

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

---

Институт – Физико-технический  
Направление – Ядерные физика и технологии  
Кафедра – Электроника и автоматика физических установок  
Специальность – Электроника и автоматика физических установок

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА ДВОЙНОГО ДЕЙСТВИЯ</b>

УДК 621.512-52.001.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0712	Чубукин А.В.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Начальник отдела АСУТП	Еремин И.В.			

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По научно-техническим вопросам

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ЭАФУ	Денисевич А.А.			

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Главный бухгалтер	Быкова Н.Р.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Директор по общим вопросам	Баталов Ю.Ф.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭАФУ	Горюнов А.Г.	д-р техн. наук, доцент		

Томск – 2017 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	Представлять современную картину мира на основе целостной системы естественнонаучных и математических знаний, а также культурных ценностей; понимать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности, защите интересов личности, общества и государства; быть готовым к анализу социально-значимых процессов и явлений, применять основные положения и методы гуманитарных, социальных и экономических наук при организации работы в организации, к осуществлению воспитательной и образовательной деятельности в сфере публичной и частной жизни.
P2	Обладать способностями: действовать в соответствии с Конституцией РФ, исполнять свой гражданский и профессиональный долг, руководствуясь принципами законности и патриотизма, правилами и положениями, установленные законами и другими нормативными правовыми актами; к логическому мышлению, обобщению, анализу, прогнозированию, постановке исследовательских задач и выбору путей их достижения; понимать основы национальной и военной безопасности РФ; работать в многонациональном коллективе; формировать цели команды, применять методы конструктивного разрешения конфликтных ситуаций; использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и научно-производственных работ.

Р3	Самостоятельно, методически правильно применять методы самостоятельного физического воспитания для повышения адаптационных резервов организма и укрепления здоровья, готовностью к достижению и поддержанию должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
Р4	Свободно владеть литературной и деловой письменной и устной речью на русском языке, навыками публичной и научной речи. Уметь создавать и редактировать тексты профессионального назначения, владеть одним из иностранных языков как средством делового общения.
Р5	Находить организационно-управленческие решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; быть готовым к принятию ответственности за свои решения в рамках профессиональной компетенции, принимать решения в нестандартных условиях обстановки и организовывать его выполнение, самостоятельно действовать в пределах предоставленных прав; самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля для приобретения новых знаний и умений, в том числе в новых областях, непосредственно не связанных со сферой деятельности, развития социальных и профессиональных компетенций.
Р6	Применять основные законы естественнонаучных дисциплин, математический аппарат, вычислительную технику, современные методы исследований процессов и объектов для формализации, анализа и выработки решения профессиональных задач.
<b><i>Профессиональные компетенции</i></b>	
Р7	Уметь самостоятельно повышать уровень знаний в области профессиональной деятельности, приобретать с помощью

	<p>информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт, методы научно-исследовательской и практической деятельности, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; работать с информацией в глобальных компьютерных сетях; оценивать перспективы развития АСУ и АСНИ физических установок (вооружения и техники, процессов и аппаратов атомной промышленности и энергетики), использовать современные достижения в научно-исследовательских работах.</p>
P8	<p>Применять знания о процессах в ядерных энергетических и физических установках, и о технологических процессах ядерного топливного цикла используя методы математического моделирования отдельных стадий и всего процесса для разработки АСУ ТП и АСНИ с применением пакетов автоматизированного проектирования и исследований.</p>
P9	<p>Использовать знания о протекающих процессах в ядерных энергетических установках, аппаратах производств ядерного топливного цикла, теории и практики АСУ ТП, при проектировании, настройке, наладке, испытаниях и эксплуатации современного оборудования, информационного, организационного, математического и программного обеспечения, специальных технических средств, сооружений, объектов и их систем; организовать эксплуатацию физических установок (вооружения и техники, процессов и аппаратов атомной промышленности и энергетики), современного оборудования и приборов с учетом требований руководящих и нормативных документов; быть готовым к освоению новых</p>

	образцов физических установок, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний.
P10	Использовать технические средства и информационные технологии, проводить предварительное технико-экономического обоснования проектных расчетов устройств и узлов приборов и установок, расчет, концептуальную и проектную проработку программно-технических средств АСУ ТП и АСНИ, применять методы оптимизации, анализа вариантов, поиска решения многокритериальных задач с учетом неопределенностей объекта управления, разрабатывать способы применения программно-технических средств АСУ ТП и АСНИ, решать инженерно-физические и экономические задачи, применяя знания теории и практики АСУ, включающее математическое, информационное и техническое обеспечения, для проектирования, испытания, внедрения и эксплуатации АСУ ТП и АСНИ.
P11	Понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, соблюдать основные требования безопасности и защиты государственной тайны; выполнять мероприятия по восстановлению работоспособности физических установок (вооружения и техники, процессов и аппаратов атомной промышленности и энергетики) при возникновении аварийных ситуаций, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения; проводить анализ и оценку обстановки для принятия решения в случае возникновения аварийных ситуаций, экологическую безопасность, нормы и правила производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности.
P12	Разрабатывать проекты нормативных и методических материалов, технических условий, стандартов и технических

	<p>описаний средств АСУ ТП и АСНИ, регламентирующих работу в сфере профессиональной деятельности; осуществлять разработку технического задания, расчет, проектную проработку современных устройств и узлов приборов, установок (образцов вооружения, программно-технических средств АСУ ТП и АСНИ), использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов.</p>
P13	<p>Использовать в профессиональной деятельности нормативные правовые акты в области защиты государственной тайны, интеллектуальной собственности, авторского права и в других областях; осуществлять поиск, изучение, обобщение и систематизацию научно-технической информации, нормативных и методических материалов в сфере своей профессиональной деятельности.</p>
P14	<p>Проявлять и активно применять способность к организации и управлению работой коллектива, в том числе: находить и принять управленческие решения в сфере профессиональной деятельности; разрабатывать планы работы коллективов; контролировать соблюдение технологической дисциплины, обслуживания, технического оснащения, размещения технологического оборудования; организовывать учет и сохранность физических установок (вооружения и техники), соблюдение требований безопасности при эксплуатации; использовать основные методы защиты персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий.</p>
P15	<p>Демонстрировать способность к осуществлению и анализу научно-исследовательских, технологических и пуско-наладочных работ, разработке планов и программ их</p>

	<p>проведения, включая ядерно-физические эксперименты, выбору методов и средств решения новых задач с применением современных электронных устройств, представлению результатов исследований и формулированию практических рекомендаций их использования в формах научно-технических отчетов, обзоров, публикаций по результатам выполненных работ; выполнять полный объем работ, связанных с техническим обслуживанием физических установок с учетом требований руководящих и нормативных документов.</p>
--	---

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

---

Институт – Физико-технический  
Направление – Ядерные физика и технологии  
Кафедра – Электроника и автоматика физических установок  
Специальность – Электроника и автоматика физических установок

**УТВЕРЖДАЮ**  
Зам. директор ООО НПП  
«ТИК»  
\_\_\_\_\_ А.В. Салимова  
«12» октября 2016 г.

**ЗАДАНИЕ**  
на выполнение выпускной квалификационной работы

**В форме:**

Дипломной работы
------------------

**Студенту:**

Группа	ФИО
0712	Чубукин А.В.

**Тема работы:**

Разработка системы противоаварийной автоматической защиты поршневого компрессора двойного действия
--

<b>Утверждена приказом директора ФТИ</b>	от 31.10.2016 № 9286/с
--	------------------------

<b>Дата сдачи студентом выполненной работы</b>	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Технологическая схема сжатия пирогаза, синтез-газа и 99% водорода на компрессоре В-102, инструкция по эксплуатации поршневых газовых компрессоров поз. В-101, В-101р, В-102, В-102р, В-103, В-103р ПБС и 2-ЭГ.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Аналитический обзор по литературным источникам с целью ознакомления с принципами работы поршневых компрессоров, основами разработки систем ПАЗ и вибродиагностики стационарных поршневых компрессоров, выбор контролируемых параметров системы, разработка функциональной схемы

	автоматизации системы, разработка схемы комплекса технических средств системы, разработка алгоритма работы системы.
<b>Перечень графического материала</b>	Функциональная схема автоматизации системы, схема комплекса технических средств, алгоритм работы системы.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Главный бухгалтер Быкова Н.Р.
Социальная ответственность	Директор по общим вопросам Баталов Ю.Ф.

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	12 октября 2016 г.
---	--------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Начальник отдела АСУТП	Еремин И.В.			12.10.16

**Задание принял к исполнению студент**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0712	Чубукин А.В.		12.10.16

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 167 с., 6 рис., 29 табл., 21 источников, 11 прил.

ПОРШНЕВОЙ КОМПРЕССОР, СИСТЕМА ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ, ВИБРОМОНИТОРИНГ, ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЛЕР, ДАТЧИК ВИБРОУСКОРЕНИЯ, ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ, СХЕМА КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Объектом исследования является система противоаварийной автоматической защиты компрессора В-102 АО «Сибур-Химпром».

Цель работы – добавить в систему противоаварийной автоматической защиты систему вибромониторинга работы компрессора.

В результате исследования были разработаны функциональные схемы автоматизации, схема комплекса технических средств и алгоритм работы системы вибромониторинга работы компрессора.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: используется 156 датчиков виброускорения, 25 датчиков виброперемещения, 24 датчиков давления в цилиндрах, 26 датчиков давления масла и 48 датчиков температуры.

Область применения: диагностика состояния поршневых компрессоров.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в снижении потерь в ходе простоя оборудования в результате аварии, уменьшение затрат на ремонт дорогих узлов агрегата, уменьшение затрат на оплату электроэнергии и водоснабжения в результате выявления перерасхода ресурсов.

В будущем планируется внедрение данной системы на предприятие АО «Сибур-Химпром», расширение данной системы до систем управления поршневым компрессором В-102.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ**

В данной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 56233–2014 Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Вибрация стационарных поршневых компрессоров

ГОСТ 2.701–2008 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению

ГОСТ 19.701–90. Единая система программной документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения

ISO 26000:2010 Руководство по социальной ответственности

ГОСТ 12.2.032–78 ССБТ Рабочее место при выполнении работ сидя

СП 2.2.1.1312–03 Гигиенические требования к проектированию вновь строящихся и реконструируемых промышленных предприятий

СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение

СН 2.2.4/2.1.8.562–96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы

ГОСТ 12.1.005–88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

НПБ 105–03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности

Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002  
N 7-ФЗ

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**крейт:** Обособленный элемент системы вибромониторинга ТИК-RVM, объединяющий в себе контроллеры ТИК-PLC, интерфейсные модули, модули питания и прочее.

**PV-диаграмма:** График, показывающий изменение объема и давления в цилиндре за один цикл сжатия.

**конгаз (пирогаз):** Горючая смесь газов, производимая АО «Сибур-Химпром».

**синтез-газ:** Смесь окиси углерода (43–52 %), водорода (44–54 %), метана (4–5 %), двуокиси углерода (1,5 %) и кислорода (0,2 %).

**водород 99 (98) %:** Водород, содержащий не более 1 (2) % примесей.

В данной работе применены следующие сокращения:

позиция (**поз.**).

производство по выпуску этилена и пропилена; ПВЭиП.

отделение получения смеси окиси углерода и водорода; отделение ПСОУиВ.

отделение компримирования смеси окиси углерода и водорода; отделение КСОУиВ.

отделения получения бутиловых спиртов; отделение ПБС.

отделение получения жирного спирта (2-этилгексанола); отделение 2-ЭГ.  
главный двигатель; ГД.

противоаварийная автоматическая защита; ПАЗ.

функциональная схема автоматизации; ФСА.

научно-производственное предприятие; НПП.

научно-производственный центр; НПЦ.

цилиндр (**ц.**).

подшипник (**подш.**).

двигатель (**дв.**).

ступень (**ст.**).

частотный преобразователь; ЧП.

аварийный (**авар.**).

предупредительный (**пред.**).

