

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический
Направление подготовки Энергетическое машиностроение 13.04.03.
Кафедра Парогенераторостроение и парогенераторные установки

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Техническое диагностирование парового котла Е-50-3,9-440 ТЭЦ Асиновского ЛПК для оценки качества монтажа и последующей безопасной эксплуатации УДК 621.311.2.002.5:621.182.004(571.16)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ВМ4Б	Илясова Айгуль Сабировна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ПГС и ПГУ	Кулеш Роман Николаевич	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН	Попова Светлана Николаевна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преп. каф. ЭБЖ	Романцов Игорь Иванович	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПГС и ПГУ	Заворин А.С.	Д.Т.Н., профессор		

Томск – 2016 г.

Планируемые результаты обучения по ООП 13.04.03 «Энергетическое
машиностроение»

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Универсальные компетенции		
P1	Способность и готовность самостоятельно учиться и развивать свой общекультурный и интеллектуальный уровень, изменять свой научный и научно-производственный профиль в течение всего периода профессиональной деятельности с учетом изменения социокультурных и социальных условий, вести педагогическую работу в области профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-1,3; ПК-11), Критерий 5 АИОР (п. 2.6.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	Способность проявлять и использовать на практике навыки и умения организации работ по решению инновационных инженерных задач в качестве члена или руководителя группы, нести ответственность, в том числе в ситуациях риска, за работу коллектива с применением правовых и этических норм при оценке и самооценке профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов, проблемных инженерных задач	Требования ФГОС ВО (ОК-2; ОПК-1; ПК-5), Критерий 5 АИОР (п. 2.3., п. 2.4., п. 2.5.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Способность и готовность приобретать и применять новые знания и умения с использованием методологических основ научного познания и библиографической работы с привлечением современных технологий, понимать роль информации в развитии науки, анализировать её естественнонаучную сущность, синтезировать и творчески применять при решении инновационных профессиональных задач	Требования ФГОС ВО (ОК-1,3; ПК-1), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Способность и готовность проявлять в инновационной деятельности глубокие естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте	Требования ФГОС ВО (ОК-1; ОПК-1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	Способность осуществлять коммуникации в профессиональной сфере и в обществе в целом, принимать нестандартные решения с использованием новых идей, разрабатывать, оформлять, представлять и докладывать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке	Требования ФГОС ВО (ОК-2,3; ОПК-2,3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Профессиональные компетенции		
P6	Способность и готовность выполнять инженерные проекты с использованием современных технологий проектирования для разработки	Требования ФГОС ВО (ОПК-1,2; ПК-1,2,3), Критерий 5 АИОР (п. 1.3.),

P7	Способность и готовность ставить и решать инновационные задачи инженерного профиля, анализировать, искать и вырабатывать компромиссные решения с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний в условиях неопределенности, использовать методы решения задач оптимизации параметров в различных сложных системах	Требования ФГОС ВО (ОПК-1,2; ПК-1,2,5), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P8	Способность и готовность проводить инновационные инженерные исследования, технические испытания и (или) сложные эксперименты, формулировать выводы в условиях неоднозначности с применением глубоких теоретических и экспериментальных методов исследований, современных достижений науки и передовых технологий, строить и использовать модели с применением системного подхода для описания и прогнозирования различных явлений, осуществлять их качественный и количественный анализ, описывать результаты выполненной работы, составлять практические рекомендации по их использованию	Требования ФГОС ВО (ОПК-1,2; ПК-4,5,6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4, п. 1.6.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P9	Способность и готовность оценивать техническое состояние объектов профессиональной деятельности, с применением современного оборудования и приборов, анализировать и разрабатывать рекомендации по их надежной и безопасной эксплуатации, понимать проблемы научно-технического развития сырьевой базы, современных технологий по утилизации отходов в энергетическом машиностроении и теплоэнергетике и научно-техническую политику в этой области	Требования ФГОС ВО (ОПК-1; ПК-7,8,9), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P10	Способность и готовность к эффективному участию в программах освоения новой продукции и технологий, использованию элементов экономического анализа в практической деятельности на предприятиях и в организациях, готовность следовать их корпоративной культуре	Требования ФГОС ВО (ПК-9,10), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, п. 2.1.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: Энергетический

Направление подготовки: 13.04.03 «Энергетическое машиностроение»

Кафедра: Парогенераторостроения и парогенераторных установок

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Заворин А.С.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5BM4Б	Илясовой Айгуль Сабиловне

Тема работы:

Техническое диагностирование парового котла Е-50-3,9-440 ТЭЦ Асиновского ЛПК для оценки качества монтажа и последующей безопасной эксплуатации

Утверждена приказом директора (номер, дата)

716/с от 03.02.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:

1 июня 2016 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Технический проект. Проект парового котла Е-50-3,9-440 ТЭЦ Асиновского ЛПК. Том 1. ОАО «НПО ЦКТИ». Технический проект. Пояснительная записка. Том 2. Книга 2. К 369.00.00.00.00 ПЗ/ ОАО «НПО ЦКТИ». Технический проект. Расчет на прочность элементов трубной системы котла Е-50-3,9-440 ДР. Том 3. Книга 2. К 369.00.00.00.00 РР/ ОАО «НПО ЦКТИ». Инструкция по монтажу котлоагрегата на базе котла Е-50-3,9-440 ДР на древесных отходах и природном газе. Результаты производственного контроля завода-изготовителя элементов котла. Результаты выборочного входного контроля элементов котла на производственной площадке.
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение (с обоснованием актуальности темы и цели работы) 1 Обзор литературы по проблеме диагностирования элементов котельных установок на производстве, монтаже и при эксплуатации. 2 Объект и методы исследования. 3 Результаты проведенного исследования. 4 Расчет на прочность элементов обследуемого котла. 5. Анализ возможных методов повышения эксплуатационной надежности котлоагрегата. 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 6 Социальная ответственность Заключение, в т.ч. на иностранном языке.
Перечень графического материала	<i>Общий вид объекта исследования (чертежи общего вида; формат А2) – 1 лист;</i> <i>Виды основных дефектов и результаты контроля (формат А2) – 1 лист.</i>
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна
Социальная ответственность	Романцов Игорь Иванович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Выполнен перевод двух научных статей по тематике диссертации	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	14.03.2016 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кулеш Р.Н.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ВМ4Б	Илясова Айгуль Сабиловна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа: 113 страниц, 22 рисунка, 10 таблиц, 39 источников, пять приложений.

Ключевые слова: дефект; изготовление; качество; котлоагрегат; методы; монтаж; неразрушающий контроль; нормативно-техническая документация; объект; оценка; рекомендации; ремонт; термообработка; техническое диагностирование.

Объектом исследования является паровой котел Е-50-3,9-440 Асиновского ЛПК находящийся на завершающей стадии строительства.

Цель работы – оценка соответствия принятых проектных решений, а также качество производства сборочных единиц и их монтажа на реальном котле, находящемся в завершающей стадии строительства, а также, с учетом выявленных отклонений, выдвижения рекомендаций и мероприятий, направленных на обеспечение дальнейшей его безопасной эксплуатации.

В результате работы проведен анализ конструктивных особенностей объекта исследования, посредством изучения проектной документации и имеющейся информации по технологии изготовления и монтажа. Составлена программа технического диагностирования парового котла, проведен наружный и внутренний осмотр. Выявлены дефекты, установлены объемы работ и методы восстановительного ремонта с последующим контролем качества. Выполнен расчет на прочность элементов котла. Определено возможное влияние основных выявленных допусков и неточностей монтажа на безопасность при дальнейшей эксплуатации котла и даны рекомендации по совершенствованию системы производственного контроля. Составлен перечень работ, необходимых для достижения поставленной задачи; определены участники работы; установлена продолжительность работы исследования. Рассмотрены основные вредные и опасные факторы при выполнении технического диагностирования котла.

Обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения с соответствующей расшифровкой:

NO – оксид азота;

NO₂ – диоксид азота;

АЭС – атомная электростанция;

ВТИ – Всероссийский теплотехнический институт;

ДР – древесные отходы;

Е – естественная циркуляция;

КИП – контрольно-измерительные приборы;

НД – нормативная документация;

НТД – нормативно-техническая документация;

ОУ – огнетушитель углекислотный;

ПДК – предельно допустимая концентрация;

СУМ – стационарная, углекислотная, местная;

T_{пл} – температура плавления;

ТЭС – тепловая электростанция;

ТЭЦ ЛПК – теплоэлектроцентраль лесоперерабатывающего комбината;

УЗК – ультразвуковой контроль;

ЦКТИ – Центральный котлотурбинный институт.

В настоящей работе были использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 12.0.003-74 классификация опасных и вредных производственных факторов.
2. СанПиН 2.2.4-548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
3. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
4. ГОСТ 12.1.029-80. Средства и методы защиты от шума. Классификация.

5. ГОСТ 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
6. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.
7. СанПиН 2.2.4.548-96 Санитарные правила и нормы Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
8. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение.
9. ГОСТ 12.1.007-76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
10. ГОСТ 12.2.062-81 Оборудование производственное Ограждения защитные.
11. ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность.
12. ГОСТ 12.1.010-76 Взрывобезопасность
- 15 ПБ 03-576-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением.
13. РД 10-249-98. Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды.
14. РД 03-606-03 Инструкция по визуальному и измерительному контролю.
15. РД 153-34.1-003-01. Сварка, термообработка и контроль трубных систем котлов и трубопроводов при монтаже и ремонте оборудования электростанций (РТМ-1С).
16. ГОСТ 20911–89. Техническая диагностика. Термины и определения.
17. ГОСТ 3619-89 Котлы паровые стационарные. Типы и основные параметры.
18. ГОСТ 24005-80 Котлы паровые стационарные с естественной циркуляцией.
19. ПБ 10-574-03 Правил устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов.

Оглавление

Введение.....	11
1 Обзор литературы по проблеме диагностирования элементов котельных установок на производстве, монтаже и при эксплуатации.....	16
2 Объект и методы исследования	26
3 Результаты проведенного исследования.....	32
4 Анализ возможных методов повышения эксплуатационной надежности котлоагрегата.....	38
5 Расчет на прочность элементов обследуемого котла.....	40
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	53
6.1 Планирование работ.....	53
6.2 Расчет трудоемкости.....	54
6.3 Расчет стоимости работ при техническом диагностировании парового котла.....	56
7 Социальная ответственность.....	63
7.1 Производственная безопасность.....	63
7.1.1 Микроклимат.....	64
7.1.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	66
7.1.3 Вентиляция.....	66
7.1.4 Повышенная загазованность воздуха рабочей зоны.....	67
7.1.5 Повышенный уровень шума.....	68
7.2 Мероприятия по защите от различных вредных факторов, возникающих на производстве.....	69
7.3 Экологическая безопасность.....	70
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	71
7.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	74
Заключение.....	77
Список публикаций.....	82
Список используемых источников.....	83
Приложение А.....	86
Приложение Б.....	87
Приложение В.....	88
Приложение Г.....	89
Приложение Д.....	101

Введение

Строительство паровых котлов и их основных частей должно обеспечивать надежность и работу при рассчитанных параметрах и гарантировать безопасность на протяжении всего предполагаемого ресурса. Необходимо задаваться высокой надежностью энергетического оборудования, в первую очередь на этапе его проектирования, а достижение этого показателя обеспечивается посредством контроля в производстве компонентов, а также в их последующей сборке на месте установки [1].

При проектировании котлоагрегата руководствуются известными данными о свойствах материалов и веществ, участвующих в рабочем процессе, в результате чего получают конструкции, способные с достаточной гарантией работать при заданных условиях в течение расчетного срока службы. По полученным результатам (материал поверхности нагрева, ее габаритные размеры, толщина стенки металла и др.) изготавливаются элементы, согласно разработанным техническим условиям, после чего они попадают на сборочную площадку, где будет размещаться объект. В дальнейшем производится его сборка посредством разъемных и неразъемных соединений.

На каждом этапе приведенной последовательности имеются определенные допуски о качестве продукции и производимых работ. Их игнорирование приводит к нарастанию количества и ранга дефектов в законченном изделии.

Все выявленные отступления от проектного состояния, превышающие допустимые пределы, согласно нормативной документации должны быть подтверждены расчетами для определения возможности использования детали в работе, либо должно приниматься решение о ее замене.

Целью данной работы является оценка соответствия принятых проектных решений, а также качество производства сборочных единиц и их монтажа на реальном котле, находящемся в завершающей стадии строительства, а также, с учетом выявленных отклонений, выдвижения

рекомендаций и мероприятий, направленных на обеспечение дальнейшей его безопасной эксплуатации.

Для достижения намеченной цели были поставлены следующие задачи:

- анализ проектной документации с целью выявления особенностей конструкции котлоагрегата, деталей и узлов, работающих в наиболее неблагоприятных условиях. Составление программы диагностирования котла по результатам проведенного анализа;
- проведение входного контроля поставляемых на сборочную площадку элементов котельного агрегата методами неразрушающего контроля с целью обнаружения дефектов до монтажа сборочной единицы на котел, а также ее соответствия проекту;
- контроль качества монтажа основных элементов котлоагрегата неразрушающими методами;
- обобщение результатов контроля, выявление основных и типичных дефектов и допущений при производстве сборочных единиц и их монтаже;
- с учетом собранных данных по реальному состоянию элементов котла проведение расчетов на прочность с точки зрения соответствия их нормам прочности и с целью выявления элементов, конструктивно работающих в наиболее неблагоприятных условиях;
- составление перечня мест, требующих особого внимания при эксплуатации котлоагрегата, с учетом их реального состояния и применяемой технологии монтажа;
- используя полученную информацию, выдвижение методов, направленных на обеспечение дальнейшей безопасной работы котлоагрегата.

Объектом исследования является паровой котел Е-50-3,9-440, строящийся на ТЭЦ ЛПК г. Асино Томской области [12]. Котел предназначен для получения перегретого пара с необходимыми параметрами для работы турбины, а также на технологические и отопительно-вентиляционные нужды. По конструкции котел однобарабанный, с естественной циркуляцией, выполнен по П-образной схеме компоновки поверхностей нагрева, трехходовой по

движению продуктов сгорания. Блок котла включает в себя тепловоспринимающие поверхности нагрева (испарительные, пароперегревательные, экономайзерные, воздухоподогревательные) и собственную опорную конструкцию.

Монтаж котельной установки был произведен согласно разработанной инструкции. Оценка качества монтажа осуществлялась на разных стадиях строительства следующими методами: визуальный контроль и инструментальная диагностика, в том числе с использованием ультразвуковых методов.

Актуальность решаемых в данной работе задач определяется тем, что в последние годы участились инциденты, аварии и катастрофы техногенного характера. Если раньше аварийные ситуации возникали, в основном, на оборудовании, исчерпавшем срок службы, либо находящемся в непосредственной близости к этому временному пределу, то в настоящее время данная тенденция не прослеживается. Зачастую, аварийные ситуации происходят на вновь вводимом оборудовании, имеются также случаи, когда новое оборудование невозможно пустить в работу ввиду дефектов, допущенных при его монтаже, либо проектировании. Кроме того, после распада институтов, собирающих и анализирующих информацию об аварийных ситуациях, возникающих на котельном оборудовании (ЦКТИ, ВТИ, крупные проектные институты и пр.) сведения о его работе и отказах централизованно не собираются. Как следствие, котлоагрегаты новых конструкций зачастую проектируются и монтируются без учета опыта работы котлов подобных конструкций, и поэтому нередки аварийные ситуации ввиду неверных конструкционных решений, либо ошибок монтажа.

