд напряжений, которые подставляются в зависимости (2), (3), (4), (5), определяются по формуле:

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

21/09-Р.2.

Лист

51

$$[\sigma_{aF}] = \frac{(\sigma_{aF})_i}{\varphi_s} + \frac{r_e \cdot E^T \cdot e_c^T}{\varphi_s \cdot \left(\frac{R_c^T}{(\sigma_{aF})_i} \right)^{m/m_e}},$$

где $r_e=1$ при использовании формул (2) и (4), $r_e=1/n_\sigma$ при использовании формул (3) и (5); коэффициент φ_s используется только для зон со сварным швом при расчете по формулам (2), (3).

Далее для каждого цикла нагружения, с учетом планируемого за 60 лет эксплуатации общего числа циклов нагружения N_i и рассчитанного допускаемого числа циклов нагружения N_{0i} , определяется накопленное усталостное повреждение по формуле:

$$a_i = \frac{N_i}{N_{0i}}$$

В таблице 10 представлены результаты расчета накопленного усталостного повреждения для всех циклов нагружения.

Таблица 10 – Результаты расчета накопленного усталостного повреждения

Расчетная зона	Режим	N_i	N_{0i}	a_i
1. Зона спирального отвода	НУЭ	320	$>10^7$	$3,2 \cdot 10^{-5}$
	ГИ	8	$>10^7$	$8 \cdot 10^{-7}$
2. Зона перехода в крышке	НУЭ	320	$>10^7$	$3,2 \cdot 10^{-5}$
	ГИ	8	$>10^7$	$8 \cdot 10^{-7}$
3. Зона перехода в крышке	НУЭ	320	$>10^7$	$3,2 \cdot 10^{-5}$
	ГИ	8	$>10^7$	$8 \cdot 10^{-7}$
4. Зона перехода в корпусе	НУЭ	320	$>10^7$	$3,2 \cdot 10^{-5}$
	ГИ	8	$>10^7$	$8 \cdot 10^{-7}$
5. Зона соединения фланца с обечайкой	НУЭ	320	$>10^7$	$3,2 \cdot 10^{-5}$
	ГИ	8	$>10^7$	$8 \cdot 10^{-7}$
6. Зона соединения фланца с обечайкой	НУЭ	320	$>10^7$	$3,2 \cdot 10^{-5}$
	ГИ	8	$>10^7$	$8 \cdot 10^{-7}$

Как видно из таблицы 10, ни в одной из рассматриваемых расчетных зон сумма значений накопленного усталостного повреждения от режимов НУЭ и ГИ не превышает единицы, следовательно, второе условие обеспечения циклической прочности корпуса и крышки насоса выполняется.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	21/09-Р.2.					52