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	19
1 Принцип работы поршневого компрессора .....	21
2 Противоаварийная автоматическая защита.....	25
3 Принципы вибродиагностики.....	28
4 Описание компрессора В-102 .....	31
4.1 Назначение компрессора В-102.....	31
4.2 Характеристики компрессора В-102.....	31
4.3 Описание схемы сжатия конгаза на секции <i>TV-1</i> .....	34
4.4 Описание схемы сжатия синтез-газа на секции <i>TV-2</i> .....	35
4.5 Описание схемы сжатия водорода 99 % на секции <i>TV-3</i> .....	36
4.6 Описание работы главного электродвигателя .....	37
4.7 Описание работы системы смазки кривошипно-шатунного механизма .....	38
4.8 Описание работы системы смазки поршневой группы .....	38
4.9 Описание работы системы охлаждения компрессора.....	39
4.10 Описание работы межступенчатых аппаратов .....	39
5 Описание системы вибродиагностики ТИК-RVM.....	40
5.1 Назначение и область применения.....	40
5.2 Описание измерительного канала ИКВ-1-х-х.....	40
5.3 Описание аппаратуры ТИК-PLC .....	44
5.4 Описание программного обеспечения системы ТИК-RVM .....	47
5.5 PV-диаграммы .....	52
6 Разработка системы ПАЗ поршневого компрессора В-102.....	55
6.1 Введение.....	55
6.2 Выбор контролируемых параметров .....	56
6.2.1 Система подачи воды .....	56
6.2.2 Система смазки кривошипно-шатунного механизма .....	57
6.2.3 Секция <i>TV-1</i> .....	58

6.2.4	Секция <i>TV-2</i> .....	59
6.2.5	Секция <i>TV-3</i> .....	61
6.2.6	Цилиндры компрессора двойного действия и с дифференциальным поршнем.....	62
6.2.7	Главный двигатель.....	65
6.3	Разработка функциональной схемы автоматизации .....	67
6.4	Разработка схемы комплекса технических средств .....	67
6.4.1	Реализация нулевого уровня.....	68
6.4.2	Реализация первого уровня.....	70
6.4.3	Реализация второго уровня.....	71
6.4.4	Принцип работы.....	71
6.5	Разработка алгоритма работы ПАЗ.....	71
6.5.1	Проверка работы системы охлаждения.....	73
6.5.2	Проверка работы системы смазки кривошипно-шатунного механизма .....	74
6.5.3	Проверка работы подшипников компрессора .....	74
6.5.4	Проверка работы цилиндров компрессора .....	75
6.5.5	Проверка работы главного двигателя.....	76
6.5.6	Проверка параметров секции <i>TV-1</i> .....	78
6.5.7	Проверка параметров секции <i>TV-2</i> .....	79
6.5.8	Проверка параметров секции <i>TV-3</i> .....	81
6.6	Проверка работы алгоритма ПАЗ.....	82
7	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	85
7.1	Введение .....	85
7.2	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	85
7.3	SWOT-анализ.....	87
7.4	Оценка готовности проекта к коммерциализации .....	89
7.5	Методы коммерциализации результатов разработки .....	90

7.6	Инициация проекта.....	91
7.7	План проекта .....	94
7.8	Бюджет проекта.....	95
7.8.1	Расчет затрат на сырье, материалы, комплектующие.....	95
7.8.2	Расчёт затрат на специальное оборудование .....	97
7.8.3	Расчёт затрат на оплату труда .....	98
7.8.4	Накладные расходы .....	101
7.8.5	Прочие расходы .....	102
7.9	Реестр рисков проекта .....	104
7.10	Оценка сравнительной эффективности исследования.....	104
8	Социальная ответственность .....	109
8.1	Введение .....	109
8.2	Описание рабочего места .....	110
8.3	Анализ вредных факторов.....	110
8.3.1	Эргономика и организация рабочего места .....	110
8.3.2	Нормы естественного и искусственного освещения .....	110
8.3.3	Производственный шум.....	114
8.3.4	Мероприятия по радиационной безопасности .....	115
8.3.5	Вентиляция и отопление .....	115
8.3.6	Электробезопасность.....	116
8.3.7	Пожаровзрывобезопасность .....	118
8.4	Охрана окружающей среды .....	118
8.5	Выводы по разделу .....	119
	Заключение .....	120
	Список использованных источников .....	122
	Приложение А Список контролируемых параметров.....	124
	Приложение Б ФСА секций сжатия TV-1, TV-2, TV-3 компрессора В-102 .....	145
	Приложение В ФСА контуров смазки кривошипно-шатунного механизма и водоснабжения.....	146

Приложение Г ФСА цилиндра двойного действия .....	147
Приложение Д ФСА цилиндра с дифференциальным поршнем .....	148
Приложение Е ФСА главного двигателя.....	149
Приложение Ж Схема КТС. Общий вид .....	150
Приложение И Схема КТС компрессора, главного двигателя, контуров смазки и водоснабжения.....	151
Приложение К Схема КТС секций сжатия <i>TV-1, TV-2, TV-3</i> .....	152
Приложение Л Схема алгоритма работы системы ПАЗ .....	153
Приложение М Графический материал .....	на отдельных листах
Титульный лист .....	1
Актуальность работы.....	2
Цель и задачи.....	3
Объект исследования .....	4
Системы ПАЗ.....	5
Размещение датчиков на поршневом компрессоре .....	6
Система вибромониторинга ТПК-RVM.....	7
Диагностируемые дефекты .....	8
PV-диаграммы .....	9
ФСА компрессора В-102 .....	10
ФСА цилиндра до модернизации .....	11
ФСА цилиндра после модернизации .....	12
ФСА крейцкопфной части цилиндра до модернизации .....	13
ФСА крейцкопфной части цилиндра после модернизации.....	14
ФСА участка картера до модернизации .....	15
ФСА участка картера после модернизации .....	16
Схема КТС общая .....	17
Используемые датчики .....	18
Алгоритм работы системы ПАЗ .....	19
Проверка алгоритма .....	21
Ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	22

Результаты работы .....	23
Диск CD-R..... в конверте на обороте обложки ФЮРА.421452.020ПЗ Пояснительная записка ВКР. Файл Диплом Чубукин АВ.docx в формате MSWord 2013	
Презентация к ВКР. Файл Диплом Чубукин АВ_2014.pptx в формате MSPowerPoint 2013	
Проект мнемосхемы цилиндра. Файл компрессор.vav в папке компрессор в формате MasterSCADA v3.8	
Исходные данные чертежей. Файл Чертежи Чубукин АВ.vsd в формате MSVisio 2010	

## ВВЕДЕНИЕ

Научно-производственное предприятие «ТИК» специализируется на разработке и производстве приборов и систем мониторинга, диагностики и противоаварийной автоматической защиты (ПАЗ) промышленного оборудования по параметрам вибрации. Помимо разработки данных систем организация также занимается внедрением данных систем в производство. Предприятие уже несколько десятков лет сотрудничает с предприятиями нефтяной, газовой, химической, металлообрабатывающей отраслей промышленности.

Одной из сотрудничающих компания является АО «Сибур-Химпром». «Сибур-Химпром» специализируется на переработке жидких углеводородов и является одним из ведущих российских производителей целого ряда важнейших продуктов нефтехимии (сжиженные углеводородные газы, бутиловые спирты, 2-этилгексанол, этилбензол технический, стирол, метил-трет-бутиловый эфир и др.). Качество выпускаемой продукции соответствует лучшим мировым стандартам.

В ходе производства данных продуктов используется большое число различных агрегатов, один из которых поршневой компрессор В-102 и резервирующий компрессор В-102р. Данные компрессоры идентичны. Компрессор имеет 3 секции сжатия: *TV-1*, на которой происходит сжатие конгаза, *TV-2*, на которой происходит сжатие пирогаза, и *TV-3*, на которой происходит сжатие 99 % водорода.

Поршневые компрессоры являются машинами повышенной опасности в связи с работой при высоких давлениях, а постоянные вибрации и нагрев деталей при трении приводит к их неизбежным деформациям. В настоящее время для предотвращения аварий используются системы ПАЗ, которые

Подп. дата		ФЮРА.421452.020ПЗ									
Инв. № дубл.											
Взам. инв. №											
Подп. и дата											
Инв. № подл.	Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Введение					
	Разраб.	Чудюкин							Лит.	Лист	Листов
	Пров.	Еремин									
	Н. контр.	Ефремов							ТПУ ФТИ Группа 0712		
	Утв.	Горюнов									

сигнализируют оператору о приближение значений контролируемых параметров к аварийным границам и в автоматическом режиме выполняют останов установки при достижении аварийных границ контролируемых параметров.

Имеющаяся система ПАЗ предупреждает большое количество аварийных ситуаций. Но использование систем вибродиагностики позволит значительно расширить список предупреждаемых аварий и повысить точность определения уже существующих аварийных ситуаций. Во время работы поршневых компрессоров неминуемо возникают вибрации. Отслеживание и анализ уровня вибраций в определенных точках установки позволяет на ранних стадиях выявить дефекты деталей агрегата. Своевременная замена поврежденных деталей позволит предотвратить аварии.

Разработанная система вибродиагностики основана на уже имеющейся системе ПАЗ. Разработка системы ПАЗ включает в себя создание списка контролируемых параметров системой ПАЗ, разработку функциональной схемы автоматизации (ФСА) агрегата, функциональной схемы агрегата, схемы комплекса технических средств, необходимых для реализации разрабатываемой системы ПАЗ, разработку алгоритма работы системы ПАЗ.

Разработанная система повысит число и точность обнаружения аварийных ситуаций при работе агрегата, что повысит надежность работы агрегата и позволит выявлять дефекты деталей на ранней стадии. Всё это приведет к уменьшению экономических потерь, вследствие аварийных простоев оборудования, и повышению безопасности эксплуатации компрессора.

# 1 Принцип работы поршневого компрессора

В компрессорах происходит преобразования энергии от источника в энергию газа или жидкости. Полученная энергия приводит к увеличению давления газа или жидкости и росту температуры сжимаемого вещества.

По принципу действия компрессоры делятся на объемные, динамические и струйные. Рассмотрим объемные компрессоры.

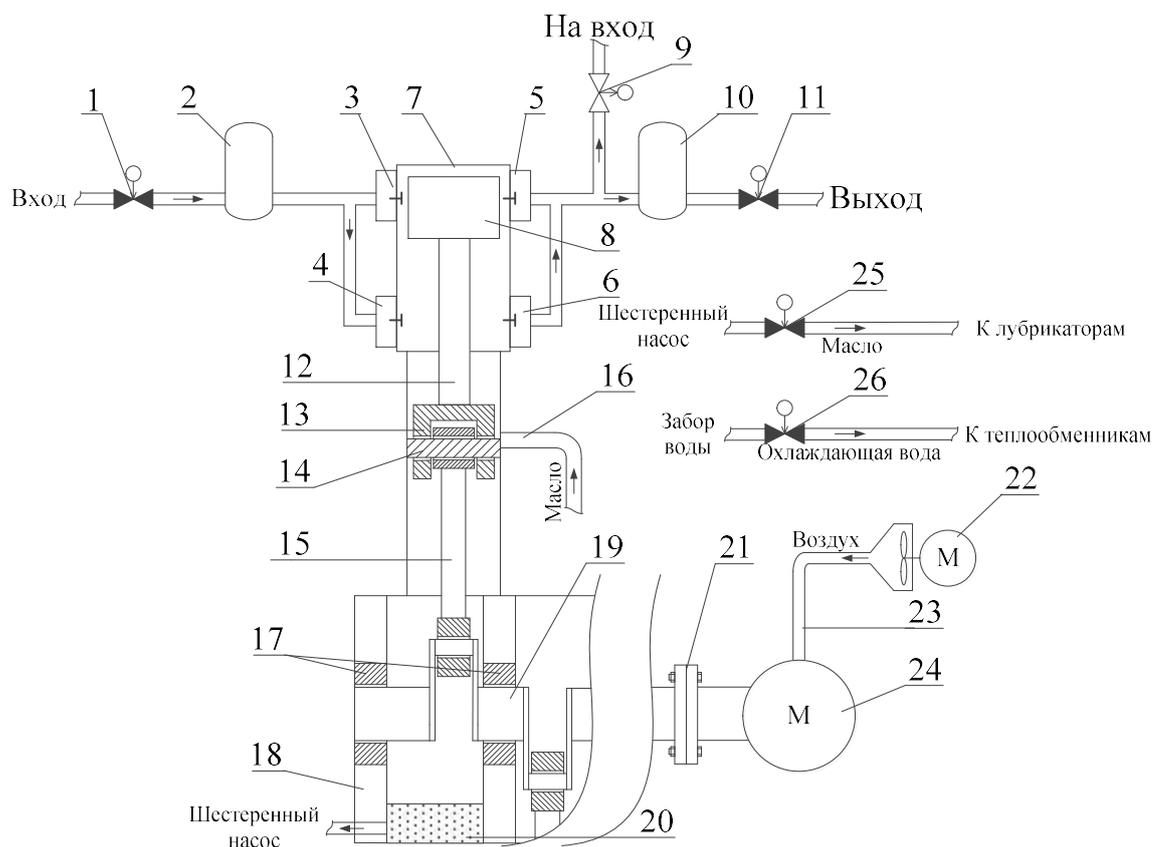
Объемными называются компрессоры, преобразование энергии в которых происходит за счет периодического уменьшения объема рабочей камеры. Уменьшения объема связано с движение одной или двух стенок камеры. Рабочую камеру принято называть цилиндром, движущуюся стенку – поршнем, а компрессоры данного типа – поршневыми [1].