Работа выполнена в соответствии с основными направлениями научной деятельности Национального исследовательского Томского политехнического университета («Разработка методов и средств повышения надежности и эффективности эксплуатации энергетических объектов»).

Научная новизна заключается в следующем:

- экспериментально установлены пределы циклического деформирования, в котором свойства материала изменяются в области деформаций между линией упрочнения и разупрочнения, характеризующей способность материала воспринимать повторные нагрузки без разрушения;

- экспериментальным путем показано, что состояние предразрушения идентифицируется глубокой необратимой релаксацией внутренних структурных напряжений;

- доказано, что термообработка металлических изделий не должна обеспечивать полное отсутствие внутренних напряжений, т.к. это приведет к необратимому снижению способности материала воспринимать циклические нагрузки, а лишь выравнять их по всему объекту;

- доказано, что термообработка должна обеспечивать уровень внутренних напряжений, находящийся между линиями упрочнения и разупрочнения, специфичными для каждого материала.

Достоверность полученных результатов исследований обеспечивается применением апробированных методик исследований, применением поверенных измерительных инструментов и техники при проведении неразрушающего контроля, проведением поверки установок на эталонных образцах, системой повторяемости опытов при фиксированных значениях основных факторов.

Практическая значимость работы:

- составлен перечень узлов и мест в конструкции котла, требующих особого внимания при работе котлоагрегата;

- приведен способ повышения эксплуатационной безопасности обследуемого котлоагрегата;

- показано, что принятые нормативной документацией допущения при производстве и монтаже деталей, в совокупности с погрешностью измерений могут стать существенными для конкретного объекта;

- собраны сведения, по условиям и способам монтажа и проведенных диагностических операций, необходимые в дальнейшем при составлении монтажной и производственной документации.

Личный вклад автора состоит в анализе проектной документации, непосредственном участии в разработке программы проведения обследования, непосредственного участия и помощи специалистам неразрушающего контроля в проведении диагностирования котлоагрегата и его элементов, анализе и обобщении полученных результатов, формулировке выводов и заключения по диссертации.

На защиту выносятся:

- результаты проведенной диагностики объекта исследования;
- результаты проведенных расчетов на прочность по фактическому состоянию элементов котлоагрегата;
- результаты сравнения нормативной литературы, относящейся к разным «этапам жизни» котлоагрегата, применительно к объекту исследования;
- результаты проведенных экспериментов по циклическому деформированию образца трубы пароперегревателя;
- сформулированные положения методики термообработки сталей.

Реализация и апробация работы. По теме диссертации опубликована одна работа [36], приняты к опубликованию две работы [37], [38] по результатам I (XVI) Всероссийской научно-технической конференции студентов и магистрантов «Молодая мысль – развитию энергетики» и одна [39] по итогам международной научной конференции «EPJ Web of Conferences».

1 Обзор литературы по проблеме диагностирования элементов котельных установок на производстве, монтаже и при эксплуатации

В настоящее время наблюдается значительное увеличение объемов потребления теплоты промышленными предприятиями и жилищно-коммунальным комплексом на технологические нужды, отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение. В связи с этим повышение надежности и экономичности работы теплотехнического оборудования, вырабатывающего и потребляющего тепловую энергию, является одной из важнейших технико-экономических задач [2].

Одна из ключевых проблем современного машиностроения и энергетики заключается в обеспечении надежности элементов и сборочных единиц как на этапах изготовления и сборки нового оборудования, так и при его эксплуатации.

Аварийная ситуация в работе мощного оборудования ТЭС и АЭС сопровождается крупными затратами на восстановление этого оборудования, может повлечь крупный ущерб для окружающей среды, приносит затраты в виде перебоев в энергоснабжении потребителей электроэнергии. В связи этим, надежность энергетического оборудования является главной его характеристикой [1].

Высокая надежность энергетического оборудования должна предусматриваться, прежде всего, при его проектировании, ведь конструкция паровых котлов и их основных частей должна обеспечивать надежность и безопасность эксплуатации на расчетных параметрах в течение расчетного ресурса. Достижение этого показателя обеспечивается средствами контроля, как при производстве элементов, так и при их последующей сборке на монтажных площадках. Ведущую роль при этом играют методы неразрушающего контроля.

Существуют основные показатели надежности – безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость. Надежность

обеспечивается на этапах проектирования, изготовления, эксплуатации и ремонта. Ошибки, допущенные на любом из них, могут свести на нет материальные средства, трудовые затраты и время, потраченное на всех других этапах. Прекрасная конструкция котла с высокими технико-экономическими показателями, широкомасштабной автоматизацией и комфортными условиями труда не может быть реализована, если для изготовления использовались трубы, тройники, арматура, прокат металлов и другие материалы и оборудование некондиционные, плохого качества, а процессы технологического производства выполнялись неаккуратно, с нарушениями требований нормативной документации. Однако котлы с высокой потенциальной надежностью могут быть быстро приведены в полную негодность, если не будут соблюдаться заданные проектом режимы работы и эксплуатироваться малоквалифицированным персоналом [3].

Таким образом, контроль качества элементов котельного оборудования, производственных операций, производимых с ними, а также контроль их состояния в процессе работы, является необходимой составляющей производственного процесса. Безопасность котлов определяется главным образом техническим состоянием барабанов, коллекторов, труб поверхностей нагрева, арматуры и трубопроводов, расположенных в пределах котлов. Состояние этих элементов необходимо диагностировать на всех этапах жизненного цикла, начиная с производства, при эксплуатации. В свою очередь, состояние котлов оценивается в основном по двум направлениям: по реализации заданных проектом технологических функций, т.е. контролируется работа, и по износу, вызванному процессами, соответствующими технологии выработки пара и горячей воды, т.е. контролируется техническое состояние оборудования.

При эксплуатации котельного оборудования зачастую обслуживающий персонал отмечает, что котлы одной марки в основном имеют одинаковую конструкционную надежность, но разные технологическую и, следовательно, потенциальную возможности. Это дает основания для составления графика

работы оборудования, в котором нередко случаи, когда один из котлов большую часть времени несет нагрузку, а остальные находятся в резерве или ремонте. Это явление находит отражение в разных значениях показателей надежности при эксплуатации. По характеру безотказности и долговечности процесс эксплуатации от начала до наступления предельного состояния можно разделить на три характерных периода: приработка, нормальная эксплуатация, старение.

В период приработки количество отказов бывает наибольшим. Это объясняется тем, что некоторые скрытые дефекты и повреждения (риски, закаты, утонение стенок труб, пороки литья и т.п.), не выявленные при изготовлении, после включения котла в работу быстро развиваются. В период нормальной эксплуатации отказы происходят в основном по вине эксплуатационного персонала, а также, вследствие того, что был проведен низкокачественный ремонт котлов или из-за недостатков конструкции. На этой стадии заводские повреждения и дефекты встречаются редко. В интервал времени, продолжительность которого зависит от многих факторов, происходит накопление повреждений под действием физико-химических процессов. При больших наработках времени накопление повреждений принимает возрастающий нелинейный характер, причем закон распределения изменения прочности определить по совокупному действию всех причин очень трудно. Период нормальной эксплуатации заканчивается, и начинается период старения. Создать условия для безопасной эксплуатации в этот период значительно сложнее, чем в предыдущем. По существу, только диагностика состояния деталей и узлов, наиболее опасных в случае разрушения, может предотвратить катастрофические последствия для персонала, оборудования и строительной части котельных. Вообще период старения характеризуется ускоренным необратимым износом отдельных элементов и котла в целом. При этом износ имеет неодинаковую скорость для барабанов, коллекторов, поверхностей нагрева, арматуры, трубопроводов, что дает возможность

своевременно выявлять детали с недопустимым износом, вовремя их заменять, удлинняя общий ресурс котла [3].

