

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.04.04. Автоматизация технологических процессов и производств

Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Модернизация системы управления частотой вращения турбины автономного преобразователя энергии

УДК 681.51-048.35.621.314.5-135-045.075

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8TM71	Кан Елена Сергеевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Гайворонский Сергей Анатольевич	к.т.н., доцент		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Начальник ОЭиСО ОАО ТЭМЗ	Войко Василий Юрьевич	-		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суханов Алексей Викторович	к.х.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.экон.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Исаева Елизавета Сергеевна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Суходоев Михаил Сергеевич	к.т.н.		
Руководитель ОАР ИШИТР	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н.		

Томск – 2019 г.

Планируемые результаты обучения по направлению подготовки

15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Код рез-та	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные</i>		
Р1	применять глубокие естественно-научные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации автоматизированных систем, включая подсистемы управления и их программное обеспечение.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-3, ОПК-1, ОПК-4, ОК-1, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р2	воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации автоматизированных систем, принимать участие в командах по разработке и эксплуатации таких устройств и подсистем.	Требования ФГОС (ПК-3, ПК-4, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОК-1, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-9), Критерий 5 АИОР(пп. 1.1, 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р3	применять и интегрировать полученные знания для решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных автоматизированных систем и подсистем (в том числе интеллектуальных) с использованием технологий машинного обучения, современных инструментальных и программных средств.	Требования ФГОС (ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-15, ПК-18, ОПК-3, ОПК-6, ОК-1, ОК-5, ОК-6, ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р4	определять, систематизировать и получать необходимую информацию в области проектирования, производства, исследований и эксплуатации автоматизированных систем, устройств и подсистем.	Требования ФГОС (ПК-7, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ПК-18, ОПК-4, ОПК-6, ОК-1, ОК-4, ОК-6, ОК-8), Критерий 5 АИОР (п.1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р5	планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования для целей проектирования, производства и эксплуатации систем управления технологическим процессом и	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-13, ПК-17, ПК-18, ОПК-2, ОПК-3, ОК-1, ОК-3, ОК-4, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями

	подсистем (в том числе интеллектуальных) с использованием передового отечественного и зарубежного опыта, уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы.	международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P6	понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в автоматизированных системах и знать области их применения, в том числе в составе безлюдного производства.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2 ПК-3, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-9, ОК-10), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
<i>Универсальные</i>		
P7	эффективно работать в профессиональной деятельности индивидуально и в качестве члена команды.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2 ПК-7, ПК-8, ПК-16, ПК-17, ОК-1, ОК-2, ОК-4, ОК-6, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ПК-9, ПК-16, ОПК-4, ОК-5), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	проявлять широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, демонстрировать понимание вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-8, ПК-15, ПК-16, ПК-18, ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5, ОК-3, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-8, ОК-9), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEAN</i>
P10	следовать кодексу профессиональной этики и ответственности и международным нормам инженерной деятельности	Требования ФГОС (ПК-8, ПК-11, ПК-16, ОПК-3, ОПК-6, ОК-4), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8), Критерий 5 АИОР (2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.04.04. Автоматизация технологических процессов и производств
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Суходоев М.С.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ71	Кан Елене Сергеевне

Тема работы:

Модернизация системы управления частотой вращения турбины автономного преобразователя энергии

Утверждена приказом директора (дата, номер)	12.02.2019 г. №1099/с
---	-----------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования является система управления частотой вращения турбины автономного преобразователя энергии. Частота вращения турбины - 1050 Гц. Для работоспособности установки система управления должна обеспечивать заданное количество частоты вращения турбины.
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Аналитический обзор источников с целью выяснить существующие решения данной разработки. Изучение новой информации о принципах работы паротурбинной установки, системе управления, основанной на двухпозиционном и ПИД – регуляторах. Проведение эксперимента с использованием двухпозиционного регулятора. Проведение синтеза ПИД-регулятора.
Перечень графического материала	Презентация, выполненная в программе Microsoft Power Point

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Татьяна Гавриловна
Социальная ответственность	Исаева Елизавета Сергеевна
Раздел выполняемый на иностранном языке	Пичугова Инна Леонидовна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Введение
Обзор информации из источников об аналогах преобразователя энергии
Автономный преобразователь энергии
Основные технические требования
Принцип работы паротурбинной установки

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

Задание выдал руководитель / консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Гайворонский Сергей Анатольевич	К.Т.Н., доцент		
Начальник ОЭиСО ОАО ТЭМЗ	Войко Василий Юрьевич	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ71	Кан Елена Сергеевна		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.04.04. Автоматизация технологических процессов и производств
 Уровень образования – Магистратура
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники
 Период выполнения – осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.04.2019	Основная часть	60
06.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
08.05.2019	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Гайворонский Сергей Анатольевич	К.Т.Н., доцент		

Консультант (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Начальник ОЭиСО ОАО ТЭМЗ	Войко Василий Юрьевич	-		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суходоев Михаил Сергеевич	К.Т.Н.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ71	Кан Елена Сергеевна

Школа	Информационных технологий и робототехники	Отделение школы (НОЦ)	Автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных источниках, стандартах, проведение моделирования работы с помощью ЭВМ и оценка эффективности исследуемой и разрабатываемой системы
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Проведение предпроектного анализа и определение возможных альтернатив проведения НТИ
2. Разработка устава научно-технического проекта	Проект выполняется в рамках магистерской диссертации, устав не требуется
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Запланировано управление научно-техническим проектом; выделены контрольные события проекта; рассчитан бюджет исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Морфологический анализ проекта 3. Матрица SWOT 4. График проведения и бюджет НИ 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ 	
--	--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.экон.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ71	Кан Елена Сергеевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ71	Кан Елена Сергеевна

Школа	Информационных технологий и робототехники	Отделение школы	Автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистрант	Направление/специальность	15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Тема диссертации:

«Модернизация системы управления частотой вращения турбины автономного преобразователя энергии»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Рабочим местом является кабинет инженера-конструктора. В кабинете рабочей зоной является место за персональным компьютером. Рабочий процесс представляет собой разработку конструкторской документации по проектам с использованием системы автоматизированного проектирования.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: 8.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства 8.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	1. 1. Трудовой кодекс РФ от 30.12.2001 № 197-ФЗ; 2. Закон о санитарно-эпидемиологическом благополучии от 30.03.1999 № 52-ФЗ; 3. ППБ 01-93; 4. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. 5. СП. 5.13130.2009
8.2 Профессиональная социальная безопасность: 8.2.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов	Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения: – Отклонение показателей микроклимата; – Движущиеся твердые, жидкие или газообразные объекты, наносящие удар по телу работающего; – Воздействие веществ, обладающих острой токсичностью по воздействию на организм; – Опасные и вредные производственные факторы,

	связанные с электромагнитными полями; – Риск поражения электрическим током.
8.3 Экологическая безопасность:	Влияние на экологическую безопасность небольшое. Предметами воздействия на окружающую среду могут выступить бытовые отходы (части электронных устройств и т.д.), которые воздействуют на литосферу и атмосферу (при неправильной переработке).
8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС на объекте: производственные аварии, пожары и возгорания.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Исаева Елизавета Сергеевна	–		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ71	Кан Е.С.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа на 106 листах, содержит 26 рисунков, 15 источников, 26 таблиц, 2 приложения.

Ключевые слова: преобразователь энергии, автономный преобразователь, парогенератор, турбогенератор, турбина, горелка конструкторская документация.

Актуальность работы: В связи с тяжелой экономической ситуацией в стране для проекта «Сила Сибири» было решено создать аналог автономного преобразователя монополиста ORMAT Technologies Inc. Согласно заключенному соглашению по НИОКР с ПАО ГАЗПРОМ задача по проектированию и последующему серийному выпуску автономных преобразователей энергии была возложена на ОАО ТЭМЗ.

Цель и задачи исследования (работы) - модернизация системы управления частотой вращения турбины автономного преобразователя энергии, создание схемы соединений электрической аппаратной части автономного преобразователя энергии. Поиск решения регулирования частоты вращения

Работа представлена введением, 6 разделами, заключением, списком использованных источников.