Существует огромное количество видов поршневых компрессоров. Разделяются компрессоры по количеству цилиндров, направление движения поршней, углом между поршнями и прочим характеристикам. Рассмотрим принцип работы поршневого компрессора двойного действия [2].

На рисунке 1.1 приведена схема данного компрессора. Входная (1) и выходная (11) задвижки, которые отделяют компрессор от внешней части установки. Во входном ресивере (2) происходит подготовка газа к сжатию. В выходном ресивере (10) происходит обработка газа после сжатия (сглаживание пульсаций давления, возможна установка теплообменника для охлаждения газа).

Верхний клапан всасывания (3) закрывается при движении поршня (8) в цилиндре (7) вверх, в это время открывается верхний клапан нагнетания (5). При движении поршня вниз закрывается нижний клапан всасывания (4), а нижний клапан нагнетания (6) открывается. Таким образом, сжатие газа происходит дважды за цикл.

Подп. дата		ФЮРА.421452.020ПЗ					Лит. Лист Листов					
Инв. № дубл.		Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Принцип работы поршневого компрессора			ТПУ ФТИ Группа 0712		
		Разраб.	Чудукин									
Взам. инв. №		Пров.	Еремин									
		Н. контр.	Ефремов									
Подп. и дата		Утв.	Горюнов									
Инв. № подл.												



- |                               |                                     |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| 1 – Входная задвижка          | 14 – Палец кресткопфа               |
| 2 – Входной ресивер           | 15 – Шатун                          |
| 3 – Верхний клапан всасывания | 16 – Канал подачи масла в кресткопф |
| 4 – Нижний клапан всасывания  | 17 – Коренные подшипники            |
| 5 – Верхний клапан нагнетания | 18 – Станина                        |
| 6 – Нижний клапан нагнетания  | 19 – Коленчатый вал                 |
| 7 – Цилиндр                   | 20 – Масло                          |
| 8 – Плунжер (поршень)         | 21 – Соединительная муфта           |
| 9 – Аварийный клапан          | 22 – Двигатель обдува               |
| 10 – Выходной ресивер         | 23 – Обдув главного двигателя       |
| 11 – Выходная задвижка        | 24 – Главный двигатель              |
| 12 – Шток                     | 25 – Задвижка канала масла          |
| 13 – Ползун (кресткопф)       | 26 – Задвижка канала воды           |

Рисунок 1.1 – Схема работы поршневого компрессора двойного действия

Аварийный клапан (9) открывается при превышении давления в выходном ресивере. Избыток газа сбрасывается либо в безопасное для людей место, либо на вход компрессора для повторного сжатия.

Главный двигатель (24) соединен коленчатым валом (19) компрессора с помощью соединительной муфты (21). На рисунке 1.1 представлено коаксиальное соединение двигателя и компрессора. Возможны случаи, валы компрессора и двигателя расположены не на одной оси. В таких случаях валы соединяются через маховик с помощью ременной или зубчатой передачи вращающего момента. Коленчатый вал закреплен в станине (18). Для снижения трения вращения коленчатого вала используются подшипники (17).

Вращение коленчатого вала приводит в движение шатун (15). Сложное движение шатуна преобразуется в поступательное движение штока (12) с помощью крейцкопфа (13). Соединение крейцкопфа с шатуном осуществляет цилиндрический палец (14).

Для снижения трения и охлаждения подшипников и крейцкопфа используют смазочное масло (18), заливающееся в низ станины. Оттуда масло поступает в теплообменники для охлаждения, а после под давлением, создаваемым шестеренчатым насосом, подается на крейцкопф (16) и подшипники (канал подачи на рисунке не указан). Далее лишнее и отработанное масло стекают назад в станину.

Охлаждение масла и газа осуществляется в теплообменниках. В роли хладагента используется вода. В нерабочее время возможно перекрыть каналы подачи масла и воды с помощью клапанов (25) и (26) соответственно.

Для охлаждения двигателя применяется обдув воздухом по каналу обдува (23). Воздух приводится в движение с помощью турбины, вращаемой вспомогательным двигателем (22). Для эффективности возможно добавление в канал обдува теплообменника, для охлаждения обдуваемого воздуха.

Цилиндры компрессора с дифференциальным поршнем отличаются от цилиндров двойного действия лишь видом поршня и цилиндра. Схема работы

при этом остается неизменной. Цилиндр с дифференциальным поршнем приведен на рисунке 1.2.

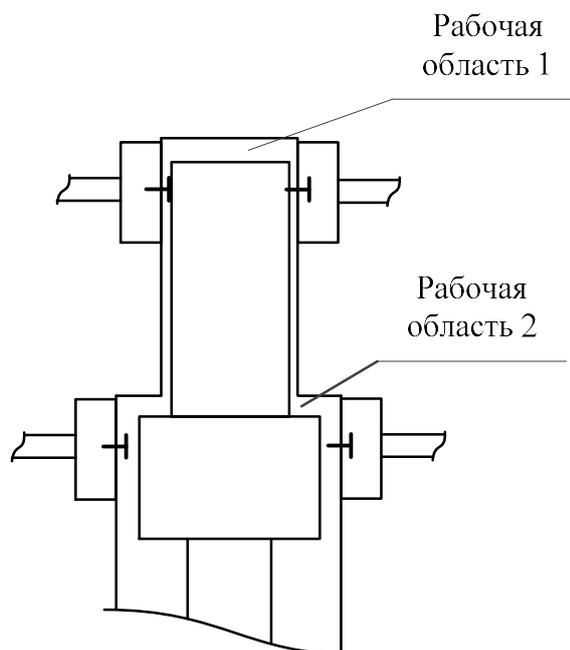


Рисунок 1.2 – Цилиндр с дифференциальным поршнем

Так же, как и цилиндр двойного действия, цилиндр с дифференциальным поршнем имеет две рабочих области. Обе области расположены над ступенями поршня. Рабочая область 1 имеет большую площадь основания, чем рабочая область 2. Благодаря этому в рабочей области 2 можно достигать большей степени сжатия, чем в рабочей области 1 при равных затратах мощности.

## 2 Противоаварийная автоматическая защита

Системы ПАЗ возникли как наборы защитных блокировок, переводящих технологический процесс в безопасное состояние при выходе контрольных параметров за предельно допустимые значения. На практике блокировки обычно приводили к останову процесса [3].

Основная цель систем ПАЗ – предупреждение возникновения аварий при выходе параметров технологического процесса за пределы допустимых значений. Системы ПАЗ должны обеспечивать защиту персонала, оборудования и окружающей среды при нештатной ситуации, развитие которой может привести к аварии. Но функциональность современных систем ПАЗ значительно вышла за рамки простого аварийного останова. В действующих нормативно-технических документах и в передовой инженерной практике ПАЗ приписываются следующие функции:

- автоматическое измерение технологических переменных, важных для безопасного ведения технологического процесса;
- автоматическое обнаружение потенциально опасных изменений состояния технологического объекта и системы автоматизации объекта;
- автоматическая предаварийная сигнализация (сообщения оператору, средства пультовой и местной индикации);
- автоматическое срабатывание средств ПАЗ, прекращающих развитие нештатной ситуации (останов насосов, компрессоров, конвейеров, шнеков, открытие/закрытие электродвигателей, отсекающих и др.);
- процедуры управляемого последовательного останова технологических процессов, машин и оборудования, для которых «ударный» единовременный внезапный останов может привести к аварии;

Подп. дата									
Инв. № дубл.									
Взам. инв. №									
Подп. и дата									
Инв. № подл.									
						<b>ФЮРА.421452.020ПЗ</b>			
	<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
	<i>Разраб.</i>	<i>Чудюкин</i>							
	<i>Пров.</i>	<i>Еремин</i>							
	<i>Н. контр.</i>	<i>Ефремов</i>							
	<i>Утв.</i>	<i>Горюнов</i>							
						<i>Противоаварийная автоматическая защита</i>			
						<i>ТПУ ФТИ Группа 0712</i>			

- последовательности предпусковых и пусковых операций с контролем выполнения условий, необходимых для следующего шага;
- дистанционное управление средствами ПАЗ с пульта оператора или иных рабочих мест персонала, если это предусмотрено технологическим регламентом;
- контроль действий персонала и блокировка заведомо ошибочных операций, способных при фактическом состоянии объекта привести к аварии («защита от дурака»);
- самодиагностика системы ПАЗ;
- диагностика внешних электрических цепей и технических средств, используемых системой ПАЗ;
- автоматический контроль срабатывания средств ПАЗ по сигналам из электрических схем, от конечных и муфтовых выключателей, от реле расхода и др., формирование сообщений о сбое в случае невыполнения отданной команды за установленное время;
- реализация деблокировочных ключей для периода пуска процесса (технологические деблоки) и для обслуживания/замены технических средств (сервисные деблоки), автоматический сброс деблокировочных ключей (взведение блокировок) по выходу процесса на режим или по иным алгоритмически заданным условиям;
- непрерывная автоматическая регистрация последовательности событий (SOE), влияющих на безопасность процесса, включая потенциально опасные изменения технологических переменных, выходные сигналы системы ПАЗ, команды персонала, изменения состояния деблокировочных ключей и диагностические сообщения; обеспечение высокого разрешения по времени с целью установления точной первопричины нештатной ситуации;

- автоматическое включение резервного технологического оборудования в случаях, определенных технологическим регламентом производства;
- непрерывное получение текущей информации от автоматических средств газового анализа на объекте; включение в необходимых случаях вентиляционных систем, водяных завес и иных средств предотвращения развития аварии;
- защита от несанкционированного доступа [4].

### 3 Принципы вибродиагностики

В соответствии со стандартом ГОСТ Р 56233-2014 оценку вибрационного состояния оборудования осуществляется на основе совместных измерений перемещения скорости и ускорения на корпусах установок. Контролируемыми параметрами являются:

- среднеквадратичное значение ускорения;
- среднеквадратичное значение скорости;
- среднеквадратичное значение перемещения;
- квантиль уровня 0,97 ускорения
- квантиль уровня 0,97 перемещения

Чтобы не нарушать целостность корпусов установок датчики следует устанавливать на специальные держатели. Допускается закрепление держателя с помощью других средств (например, клея или магнитов) если эти средства не будут значительно искажать измерения.

Места установки датчиков выбирают на основе риска отказа узлов или деталей компрессора и максимальной информативности сигнала. В таблице 3.1 и на рисунке 3.1 приведены основные точки установки датчиков. Номера датчиков в таблице соответствуют номерам датчиков на рисунке.

Подп. дата		Инв. № дубл.		Взам. инв. №		Подп. и дата		<b>ФЮРА.421452.020ПЗ</b>					
Инв. № подл.		Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<i>Принципы вибродиагностики</i>			Лит.	Лист	Листов	
		Разраб.	Чудюкин										
		Пров.	Еремин										
		Н. контр.	Ефремов										
		Утв.	Горюнов				ТПУ ФТИ Группа 0712						

Таблица 3.1 – Точки измерений

Номер точки	Местоположение	Обозначение
1	На цилиндре в осевом направлении поршня (ось чувствительности должна быть параллельна оси цилиндра)	Осевое направление поршня
2	На цилиндре перпендикулярно оси поршня со стороны нагнетательных и всасывающих клапанов или с противоположных сторон цилиндра под углом 45°	Радиальное направление поршня
3	На клапанах	Клапан
4	Над крейцкопфом	Крейцкопф
5	Над штоком поршня	Шток
6	Напротив коренных подшипников вдоль оси крейцкопфа	Осевое направление ползуна
7	На крышках коренных подшипников	Коренной подшипник
8	Датчик угла поворота вала	Фазоотметчик