По установленному в настоящее время порядку эксплуатация котлов сверх расчетного срока службы [4] может допускаться на основании заключения экспертизы промышленной безопасности. Для выполнения этого требования экспертными организациями, имеющими соответствующие лицензии органов государственного надзора, и проводится диагностика технического состояния паровых котлов. Состояние оценивается двумя методами: визуальный контроль и инструментальная диагностика (применяются приборы, инструменты и приспособления).

Поверхности нагрева, трубопроводы и другие части котлов под давлением рабочей среды и под действием тепловых потоков деформируются. Сопротивление этому процессу характеризует прочность. При значительной деформации наступает разрушение [5]. Все это учитывается при диагностировании. При разных наработках сопротивление металла деталей котла определяется сравнением текущих значений механических свойств с исходными свойствами, которые указываются в заводских паспортах котлов, текущие определяются инструментальной диагностикой.

При диагностике в качестве приближенного метода определения механических свойств металла, из которого изготовлены элементы котла, используются результаты измерения твердости по Бринеллю [5]. С помощью переносных приборов можно измерять твердость металла непосредственно на оборудовании без вырезки образцов. Это позволит оперативно получить приблизительные оценки прочности стали.

В тех случаях, когда на поверхности барабанов или коллекторов в процессе технической диагностики выявляются дефекты в виде трещин или язвин – они удаляются расточкой, сверловкой, абразивными инструментами или газовой резкой с последующей механической обработкой и др. При этом удаляется минимально необходимое количество металла в местах выборки дефектов.

За последнее время специалистами различных организаций разработан ряд нормативных документов, определяющих минимально необходимые требования по объему и методам проведения контроля в процессе диагностирования технического состояния котельного оборудования [6]. В этих документах указаны наиболее нагруженные узлы и элементы паровых котлов, работающие в достаточно напряженных условиях, в зависимости от состояния которых, оценивается техническое состояние котлов.

Поскольку в настоящее время нет централизованной системы сбора и анализа информации обо всех отказах и причинах повреждений, происходящих на котлах в промышленно-отопительных котельных, специалистам экспертных организаций приходится уделять самое пристальное внимание изучению условий работы указанных объектов, рассматривая как имеющуюся эксплуатационную, так и ремонтную документацию.

Определение технического состояния паровых котлов, особенно находящихся в длительной эксплуатации, – весьма сложная инженерная задача. Ее решение требует от экспертов высокой квалификации и ответственного подхода к выполнению операций по диагностике.

Роль и ответственность экспертных организаций значительно возросли после того, как в результате реформирования государственного надзора функции по проведению периодических (в процессе эксплуатации) и внеочередных внутренних осмотров и гидравлических испытаний, а это одни из важнейших процедур по определению технического состояния котлов, были возложены на специалистов экспертных организаций.

Экспертам, осуществляющим диагностику технического состояния паровых котлов, надо постоянно помнить, что нередко рекомендуемые в нормативной документации методы и объемы диагностики, перечни деталей и узлов не являются исчерпывающими, иногда они, в зависимости от конкретных условий, должны быть расширены и увеличены.

Совокупность реализации методик использования средств измерений, обработки полученных результатов связывается в единый комплекс, который

по принятой терминологии и именуется диагностикой. Диагностика не является строго фиксированным критерием для оценки состояния котельных агрегатов. В зависимости от конструкции котла, вида топлива, параметров рабочей среды, состояния водно-химических режимов, наработки, марки стали, режимов работы объемы диагностики, номенклатура средств измерений и методика оценки состояния объекта могут меняться. Это объясняется тем, что неоднозначность условий работы приводит к износу, разному по характеру и тяжести поражений деталей и узлов, причем и то и другое изменяется с увеличением наработки и числа пусков котлов.

Т.е. аварии, либо локальные повреждения котельного оборудования могут иметь место, ввиду наличия производственных дефектов, либо в результате несоблюдения технологических процессов. Аварии труб по производственным дефектам сравнительно легко различимы. Раскрытие трубы идет по дефектному месту. В месте разрыва имеется небольшая полоска свежего излома, а остальная толщина сильно окислена. Края разрыва – грубые, рваные. Соседний участок не увеличен по диаметру.

Поскольку коррозионные процессы котельного оборудования протекают обычно довольно медленно и неоднородно, необходимо соблюдать регулярность сбора сведений по состоянию котла, проводить их систематизацию и тщательный анализ для того, чтобы на их основе можно было выполнить прогноз надежности эксплуатации котла.

Для определения ресурса работы поверхностей нагрева используются также различные методы: вычисление скорости коррозии с помощью специальных индикаторов, помещаемых в коллектор или трубопровод действующего оборудования; установка в котле контрольных образцов металла; вырезка контрольных образцов труб из различных зон.

Наиболее часто встречающиеся в практике случаи аварий – это местный или общий перегрев труб какого-либо элемента котла. Причины перегрева и характер разрыва труб могут существенно различаться. Кратковременный перегрев до очень высоких температур обычно – следствие полного

прекращения циркуляции по тем или иным причинам (закупорка, запаривание, выпуск воды) или очень малых скоростей рабочей среды. В этих случаях уже в течение короткого промежутка времени можно перегреть трубу до очень высоких температур. Для того чтобы такой перегрев привел к разрыву трубы, рабочее напряжение в ней должно превышать предел текучести металла при данной температуре. Для труб, изготовленных из углеродистых и низколегированных сталей, температура перегрева, приводящая к аварии, составляет 750–900 °С. Характерный признак таких случаев аварий – широкое раскрытие трубы с очень тонкими и острыми, как ножи, краями разрыва (рис. 1.1). Часто в месте разрыва труба оказывается сильно погнутой. На наружной поверхности почти нет окалины, так как промежуток времени при внезапном перегреве трубы недостаточен для образования заметного слоя окалины; иногда появляется лишь легкий красноватый налет. Внутренняя поверхность в месте разрыва совершенно чистая, поскольку она очищена вытекающей с большой скоростью струей пара или воды.

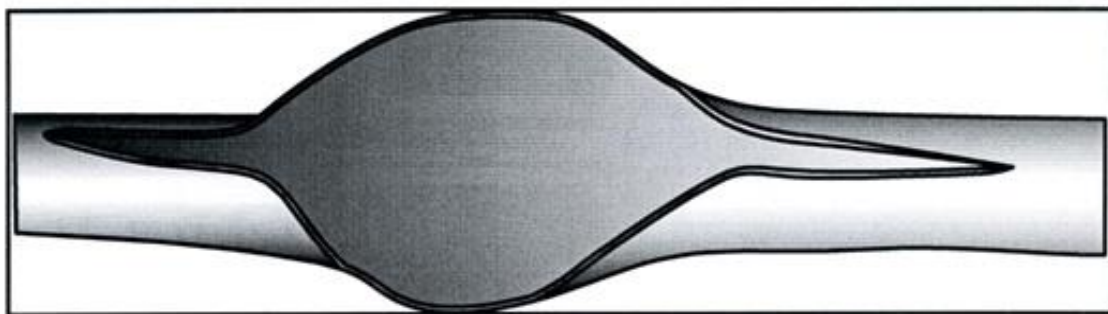


Рисунок 1.1 – Раскрытие трубы с острыми кромками разрыва

Иную картину дает анализ металла, подвергшегося до разрушения более или менее длительному перегреву при температурах ниже критических точек (550–700 °С). Причина разрывов труб в таких случаях обычно – ползучесть металла при температуре выше расчетной. Длительность же до разрыва от нескольких сот до многих тысяч часов зависит от скорости ползучести, т.е. прежде всего от действительной температуры стенки.

Для предварительной оценки причин повреждения элементов парового котла можно воспользоваться информацией, которая содержится в табл. 1.1.