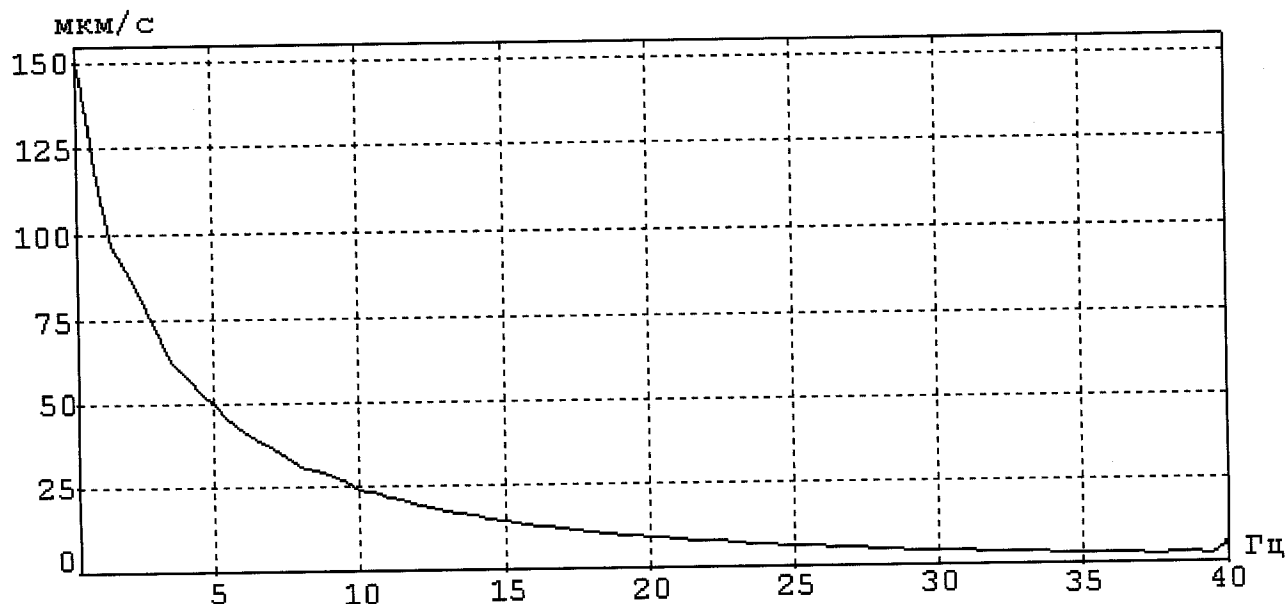


Рисунок 10 – Спектр собственных частот на выходном патрубке

По результатам испытаний установлено, что резонансных пиков в диапазоне частот от 0 до 40 Гц не обнаружено (см рисунок 10).

Совместный анализ результатов испытаний и расчетных обоснований показал, что экспериментальные и расчетные данные сходятся.

Так как расчетные и экспериментальные данные совпали, то можно с уверенностью сказать, что расчетная схема выполнена корректно.

Для определения соответствующих инерционных нагрузок на корпус при сейсмических воздействиях использовались обобщенные спектры ответа на отметке 0 м [4].

Для площадки Балаковской АЭС максимальное расчетное землетрясение составляет 7 баллов, ускорение при ПЗ 6 баллов составит в горизонтальном направлении $a_r = 0,12 \cdot 8 = 1 \text{ м/с}^2$, в вертикальном направлении $a_v = 0,12 \cdot 4 = 0,5 \text{ м/с}^2$.

3.3.2 Расчет шпилек крепления корпуса к фундаменту

Корпус насоса крепится к фундаменту по опорным лапам посредством четырех шпилек М30. Схема крепления корпуса представлена на рисунке 11.

Полагаем, что масса корпуса сосредоточена в центре тяжести корпуса на расстоянии 220 мм от фланцевого стыка.

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

21/09-Р.2.

Лист
54

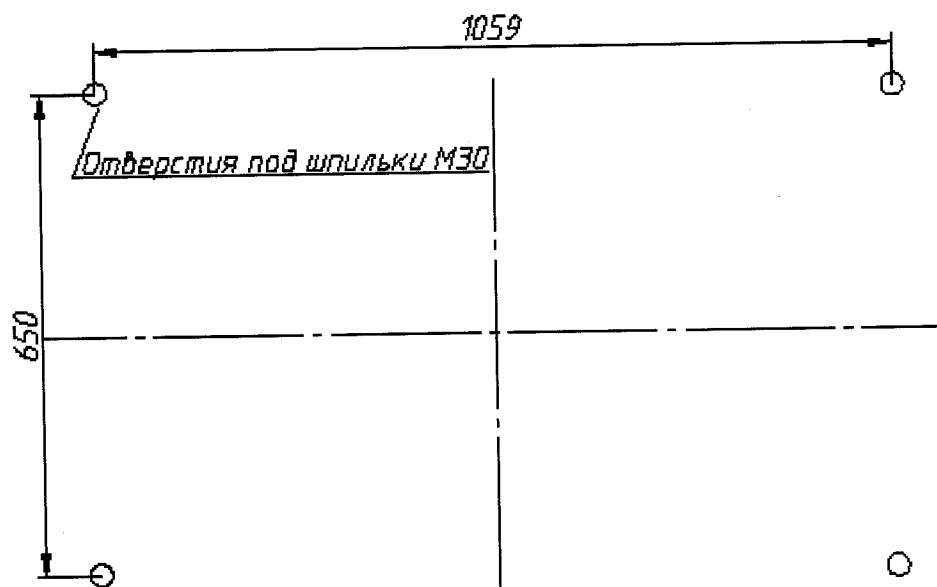


Рисунок 11- Схема крепления корпуса

Момент, действующий на фланцевое соединение от горизонтальной составляющей сейсмической нагрузки:

$$M = m \cdot a_r \cdot l = 755 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $m = 3435 \text{ кг}$ - масса корпуса в сборе с крышкой;

$$a_r = 1 \text{ м/с}^2;$$

$l = 220 \text{ мм}$ - расстояние от центра тяжести корпуса до фланцевого стыка.

Максимальное растягивающее усилие в шпильках F_1 от момента M определяется из уравнения:

$$M = F_1 \cdot l_1,$$

где $l_1 = 325 \text{ мм}$ - расстояние от точки раскрытия стыка до оси болтов (см. рисунок 11).

$$F_1 = 2323 \text{ Н}.$$

Растягивающее усилие в шпильках от вертикальной сейсмической нагрузки:

$$F = m \cdot a_v = 1717 \text{ Н},$$

где $a_v = 0,5 \text{ м/с}^2$ - ускорение в вертикальном направлении.