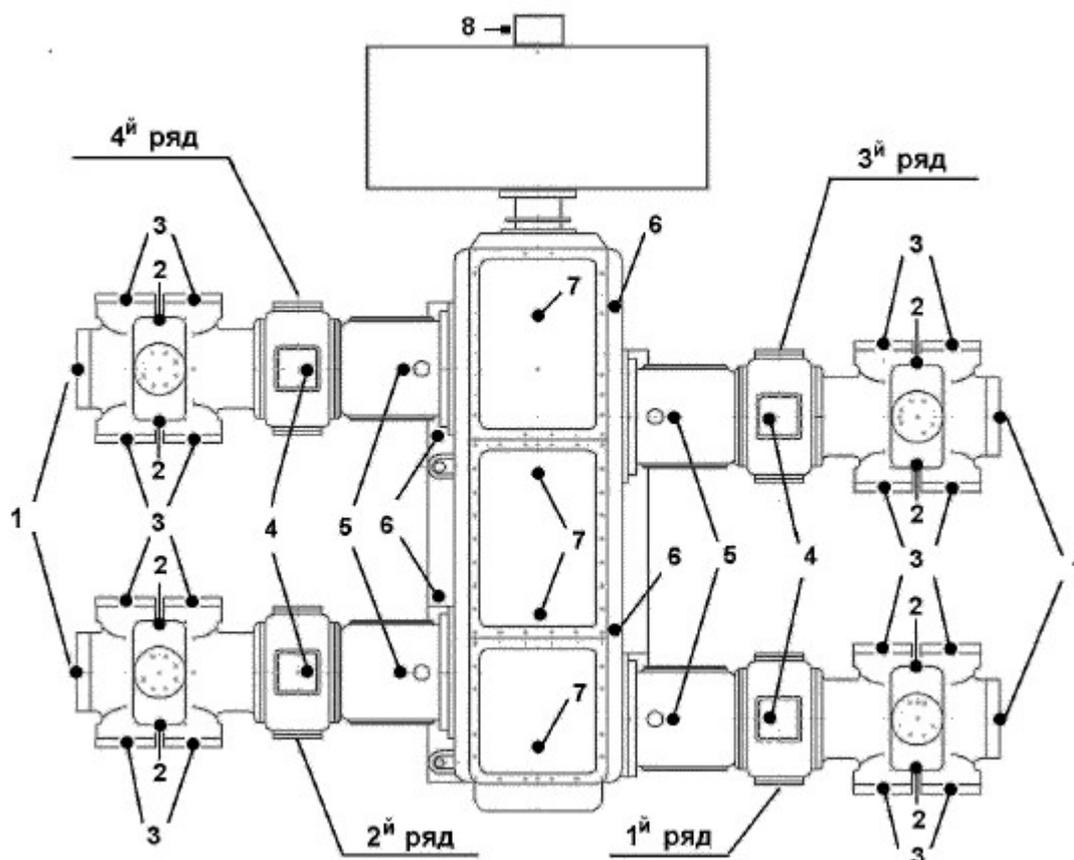


Рисунок 3.1 – Размещение датчиков на поршневом компрессоре

Устанавливают четыре зоны вибрационного состояния:

- ХОРОШО («А») – в эту зону попадает вибрация машин во время приемочных испытаний после монтажа или капитального ремонта. Свидетельствует о полной работоспособности компрессора;

- ДОПУСТИМО («В») – попадание машины в данную зону вибрационного состояния свидетельствует о полной работоспособности компрессора и возможности его длительного применения с малой вероятностью отказа;

- ПРИДУПРЕЖДЕНИЕ («С») – при попадании уровня вибрации в эту зону возможна непродолжительная работа машины до выяснения причин появления повышенного уровня вибраций;

- ОСТАНОВ («D») – в случае попадания в эту зону следует незамедлительно остановить машину [5].



Таблица 4.1 – Характеристики компрессора

Наименование параметра	Значение параметра
Марка компрессора	2НВ-12К-400/290
Максимальная производительность	<i>TV-1</i> 28000 нм <sup>3</sup> /ч (31560 нм <sup>3</sup> /ч с учетом подачи рецикла №1 на вход второй ступени) <i>TV-2</i> 13515 нм <sup>3</sup> /ч <i>TV-3</i> 2504 нм <sup>3</sup> /ч
Максимальное развиваемое давление	<i>TV-1</i> 99,93 кгс/см <sup>2</sup> <i>TV-2</i> 285,5 кгс/см <sup>2</sup> <i>TV-3</i> 153 кгс/см <sup>2</sup>
Количество цилиндров	12
Количество коленчатых валов	2
Количество ступеней сжатия	<i>TV-1</i> – 2 <i>TV-2</i> – 2 <i>TV-3</i> – 3
Количество цилиндров на 1 ступени <i>TV-1</i>	4 двойного действия
Количество цилиндров на 2 ступени <i>TV-1</i>	4 двойного действия
Количество цилиндров на 1 ступени <i>TV-2</i>	2 ступенчатых дифференциальных цилиндра. 1 ступень – со стороны торцевой крышки 2 ступень – со стороны картера
Количество цилиндров на 2 ступени <i>TV-2</i>	
Количество цилиндров на 1 ступени <i>TV-3</i>	1 двойного действия

Таблица 4.1 – Продолжение

Количество цилиндров на 2 ступени <i>TV-3</i>	1 ступенчатый дифференциальный цилиндр.
Количество цилиндров на 3 ступени <i>TV-3</i>	2 ступень – со стороны торцевой крышки 3 ступень – со стороны картера
Номинальные внутренние диаметры цилиндров секции <i>TV-1</i>	1 ступень – 290 мм 2 ступень – 180 мм
Номинальные внутренние диаметры цилиндров секции <i>TV-2</i>	1 ступень – 140 мм 2 ступень – 95 мм
Номинальные внутренние диаметры цилиндров секции <i>TV-3</i>	1 ступень – 180 мм 2 ступень – 190 мм 3 ступень – 150 мм
Номинальный диаметр штока	80 мм
Ход поршня (диаметр окружности кривошипа)	400 мм
Регулирование производительности	Байпасирование

Таблица 4.2 – Характеристики главного электродвигателя

Наименование параметра	Значение параметра
Марка электродвигателя	DMNVE 2216-16
Напряжение	6000 В
Мощность электродвигателя	5100 кВт
Частота вращения коленчатого вала	375 об/мин

Таблица 4.3 – Характеристики маслососа

Наименование параметра	Значение параметра
Марка	BFU 25
Максимальная производительность	25 м <sup>3</sup> /ч
Максимальное давление	10 кгс/см <sup>2</sup>
Марка электродвигателя	KP160.2/4
Напряжение	380 В
Мощность электродвигателя	13 кВт
Частота вращения	1450 об/мин

Таблица 4.4 – Характеристики лубрикаторов

Наименование параметра	Значение параметра	
	ХК VI	ХК VIII
Марка	ХК VI	ХК VIII
Количество	2	1
Максимальная производительность, л/час	1.4	1.8
Максимальное давление, кгс/см <sup>2</sup>	1000	1000
Марка электродвигателя	KR 100.2/6	KR 100.2/6
Напряжение, В	380	380
Мощность электродвигателя, кВт	1,1	1,1
Частота вращения, об/мин	940	940

### 4.3 Описание схемы сжатия конгаза на секции *TV-1*

Конгаз после сепаратора Е-102А блока поташной очистки разделяется на два потока. Один поступает на вход секции *TV-2* компрессора В-103, другой – на вход секции *TV-1* компрессора В-102.

Газ, поступающий на вход секции *TV-1* компрессора В-102, подается в предварительный сепаратор ПС-102 *TV-1*.

После предварительного сепаратора газ поступает на вход первой ступени *TV-1* имеющей четыре цилиндра. После сжатия в цилиндрах первой ступени газ подается последовательно в холодильник *X-102/1 TV-1* и сепаратор *C-102/1 TV-1*. Для обеспечения пуска, остановки и регулирования производительности предусмотрен байпас с нагнетания первой ступени на вход, имеющий ручную аппаратуру и регулирующий клапан (смонтированный последовательно) для дистанционного управления.

Далее газ поступает на вход второй ступени, которая имеет четыре цилиндра. После сжатия на второй ступени газ подается последовательно в холодильник *X-102/2 TV-1* и сепаратор *C-102/2 TV-1*. Для обеспечения пуска, остановки и регулирования производительности предусмотрен байпас с нагнетания второй ступени на вход, имеющий ручную арматуру.

Далее конгаз с нагнетания компрессора *B-102* объединяется с конгазом, поступающим от компрессора *B-103* и через фильтры *Ф-7/1,2* поступает в сепараторы первой фазы блока «Монсанто».

#### **4.4 Описание схемы сжатия синтез-газа на секции *TV-2***

Синтез-газ после сепараторов первой фазы блока «Монсанто» разделяется на два потока. Один поступает на вход секции *TV-3* компрессора *B-103*, другой – на вход секции *TV-2* компрессора *B-102*.

Предусмотрено регулирование давления на входе секции *TV-2* клапаном регулятора поз. 5322 приложения Б со сбросом избыточного количества газа на факел  $0,5 \text{ кгс/см}^2$ .

Секция *TV-2* компрессора *B-102* имеет две ступени сжатия, каждая из которых состоит из двух цилиндров. Газ, поступающий на вход секции *TV-2* компрессора *B-102*, подается в предварительный сепаратор *ПС-102 TV-2*.

После предварительного сепаратора синтез-газ поступает на вход первой ступени *TV-2*, имеющей два цилиндра. После сжатия в цилиндрах первой ступени синтез-газ подается последовательно в холодильник

Х-102/1 *TV*-2 и сепаратор С-102/1 *TV*-2. После сепаратора синтез-газ поступает на вход второй ступени *TV*-2.

После второй ступени синтез-газ подается последовательно в холодильник Х-102/2 *TV*-2, сепаратор С-102/2 *TV*-2 и далее через фильтр Ф-3/2 на отделение ПМА.

Для предотвращения останова компрессора В-102 (В-102р) из-за превышения давления в коллекторе синтез-газа предусмотрен регулирующий клапан поз. 5323 приложения Б, предназначенный для сброса избыточного давления с коллектора синтез-газа на факел 0,5 кгс/см<sup>2</sup>.

#### **4.5 Описание схемы сжатия водорода 99 % на секции *TV*-3**

Водород 99 % после сепараторов четвертой фазы блока «Монсанто» поступает во всасывающий коллектор *TV*-3 компрессора В-102, имеющей три ступени сжатия, и далее в предварительный сепаратор ПС-102 *TV*-3.

После предварительного сепаратора водород 99 % поступает на вход первой ступени *TV*-3, имеющей один цилиндр. После сжатия в цилиндре водород 99 % подается последовательно в холодильник Х-102/1 *TV*-3 и сепаратор С-102/1 *TV*-3, после чего поступает на вход второй ступени *TV*-3. Для обеспечения пуска, остановки и регулирования производительности предусмотрен байпас с нагнетания первой ступени на вход, имеющий ручную арматуру и регулирующий клапан (смонтированный последовательно) для дистанционного управления.

После сжатия в цилиндре второй ступени водород подается последовательно в холодильник Х-102/2 *TV*-3 и сепаратор С-102/2 *TV*-3, после чего поступает на вход третьей ступени *TV*-3.

После сжатия в цилиндре третьей ступени *TV*-3 водород подается последовательно в холодильник Х-102/3 *TV*-3 сепаратор С-102/3 *TV*-3 и далее в коллектор водорода 99 %.

Для обеспечения пуска, остановки и регулирования производительности предусмотрен байпас с нагнетания третьей ступени на вход, имеющий ручную арматуру и регулирующий клапан (смонтированный последовательно) для дистанционного управления.

Для предотвращения останова компрессора В-102 (В-102р) из-за превышения давления в коллекторе 99 % водорода предусмотрен регулирующий клапан поз. 5324 приложения Б, предназначенный для сброса избыточного давления с коллектора 99 % водорода на факел 0,5 кгс/см<sup>2</sup>.

Далее водород 99 % поступает в фильтр Ф-3/1.

Давление в коллекторе водорода 99 % поддерживается клапаном поз. 5324/1 приложения Б со сбросом избытка водорода 99 % в коллектор водорода 98 % после сепараторов третьей фазы блока «Монсанто» или на факел 0,5 кгс/см<sup>2</sup>.

#### **4.6 Описание работы главного электродвигателя**

Главный электродвигатель компрессора В-102 жестко соединен с двумя коленчатыми валами.

Главные электродвигатели во время работы обдуваются воздухом, который подается при помощи вентиляционных систем ПЭ-10, ПЭ-10/1 с частичным сбросом давления воздуха из кожуха двигателя через шибер в атмосферу. Создаваемое избыточное давление в приемке главного двигателя препятствует попаданию взрывоопасной среды к искрящим деталям электродвигателя. Для охлаждения воздуха в ямах мотора предусмотрены калориферы для охлаждения циркулирующего воздуха оборотной водой.

#### **4.7 Описание работы системы смазки кривошипно-шатунного механизма**

Подвод масла к подвижным частям механизмов движения осуществляется посредством циркуляционной смазки по замкнутому контуру: маслобак, фильтр грубой очистки, шестеренчатый насос для перекачки масла, фильтр магнитной очистки, фильтр тонкой очистки, холодильник масла, маслопроводы, смазываемые узлы механизма движения, картер компрессора, маслобак.

После холодильника масло к смазываемым узлам компрессора подводится по коллекторам, расположенным в картерах компрессора. От каждого коллектора масло по отдельным трубопроводам подводится к коренным подшипникам вала и крейцкопфам. Далее масло стекает в картер. Собирающееся в картере масло возвращается в маслобак самотеком.

Давление масла устанавливается с помощью регулирующих вентилях, установленных на байпасных трубопроводах, соединяющих коллектора с маслобаком

На шестеренчатый насос установлен перепускной клапан. При превышении установочного давления клапана, масло в насосе сливается в маслобак.

#### **4.8 Описание работы системы смазки поршневой группы**

Смазка поршневых групп осуществляется при помощи лубрикаторов. Лубрикаторы позволяют регулировать количество масла, подаваемого для каждой точки смазки. Перед каждой точкой смазки установлен обратный клапан с контрольным краником для проверки подачи масла.