Таблица 1.1 – Классификация повреждений элементов парового котла из перлитных сталей

Процесс	Температура протекания процесса, °С	Повреждение элементов парового котла из перлитных сталей			
		Трещины	Предшествующее пластической деформации	Структурные изменения, обнаруживаемые при обычных металлографических исследованиях	Изменения механических свойств при температуре испытания 20 °С
1	2	3	4	5	6
Механическое старение	До 400, интенсивно – при 200–300	Транскристаллические	Возможно разрушение без предшествующей деформации	Отсутствуют	σ_a , σ_b , НВ – повышаются
Дисперсное твердение	Свыше 400				
Тепловая хрупкость	400–550				Ударная вязкость понижается до определенного предела
Длительная ползучесть	450 и выше	Интеркристаллические трещины с тупыми кромками	Без предшествующей деформации или с малой величиной предшествующей деформации	Сфероидизация перлита. Выделение структурного свободного цементита и графитизация	Механические свойства не изменяются
Ускоренная ползучесть		Транскристаллические трещины с острыми кромками	Относительно большая предшествующая деформация	При быстром охлаждении повреждений стали, возможно появление мартенситной структуры	

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6
Сфероидизация перлита	450–700			Появление сфероидизированного перлита, а также структурно свободного цементита (последняя стадия)	На первой стадии небольшое понижение σ_a , повышение пластичности, на поздней – снижение ударной вязкости
Графитизация		Транскристаллические трещины с тупыми кромками	Без предшествующей пластической деформации	Появление зерен графита	Механические свойства снижаются, особенно ударная вязкость
Водородная коррозия	550–570			Обезуглероживание	
Тепловая и коррозионная усталость	Длительные колебания температуры	Транскристаллические, главным образом поперечные трещины		Отсутствуют	

Неудовлетворительные условия работы котла, вызывающие превышение расчетной рабочей температуры, могут быть различны. Чаще всего это наличие накипи или «паровых мешков», что приводит к образованию местных выпучин и отдулин или к общей ползучести отдельных участков, с последующим разрывом по наиболее слабым или дефектным местам трубы.

В экранных трубах при малых скоростях воды возможно образование застойных мест и «запаривание» отдельных участков, что также приведет к их перегреву. Характер разрыва трубы зависит от длительности работы в условиях перегрева и от марки стали.

Во всех случаях температура стенок труб является промежуточной между температурой отдающих тепло дымовых газов и температурой, получающей тепло котловой воды.

Для правильной работы котла необходимо, чтобы температура труб была достаточно близкой к температуре кипения воды в котле. Важнейшее

значение при этом имеют условия передачи тепла от металла к жидкости. Температура металла повышается, если передача тепла затруднена наличием на внутренней поверхности труб изолирующего слоя шлама или накипи. В процессе эксплуатации котла, содержащиеся в нагреваемой и испаряемой воде, различные примеси могут выделяться в твердую фазу и отлагаться на внутренних поверхностях нагрева, особенно на трубах экранов и конвективных испарительных пучков нагрева. Образование указанных отложений влечет за собой ухудшение теплопередачи и, как следствие, перегрев металла, появление на трубах отдулин в области наибольших тепловых потоков, свищей и аварийных разрывов труб.

Отложения на внутренних поверхностях нагрева по своему химическому составу, структуре, плотности и теплопроводности весьма разнообразны и зависят от целого ряда факторов. Для уменьшения накипеобразования в котловую воду добавляются фосфаты, которые, соединяясь с солями жесткости, образуют твердые частицы, движущиеся по трубам поверхностей нагрева вместе с потоком воды. Такие частицы называют шламом. Постепенно шлам оседает в нижних камерах экранов и удаляется из котла периодической продувкой в соответствии с регламентом, определяемым химической лабораторией, обслуживающей котельную установку [7].

При соблюдении правильного водного режима котла и выполнении периодической продувки котел длительное время может работать без очистки внутренних поверхностей нагрева, однако в обратном случае количество шлама может значительно увеличиться, и он начинает прикипать к стенкам труб, образуя вторичные отложения. В связи с этим одной из важнейших задач организации оптимального водного режима котлов с естественной циркуляцией является создание в котловой воде таких условий, при которых накипеобразователи, попадающие в котел с питательной водой, выделялись бы только в форме шлама, неспособного прикипать к стенкам труб [8].

2 Объект и методы исследования

Объектом исследования является паровой котел Е-50-3,9-440 ДР ТЭЦ Асиновского лесоперерабатывающего комбината, находящийся на завершающей стадии строительства. Котел предназначен для комплектации топочным устройством шахтного типа для сжигания древесных отходов.

Котел соответствует требованиям [9], [10] а также [11].

Параметры котла на номинальной нагрузке:

- паропроизводительность – 50 т/ч;
- давление пара на выходе – 40 кгс/см² (3,9 МПа);
- температура перегретого пара на выходе – 440 °С;
- температура питательной воды – 145 °С.

Тепловые расчеты котла выполнены для работы на расчетном топливе: древесные отходы, $Q_H^P = 1734$ ккал/кг, нагрузка 100, 70 и 50 % и природном газе, $Q_H^P = 8400$ ккал/м³, нагрузка 100, 70, 50 и 30 %.

Общий вид и габариты котла Е-50-3,9-440 ДР представлены в приложении А.

Котел предназначен для получения перегретого пара с необходимыми параметрами для работы турбины, на технологические, отопительно-вентиляционные нужды.

Котел состоит из блока котла и устройства, в котором осуществляется сжигание топлива – предтопка с шахтной топкой для сжигания древесных отходов.

Блок котла включает в себя тепловоспринимающие поверхности нагрева (испарительные, пароперегревательные, экономайзерные, воздухоподогревательные) в тепловой изоляции и собственную опорную конструкцию [12].

Исходными данными для выполнения магистерской диссертации являлись:

- технический проект. Проект парового котла Е-50-3,9-440 ТЭЦ Асиновского ЛПК. Том 1;
- технический проект. Пояснительная записка. Том 2. Книга 2. К 369.00.00.00.00 ПЗ;
- технический проект. Расчет на прочность элементов трубной системы котла Е-50-3,9-440 ДР. Том 3. Книга 2. К 369.00.00.00.00 РР;
- инструкция по монтажу котлоагрегата на базе котла Е-50-3,9-440 ДР на древесных отходах и природном газе;
- результаты производственного контроля завода-изготовителя элементов котла;
- результаты выборочного входного контроля элементов котла на производственной площадке.

Для установления методов исследования необходимо сформулировать задачи и предполагаемые результаты проведенной работы:

1) В условиях строительства реального котла показать типичные дефекты и допущения, возникающие при производстве работ и их влияние на начальные параметры проектирования.

2) Выделить возможное влияние основных выявленных допусков и неточностей монтажа на безопасность при дальнейшей эксплуатации котла и дать рекомендации по совершенствованию системы производственного контроля.

3) На основе анализа НТД указать несостыковки нормативных документов, относящихся к различным отраслям работ (проектирование, контроль, эксплуатация).

4) С учетом собранных данных по реальному состоянию элементов котла проведение расчетов на прочность с точки зрения соответствия их нормам прочности и с целью выявления элементов, конструктивно работающих в наиболее неблагоприятных условиях.

5) Составление перечня мест, требующих особого внимания при эксплуатации котлоагрегата, с учетом их реального состояния и применяемой технологии монтажа.

6) Используя полученную информацию, выдвижение методов, направленных на обеспечение дальнейшей безопасной работы котлоагрегата.

Достижение поставленных задач возможно посредством технической диагностики, а также проведения анализа НТД и определения критических параметров эксплуатации (толщина стенки и пр.) расчетным путем.

Выполняя техническое диагностирование объекта исследования необходимо руководствоваться НТД представленной в п. «Обозначения, сокращения, нормативные ссылки».