Содержание

Введение.....	14
Термины и определения	16
1 Обзор литературы.....	17
2 Автономный преобразователь энергии.....	25
2.1 Основные технические требования.....	27
3 Принцип работы паротурбинной установки	28
3.1 Выбор двухпозиционного регулятора.....	33
3.2 Проведение эксперимента с использованием двухпозиционного регулятора	35
3.3 Описание работы ПИД-регулятора	38
3.4 Функциональная схема САР	41
3.5 Структурная схема САР	42
3.6 Синтез ПИД-регулятора	44
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	47
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	47
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	47
4.2 Анализ конкурентных технических решений	47
4.2.2 Морфологический анализ.....	49
4.2.3 SWOT-таблица.....	50
4.3 Планирование в рамках научного исследования	55
4.3.1 Структура работ в рамках проектной работы	55
4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ	55
4.3.3 Бюджет научно-технического исследования	58
4.3.3.1 Расчет материальных затрат НТИ	58

4.3.3.2 Основная заработная плата исполнителей	59
4.3.3.3 Дополнительная заработная плата	61
4.3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	61
4.3.3.5 Накладные расходы.....	62
4.3.4 Формирование бюджета затрат проекта.....	63
4.4 Определение ресурсной, финансовой и экономической эффективности исследования.....	64
4.5 Оценка абсолютной эффективности исследования.....	66
4.5.1 Расчет чистой текущей стоимости	66
4.5.2 Дисконтированный срок окупаемости.....	68
4.5.3 Внутренняя ставка доходности (IRR)	68
4.5.4 Индекс доходности (рентабельности) инвестиций.....	70
5 Социальная ответственность	72
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	72
5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	73
5.2.2. Анализ вредных факторов.....	76
5.2.2.1 Отклонение показателей микроклимата.....	76
5.2.2.2 Производственный шум	79
5.2.2.3 Отсутствие или недостаток естественного света.....	79
5.2.2.4 Повышенный уровень электромагнитных излучений.....	82
5.2.2.5 Риск поражения электрическим током	83
5.3 Экологическая безопасность.....	85
5.3.1 Анализ воздействий объекта на атмосферу	85
5.3.2 Анализ воздействий объекта на литосферу.....	85
5.3.3 Анализ воздействий объекта на гидросферу.....	85

5.3.4 Анализ воздействия объекта на селитебную зону.....	86
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	86
5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	86
5.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте	87
Заключение	89
Список литературы	90
Приложение А. Modernization of the turbine speed control system of the autonomous energy converter	902

Введение

В рамках национального проекта «Сила Сибири» планируется построить газопровод, проходящий по большому количеству сложных участков поверхности нашей страны (участкам вечной мерзлоты, болотам, густым лесам Сибири). Для обеспечения безопасности и надежности транспортировки газа каждые 50-70 км необходима установка кранового узла. Крановый узел состоит из шарового крана перекрывающего трубу, оснащенного электроприводом, источника энергии, узла телеметрии и связи.

Всем известно, что ветрогенераторы не эффективны на территории лесов и болот. В районах заполярья бесполезны солнечные батареи. Минус дизель генератора - топливо, которое необходимо восполнять. А установка линии ЛЭП очень сложна и экономически невыгодна. Такие условия работы можно охарактеризовать как суровые. Поэтому особо актуальны универсальные источники энергии, преобразующие энергию сжигаемого газа в электрическую энергию.

На протяжении 30 лет данную проблему удавалось решать с помощью монополиста ORMAT Technologies Inc., Израиль. Однако на сегодняшний момент в условиях «сакционных войн», и в связи с резким ростом доллара установка и покупка подобных преобразователей стало сравнима с установкой линии ЛЭП.

На основании выше изложенного тема проектирования автономного преобразователя энергии для проекта «Сила Сибири» стала особенно актуальна и жизненно необходимой.

Согласно заключенному соглашению по НИОКР с ПАО ГАЗПРОМ задача по проектированию и последующему серийному выпуску автономных преобразователей энергии было возложена на ОАО ТЭМЗ.

Автономный преобразователь должен состоять из механической части (турбина, бойлер, конденсатор) и электрической части (аппаратная часть, программная часть).

Аппаратная часть в свою очередь должна состоять из шкафов управления, обеспечивающих нижний уровень работы системы (аппаратное поддержание выходных параметров, защиты). Программная часть состоит из программного продукта (программ управления, мониторинга и передачи данных).

В автономном преобразователе энергии аппаратная часть так же актуальна и уникальна, как и программная часть. Основная задача аппаратной части обеспечить максимальную автономность работы преобразователя и его защиту в условиях сбоя программного обеспечения. В тоже время аппаратная часть должна быть надежной, иметь возможность быстрого проведения ремонтных работ.

В данной выпускной квалификационной работе будет произведен подробный обзор основных существующих решений в области автономных преобразователей энергии. Описаны основные технические требования для автономного преобразователя. Рассмотрен принцип работы паровой турбины, а также был поставлен эксперимент работы системы управления частотой вращения на основе двухпозиционного регулирования, в ходе которого были выявлена проблема, которую необходимо решить в данной выпускной квалификационной работе. Описан способ модернизации существующего решения с помощью ПИД-регулятора. Были проведены различные исследования для настройки ПИД-регулятора. В приложении представлены листинги программ двух способов работы системы управления частотой вращения турбины.

Термины и определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

преобразователь энергии: электротехническое устройство, предназначенное для преобразования параметров электрической энергии.

трансформатор: аппарат для повышения или понижения напряжения электрического тока.

частотный преобразователь: электронное устройство для изменения частоты электрического тока.

цикл Ренкина: термодинамический цикл преобразования тепла в работу с помощью водяного пара.

конструкторская документация: графические и текстовые документы, которые, в совокупности или в отдельности, определяют состав и устройство изделия и содержат необходимые данные для его разработки, изготовления.

1 Обзор литературы

Тема актуальна в связи с острой необходимостью импорта замещения монополиста ORMAT Technologies Inc., Израиль, в сфере преобразователей энергии сжигаемого попутного газа в электрическую энергию для удаленных крановых узлов проекта ПАО ГАЗПРОМ «Сила Сибири».

Преобразователь энергии ОРМАТ (рисунок 1), известный также как "паротурбогенератор с замкнутым циклом" (CCVT), единственная в своем роде, испытанная энергетическая установка мощностью от 200 до 6000 Вт; надежно работающая без обслуживания в отдалённых районах. Для повышения надежности компания ОРМАТ использовала исследования в области термодинамического проектирования и технологии авиационных двигателей.

Герметичный контейнер с рабочей жидкостью изготавливается из нержавеющей стали; дуговая сварка проводится в гелиевой среде и проверяется с помощью радиографического контроля на наличие дефектов и гелиевым масс-спектрометром на утечки. Готовый к работе энергоблок испытывается в заводских условиях как автономная установка с обкаткой в течение 100 часов [1].

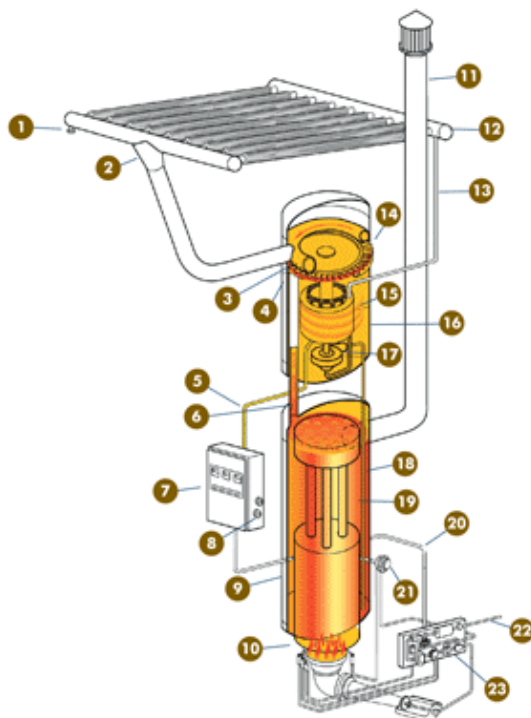
Помимо надежности, весьма важной особенностью установки является отсутствие необходимости в эксплуатационном обслуживании. Поскольку единственная движущаяся деталь - это плавно и без трения вращающийся на подшипниках с жидкостной пленкой вал, герметизированный в контейнере из нержавеющей стали. Кроме заправки топливом, уход за установками, работающими на газе, заключается в ежегодной проверке и очистке горелки и пластин конденсатора. Установка имеет средства защиты от каких-либо отклонений, включая перегрев.