Рабочие поверхности цилиндров и сальников секций *TV-2*, *TV-3* компрессора В-102 смазываются при помощи трех лубрикаторов. Рабочие поверхности цилиндров и сальников секции *TV-1* работают без смазки.

## **4.9 Описание работы системы охлаждения компрессора**

В качестве охлаждающего агента для охлаждения цилиндров компрессоров и межступенчатых холодильников газа, а также охлаждения приводного двигателя и холодильника масла используется обратная вода. Вода к компрессорам подается по коллекторам, из которых равномерно распределяется между цилиндрами компрессоров и холодильниками.

Отвод воды осуществляется так же по коллекторам, которые соединены с межступенчатыми холодильниками, холодильниками масла и приводного двигателя трубопроводами, имеющими запорную арматуру.

## **4.10 Описание работы межступенчатых аппаратов**

Межступенчатые сепараторы для отделения из газа воды и масла представляют собой инерционные аппараты с тангенциальным вводом газа.

Для охлаждения газа применяются кожухотрубные холодильники с плавающей головкой. Расположены холодильники горизонтально.

В холодильниках ступеней низкого давления газ подается в межтрубное пространство, а охлаждающая вода в трубное. В холодильниках ступеней высокого давления подача газа производится в трубное пространство, охлаждающей воды – в межтрубное [7].



Канал виброизмерительный может использоваться в многоканальных измерительных системах (например, ТИК-RVM).

Для регистрации вибраций рабочих поверхностей используется датчик виброускорения *DV-1*, который в комплекте с усилителем заряда *AV 112* представляет собой канал виброизмерительный ИКВ-1-1-2. Технические характеристики данного канала приведены в таблице 5.1.

Для регистрации смещения штока используется датчик виброперемещения *DS-1 (DS-2, DS-3)*, который в комплекте с усилителем заряда *AS 141* представляет собой канал виброизмерительный ИКВ-1-4-1. Технические характеристики данного канала приведены в таблице 5.2.

Для регистрации частоты вращения вала используется датчик виброперемещения *DS-1 (DS-2, DS-3)*, который вместе с усилителем заряда *AS 141/DSx* представляет собой канал виброизмерительный ИКВ-1-4-1.1. Технические характеристики данного канала приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.1 – Технические характеристики ИКВ-1-1-2

Наименование характеристик	Значения по ТУ
Диапазон измерения амплитуды виброускорения, м/с <sup>2</sup>	0–2; 0–10; 0–30; 0–100; 0–200; 0–300; 0–500; 0–1000
Диапазон частот измерения амплитуды виброускорения, Гц	3–10000
Постоянное напряжение на выходе, В	12 ± 0,2
Максимальное амплитудное значение переменного напряжения, измеряемое каналом виброизмерительным, В	~2,0

Таблица 5.2 – Технические характеристики ИКВ-1-4-1

Наименование характеристик	Значения по ТУ
Диапазон измерения осевого сдвига, мм Для <i>DS-1</i> Для <i>DS-2</i> Для <i>DS-3</i>	0,25–2,75 0,5–5,5 5,5–9,5 (1-9)
Время цикла измерений канала, с с перемычкой без перемычки	0,0005 1
Установочный зазор между вихретоковым преобразователем и контролируемой поверхностью, мм для <i>DS-1</i> для <i>DS-2</i> для <i>DS-3</i>	1,5 ± 0,2 3 ± 0,2 5,5 (5) ± 0,2
Напряжение питания каналов виброизмерительных с выходным сигналом от 4 до 20 мА, В	10–24

Таблица 5.3 – Технические характеристики ИКВ-1-4-1.1

Наименование характеристик	Значения по ТУ
Максимальный диапазон измерения частоты вращения, об/мин	240–16000
Время цикла измерений при детектировании метки, мкс	500
Установочный зазор между вихретоковым преобразователем и контролируемой поверхностью, мм Для <i>DS-1</i> Для <i>DS-2</i> Для <i>DS-3</i>	1,0 ± 0,2 2,0 ± 0,2 3,0 ± 0,2
Напряжение питания каналов виброизмерительных с выходным сигналом от 4 до 20 мА, В	10–24

Канал виброизмерительный ИКВ-1-2-1 (исп. А, Б, В) состоит из вибропреобразователя *DV-1* (исп. 00, 02, 04, 05, 06, 07, 08) с маркировкой «0ExiaIICT6», выносного одноканального усилителя заряда *AV121*, входящего в состав блока измерительного, и внешнего модуля блока измерительного - барьера *TIK BIS-5x-7* или *TIK-BIS-12-1* с маркировкой «[Exib]IIС». Канал виброизмерительный ИКВ-1-2-1 (исп. Е) состоит из преобразователя с выходом от 4 до 20 мА с маркировкой взрывозащиты не ниже «0Exia», блока измерительного, и внешнего модуля блока измерительного – барьера *TIK BIS-5x-7* или *TIK-BIS-12-1* с маркировкой «[Exib]IIС».

Канал виброизмерительный ИКВ-1-4-1 преобразует изменение добротности контура в электрический сигнал. Так как зависимость изменения добротности контура от величины зазора между катушкой вихретокового преобразователя и металлическим диском нелинейная, преобразователь *AS 141* (*AS 1412*) приводит зависимость к линейному виду методом кусочно-линейной аппроксимации, а затем производит преобразование в формат от 4 до 20 мА.

В каналах измерительных ИКВ-1-4-1 существует два режима работы, которые переключаются с помощью перемычки. С перемычкой время измерения осевого сдвига составляет 0,0005 с, без перемычки 1 с.

Принцип работы канала ИКВ-1-4-1.1 аналогичен каналу ИКВ-1-4-1, но с помощью перемычки изменяются режимы работы. В каналах виброизмерительных ИКВ-1-4-1.1 с перемычкой измеряемый параметр – детектирование метки, без перемычки измеряемый параметр – частота вращения. В режиме работы в качестве детектора метки минимальной величине зазора соответствует ток 4 мА, а максимальной – 20 мА.

Коэффициент преобразования и время цикла измерений указаны в паспорте на канал виброизмерительный. Канал виброизмерительный с вихревыми преобразователями *DS-1*, *DS-2*, *DS-3* во всех вариантах исполнения имеет одинаковый общий описанный выше принцип работы. Преобразователи

вихретоковые *DS-1*, *DS-2* и *DS-3* отличаются диаметром катушки и измерительным диапазоном [9].

### 5.3 Описание аппаратуры ТИК-PLC

Устройством связи с объектов выступает контроллеры *TIK-PLC 241* исп.02

Контроллер позволяет производить измерения:

- мгновенных значений виброускорения;
- среднего квадратичного значения (СКЗ) виброскорости;
- осевого смещения;
- тока от датчиков с выходом от 4 до 20 мА;
- температуры.

Контроллер работает в непрерывном режиме.

Технические характеристики контроллера *TIK-PLC 241* исп.02 приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Технические характеристики контроллера *TIK-PLC 241* исп.02

Наименование	Значение
Аналоговый вход	
Тип входного канала	Один канал от 4 до 20 мА и один двухпроводный канал по напряжению (с двумя вариантами коммутации)
Вход от 4 до 20 мА	
Время усреднения входного сигнала от 4 до 20 мА, с	0,3
Частота оцифровывания входного сигнала, Гц	30000

Таблица 5.4 – Продолжение

Вход двухпроводный по напряжению	
Диапазон рабочих частот:	
СКЗ виброскорости, Гц	10 ÷ 1000
Оцифрованный входной сигнал, Гц	0 ÷ 10000
Диапазон измерения СКЗ виброскорости, мм/с	0,05–1, 0,1–3, 0,3–10, 1,0–20, 1–30, 2–50, 3–100
Дискретный вход	
Количество дискретных входных каналов в составе крейта	8
Характеристики дискретных входных каналов в составе крейта	
уровень лог. 0	от 0 до 4 В
уровень лог. 1	от 6 до 24 В
Дискретный выход	
Количество релейных выходов	12
Тип релейного выхода в составе крейта	Нормально замкнутый или нормально разомкнутый
Цифровой интерфейс	
Интерфейс цифрового канала в составе крейта	RS-485
Протокол цифрового канала в составе крейта	MODBUS-TCP, IPv.4 MODBUS-RTU
Общие характеристики	
Напряжение питания (постоянный ток), В	(+24±2) (+6±0,2) (+5±0,2)

Контроллер *TIK-PLC 241* исп.02 изображен на рисунке 5.1. Устройство имеет двухпроводный канал по напряжению для подключения канала виброизмерительного ИКВ-1-1-2 и вибропреобразователя *DVA 132*.

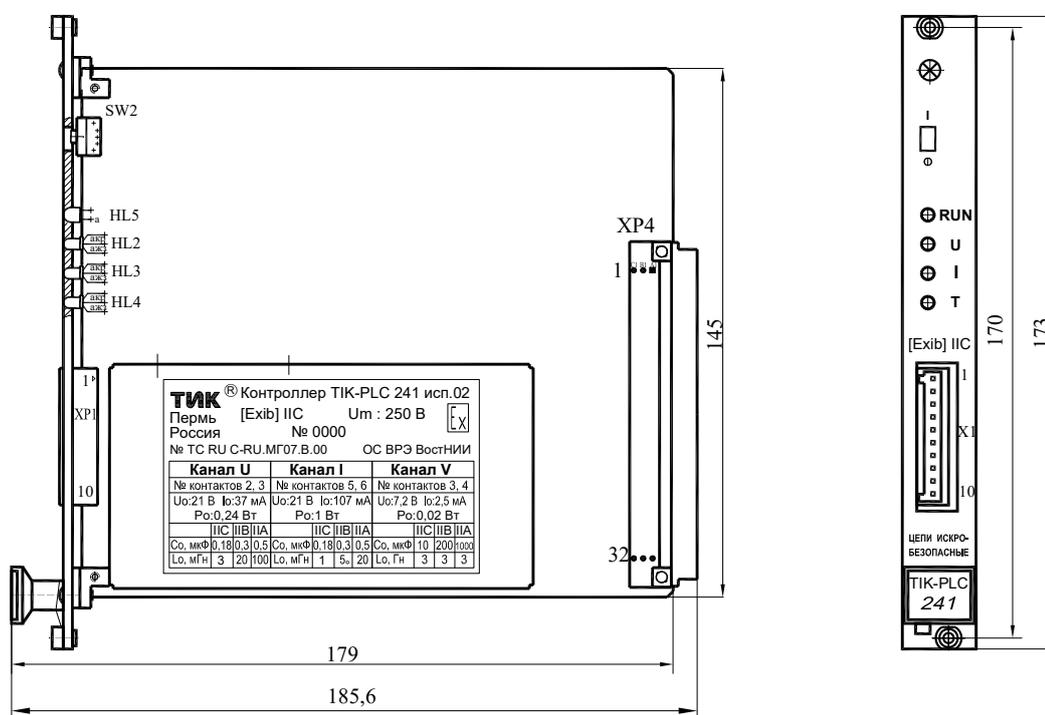


Рисунок 5.1 – Внешний вид контроллера *TIK-PLC 241* исп.02

На передней панели контроллера расположены светодиодные индикаторы «RUN», «U», «I», «T», тумблер *SW2* включения/выключения контроллера и разъем *X1* для подключения внешних входных цепей.

Светодиод «RUN» предназначен для индикации работы контроллера. Светодиоды «U», «I», «T» предназначены для индикации состояния входных измерительных каналов двухпроводных по напряжению, токовой петли и термопреобразователей сопротивления соответственно.

Принцип работы контроллера основан на преобразовании сигналов от первичных преобразователей в унифицированный сигнал, последующее аналого-цифровое преобразование сигнала, сравнение с уставками и выдача текущих значений по входным измерительным каналам и признаков их состояния по цифровым интерфейсам связи (в составе крейта).

При подключении канала виброизмерительного ИКВ-1-1-2 или датчика *DVA 132* к входу по напряжению контроллера *TIK-PLC 241* исп. 02 по цифровым каналам связи (в составе крейта) будет передаваться информация об СКЗ виброскорости и оцифрованный сигнал виброускорения.

Для входного канала от 4 до 20 мА по цифровым каналам связи (в составе Крейта) передается значение тока в токовой петле.

Контроллер *TIK-PLC 371* имеет аналогичные характеристики, но в добавок ко всему еще и канал для подключения термосопротивлений. Характеристики данного канала приведены в таблице 5.5 [10].

Таблица 5.5 – Характеристики канала термосопротивления контроллера *TIK-PLC 371*

Наименование	Значение
Диапазон измеряемых температур	от -50 до 200 °С
Типы термосопротивлений	Cu 50, Cu 100, Pt 100

#### 5.4 Описание программного обеспечения системы ТИК-RVM

Для обеспечения гибкости и расширяемости программное обеспечение системы ТИК-RVM также построено по модульному принципу. Обновление и добавления модулей, расширяющих функционал системы, не приводит к переконфигурированию всего комплекса.