Техническая диагностика – область знаний, охватывающая теорию, методы и средства определения технического состояния объектов механических систем, занимается разрешением всех вопросов, связанных с определением состояния механических узлов и характера его изменения с течением времени [14].

Основной задачей технической диагностики является организация эффективной проверки надлежащего рабочего состояния и функционирования оборудования, отдельных компонентов, узлов, блоков, приборов, агрегатов и объектов. Таким образом, техническая диагностика в основном занимается организацией процессов диагностирования технического состояния объектов в процессе производства и эксплуатации, в том числе до, во время и после использования объектов, а также во время профилактического технического обслуживания, ремонта и хранения. Техническая диагностика является одной из наиболее важных мер, используемых для обеспечения и поддержания надежности оборудования.

Диагностика осуществляется как визуальным осмотром, так и с помощью специального оборудования. Объект исследования и диагностические средства, используемые вместе, образуют систему диагностики и, с помощью их взаимодействия, производят диагностический алгоритм. Результатом

является заключение о техническом состоянии объекта технической диагностики.

При визуальном осмотре могут выявляться только крупные (видимые) дефекты: трещины в сварных соединениях, между отверстиями для присоединения труб поверхностей нагрева, в местах изменения геометрической формы отдельных элементов; глубокие коррозионные язвы на стенках барабанов и т.п. В ряде случаев по результатам визуального осмотра сразу можно принять решение о непригодности к дальнейшей эксплуатации или необходимости ремонта осмотренного элемента котла.

Инструментальная диагностика используется для получения качественных и количественных оценок состояния металла оборудования. Различают разрушающий и неразрушающий методы контроля.

При первом – целостность контролируемой детали или узла нарушается. Вырезается участок, из которого изготавливаются образцы для исследования и испытания. Второй метод позволяет проводить дефектоскопию непосредственно на объекте исследования. С помощью измерительных приборов, физических и химических средств по специальным методикам определяют толщину элементов, выявляют трещины, остаточную деформацию, коррозионный и эрозионный износ.

Диагностические средства являются носителями диагностических алгоритмов. Они хранят возможную реакцию объекта на действия, генерировать и применять тестовые действия к объекту, прочитать фактические ответы объекта, и сделать диагностику путем сравнения фактических ответов с возможными ответами. Диагностические средства подразделяются на инструмент, программы, и программа-инструмент средства. Последние две категории используются для диагностики технического состояния компьютеров, работающих в соответствии с программой задачи. Инструмент может быть внешним (по отношению к объекту) или встроенным. Внешние инструменты в основном используются в диагностических системах, встроенные инструменты используются в операционных системах диагностики. Внешние

средства инструмент может быть автоматическим, автоматизированное или ручное управление, они также могут быть общего назначения или специализированные.

В своей методологии техническая диагностика имеет много общего с медицинским диагнозом. Техническая диагностика, которая определяет техническое состояние в режиме реального времени объектов, тесно связана с техническим прогнозированием и технической генетикой, которые определяют, как будущее так и предыдущие технические состояния от возможных эволюций настоящего технического состояния и предыдущей деятельности [13].

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5BM4Б	Илясова Айгуль Сабировна

Институт	Энергетический	Кафедра	Парогенераторостроения и парогенераторных установок
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Энергетическое машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
Характеристика объекта исследования и области его применения	<i>Объектом исследования является строящийся паровой котел</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Планирование работ	<i>Составить перечень работ, необходимых для достижения поставленных задач, определить участки каждой работы, установить продолжительности работ в месяцах.</i>
2. Расчет трудоемкости работ	<i>Составить перечень работ, необходимых для достижения поставленной задачи; определение участников работы; установление продолжительности работы в месяцах.</i>
3. Расчет затрат на техническое диагностирование парового котла	<i>Рассчитать и определить: основные расходы на основные и вспомогательные материалы, основную и дополнительную заработную плату специалистов, проводящих диагностирование, в том числе выплаты из фонда материального стимулирования, отчисления из фонда заработной платы, стоимость топлива и энергии, накладные расходы и прочие расходы.</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН	Попова Светлана Николаевна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5BM4Б	Илясова Айгуль Сабировна		

Одна из ключевых проблем современного машиностроения и энергетики заключается в обеспечении надежности элементов и сборочных единиц как на этапах изготовления и сборки нового оборудования, так и при его эксплуатации.

Экономическая эффективность технического диагностирования энергетического оборудования, состоит в предотвращении аварийной ситуации в работе мощного оборудования ТЭС и АЭС, что сопровождается крупными затратами на восстановление этого оборудования, может повлечь крупный ущерб для окружающей среды, приносит затраты в виде перебоев в энергоснабжении потребителей электроэнергии. В связи этим, надежность энергетического оборудования является главной его характеристикой [3].

6.1 Планирование работ

Планирование работы заключается в составлении перечня работ, необходимых для достижения поставленных задач, определение участков каждой работы, установление продолжительности работ. В таблице 6.1 приведены наименование этапов работ и количество затраченного времени от общего объема работы по техническому диагностированию.

Таблица 6.1 – Объем работ по техническому диагностированию парового котла

Наименование этапов работ	Продолжительность этапов, %
1	2
анализ документации;	5
визуальный и измерительный контроль;	20
контроль неразрушающими методами;	20

Продолжение таблицы 6.1

1	2
контроль толщины стенок основных элементов;	15
измерение твердости основных элементов;	10
определение химического состава и физико-механических свойств материала основных элементов (при необходимости);	5
расчет режимов эксплуатации;	3
расчет на прочность;	5
гидравлические испытания;	7
расчет остаточного ресурса;	5
анализ результатов контроля и расчетов;	3
составление технического заключения.	2
Итого:	100

6.2 Расчет трудоемкости работ

Необходимо отчетливо распределить все этапы разработки во времени. Достаточно важной частью является определение последовательности работ, являющейся наиболее оптимальной с точки зрения минимальных затрат времени на осуществление всего комплекса работ.

Планирование работы заключается в следующем: составление перечня работ, необходимых для достижения поставленной задачи; определение участников работы; установление продолжительности работы в месяцах.

Таблица 6.2 – Календарный план выполнения работ по техническому диагностированию парового котла

Наименование этапа	График выполнения, в месяцах																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
анализ документации;	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
визуальный и измерительный контроль;	■	■	■	■	■	■	■	■										
контроль неразрушающими методами;	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
контроль толщины стенок основных элементов;	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
измерение твердости основных элементов;											■	■						
определение химического состава и физико-механических свойств материала основных элементов (при необходимости);											■	■						
расчет режимов эксплуатации;												■	■					
расчет на прочность;														■	■	■		
гидравлические испытания;																	■	■
расчет остаточного ресурса;																	■	■
анализ результатов контроля и расчетов;																		■
составление технического заключения.																		■

Исходя из данной таблицы 6.2, можно сделать вывод, что общая продолжительность работы над техническим диагностированием парового котла составляет 1,5 года.

6.3 Расчет стоимости работ при техническом диагностировании парового котла

Стоимость работы при техническом диагностировании оборудования

$$Ц = C \cdot k_{\text{ус.}} \cdot k_{\text{гр.}} \cdot k_{\text{р.к.}} + П,$$

где C – себестоимость работы при техническом диагностировании оборудования, руб.;

k_{yc} – поправочный коэффициент, учитывающий особые условия работы.

Величины k_{yc} приведены в таблице 6.3;

k_{tp} – поправочный коэффициент, учитывающий транспортные затраты.

Величины k_{tp} приведены в таблице 6.4;

$k_{p.k.}$ – поправочный коэффициент, зависящий от районного коэффициента к заработной плате. Величины $k_{p.k.}$ приведены в таблице 6.5;

П - плановая прибыль, руб.