Одной из наиболее оригинальных особенностей установки является ее способность работать от различных источников тепла, поскольку рабочий цикл замкнут и требуется лишь внешний подогрев. Для таких целей, как питание удаленных микроволновых релейных станций, действующих непрерывно без

какого-либо обслуживания, на энергетических установках ОРМАТ наиболее часто в качестве топлива используют сжиженный нефтяной (попутный) газ, благодаря его чистоте. Вместе с тем, в качестве топлива, могут использоваться также: природный газ, керосин, авиационное и дизельное топливо [1].

Недостатками установки являются:

- 1 Система зарубежная и дорогая
- 2 Устаревшая элементная база системы управления.



1-вакуумный клапан, 2 - ввод пара в конденсатор, 3 - сопло турбины, 4 - ввод пара в турбину, 5 - кабели подвода переменного тока к выпрямителю, 6 - пар, 7 - электрошкаф с выпрямителем, 8 - отфильтрованное напряжение постоянного тока на выходе, 9 - парогенератор, 10 - горелка, 11 - вытяжная труба, 12 - конденсатор, 13 - выход конденсата, 14 - колесо турбины, 15 - генератор переменного тока, 16 - корпус турбогенератора, 17 - насос питания, 18 - труба подачи конденсата, 19 - органическая жидкость, 20 - кабели на панели управления подачей топлива, 21 - термостат, 22 - вход топлива, 23 - панель управления подачей топлива

Рисунок 1 – Автономный преобразователь энергии (ORMAT)

Были рассмотрены следующие патенты на изобретения:

1 Патент RU 2098650 на изобретение «ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЭНЕРГИИ», МПК F02G1/04. Заявка: 92015360/06, 25.12.1992. Опубликовано: 10.12.1997. Патентообладатель Славянский государственный педагогический институт (UA) [2].

2 Патент RU 2099542 на изобретение «ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПАРОСИЛОВАЯ УСТАНОВКА И СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПАРА В ДВУХСТУПЕНЧАТОМ ПРОМЕЖУТОЧНОМ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЕ ЭТОЙ УСТАНОВКИ», МПК F01K13/02. Заявка: 5001477/06, 23.07.1991. Опубликовано: 20.12.1997. Заявка РСТ: FI 90/00026 (23.01.90). Патентообладатель ФостерВилерЭнерджи Ой (FI) [2].

3 Патент RU 2122271 на изобретение «ТУРБОГЕНЕРАТОР С ВОДОРОДНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ», МПК H02K9/26, H02K9/10. Заявка: 97117694/09, 23.10.1997. Опубликовано: 20.11.1998. Патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью ГАЗЧЕРМЕТ [2].

4 Патент RU 2166102 на изобретение «СПОСОБ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАРОГАЗОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ И УСТАНОВКА ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ», МПК F01K23/18. Заявка: 99109730/06, 11.05.1999. Опубликовано: 27.04.2001. Патентообладатель Ершов Виталий Витальевич [2].

5 Патент RU 2180720 на изобретение «ФАКЕЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА НА ПОПУТНОМ ГАЗЕ», МПК F23D14/62, F22B33/18. Заявка: 2001101131/06, 16.01.2001. Опубликовано: 20.03.2002. Патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Независимый центр экологии человека "ЭКСИ" [2].

6 Патент RU 2215165 на изобретение «СПОСОБ РЕГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛА ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ ОРГАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ С ПОМОЩЬЮ ПРОМЕЖУТОЧНОГО ЖИДКОСТНОГО ЦИКЛА (ВАРИАНТЫ) И СИСТЕМА РЕГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛА ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ», МПК F02C6/18, F01K23/10. Заявка: 99128094/06, 30.12.1999. Опубликовано: 27.10.2003. Патентообладатель ОРМАТ ИНДАСТРИЗ ЛТД. (IL) [2].

7 Патент RU 2224118 на изобретение «Способ получения тепловой энергии в паросиловой энергетической установке», МПК F01K17/02. Заявка: 2002117935/062002117935/06, 05.07.2002. Опубликовано: 20.02.2004. Патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие "Московское машиностроительное производственное предприятие "Салют" [2].

8 Патент RU 2237815 на изобретение «СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛЕЗНОЙ ЭНЕРГИИ В КОМБИНИРОВАННОМ ЦИКЛЕ (ЕГО ВАРИАНТЫ) И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ», МПК F01K27/00, F25B30/00. Заявка: 2002114936/06, 07.06.2002. Опубликовано: 10.10.2004. Патентообладатель Морев Валерий Григорьевич (RU) [2].

9 Патент RU 2312229 на изобретение «ГИБРИДНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОЙ НАДЕЖНОЙ ПОДАЧИ ПИТАНИЯ В УДАЛЕННЫХ МЕСТАХ», МПК F01K13/02. Заявка: 2004137497/06, 21.05.2003. Опубликовано: 10.12.2007. Конвенционный приоритет: 22.05.2002 US 10/152,356. Патентообладатель ОРМАТ ТЕКНОЛОДЖИЗ ИНК. (US) [2].

10 Патент RU 2313725 на изобретение «ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА», МПК F23C1/00, F23K1/02. Заявка: 2005133084/06, 27.10.2005. Опубликовано: 27.12.2007. Патентообладатель ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "ЛКЦ-НАУКА" (RU) [2].

11 Патент RU 2372504 на изобретение «МНОГОЦЕЛЕВАЯ ГАЗОТУРБИННАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА», МПК F02C6/08, F01K21/04. Заявка: 2008109276/06, 11.03.2008. Опубликовано: 10.11.2009. Патентообладатель Новосельцев Дмитрий Александрович (RU) [2].

12 Патент RU 2443597 на изобретение «ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПОДВОДНОЙ ЛОДКИ», МПК B63G8/10. Заявка: 2010136091/11, 01.09.2010. Опубликовано: 27.02.2012. Патентообладатели Дорофеев Владимир Юрьевич (RU), Замуков Владимир Варганович (RU), Федоров Владимир Алексеевич (RU), Мильман Олег Ошеревич (RU) [2].

13 Патент RU 2450148 на изобретение «АВТОНОМНАЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА», МПК F02G5/04, F02G1/043. Заявка: 2010123751/06, 10.06.2010. Опубликовано: 10.05.2012. Патентообладатель Открытое акционерное общество "Завод им. В.А. Дегтярева" (RU) [2].

14 Патент RU 2515579 на изобретение «ПАРОГЕНЕРАТОР», МПК F22B1/18. Заявка: 2011144650/06, 18.06.2009. Опубликовано: 10.05.2014. Конвенционный приоритет: 06.05.2009 CN 200910083490.5. Патентообладатель ЦИНХУА ЮНИВЕРСИТИ (CN) [2].

15 Патент RU 2518777 на изобретение «ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА», МПК F02G5/04, F02B63/06, F25B27/02. Заявка: 2012133416/06, 03.08.2012. Опубликовано: 10.06.2014. Патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Самарский государственный университет путей сообщения" (СамГУПС) (RU) [2].

16 Патент RU 2533601 на изобретение «ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА С ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКОЙ», МПК F01K21/04. Заявка: 2012152236/06, 04.12.2012. Опубликовано: 20.11.2014. Патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Самарский государственный технический университет (RU) [2].

Все рассмотренные решения в той или иной степени позволяют решить только часть поставленной задачи.

Также наиболее близким патентом является патент RU 2573541 на изобретение «Энергетическая система на основе органического цикла Ренкина для сжигания попутного нефтяного газа», МПК F02C3/00, F02C3/22. Заявка: 2014126811/02, 02.07.2014. Опубликовано: 20.01.2016. Патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Научно-производственное объединение "Санкт-Петербургская электротехническая компания" (RU) [2].

На рисунке 2 изображена энергетическая система на основе органического цикла Ренкина для сжигания попутного нефтяного газа.

Энергетическая система на основе органического цикла Ренкина для сжигания попутного нефтяного газа состоит из масляного котла 1, контура с промежуточным теплоносителем (диатермическое масло) 2, который соединяет котел 1 и установку на основе органического цикла Ренкина 3. На валу турбины (не показано) установки на основе органического цикла Ренкина 3 размещен электрогенератор 4.