Основными модулями системы являются:

- модуль связи с БД;
- модуль конфигурирования системы;
- модуль ручной/автоматической диагностики;
- модуль взаимодействия с пользователями системы (АРМ оператора);
- модуль формирования и печати отчетов;
- модули связи с оборудованием.

СУБД в системе ТИК-RVM занимает центральное место и осуществляет функции хранения конфигурации системы, диагностической информации, исторических данных и иной, необходимой для работы системы, информации. Все пользователи системы подключаются к единой СУБД (SQL) чем обеспечивается целостность данных и легкость наращивания дополнительных рабочих мест.

Пользователь взаимодействует с системой с помощью АРМ оператора. Информация предоставляется на экране компьютера, при этом все вводимые им параметры и команды проходят проверку на корректность. Таким образом, пользователь не имеет возможности произвести действия, нарушающие корректную работу системы или приводящие к потере данных.

Система имеет развитую систему отчетности, позволяющую пользователю просматривать на экране компьютера, сохранять в виде электронных документов (Excel), или распечатывать отчетную документацию. Шаблоны отчетных документов формируются пользователем с использованием офисного пакета MS Office.

Каждый пользователь имеет собственные права доступа, назначаемые при конфигурировании системы, таким образом, пользователь может повлиять только на те параметры системы, к которым, ему открыт доступ. Пользователи, не прошедшие авторизацию, не имеют доступа к системе, либо имеют доступ только на чтение, что (определяется настройками безопасности).

Обновление ПО системы происходит при помощи съемных носителей на основе версий ПО. При этом замена большинства модулей системы не приводит к остановке мониторинга и диагностики оборудования.

Система ТИК-RVM позволяет производить оперативный сбор и анализ параметров измеряемых сигналов и осуществляет диагностику технического состояния агрегатов, как по сообщениям экспертной программы (модуль *ТИК-Эксперт*), так и по текущим значениям измеренных параметров. Модуль обеспечивает автоматическую обработку собранной информации с целью

оценки технического состояния контролируемого оборудования и выявления неисправностей динамического оборудования. Перечни автоматически выявляемых неисправностей для различных видов динамического оборудования приведены в Приложении Г.

Хранение данных в системе ТИК-RVM выполнено в базе данных (*MS SQL*), в ней хранятся текущие измеренные значения, журналы событий, статус агрегата, диагностические сообщения.

Экспертная диагностическая программа, установленная на диагностической станции, позволяет проводить диагностику оборудования, как в автоматическом режиме, так и в ручном.

Программный комплекс, который контролирует работу системы на третьем уровне, называется «ТИК-Эксперт». В задачу этого комплекса входит запись сигналов датчиков в базу данных, выполнение правил диагностирования работы агрегата, взаимодействие с оператором, настройка системы оператором. Схема структуры и потоков обмена информации приведена на рисунке 5.2.

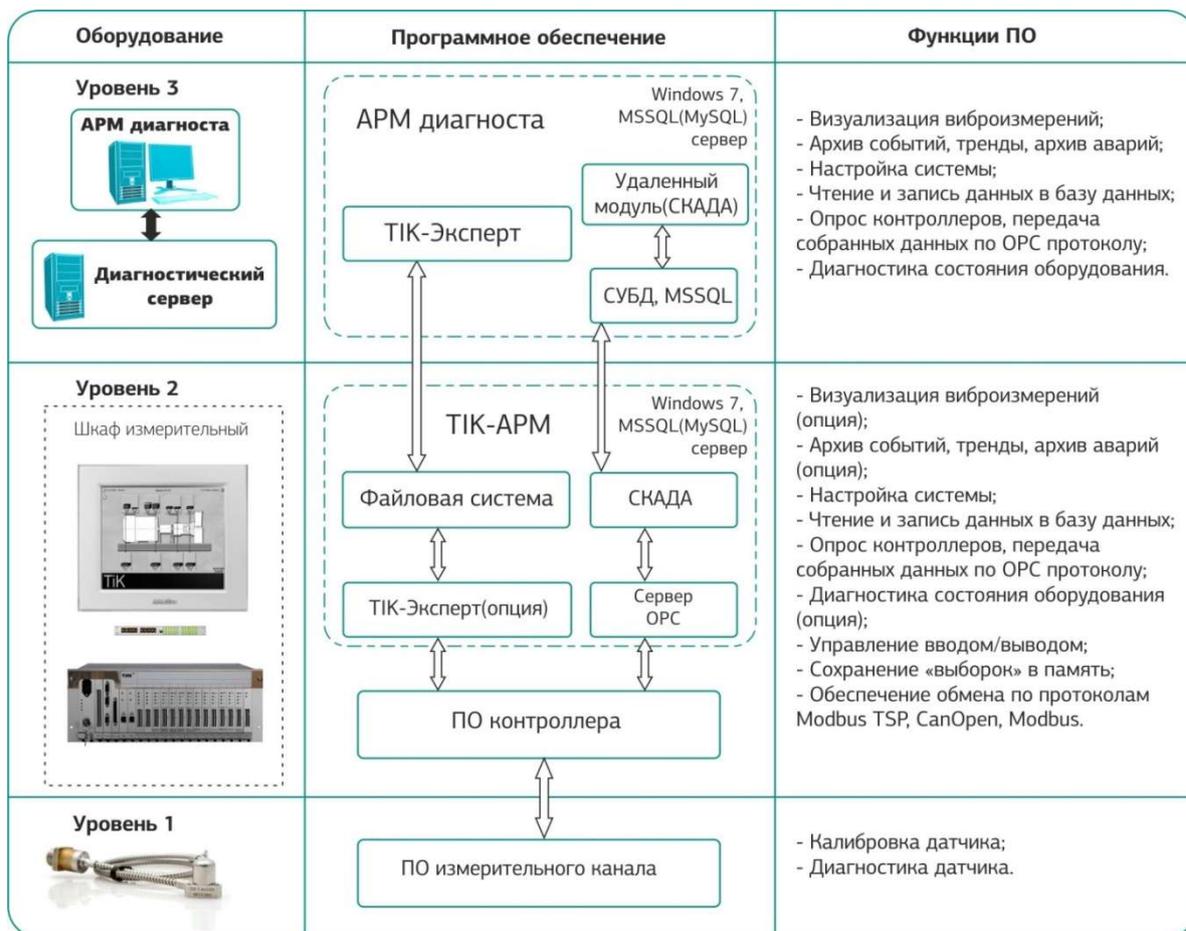


Рисунок 5.2 – Структура программного обеспечения системы TIK-RVM

В данной программе производится создание и редактирование структуры объекта автоматизации. Объект представляется в виде многоуровневого списка. Каждому уровню соответствует цех, агрегат, узел или деталь объекта автоматизации. Количество уровней может изменяться в зависимости от объекта.

Каждый объект списка обладает свойствами. Свойства – какие-либо характеристики объекта. Свойствами могут быть как модель агрегата, так и уровень его вибраций, например. Свойства могут быть изменены в процессе редактирования объекта в конфигураторе, в процессе выполнения правил или им могут быть присвоены значения, соответствующие показаниям установленного на агрегате датчика.

Правила – алгоритм производящий обработку данных в ходе работы системы. Правила создаются с помощью блоков FBD. Создание правил осуществляется в специальной вкладке программы «Конфигуратор». В конфигураторе присутствует ряд стандартных правил (математические, логические функции, различные преобразование сигналов и данных), на основе которых можно создавать другие более сложные правила. Созданные таким способом правила являются основой вибродиагностики агрегатов [11].

Ниже приведен список дефектов, которые система выявляет на данный момент.

Неисправности роторных машин (центробежные насосы):

- дисбаланс ротора;
- дефекты рабочих колёс.

Дефекты подшипников:

- недостаток (ненадлежащее качество) масла (смазки);
- перекос;
- ослабление;
- дефект внешней обоймы;
- дефект внутренней обоймы;
- дефект тел качения;
- дефект сепаратора.

Неисправности силовой передачи:

- дефекты муфты.

Неисправности агрегата:

- нарушение центровки валов.

Электрические дефекты:

- дефекты статора;
- дефекты ротора.

Температурные неисправности:

- перегрев;
- неравномерность нагрева.

Количество и функции правил диагностики постоянно увеличиваются.

Привязка свойств к датчикам, установленным на агрегате, производится во вкладке настройки ввода. В настройках задается сетевой адрес крейта системы ТИК-RVM и период опроса данных. Также в настройках к регистрам крейта или к каналам ТИК-PLC привязываются свойства. Обычно это свойства, соответствующие показаниям датчика, установленного на агрегате. Помимо этого, здесь задаются границы входных сигналов пределы измерения датчиков. На основе этих данных осуществляется преобразование сигнала в значение соответствующей ему физической величины.

Помимо этого, есть другие настройки проекта, базы данных подшипников агрегата, необходимая для работы правил, и средства представления данных в удобном программисту виде, например, в виде трендов.

Функционал системы постоянно растет и может изменяться в зависимости от требований предприятия, для которого производится система вибродиагностики [12].

## **5.5 PV-диаграммы**

Отличительной особенностью систем вибродиагностики, предоставляемых компанией ООО НПП «ТИК», является возможность предоставления PV-диаграмм для поршневых агрегатов.

На одной из осей диаграммы откладывается значение давления в рабочей области в каждый конкретный момент времени. На другой – объем рабочей области в соответствующий момент.

Значение давления принимается с датчика давления, установленного в рабочей области.

Объем рабочей области определяется исходя из положения поршня и известной площади поршня. Положение поршня определяется по положению зубчатого колеса, установленного на коленчатом вале. Для каждого из

поршней устанавливается угол поворота зубчатого соответствующий верхней мертвой точке поршня. С помощью установленного на зубчатом колесе фазоотметчика определяется положение каждого из поршней в любой момент времени.

На рисунке 5.3 представлен пример  $PV$ -диаграммы. Процесс 1-2 соответствует сжатию газа, 2-3 – выходу сжатого газа из цилиндра, 3-4 – расширению остатков газа в цилиндре, 4-1 – всасыванию газа в цилиндр.

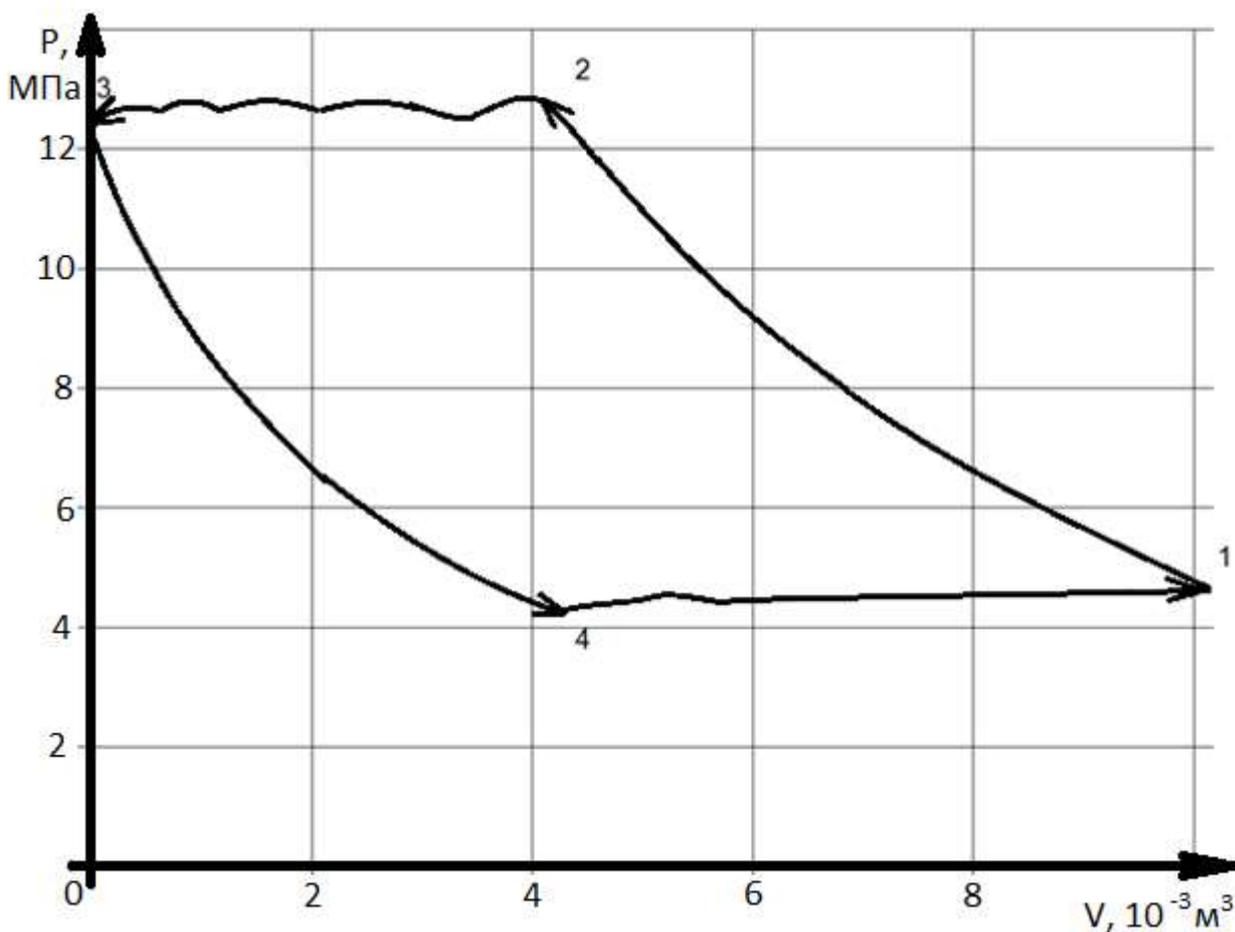


Рисунок 5.3 –  $PV$ -диаграмма работы поршня

На представленном рисунке показана диаграмма работы поршня в нормальном режиме. Неравномерность давления при входе и выходе газа из цилиндра обусловлено трением, создаваемым реальным газом, при работе агрегата. Помехи при сжатии и расширении газа свидетельствуют и неисправности соответствующего клапана.