Таблица 6.3 – Значение поправочного коэффициента k_{yc}

Условия выполнения работ	Величина поправочного коэффициента
Выполнение работ с применением монтажного пояса	1,25
Выполнение работ в закрытых сосудах, аппаратах, резервуарах	2,00
Выполнение работ на действующих производствах с вредными условиями труда	1,25
Выполнение работ в зимнее время на открытом воздухе. Температура воздуха на рабочем месте отрицательная, °C :	
от 0 до минус 10	1,10
от минус 10 до минус 20	1,15
от минус 20 до минус 30	1,20
от минус 30 до минус 40	1,25
ниже минус 40	1,30
Выполнение работ в стесненном положении (на высоте, в углублениях)	1,10
Техническое диагностирование оборудования, имеющего налет (повышенную коррозию, грязь) свыше 3 мм	1,20
Выполнение работ в специальной одежде, с вентиляцией или применением химических реагентов, в шланговом противогазе	1,30
Выполнение работ на грузоподъемных машинах с пролетом более 25 м. за каждые 5 м	1,05
Выполнение работ на стреле башенного крана с решетчатой конструкцией	1,10

Таблица 6.4 – Величина поправочного коэффициента $k_{тр}$

Удаленность объектов от центральных баз производственного обслуживания, км.	Величина поправочного коэффициента
0–50	1,10
50–100	1,15
100–50	1,20
150–200 и более	1,40

Таблица 6.5 – Величина поправочного коэффициента $k_{р.к.}$

Районный коэффициент к заработной плате	Величина поправочного коэффициента
1,1	1,07
1,12	1,09
1,15	1,10
1,2	1,15
1,3	1,20
1,4	1,30
1,5	1,35
1,6	1,40
1,7	1,50
1,8	1,55
2,0	1,70

Себестоимость работы при техническом диагностировании оборудования включает:

- стоимость основных и вспомогательных материалов;
- основную (без учета районного коэффициента) и дополнительную заработную плату специалистов, проводящих диагностирование, в том числе выплаты из фонда материального стимулирования (кроме выплат осуществляемых из прибыли);
- отчисления из фонда заработной платы;
- стоимость топлива и энергии;
- накладные расходы (на содержание и эксплуатацию оборудования, цеховые расходы, общезаводские расходы и т.д.) без учета транспортных затрат;

- прочие расходы.

При расчете стоимости основных и вспомогательных материалов, топлива, энергии закладывают их обоснованную потребность на выполнение работы при техническом диагностировании и действующие цены на приобретение.

Фонд заработной платы рассчитывают по нормативам времени, установленными в ЕНиР в зависимости от перечня планируемых для выполнения работ и часовой тарифной ставки специалистов по техническому диагностированию.

Долю накладных расходов устанавливают относительно затрат на соответствующий вид работ при диагностировании, без учета стоимости расходуемых материалов.

Величину плановой прибыли, получаемой при выполнении работ по техническому диагностированию, устанавливают по согласованию с Заказчиком.

Стоимость комплекса работ при техническом диагностировании оборудования, трубопроводов и сооружений определяют по формуле:

$$Ц = (\sum C_n \cdot Q_n \cdot K_{yc.}) \cdot K_{тр.} \cdot K_{р.к.} + П,$$

где C_n - себестоимость соответствующей работы при техническом диагностировании оборудования,

Q_n - физический объем соответствующей работы из комплекса.

Стоимость одной и той же работы, проводимой при техническом диагностировании оборудования на различных предприятиях может значительно отличаться (в зависимости от уровня организации производства, специализации, использования и стоимости основных и вспомогательных материалов, принятого фонда оплаты труда, стоимости топлива и энергии и т.д.), поэтому установить единые расценки на работы для проведения диагностирования сторонних организаций невозможно. Стоимость работ при техническом диагностировании оборудования, трубопроводов и сооружений определяется согласно договору между Заказчиком и Исполнителем работ.

Структурные подразделения, проводящие техническое диагностирование оборудования и входящие в состав производственного предприятия, могут разрабатывать и внедрять временную себестоимость конкретных видов работ, предусмотренных регламентом на техническое диагностирование определенного вида оборудования. Себестоимость конкретных диагностических работ пересматривается при изменении тарифных ставок, стоимости основных и вспомогательных материалов, методов диагностирования, применяемых технологий и т.д.

При определении стоимости работ при техническом диагностировании оборудования, сооружений и трубопроводов, входном контроле оборудования и материалов, обследовании зданий и сооружений, себестоимость работ корректируется с учетом индекса инфляции цен на работы и услуги, производимые в нефтегазодобывающей промышленности, на момент определения стоимости.

Смета на проведение технического диагностирования исследуемого котла ТЭЦ Асиновского ЛПК приведена в таблице 6.6.

Таблица 6.6 – Смета на проведение технического диагностирования котла Е-50-13,5-440 ТЭЦ Асиновского ЛПК

Наименование работ	№ единичных расценок	Единица измерения	Кол-во Единицы	Цена единицы, руб.	Сумма, руб.
Проведение технического диагностирования котла					
Оценка технического состояния барабана котла I категории	т.3.3.11а (п.1,2,3) $\kappa=0,39$ (стр.183)	Барабан	1	325,26	325,26
на каждый последующий барабан	т.3.3.11а (п.1,2,3) $\kappa_1=0,39$; $\kappa_2=0,8$ (стр.183)	Барабан	2	260,21	520,42
Замер прогиба и овальности барабана котла	т.3.3.11а (п.4) $\kappa=0,45$ (стр.183)	Барабан	3	375,30	1125,90
Ультразвуковой контроль сварных швов барабанов	т.3.4.4в $\kappa=0,6$ (стр.190)	до 20 м	1	1104,60	1104,60
Ультразвуковой контроль качества сварных соединений коллекторов	т.3.4.1а $\kappa=0,6$ (стр.186)	до 20 точек	1	312,00	312,00
Ультразвуковой контроль толщины стенок барабанов, коллекторов, поверхностей нагрева	т.3.4.8 (стр.195)	100 точек	1,5	153,00	229,50
Измерение твердости металла барабанов, коллекторов, труб поверхностей нагрева	т.3.3.6 (п.2) $\kappa_1=0,5$; $\kappa_2=0,6$ (стр.178)	до 20 точек	1	560,40	560,40
Расчет на прочность барабана котла от внутреннего давления по результатам контроля	т.3.3.10а (п.3) $\kappa=0,4$ (стр.182)	расчет	1	522,80	522,80
Составление заключения о возможности дальнейшей эксплуатации	т.3.3.10а $\kappa=0,2$ (п.4) (стр.182)	заключение	1	261,40	261,40
Итого:					4962,28
$\kappa_2 = 1,3$ – районный коэффициент					1488,69
Всего с учетом коэффициентов:					6450,96
НДС 18%:					1161,17
Всего по смете:					7612,13

Заключение

В настоящей работе в соответствии с поставленными целями и задачами выполнен комплекс исследований процесса производства и монтажа реального котла. Технология производства и монтажа объекта исследования является в достаточной мере типичной для объектов подобного рода, что дает основания для расширения сферы использования полученных в работе результатов и их применимости не к конкретному объекту, а к Российской энергетике в целом.

На первом этапе выполнен анализ проектной документации с целью выявления особенностей конструкции котлоагрегата, деталей и узлов, работающих в наиболее неблагоприятных условиях и составлена программа диагностирования котла, включающая проведение входного контроля поставляемых на сборочную площадку элементов котельного агрегата методами неразрушающего контроля с целью обнаружения дефектов до монтажа сборочной единицы на котел, а также ее соответствия проекту и контроль качества монтажа основных элементов котлоагрегата неразрушающими методами. Данная операция позволила на начальном этапе составить перечень элементов и разделить их на группы по условиям работы и, как следствие, принимать решения о необходимости проведения и применения различных видов контроля.