Дополнительные растягивающие напряжения в шпильках от сейсмических воздействий:

$$\sigma_{пз} = \frac{0,5 \cdot F_1 + 0,25 \cdot F}{0,785 \cdot d_1^2} = 3,1 \text{ МПа},$$

где $d_1 = 25,7 \text{ мм}$ - диаметр стержня шпильки.

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

21/09-Р.2.

Лист
55

Суммарные напряжения растяжения в шпильках в режиме НУЭ+ПЗ:

$$(\sigma_s)_{mw} = \sigma_{НУЭ+ПЗ} = \sigma_{НУЭ} + \sigma_{ПЗ} = (9,1+3,1)=12,2 \text{ МПа},$$

где $\sigma_{НУЭ} = 9,1$ МПа - напряжение растяжения в шпильках в рабочих условиях, определенное как отношение суммарной реакции опор в направлении оси шпилек, равной $F_p=25660$ Н, к площади сечения шпилек.

Допускаемые напряжения для шпилек по категории $(\sigma_s)_{mw}$ в режиме НУЭ+ПЗ составляют $1,5 \cdot [\sigma]_w = 426,8$ МПа.

Так как $(\sigma_s)_{mw} < 1,5 \cdot [\sigma]_w$, то условие прочности шпилек крепления корпуса насоса к фундаменту при сейсмических воздействиях выполняется.

3.3.3 Оценка прочности элементов корпуса

С точки зрения обеспечения прочности насоса при сейсмических воздействиях самыми опасными зонами в корпусе насоса являются зоны соединения входного и напорного патрубков.

Расчет проводился по упрощенным моделям, для которых нагружающими факторами выступили расчетное давление, а также усилия на патрубки, передаваемые от трубопроводов при режиме НУЭ+ПЗ, взятые в соответствии с [9]. В таблице 11 представлены результаты расчета напряжений на патрубках насоса.

Таблица 11 - Результаты расчета напряжений на патрубках

Патрубок	Напряжение $(\sigma_s)_2$, МПа	Допускаемое напряжение, МПа
Входной	94,8	278,5
Напорный	121,7	278,5

Как видно из таблицы 11, при сочетании режимов НУЭ+ПЗ максимальные напряжения не превышают допускаемых значений. Условие прочности корпуса насоса в условиях реального раскрепления при сейсмических воздействиях выполняется.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	21/09-Р.2.					Лист
										56

4 Заключение

В настоящем отчете приведен расчет по выбору основных размеров конденсатного насоса второй ступени КН-2 1RM43D01 марки КсА 1500-240-2а системы основного конденсата RM энергоблока №1 Балаковской АЭС, а также произведена оценка статической и циклической прочности насоса, оценка прочности при сейсмических воздействиях.

Проведенные расчеты показали, что насос удовлетворяет требованиям прочности при заданных нагрузках. Результаты оценки циклической прочности подтвердили возможности обеспечения прочности насоса в течение планируемого дополнительного срока эксплуатации 30 лет сверх назначенного 30 летнего срока службы энергоблока № 1 Балаковской АЭС.

Ине. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Ине. № дубл.	Подп. и дата	<div style="text-align: right; padding-right: 20px;">21/09-Р.2.</div>					Лист
										57
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

Список использованных источников

1. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. ОПБ-88/97. НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97).
2. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. ПНАЭ Г-7-008-89.
3. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. НП-031-01. М:2001.
4. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. ПНАЭГ-7-002-86 . М.:1989.
5. Руководство по расчету на прочность оборудования и трубопроводов реакторных установок РБМК, ВВЭР и ЭГП на стадии эксплуатации РД ЭО 0330-01. М.:2004.
6. РД ЭО 1.1.2.09.0774-2008. Оценка технического состояния и остаточного ресурса трубопроводов, сосудов и насосов энергоблоков атомных станций. Методика.
7. Паспорт корпуса насоса Н18.66.21.00П. Регистрационный номер 1019.
8. Программа расчета динамики и прочности конструкций, механизмов и приводов «Зенит - 95». Версия 6.6.5.3. НТП «ДИП», Санкт-Петербург, 2008г. Регистрационный номер паспорта аттестации ПС № 148 от 20.02.03.
9. Кравец С.Б. Определение нагрузок на патрубки при проектировании водоподогревательного энергетического оборудования. Изв. вузов. Сев-Кавк. Регион. Техн. науки.-2005.-Спецвыпуск.

Подп. и дата		Инв. № дубл.		Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.	
21/09-Р.2.									Лист
									58
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					

[illegible]

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

21/09-P.2.

Лист

59

105