В энергетическую систему для сжигания попутного нефтяного газа также входит система охлаждения 5 установки на основе органического цикла Ренкина 3. Система охлаждения 5 состоит из трубопроводов, на которых расположены циркуляционный насос 6 и теплообменник 7. Через теплообменник 7 проходит линия подачи воздуха 8, которая подключена к горелочному устройству для полного сгорания попутного нефтяного газа 9. К горелочному устройству 9 также подключена линия подачи попутного газа 10.

Байпасная линия 11 соединяет трубопровод для отвода отработанных газов 12 и топочное пространство (не показано) масляного котла 1.

На байпасной линии 11 и трубопроводе для отвода отработанных газов 12 установлены соответственно регулирующие клапаны 13 и 14.

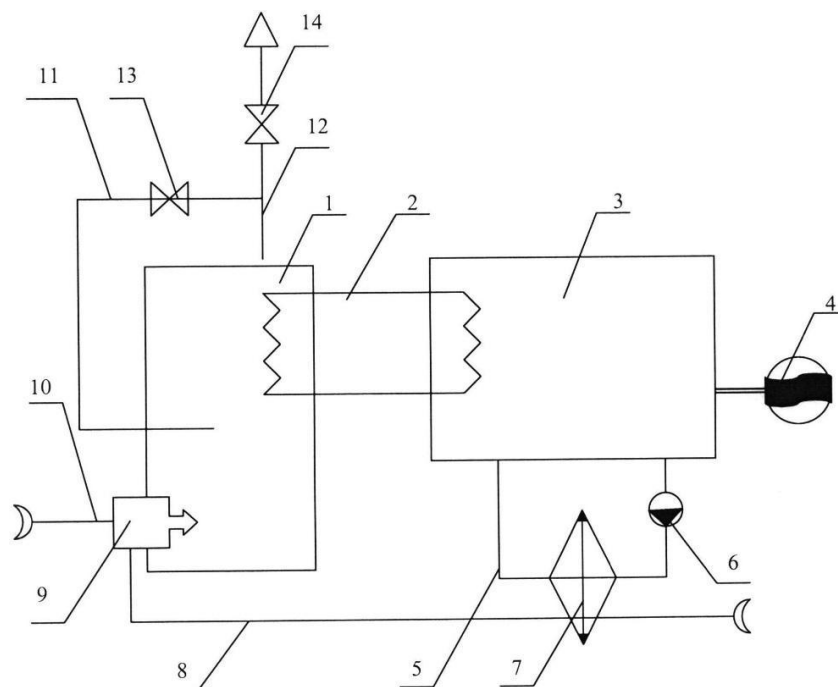
Энергетическая система на основе органического цикла Ренкина для сжигания попутного нефтяного газа работает следующим образом.

Попутный нефтяной газ по линии 10 и воздух по линии 8 подаются в горелочное устройство 9, где происходит полное сгорание попутного газа. Теплота от дымовых газов при сгорании попутного газа передается контуру с промежуточным теплоносителем (диатермическое масло) 2, через который данная теплота передается рабочему телу установки на основе органического цикла Ренкина 3. Полученная теплота преобразуется в установке на основе органического цикла Ренкина 3 в электрическую энергию, вырабатываемую в электрогенераторе 4.

Дымовые газы из топочного пространства масляного котла *1* по трубопроводу *12* частично выбрасываются в окружающую среду, а частично по байпасной линии *11* возвращаются в топочное пространство масляного котла *1* для поддержания постоянной температуры. Регулирование количества выбрасываемых в окружающую среду и возвращенных в топочное пространство масляного котла *1* дымовых газов от сгорания попутного газа осуществляется регулирующими клапанами *13* и *14*.

Для охлаждения установки на основе органического цикла Ренкина *3* предназначена система охлаждения *5*. Охлаждающая жидкость циркулирует по системе охлаждения *5* за счет работы циркуляционного насоса *6* и охлаждается за счет тепла.

Энергетическая система для сжигания попутного нефтяного газа, включающая масляный котел с трубопроводом для отвода отработанных газов с регулирующим клапаном, контур с промежуточным теплоносителем, соединяющий масляный котел и установку на основе органического цикла Ренкина, представляющую собой замкнутый контур с органическим рабочим телом, содержащим турбину на валу с электрогенератором и систему охлаждения с теплообменником и циркуляционным насосом, отличающаяся тем, что она снабжена установленным в масляном котле горелочным устройством для полного сгорания попутного нефтяного газа с подключенной к нему линией подачи воздуха, проходящей через теплообменник системы охлаждения установки на основе органического цикла Ренкина, и байпасной линией с регулирующим клапаном, соединяющей трубопровод для отвода отработанных газов с регулирующим клапаном и топочное пространство масляного котла [2].



1 – масляной котел, 2 – контур с промежуточным теплоносителем (диатермическое масло), 3 - установка на основе органического цикла Ренкина, 4 – электрогенератор, 5 - система охлаждения, 6 - циркуляционный насос, 7 - теплообменник, 8 - линия подачи воздуха, 9 - попутный нефтяной газ, 10 - линия подачи попутного газа, 11 - байпасная линия, 12 - отвод отработанных газов, 13 и 14 - регулирующие клапаны

Рисунок 2 – Энергетическая система на основе органического цикла Ренкина для сжигания попутного нефтяного газа

Недостатки устройства:

1 В состав системы включен рециркуляционный насос, питание которого осуществляется от самой системы, что снижает ее КПД и уменьшает надежность.

2 Так как в системе поддерживается постоянная температура рабочей области масляного котла, система всегда будет вырабатывать определенное количество электроэнергии, излишки которой придется сбрасывать на нагрузку. Неэффективное использование.

3 Система предназначена для работы в качестве резервного источника питания.

4 Отсутствуют вентиляторы принудительного охлаждения теплоносителя.

5 Не расписана конструкция подшипниковых узлов турбины.

6 На основе выше изложенного было предложено создать установку лишенных выявленных недостатков.

2 Автономный преобразователь энергии

Установка предназначена для использования в энергетике для получения электрической и тепловой энергии удаленных от централизованных сетей объектов нефтегазодобычи, магистральных трубопроводов, связи.

Автономный преобразователь энергии использует органический цикл Ренкина для выработки электроэнергии и дополнительный теплообменный аппарат для нагрева теплоносителя системы теплоснабжения.

Источником тепловой энергии является топливный газ, в качестве которого может использоваться природный газ, попутный нефтяной газ и др.

Автономный преобразователь энергии (рисунок 3) состоит из системы сжигания газа, осуществляющей очистку, редуцирование, регулирование подачи топливного газа в горелку, автоматический поджиг, прекращение подачи газа по команде автоматики безопасности.

В результате сгорания топливного газа образующаяся тепловая энергия передается рабочей жидкости, находящейся в парогенераторе посредством теплообменного аппарата, встроенного в парогенератор. В результате нагрева и соответственно испарения рабочей жидкости образуется поток пара, приводящий во вращение осевую турбину и находящийся с ним на одном валу ротор генератора и насоса. Электрический генератор представляет собой бесконтактную синхронную индукторную машину, преобразующую механическую энергию вращения турбины в электрическую энергию переменного тока. Ротор турбогенератора вращается в двух гидродинамических подшипниках скольжения. Отработавший пар попадает в конденсатор, где охлаждается и переходит в жидкую фазу. При помощи насоса, использующего

механическую энергию турбины, сконденсировавшаяся рабочая жидкость перекачивается в парогенератор и часть в подшипниковый узел, где служит смазочным материалом подшипников скольжения.

Часть тепловой энергии, образующейся в результате сжигания топливного газа, не переданная рабочей жидкости парогенератора передается теплоносителю системы теплоснабжения посредством теплообменного аппарата, находящегося в подогревателе. При циркуляции теплоносителя тепловая энергия передается в отапливаемое помещение через радиаторы, при этом теплоноситель охлаждается, далее, поступая в подогреватель, теплоноситель снова нагревается.

Предусмотрена регулирующая задвижка, позволяющая изменять соотношение распределения тепловой энергии между теплообменными аппаратами парогенератора и подогревателя, и соответственно вырабатываемой электрической и тепловой энергией.