В дальнейшем посредством выездов на монтажную площадку строительства произведен контроль объекта исследования неразрушающими методами. Осуществлялся контроль как поставляемых на строительную площадку сборочных единиц и деталей, так и уже смонтированных блоков и узлов. По результатам входного контроля выявлено, что поставляемые на сборочную площадку узлы и агрегаты зачастую не соответствуют проекту либо НТД, применяемой при оценке качества сварочных и монтажных работ. Для определения экономической эффективности данного мероприятия была составлена смета на техническое диагностирование котла и определены основные затраты.

В качестве примера заводского брака можно выделить следующие дефекты: поставленные с завода-изготовителя выносные циклоны изготовлены не по проекту, т.е. входные и выходные патрубки верхней и нижней части развернуты относительно друг друга на 180° в результате чего пришлось переваривать заводкой сварной шов по месту по специально разработанной и согласованной с заводом-изготовителем технологии. Кроме того, поставляемые трубные элементы зачастую имеют различного вида дефекты, возникшие как при их изготовлении, так при транспортировке и монтаже. Например, гибы опускных труб имеют овальность свыше 14 %, в результате чего пришлось проводить расчет на их прочность исходя из фактической овальности чтобы доказать возможность их применения на объекте исследования. В дальнейшем произведено обобщение результатов контроля, выявление основных и типичных дефектов и допущений при производстве сборочных единиц и их монтаже.

С учетом собранных данных по реальному состоянию элементов котла проведен расчет на прочность с точки зрения соответствия их нормам прочности и с целью выявления элементов, конструктивно работающих в наиболее неблагоприятных условиях, по результатам указаны места, требующие особого внимания при эксплуатации котлоагрегата с учетом их реального состояния и применяемой технологии монтажа. В дополнение к расчетам проведен анализ НТД различных «этапов жизни» котлоагрегата, а именно: проектирование, изготовление, монтаж, контроль качества, эксплуатация. Показано, что допуски и условно принятые величины в НТД различных отраслей в совокупности могут давать существенные диапазоны анализируемых параметров для конкретного объекта, например, толщины стенки изделия.

В соответствие с поставленными целями, используя полученную информацию научным коллективом были проведены экспериментальные исследования зависимости внутренних напряжений различных слоев стенки трубы от внешнего давления с имитацией условий работы трубных

поверхностей нагрева. Результаты данной работы позволили выдвинуть основные положения теории термической обработки стали, характеризующим критерием которой является наличие внутренних напряжений в контролируемом материале. Экспериментальным путем показано, что величина этих напряжений должна находиться в эксплуатационном диапазоне, характеризующем данный материал. В результате чего предложен способ повышения эксплуатационной надежности объекта исследования посредством проведения термической обработки сварных швов объекта исследования. Опробованная методика позволяет оценить не только прогнозируемый ресурс работы изделия, но и оценить возможность и необходимость проведения операции термообработки как сварных швов, так и изделий в целом.

Совокупность результатов исследований позволила обоснованно выработать практические рекомендации по увеличению эксплуатационной надежности объекта исследования, а именно: собранная информация по особенностям конструкции, методам монтажа, использованным материалам и пр. использована при составлении монтажной документации. Проведение неразрушающего контроля, как на этапе поставки элементов, так и на этапе их монтажа позволило устранить дефектные детали, узлы и монтажные элементы. По результатам анализа проектной, нормативной документации и результатов контроля указаны узлы и агрегаты, работающие в наиболее неблагоприятных условиях, систематический контроль которых позволит существенно повысить эксплуатационную надежность. По результатам экспериментальных исследований условий работы трубных элементов также предложен способ повышения надежности монтажных стыков.

Применение совокупности приведенных рекомендаций позволит существенно снизить количество аварийных ситуаций в будущем посредством оптимизации процессов проектирования (а именно учет при проектировании допусков при контроле качества продукции), изготовления (указаны основные и типичные дефекты, допущенные заводом-изготовителем), монтажа (собрана информация, необходимая для составления монтажной документации,

предложена технология улучшения эксплуатационных качеств изделия) и эксплуатации (указаны узлы, усиленный контроль которых необходим для минимизации инцидентов и аварий).

Итогом выполненных в настоящей работе исследований являются следующие основные результаты и выводы.

1. Входной контроль при монтаже энергетического оборудования необходим и позволяет выявить и отбраковать детали, заготовки и комплектующие, поступающие на сборочную площадку с дефектами, а также несоответствующие проекту т.к. поступающие на сборочную площадку сборочные единицы зачастую имеют дефектные участки, появившиеся при их производстве, либо транспортировке. Качество монтажа должно постоянно контролироваться средствами неразрушающего контроля для своевременного выявления дефектов и возможности их оперативного исправления.

2. Принятые нормативной документацией допущения при производстве и монтаже деталей, в совокупности с погрешностью измерений могут стать существенными для конкретного объекта, зачастую спроектированного по минимальным значениям условий прочности с целью экономии на материале, что, собственно, не является нарушением действующей нормативной документации, но при этом должны соблюдаться жесткие требования к производству деталей и их монтажу с целью повышения надежности дальнейшей эксплуатации объекта.

3. Показано, что в процессе циклического деформирования свойства материала изменяются в области деформаций между линией упрочнения и разупрочнения, характеризующей способность материала воспринимать повторные нагрузки без разрушения. Состояние предразрушения идентифицируется глубокой необратимой релаксацией внутренних структурных напряжений.

4. Термообработка металлических изделий не должна обеспечивать полное отсутствие внутренних напряжений, т.к. это приведет к необратимому снижению способности материала воспринимать циклические нагрузки, а лишь

выравнивать их по всему объекту, т.е. создавать условия рассредоточения напряжений из одной области, накопление и развитие которых обеспечивает упрочнение данной области, а в дальнейшем и хрупкое разрушение.

5. Термообработка должна обеспечивать уровень внутренних напряжений, находящийся между линиями упрочнения и разупрочнения, специфичными для каждого материала.

6. При необходимости восстановления свойств металла уже поработавшего оборудования, путем проведения восстановительной термической обработки, следует считать наличие определенного уровня внутренних напряжений, находящегося в пределах рабочей области, т.е. между линиями упрочнения и разупрочнения материала. Уровень внутренних напряжений ниже данной области говорит о невозможности вернуть изделию эксплуатационные свойства.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

Илясовой Айгуль Сабировны

N п/ п	Наименование работы, ее вид	Форма работы	Выходные данные	Объем в п.л. или с.	Соавторы
Научные работы					
1	Стендовые испытания горелочных устройств с пористым заполнением зоны смесеобразования (статья)	печ.	Сборник трудов XXI международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых Томск: Изд-во ТПУ, 2015. – Т1. – С. 61–64.	4 с.	Долгов С.В., Кулеш Р.Н.
2	Техническое диагностирование парового котла на этапе строительства с целью определения качества монтажа (статья)	печ.	Принята в печать по итогам I (XVI) Всероссийской научно-технической конференции студентов и магистрантов «Молодая мысль – развитию энергетики» Братск: март, 2016	4 с.	Кулеш Р.Н., Манаков А.В.
3	Исследование сопротивления экранной трубы упругопластическому деформированию после нагружения термоциклами (статья)	печ.	Принята в печать по итогам I (XVI) Всероссийской научно-технической конференции студентов и магистрантов «Молодая мысль – развитию энергетики» Братск: март, 2016	4 с.	Любимова Л.Л., Юдин В.А.
4	Experimental study of peat thermophysical properties. (статья)	печ.	Принята в печать по итогам «The 11th International Forum on Strategic Technology» Новосибирск: июнь, 2016	3 с.	Кулеш Р.Н., Субботин А.Н., Буваков К.В., Орлова К.Ю.
	Field research of firing stored peat critical conditions (статья)	печ.	Принята в печать по итогам международной молодежной научной конференции «EPJ Web of Conferences»	6 с.	Кулеш Р.Н., Субботин А.Н., Орлова К.Ю.