Кроме этого площадь диаграммы соответствует полезной работе цилиндра за один оборот. Зная полезную работу каждого цилиндра и энергию, затраченную на работу главного двигателя, можно определить коэффициент полезного действия установки. Данный параметр показывает рентабельность работы агрегата с экономической точки зрения.

## 7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 7.1 Введение

Заданием на выполнение ВКР является разработка системы ПАЗ поршневого компрессора В-102 АО «Сибур-Химпром».

Согласно действующим нормативам, роторное оборудование, используемое в промышленности, должно быть оборудовано системой непрерывного неразрушающего контроля (мониторинга) оборудования, что связано с высокой мощностью оборудования и требованиями безопасности. Разрабатываемая система должна реализовывать данный неразрушающий контроль.

Расчет эффективности данной разработки будет осуществляться в интересах предприятия-производителя ООО НПП «ТИК».

### 7.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Существует большое число систем вибродиагностики как отечественного производства, так и зарубежного. Сравнение систем по экономическим критериям довольно сложная задача, так как стоимость системы для каждого проекта различно и определяется только на стадии ее разработки.

Инв. № подл.	Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.421452.020ПЗ			
									Лит.
Инв. № дубл.	Разраб.	Чудюкин				Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение			
	Пров.	Еремин							
	Консульт.	Быкова							
	Н. контр.	Ефремов							
	Утв.	Горюнов							
Взам. инв. №							ТПУ ФТИ Группа 0712		
Инв. № инв.									
Подп. и дата									
Подп. дата									

Анализ систем вибродиагностики был проведен с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 7.1. В качестве первого конкурента был выбран стационарный комплекс вибрационного контроля и защиты роторного оборудования РУБИН-М2 компании «Диамех». Вторым конкурентом выбрана система компьютерного мониторинга для предупреждения аварий и контроля состояния КОМПАКС производимая НПЦ «Динамика».

Таблица 7.1 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1 Максимальное количество каналов измерений	0,07	5	1	3	0,35	0,07	0,21
2 Время принятия решения	0,08	3	5	1	0,24	0,4	0,08
3 Частотный диапазон измерений	0,05	4	5	3	0,2	0,25	0,15
4 Период опроса датчиков	0,05	4	5	2	0,2	0,25	0,1
5 Количество выявляемых диагнозов	0,1	5	3	5	0,5	0,3	0,5
6 Гибкость системы	0,08	5	2	4	0,4	0,16	0,32
7 Быстрота работы системы	0,07	2	5	4	0,14	0,35	0,28
8 Наличие дополнительных функций	0,07	5	3	4	0,35	0,21	0,28

Таблица 7.1 – Продолжение

9	Количество используемых датчиков	0,08	5	3	3	0,4	0,24	0,24
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>								
1	Уровень проникновения на рынок	0,05	5	3	5	0,25	0,15	0,25
2	Цена	0,08	3	5	4	0,24	0,4	0,32
3	Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	5	3	5	0,3	0,18	0,3
4	Послепродажное обслуживание	0,06	5	5	5	0,3	0,3	0,3
5	Наличие сертификации	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
	<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>61</b>	<b>53</b>	<b>53</b>	<b>4,37</b>	<b>3,76</b>	<b>3,83</b>

По результатам проведенного анализа с использованием приведенных критериев оценки было выявлено, что конкурентоспособность разработки выше конкурентоспособности аналогичных технических решений конкурентов. К преимуществам разработки можно отнести большое количество каналов входных сигналов, гибкость системы и низкую стоимость.

### 7.3 SWOT-анализ

Анализ конкурирующих разработок, которые представлены на рынке, необходимо проводить, так как рынки находятся в постоянном движении. Такой анализ важен, так как проводится оценка сравнительной эффективности научной разработки, и определяются направления для ее будущего повышения.

Для составления итоговой матрицы SWOT-анализа необходимо определить сильные и слабые стороны проекта, угрозы и возможности проекта, а также взаимную корреляцию между ними. Итоговая матрица SWOT-анализа приведена в таблице 7.2.

По итогам SWOT-анализа можно судить, что, несмотря на наличие слабостей и угроз для проекта, существуют стратегии, направленные на минимизирование влияния этих факторов. Так же установлено, что выявленные сильные стороны проекта и возможности позволяют разработать стратегии, при которых возможно увеличение коммерческой ценности проекта ВКР.

Таблица 7.2 – Матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны:</b>  С1. Ряд функций, которых нет у конкурентов  С2. Большое число точек контроля  С3. Соответствие техническим требованиям заказчиков  С4. Использует уже используемые наработки  С5. Возможность улучшения и расширения функционала системы  С6. Масштабируемость системы</p>	<p><b>Слабые стороны:</b>  Сл1. Большое число датчиков  Сл2. Необходимость хранить большой объем информации</p>
<p><b>Возможности:</b>  В1. Использование инфраструктуры ООО НПП «ТИК» г. Пермь  В2. Повышение стоимости конкурентных разработок  В3. Увеличение числа клиентов  В4. Предложение существующим клиентам обновленные разработки</p>	<p>Предложение текущим клиентам предприятия разработанной системы  Проведение гибкой ценовой политики, выгодной для клиентов  Производить исследования в целях найти новые способы контроля</p>	<p>Произвести работу по оптимизации используемых ресурсов</p>
<p><b>Угрозы:</b>  У1. Возможность появления на рынке конкурентных разработок  У2. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции</p>	<p>Проводить постоянный анализ существующего рынка с целью реагирования на внешние изменения  Повышение имиджа предприятия за счет производства качественной продукции</p>	<p>Использование современного оборудования для увеличения продолжительности конкурентного состояния разработки</p>

#### 7.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения. Для этого необходимо заполнить специальную форму, представленную в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Бланк оценки степени готовности проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1 Определен имеющийся научно-технический задел	5	4
2 Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	3
3 Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	4
4 Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	5	3
5 Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	3
6 Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	2
7 Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	5	4

Таблица 7.3 – Продолжение

8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	4	1
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	5	3
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	1
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	2
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	4	2
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	2
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	5	5
15	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	Итого	65	44

По результатам оценки можно сделать вывод, что такая разработка считается перспективной, а знания разработчика средние. Таким образом, данная разработка готова к коммерциализации, а недостаточные знания разработчика объясняются ограниченным функционалом, входящим в обязанности разработчика. Однако на предприятии ООО НПП «ТИК» имеются специалисты, обладающие требуемыми компетенциями.

### **7.5 Методы коммерциализации результатов разработки**

Компания ООО НПП «ТИК» является одной из ведущих российских компаний по разработке и производству приборов и систем контроля и

диагностики промышленного оборудования по параметрам вибрации и температуры. Основными потребителями являются предприятия АК «Транснефть», ОАО «Газпром», АО «Сибур-Химпром», нефтеперерабатывающие и химические предприятия.

В качестве метода коммерциализации разработок используется инжиниринг как самостоятельный вид коммерческих операций. Инжиниринг предполагает предоставление на основе договора одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствованием имеющихся производственных процессов вплоть до внедрения изделия в производство и даже сбыта продукции.

В составе ООО НПП «ТИК» имеется отдел маркетинга и рекламы, к функциям которого, помимо прочего, относится продвижение продукции на рынок. Внедрение новой разработки на рынок осуществляется следующими методами:

- информирование действующих клиентов о выпуске новой продукции;
- участие в тематических, выставках, конференциях, семинарах с демонстрацией серийно выпускаемой продукции и прототипов разрабатываемых приборов и оборудования;
- выезд к потенциальным клиентам и проведение презентаций;
- рассылка рекламных брошюр, публикации статей в специализированных журналах.

## **7.6 Инициация проекта**

Инициация проекта состоит из процессов, которые выполняются для нового проекта или новой стадии проекта. Для этого определяются начальные

цели, содержание, фиксируются ресурсы. Также определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта. Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
ООО НПП «ТИК»	Разработка системы ПАЗ
АО «Сибур-Химпром»	Внедрение системы ПАЗ

В таблице 7.5 представлена информация об иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 7.5 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработка системы ПАЗ
Ожидаемые результаты проекта:	ФСА, схема КТС, алгоритм работы системы ПАЗ
Критерии приемки результата проекта:	Соответствие системы ПАЗ требованиям ГОСТ Р 56233-2014, требованиям заказчика, наработкам предприятия
Требования к результату проекта:	Осуществление вибродиагностики агрегата в соответствии с ГОСТ Р 56233-2014
	Возможность формирования диагнозов узлов агрегата: <ul style="list-style-type: none"> <li>– системы смазки;</li> <li>– подшипники двигателя;</li> <li>– обмотки двигателя.</li> </ul>
	Возможность построения PV-диаграмм

Рабочая группа проекта отображена в таблице 7.6.

Таблица 7.6 – Рабочая группа проекта

ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо- затраты, ч
Еремин И.В., ООО НПП «ТИК», начальника отдела АСУТП	Руководитель	Постановка задачи, контроль выполнения работ, Консультирование исполнителей	40
Чубукин А.В., ООО НПП «ТИК», инженер- программист	Исполнитель	Разработка ФСА, схемы КТС, алгоритма работы системы ПАЗ	368

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта. Все ограничения проекта представлены в таблице 7.7.

Таблица 7.7 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
Бюджет проекта, р.	20000000,00
Источник финансирования	АО «Сибур-Химпром»
Сроки проекта:	
Дата утверждения плана управления проектом	01.11.2016
Дата завершения проекта	25.12.2016

## 7.7 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта. Календарный план представлен в таблице 7.8.

Таблица 7.8 – Календарный план-график проведения проекта

Вид работы	Исполнители	Т <sub>к</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ, недели									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1 Составление ТЗ	Руководитель	3	█									
	Исполнитель	1	█									
2 Анализ существующей ПАЗ	Исполнитель	3		█								
3 Изучение средств и алгоритмов вибродиагностики	Исполнитель	3			█							
4 Выбор контролируемых параметров	Исполнитель	5				█						
5 Разработка ФСА	Исполнитель	8					█					
6 Разработка схемы КТС	Исполнитель	4						█				
7 Разработка алгоритма диагностики	Исполнитель	2							█			
8 Оформление результатов	Исполнитель	8								█		
9 Проверка работы	Руководитель	2									█	
10 Внесение исправлений	Исполнитель	5										█

## 7.8 Бюджет проекта

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для выполнения исследования.

В данной научной разработке планируемыми расходами являются основная заработная плата, дополнительная заработная плата, отчисления на социальные нужды, а также расходы на электроэнергию при работе с компьютером.

### 7.8.1 Расчет затрат на сырье, материалы, комплектующие

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов. Эти затраты определяются по выражению:

$$Z_{\text{мат}} = N_{\text{рас}} \cdot Ц, \quad (1)$$

где  $N_{\text{рас}}$  – норма расхода на единицу;

$Ц$  – цена, р.