Продукты сгорания топливного газа (выхлопные газы) отводятся за счет естественной тяги вытяжной трубы.

Заявляемое техническое решение позволяет добиться повышения надежности за счет исключения промежуточного контура с теплоносителем, наличием только одной вращающейся детали – ротора турбогенератора в двух гидродинамических подшипниках скольжения, смазываемых рабочей жидкостью.

Использование подогревателя с теплообменным аппаратом для отопления обеспечивает возможность более полного использования тепловой энергии при сжигании топливного газа.

Регулирующая задвижка обеспечивает возможность изменить соотношение вырабатываемой электрической и тепловой энергии в зависимости от внешних условий (температура окружающей среды, электрическая нагрузка).

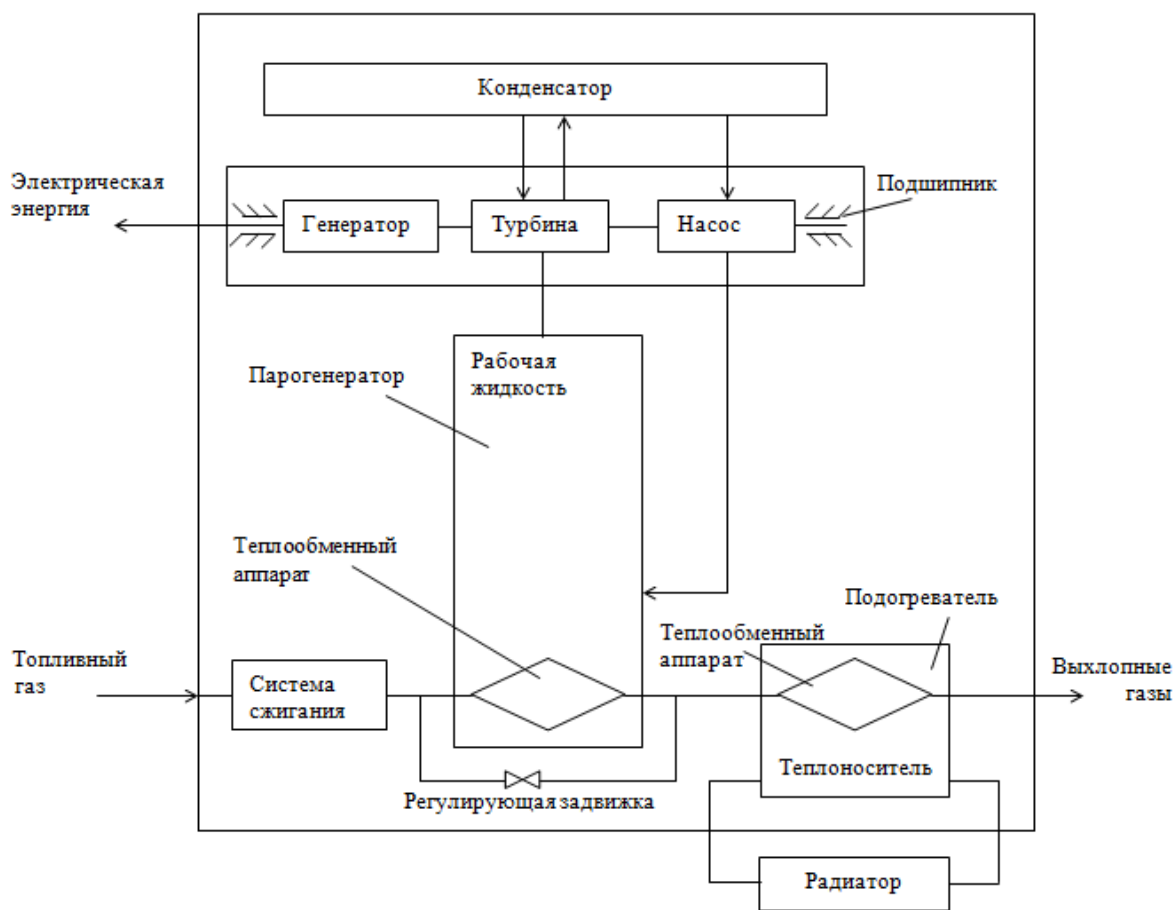


Рисунок 3 – Автономный преобразователь энергии

2.1 Основные технические требования

Основываясь на произведенном обзоре существующих решений автономный преобразователь энергии (АПЭ) должен соответствовать требованиям ГОСТ и СТО Газпром.

Основные технические параметры:

- номинальная мощность, 4000 Вт;
- номинальное напряжение, 48 В \pm 5%.

АПЭ должен быть оснащен:

- вентиляторами обдува конденсатора в количестве двух штук;
- сигнализатором горения запальной и основной горелок;
- датчиками превышения СН₄ и СО;
- датчиком защиты от перегрева помещения АПЭ;
- датчиком защиты от перегрева конденсатора;

- датчиком защиты от перегрева бойлера;
- автономной системой вентиляции помещения АПЭ;
- датчиком контроля температуры конденсатора от минус 50 до 150 °С;
- датчиком контроля температуры бойлера от минус 50 до 250 °С;
- клапанами подачи газа в количестве четырех штук;
- трансформатором поджога запальной горелки;
- реле наличия давления газа;
- блоком нагрузок для торможения турбины, мощностью 4 кВт;
- шкафом управления обмоткой возбуждения;
- шкафом управления парогенератором.

Для возможности быстрого ремонта шкафы и исполнительные механизмы (датчики, клапана и т.д.) должны быть подключены друг к другу через разъемы.

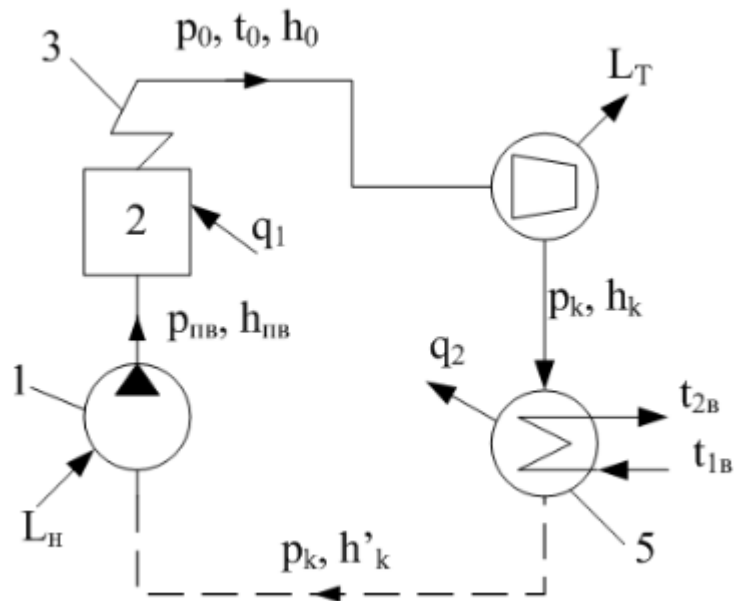
3 Принцип работы паротурбинной установки

В конце XIX в. в связи с развитием электрических машин и широким внедрением электроэнергии развитие паротурбостроения пошло быстрыми темпами. Первые паровые турбины в России начали выпускать в 1907 г. на Металлическом заводе в Петербурге [3].

На протяжении всей истории развития турбостроения прослеживается линия на повышение экономичности паротурбинных установок и паровых турбин, а также увеличения единичной мощности энергетических турбин. В настоящее время как для станций на органическом топливе, так и для атомных электростанций, максимальная единичная мощность паровых турбин находится на уровне (1000 – 1200) МВт.

Паровая турбина является одним из элементов теплоэнергетической установки. На рисунке 4 представлена принципиальная схема простейшей такой установки. Изменение состояния пара в цикле Ренкина при прохождении паром отдельных звеньев установки иллюстрируется в T,s - диаграмме [3].

Питательный насос 1 повышает давление теплоносителя до давления p_0 и подает ее в парогенератор 2, затрачивая при этом на 1 кг питательного теплоносителя работу L_H . Процесс изоэнтропийного сжатия теплоносителя насосом в утрированном масштабе изображен в T,s - диаграмме линией $a'a$ (рисунок 4).



1 - питательный насос, 2 – парогенератор, 3 – перегреватель, 4 – турбина, 5 – конденсатор

Рисунок 4 – Принципиальная схема паротурбинной установки

Подвод тепла в парогенераторе, в том числе в пароперегревателе, происходит при постоянном давлении p_0 , так что количество тепла q_{TV} перешедшего к воде и пару, целиком расходуется на повышение энтальпии пара.

Тепло, сообщенное пару в парогенераторе и пароперегревателе, изображается в T,s -диаграмме площадью $abcd2$ (рисунок 5).

Вышедший из пароперегревателя с энтальпией h_0 пар направляется к турбине 4 и, расширяясь в ней, совершает работу L_4 . Для турбины, работающей без потерь и теплообмена с внешней средой, процесс расширения протекает по изоэнтропе, которая изображена линией de в T,s - диаграмме. Отработавший в

турбине пар поступает в конденсатор 5. Здесь при неизменном давлении p_k производится отвод тепла от пара к охлаждающей воде, пар конденсируется, и конденсат с энтальпией h'_k откачивается насосом 1 и снова подается в парогенератор. Отводу тепла в конденсаторе отвечает процесс ea' в T,s - диаграмме.

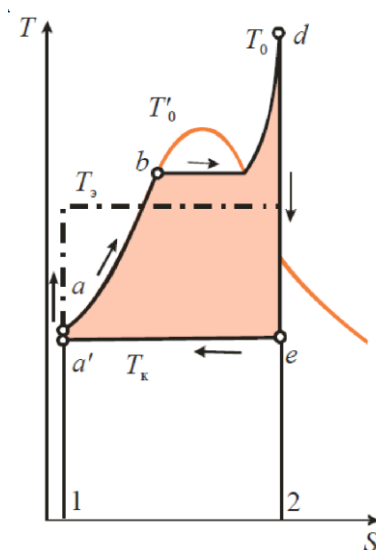


Рисунок 5 – Идеальный цикл паротурбинной установки (цикл Ренкина) в T,s - диаграмме

Площадь, эквивалентная работе L , заштрихована в T,s - диаграмме (рисунок 5).

В действительности в турбине в результате потерь при расширении пара связанных с внутренним выделением теплоты, т.е. ростом энтропии в процессе расширения, линия процесса отклоняется от изоэнтропы, как это показано в h,s - диаграмме на рисунке 6 линией df .

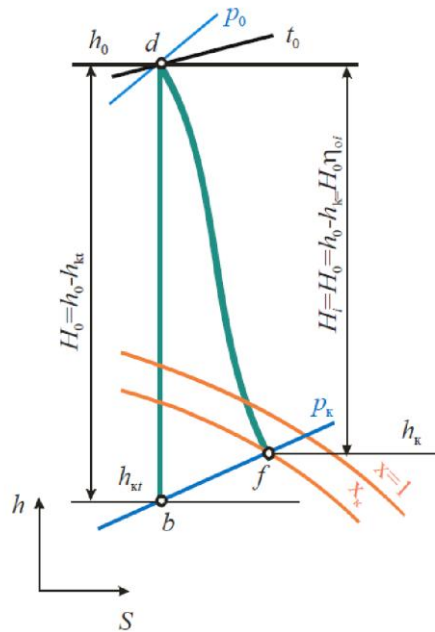


Рисунок 6 – Процесс расширения пара в турбине в h,s - диаграмме

Работа, которую 1 кг пара развивает внутри турбины, называется использованным (действительным) теплоперепадом H_i .

Отношение использованного теплоперепада к располагаемому называется относительным внутренним КПД:

$$\eta_{oi} = \frac{H_i}{H_0} = \frac{L_{Ti}}{L_{Ti}} \quad (1)$$

где H_i – теплоперепад;

H_0 – располагаемый термоперепад

L_{Ti} – фактическая работа, которую может совершить 1 кг пара внутри турбины;

L_{Ti} – работа, которую может совершить 1 кг пара в идеальной турбине.

Не вся мощность, развиваемая паром внутри турбины, используется потребителем, так как часть ее расходуется на преодоление механических потерь ΔN_M турбины.

Отношение эффективной мощности к внутренней называется механическим КПД:

$$\eta_M = \frac{N_e}{N_i} = 1 - \frac{\Delta N_M}{N_i} \quad (2)$$

где N_e – эффективная мощность;

N_i – внутренняя мощность турбины;

ΔN_M – механические потери турбины.

Отношение эффективной мощности к мощности идеальной турбины называется относительным эффективным КПД η_{oe} :

$$\eta_{oe} = \frac{N_e}{N_i} = \frac{N_i N_e}{N_0 N_i} = \eta_{oi} \eta_M, \quad (3)$$

где N_0 – мощность идеальной турбины;

η_{oi} – относительный внутренний КПД турбины.

Так как паровая турбина служит в качестве привода генератора электрического тока, то электрическая мощность $N_э$, отдаваемая с выводов генератора, меньше эффективной мощности N_e турбины на величину потерь $\Delta N_{эГ}$ генератора:

$$N_э = N_e - \Delta N_{эГ}, \quad (4)$$

где $N_э$ – электрическая мощность;

$\Delta N_{эГ}$ – потери генератора.

Отношение электрической мощности, отданной с выводов генератора, к эффективной мощности турбины, затрачиваемой на вращение ротора генератора, называется КПД электрического генератора и обозначается:

$$\eta_{эГ} = \frac{N_э}{N_e} = 1 - \frac{\Delta N_{эГ}}{N_e}, \quad (5)$$

где $\eta_{эГ}$ – КПД электрического генератора;

$N_э$ – электрическая мощность;

$\Delta N_{эГ}$ – потери генератора.

Отношение электрической мощности к мощности идеальной турбины называется относительным электрическим КПД:

$$\eta_{0э} = \frac{N_э}{N_0} = \frac{N_i N_e N_э}{N_0 N_i N_e} = \eta_{oi} \eta_M \eta_{эГ} = \eta_{oe} \eta_{эГ}, \quad (5)$$

где $\eta_{0э}$ – относительный электрический КПД;

$\eta_{эГ}$ – КПД электрического генератора.

Абсолютный внутренний КПД может быть представлен как отношение внутренней мощности к секундному расходу тепла, подведенного к рабочему телу в парогенераторе, т. е.

$$\eta_i = \frac{L_{Ti} \cdot G}{q_{TY} \cdot G} = \frac{N_i}{G_{TY}}, \quad (6)$$

где η_i – абсолютный внутренний КПД;

L_{Ti} – внутренняя мощность;

G – расход массы пара;

q_{TY} – секунднй расход тепла.

Величина абсолютного КПД η_g не характеризует эффективности всей электрической станции в целом, так как не учитывает потерь тепла в парогенераторе, расхода энергии на привод насосов (основная составляющая так называемых собственных нужд станции), потерь давления в трубопроводах и т. д. Иногда подсчитывают абсолютный КПД турбинной установки нетто, вычитая из мощности агрегата мощность, необходимую для привода питательного насоса:

$$\eta_g^{\text{нетто}} = \frac{N_g - N_n}{Q_{TY}}, \quad (7)$$

где Q_{TY} – секунднй расход тепла.

Согласно расчетным данным конструкторской документации оптимальная частота работы для турбины, при которой величина абсолютного КПД будет максимальным и равняться примерно 7 %, равна 1050 Гц, при этом скорость вращения турбины составит 15750 об/мин.

Для регулирования частоты вращения турбины в опытной установке был применен параметрический двухпозиционный регулятор.

3.1 Выбор двухпозиционного регулятора

Двухпозиционные регуляторы обеспечивают хорошее качество регулирования для инерционных объектов с малым запаздыванием, не требуют настройки и просты в эксплуатации. Эти регуляторы представляют обычный и наиболее широко распространенный метод регулирования [4].

При работе в режиме двухпозиционного регулирования логическое устройство работает по одному из представленных на рисунке 7 типов логики [5].

Принцип работы регулятора можно рассмотреть на рисунке 7.