В таблице 7.9 приведен перечень с комплектующих, необходимых для реализации системы вибродиагностики

Таблица 7.9 – Расчет затрат на комплектующие изделия

Наименование	Количество	Цена за единицу, р.	Сумма, р.
Датчики:			
ИКВ-1-1-2	156 шт.	46704,40	7285886,40
Монтажный комплект для ИКВ-1-1-2	156 шт.	6726,00	1049256,00
ИКВ-1-4-1	24 шт.	38468,00	923232,00
ИКВ-1-4-1.1	1 шт.	38468,00	38468,00
Монтажный комплект для ИКВ-1-4-1	25 шт.	27824,40	695610,00
ТСМ метран-203	1 шт.	924,00	924,00
ТСМ метран-243	48 шт.	5335,00	256080,00
Расходомер <i>US800-10</i> + фланцевая врезка с датчиками	1 шт.	42000,00	42000,00
Датчик давления <i>DMP-457</i>	24 шт.	24 792,00	595008,00
Датчик давления <i>DMP-331P</i>	26 шт.	23 253,00	604578,00
ТК-RVM (1 крейт вместе с оборудованием)	6 шт.	704460,00	4226760,00
Программное обеспечение:			
Конфигуратор системы вибродиагностики	1 шт.	112100,00	112100,00
Всего за оборудование			15829902,40
Транспортно-заготовительные расходы			474897,07
Итого по статье $Z_{\text{мат}}$			16304799,47

## 7.8.2 Расчёт затрат на специальное оборудование

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Расчет затрат по данной статье приведён в таблице 7.10.

Таблица 7.10 – Расчет затрат на оборудование

Наименование оборудования	Количество единиц оборудования	Цена единицы оборудования, р.	Общая стоимость оборудования, р.
ЭВМ	1	20000	20000
Итого			20000
Сумма к амортизации			1153,84
Итого по статье $Z_{об}$			21153,84

На оборудование стоимостью больше 20000 рублей накладываются амортизационные отчисления. Срок полезного использования ЭВМ составляет 3 года. Рассчитаем линейным методом амортизационные отчисления за год:

$$Z_{год} = Z_{ЭВМ} = \frac{20000}{3} = 6666,67. \quad (2)$$

Амортизационные отчисления на срок проведения проекта (девять недель):

$$Z_{ам} = \frac{Z_{год}}{52} \cdot 9 = 1153,84. \quad (3)$$

### 7.8.3 Расчёт затрат на оплату труда

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (4)$$

где  $З_{\text{б}}$  – базовый оклад, р.;

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент;

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок;

$k_{\text{р}}$  – уральский районный коэффициент, равный 1,15.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (5)$$

где  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года, равное 11,2 месяца при отпуске в 24 рабочих дня и для пятидневной недели;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени (таблица 7.110).

Таблица 7.11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Количество дней
1 Календарное число дней	365
2 Количество нерабочих дней	
2.1 Выходные дни	104
2.2 Праздничные дни	14
3 Потери рабочего времени	
3.1 Отпуск	24
3.2 Невыходы по болезни	5
Действительный годовой фонд рабочего времени	223

В таблице 7.12 приведен расчет затрат на основную заработную плату исполнителей проекта.

Таблица 7.12 – Затраты на основную заработную плату

Исполнители	З <sub>б</sub> , р.	k <sub>пр</sub>	k <sub>р</sub>	З <sub>м</sub> , р.	З <sub>дн</sub> , р.	T <sub>к</sub> , дн.	З <sub>осн</sub> , р.
Руководитель	30000	2	1,15	69000	3465,47	5	17327,35
Исполнитель	10000	2	1,15	23000	1155,16	39	45051,12
Итого							62378,47

В таблице 7.13 указано распределение разбитной платы по этапам проектирования системы.

Таблица 7.13 – Расчет основной заработной платы

Этап	Исполнитель	Трудоемкость, чел.-дн.	З/п на один чел.-дн., р.	Всего з/п, р.
Составление ТЗ	Руководитель	3	3465,47	10396,41
	Исполнитель	1	1155,16	1155,16
Анализ существующей ПАЗ	Исполнитель	3	1155,16	3465,48
Изучение средств и алгоритмов вибродиагностики	Исполнитель	3	1155,16	3465,48
Выбор контролируемых параметров	Исполнитель	5	1155,16	5775,8
Разработка ФСА	Исполнитель	8	1155,16	9241,28
Разработка схемы КТС	Исполнитель	4	1155,16	4620,64

Таблица 7.13 – Продолжение

Разработка алгоритма диагностики	Исполнитель	2	1155,16	2310,32
Оформление результатов	Исполнитель	8	1155,16	9241,28
Проверка работы	Руководитель	2	3465,47	6930,94
Внесение исправлений	Исполнитель	5	1155,16	5775,8
Итого				62378,59

В статью затрат на дополнительную заработную плату включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков, выплата вознаграждения за выслугу лет и т. п. Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 12 % от основной заработной платы работников:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (6)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, р.

Статья отчислений на социальные нужды включает в себя отчисления во внебюджетные фонды:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (7)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, равный 35 %.

Полные затраты на оплату труда определяются выражением:

$$З_{\text{полн}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} + З_{\text{внеб}}. \quad (8)$$

В таблице 7.14 приведен расчёт затрат на основную и дополнительную заработную плату.

Таблица 7.14 – Затраты на заработную плату

Исполнители	З <sub>осн</sub> , р.	З <sub>доп</sub> , р.	З <sub>внеб</sub> , р.	З <sub>полн</sub> , р.
Руководитель	17327,35	2079,28	6792,32	26198,96
Исполнитель	45051,12	5406,13	17660,04	68117,29
Итого	62378,47	7485,42	24452,36	94316,25

#### 7.8.4 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. Накладные расходы составляют 70–90 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении проекта.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (9)$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов, принятый равным 0,8.

Затраты на накладные расходы составят:

$$C_{\text{накл}} = 0,8 \cdot (64688,79 + 7762,65) = 57961,16. \quad (10)$$

### 7.8.5 Прочие расходы

Под прочими расходами понимаются расходы на потребляемую электроэнергию. Полезный фонд времени работы всех устройств рассчитывается по формуле:

$$T_{\text{пол}} = T_{\text{общ}} \cdot t_{\text{см}} \cdot N_{\text{см}} \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{100}\right) = 43 \cdot 8 \cdot 1 \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 309,6. \quad (11)$$

где  $T_{\text{общ}}$  – общий фонд времени работы устройств, дни;

$N_{\text{см}}$  – количество смен работы устройств;

$t_{\text{см}}$  – время одного рабочего дня, ч;

$\alpha$  – простои, в процентах от общего фонда времени работы.

Расчет стоимости потребляемой энергии оценивается по формуле (12) и представлен в таблице 7.15.

$$S_{\text{эл}} = P \cdot T_{\text{пол}} \cdot Z_{\text{эл}}, \quad (12)$$

где  $P$  – мощность, потребляемая, кВт;

$T_{\text{пол}}$  – полезный годовой фонд работы, машинный час в год;

$Z_{\text{эл}}$  – тариф за 1 кВт·ч, равный 3,61 р.

Таблица 7.15 – Стоимость потребляемой энергии

Наименование	Потребляемая мощность, кВт.	Стоимость потребляемой энергии, р.
ЭВМ	0,065	72,65
Итого	0,065	72,65

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости проекта по форме, приведенной в таблице 7.16. Итоговая плановая себестоимость составила 16456233,61 р.

Таблица 7.16 – Группировка затрат по статьям

Вид работ	Основная з/п, р.	Доп. з/п, р.	Отчисления на соц. нужды, р.	Накладные расходы, р.	Материалы и комплектующие, р.	Затраты на спецоборудование, р.	Расходы на электроэнергию, р.	Итого себестоимость, р.
1	10396,41	1247,57	4075,39	9315,18	16304799,47	1153,84	72,65	25034,55
	1155,16	138,62	452,82	1035,02				2781,62
2	3465,48	415,86	1358,47	3105,07				8344,87
3	3465,48	415,86	1358,47	3105,07				8344,87
4	5775,8	693,10	2264,11	5175,12				13908,13
5	9241,28	1108,95	3622,58	8280,19				22253,00
6	4620,64	554,48	1811,29	4140,09				11126,50
7	2310,32	277,24	905,64	2070,05				5563,25
8	9241,28	1108,95	3622,58	8280,19				22253,00
9	6930,94	831,71	2716,93	6210,12				16689,70
10	5775,8	693,10	2264,11	5175,12	13908,13			
							Итого	16456233,61

## 7.9 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Список таких рисков и их оценка приведена в таблице 7.17.

Таблица 7.17 – Реестр рисков

Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Ур. риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
Отказ заказчика от проекта	Закрытие разработки	1	5	Средний	Использования универсальных методов для переноса наработки на другой проект	Банкротство заказчика, выход принципиально новых технологий
Невозможность выполнения требования заказчика	Изменение требований, закрытие разработки	1	3	Слабый	Тщательная проработка задания на стадии его проработки	Технические проблемы
Невыполнение проекта в срок	Штрафы, прекращение финансирования	3	3	Средний	Интенсивная и внеурочная работа	Систематическое отставание разработки от установленных сроков

## 7.10 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования.

Нахождение этого коэффициента связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности  $I_{\Phi}^P$  и ресурсоэффективности  $I_m^P$ .

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают  $I_{\Phi}^P$  в ходе оценки бюджета затрат для вариантов исполнения научного исследования.

Так как точные данные для реализации разработанной системы другим производителем получить нет возможности, для расчета финансового показателя воспользуемся данными тендера другого проекта (ПАО «НК «Роснефть»). Тем не менее, эти данные правильно отражают соотношение цен на разработку одинаковых систем разными компаниями.

Для взятого проекта цена составляет 315 822 221,38 рублей. В качестве аналога выступает проект на базе системы КОМПАКС, представленный НПЦ «Динамика». Стоимость данного решения составляет 292 334 201,09 рублей. Из этого следует, что затраты на данное решение будут являться наибольшим интегральным показателем реализации технической задачи  $\Phi_{max}$ .

Интегральный финансовый показатель аналога  $I_{\Phi}^A$  определяется (формула (13)):

$$I_{\Phi}^A = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{292\,334\,201,09}{315\,822\,221,38} = 0,93. \quad (13)$$

Интегральный финансовый показатель разработки  $I_{\Phi}^P$  (формула (14)):

$$I_{\Phi}^P = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{315\,822\,221,38}{315\,822\,221,38} = 1. \quad (14)$$

Показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения определяется как сумма произведений балла критерия на его оценку. Интегральный показатель ресурсоэффективности рассчитан в таблице 7.18.

Таблица 7.18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой коэффициент	Текущий проект	Аналог
1 Максимальное количество каналов измерений	0,11	5	3
2 Время принятия решения	0,12	3	1
3 Частотный диапазон измерений	0,08	4	3
4 Период опроса датчиков	0,08	4	2
5 Количество выявляемых диагнозов	0,15	5	5
6 Гибкость системы	0,12	5	4
7 Быстрота работы системы	0,11	2	4
8 Наличие дополнительных функций	0,11	5	4
9 Количество используемых датчиков	0,12	5	3
Итого	1	38	29

Расчет интегральных показателей ресурсоэффективности разработки и аналога приведен в формулах (15) и (16).

$$I_{\text{финр}}^p = 0,11 \cdot 5 + 0,12 \cdot 3 + 0,08 \cdot 4 + 0,08 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,12 \cdot 5 + 0,11 \cdot 2 + 0,11 \cdot 5 + 0,12 \cdot 5 = 4,27, \quad (15)$$

$$I_{\text{финр}}^p = 0,11 \cdot 3 + 0,12 \cdot 1 + 0,08 \cdot 3 + 0,08 \cdot 2 + 0,15 \cdot 5 + 0,12 \cdot 4 + 0,11 \cdot 4 + 0,11 \cdot 4 + 0,12 \cdot 3 = 3,32. \quad (16)$$

Интегральный показатель эффективности разработки  $I_{\text{финр}}^p$  определяется по формуле (17).

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p} = \frac{4,15}{1} = 4,27. \quad (17)$$

Интегральный показатель эффективности аналога  $I_{\text{финр}}^a$  определяется по формуле (18).

$$I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a} = \frac{3,56}{0,93} = 3,82. \quad (18)$$

Сравнение интегральных показателей эффективности текущего проекта и аналога позволяет определить сравнительную эффективность проекта  $\mathcal{E}_{\text{ср}}$  (формула (19)).

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a} = \frac{4,27}{3,82} = 1,12. \quad (19)$$

Результаты расчетов сравнительной эффективности проекта приведены в таблице 7.19.

Таблица 7.19 – Сравнительная эффективность проекта

Показатели	Разработка	Аналог
Интегральный финансовый показатель	1	0,93
Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,15	3,56
Интегральный показатель эффективности	4,15	3,82
Сравнительная эффективность проекта	1,19	

По полученным значениям можно утверждать, что эффективность проекта и его разработки немного выше аналогичного проекта компании НПЦ «Динамика». При этом стоит отметить, что снижение стоимости проекта НПЦ «Динамика» основано на уменьшение числа датчиков контроля, что скажется на качестве диагностирования дефектов. В то время компания НПЦ «ТИК» ориентирована на снижение стоимости датчиков для удешевления проекта без снижения его функциональных возможностей [13].