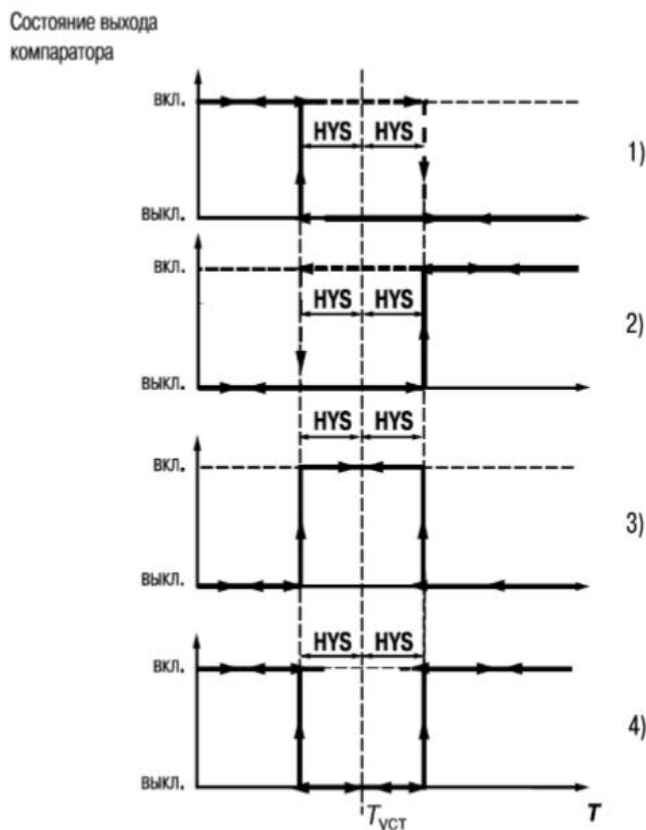


Рисунок 7 – Работа регулятора с разными типами логики

Тип логики 1 (обратное управление) применяется для управления работой нагревателя (например, ТЭН) или сигнализации о том, что значение текущего измерения $T_{тек}$ меньше уставки $T_{уст}$. Выходное устройство, подключенное к ЛУ, первоначально включается при $T_{тек} < (T_{уст} - HYS)$, выключается при $T_{тек} > (T_{уст} + HYS)$ и вновь включается при $T_{тек} < (T_{уст} - HYS)$, осуществляя тем самым двухпозиционное регулирование по уставке $T_{уст}$ с гистерезисом $\pm HYS$.

Тип логики 2 (прямое управление) применяется для управления работой охладителя (например, вентилятора) или сигнализации о превышении значения уставки. Выходное устройство первоначально включается при $T_{тек} > (T_{уст} + HYS)$, выключается при $T_{тек} < (T_{уст} - HYS)$.

Тип логики 3 (П-образная) применяется для сигнализации о том, что контролируемая величина находится в заданном диапазоне. Выходное устройство включается при $(T_{уст} - HYS) < T_{тек} < (T_{уст} + HYS)$.

Тип логики 4 (U-образная) применяется для сигнализации о том, что контролируемая величина находится вне заданного диапазона. Выходное устройство включается при $T_{тек} < (T_{уст} - HYS)$ и $T_{тек} > (T_{уст} + HYS)$. Задание уставки $T_{уст}$ и гистерезиса HYS производится назначением параметров регулирования прибора.

Для поддержания частоты вращения турбины был выбран регулятор с типом логики 3.

3.2 Проведение эксперимента с использованием двухпозиционного регулятора

Для оценки качества примененного решения был поставлен эксперимент работы системы регулирования частоты вращения турбины при постоянной нагрузке в стационарном режиме работы. Эксперименте использовались следующие данные: нагрузка 2 кВт ($I_n = 6 \text{ A} = \text{const}$, $U_n = 55 \text{ В} = \text{const}$), номинальная частота работы 1050 Гц, величина гистерезиса минус 35 Гц (подобрано опытным путем), а для предотвращения выхода из строя турбины на частоте в 1070 Гц было принято решения о включении торможения, путем кратковременного подключения дополнительной резистивной нагрузки.

В результате испытания был построен график зависимости частоты вращения турбины от времени работы горелки и тормозных резисторов (рисунок 8).

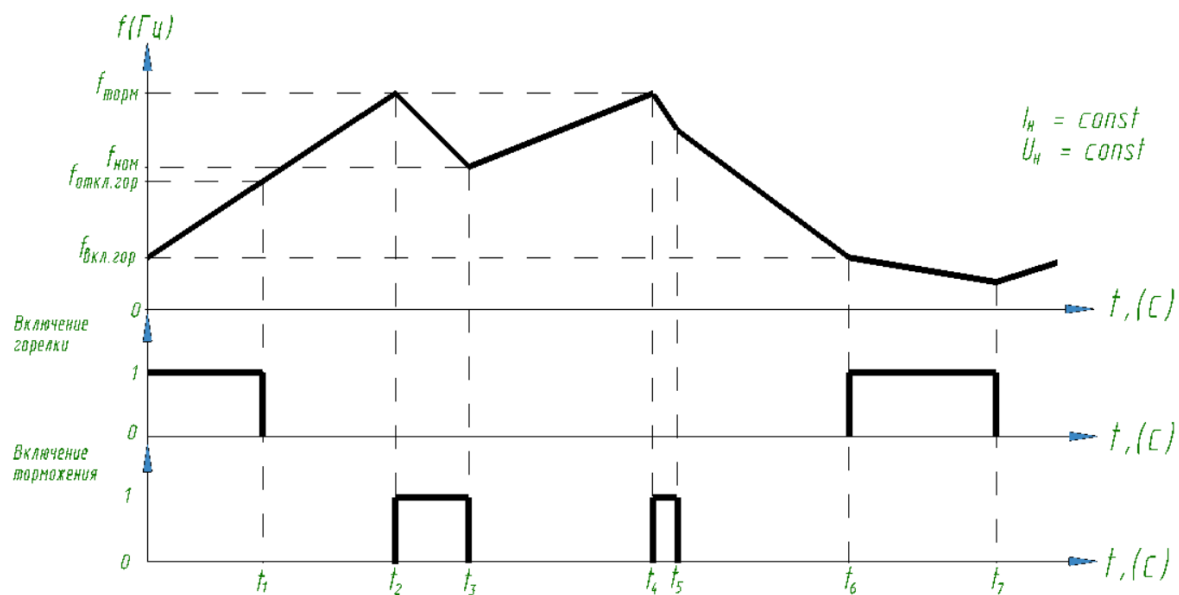


Рисунок 8 – График работы частоты вращения турбины

Рисунок 8 показывает, что в начальный момент времени частота вращения в точке $f_{\text{вкл.гор}}$, линейно возрастает от величины $f_{\text{вкл.гор}}$ до $f_{\text{откл.гор}}$. В момент t_1 частота достигает точки $f_{\text{откл.гор}}$, после чего идет отключение горелки. Так как процесс накопления пара внутри парогенератора инерционный, то частота вращения турбины продолжает расти. При достижении частоты $f_{\text{торм}}$ для предотвращения выхода из строя механических узлов турбины включается торможение в момент t_2 , путем включения тормозных резисторов R' . Резисторы остаются включенными до тех пор, пока в момент t_3 частота не достигнет точки $f_{\text{ном}}$. Далее за счет внутренней запасенной энергии пара частота опять продолжает увеличиваться до частоты $f_{\text{торм}}$, в момент t_4 включается торможение и работает до тех пор, пока в момент t_5 не достигнет $f_{\text{ном}}$. Данный процесс повторяется несколько раз до времени tt . Затем частота медленно уменьшается до отметки $f_{\text{вкл.горелок}}$ в момент t_{n+1} . Горелка работает до тех пор, пока частота в момент t_6 начинает возрастать и вновь не достигнет значения f отключения горелок.

Испытания проводились с использованием двухканального измерителя-регулятора ТРМ202 производства ОБЕН. Программа управления, основанная на работе двухпозиционного регулятора, была написана в среде CODESYS.

Листинг программы представлен в приложении Б. Визуализация автономного преобразователя энергии показана на рисунке 9.

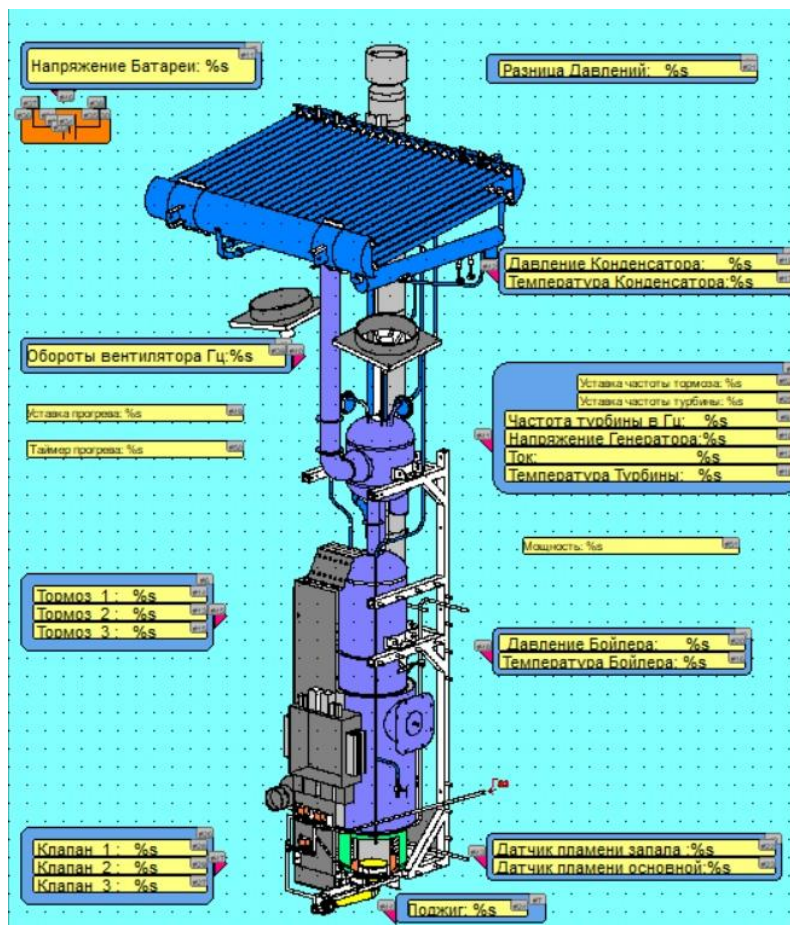


Рисунок 9 – Автономный преобразователь энергии

Выводы:

1 Примененный регулятор справляется с регулированием частоты вращения турбины.

2 Наблюдаются участки торможения турбины, связанные с тем, что из-за большой внутренней инерционностью (большого количества накопленной энергии пара) для предотвращения выхода из строя турбины, приходится включать тормозные резисторы.

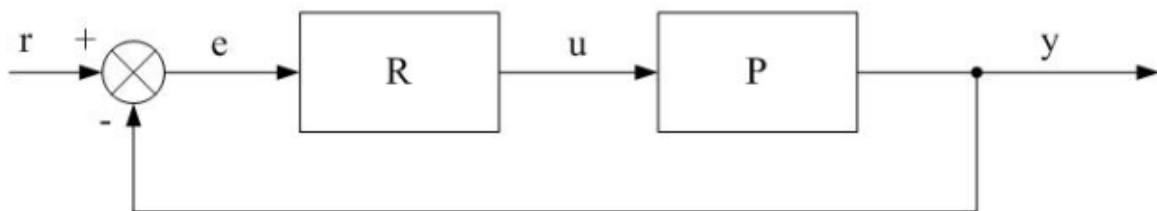
3 Сумма всех участков торможения при средней длине цикла примерно 180 с, составляет величину около 20 с, что приводит потерям КПД примерно на 10%. В результате чего при выработывании 2 кВт мощности на самом деле установке приходится выработывать больше пара для компенсации участков торможения, что в свою очередь снижает КПД всей установки.

Для увеличения КПД был предложено создать ПИД регулятор.

3.3 Описание работы ПИД-регулятора

ПИД-регулятор относится к наиболее распространенному типу регуляторов. Порядка 90-95 % регуляторов, находящихся в настоящее время в эксплуатации, используют ПИД-алгоритм. Причинами столь высокой популярности являются простота построения и промышленного использования, ясность функционирования, пригодность для решения большинства практических задач и низкая стоимость. Среди ПИД-регуляторов 64 % приходится на одноконтурные регуляторы, 36 % – на многоконтурные. Контроллеры с обратной связью охватывают 85 % всех приложений, контроллеры с прямой связью – 6 %, и контроллеры, соединенные каскадно, охватывают 9 % [6].

Простейшая система автоматического регулирования с обратной связью показана на рисунке 10.



R – регулятором, P – объектом регулирования, r – управляющим воздействием, или уставкой, e – сигналом рассогласования, или ошибки, u – выходной величиной регулятора, y – регулируемой величиной

Рисунок 10 – ПИД-регулятор в системе с обратной связью

Если выходная переменная u регулятора R описывается выражением 10, то такой регулятор называют ПИД-регулятором.:

$$U(t) = Ke(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (10)$$

где t – время;

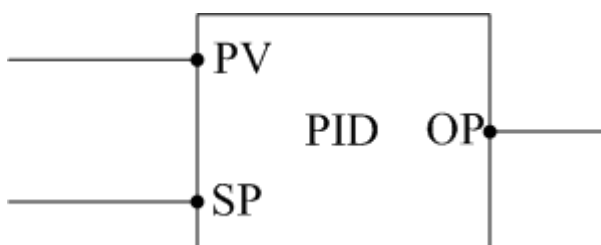
K – пропорциональный коэффициент;

T_i – постоянная интегрирования;

T_d – постоянная дифференцирования соответственно.

В частном случае пропорциональная, интегральная или дифференциальная компоненты могут отсутствовать, и такие упрощённые регуляторы называют И-, П-, ПД- или ПИД-регуляторами.

Упрощенное изображение ПИД-регулятора в виде одного функционального блока показано на рисунке 11.



PV – измеряемый параметр (process value), SP – заданное значение измеряемого параметра (уставка, setpoint), OP – управляющее воздействие (output)

Рисунок 11 – Упрощенное изображение ПИД-регулятора в виде одного функционального блока

Пропорциональная составляющая стремится устранить непосредственную ошибку ($SP-PV$) в значении стабилизирующей величины, наблюдаемую в данный момент времени. Значение этой составляющей прямопропорционально отклонению измеряемой величины от уставки ($SP-PV$). Так если входной сигнал равен уставке, т.е. $PV=SP$, то пропорциональная составляющая равна нулю [7].

При использовании только пропорционального регулятора значение регулируемой величины на практике никогда не устанавливается на заданном значении ($PV_{уст} = SP$). Существует так называемая статическая ошибка, которая равна такому отклонению регулируемой величины, которое обеспечивает выходной сигнал, стабилизирующий выходную величину именно на этом значении. По мере увеличения коэффициента пропорциональности (усиления) уменьшается статическая ошибка, однако слишком большой коэффициент

усиления может стать причиной автоколебаний, а при дальнейшем увеличении коэффициента система может потерять устойчивость и пойти “в разнос”.

Для устранения статической ошибки вводится интегральная составляющая. Она позволяет регулятору «учиться» на предыдущем опыте. Если система не испытывает внешних возмущений, то через некоторое время регулируемая величина стабилизируется на заданном значении. При стабилизации ($PV=SP$) пропорциональная составляющая будет равна нулю, а выходной сигнал будет полностью обеспечиваться интегральной составляющей. При постоянном значении рассогласования ($SP-PV$) интегральная составляющая представляет линейно увеличивающуюся со временем величину.

Физически интегральная составляющая представляет задержку реакции регулятора на изменение величины рассогласования, внося в систему некоторую инерционность, что может быть полезно для управления объектами с большой чувствительностью.

Дифференциальная составляющая противодействует предполагаемым отклонениям регулируемой величины, как бы предугадывая поведение объекта в будущем. Эти отклонения могут быть спровоцированы внешними возмущениями или запаздыванием воздействия регулятора на систему. Чем быстрее регулируемая величина отклоняется от уставки, тем сильнее противодействие, создаваемое дифференциальной составляющей. Когда рассогласование становится постоянной величиной, дифференциальная составляющая перестает оказывать воздействие на сигнал управления.

Процесс настройки ПИД-регулятора состоит в основном из задания уставки и значений указанных выше трех коэффициентов. Существует несколько математических методов вычисления оптимальных коэффициентов ПИД-регулятора исходя из обеспечения наибольшей устойчивости системы. Однако на практике настройка регулятора проводится эмпирическим методом (так сказать “на глазок”). В современных АСУ ТП зачастую применяются так называемые самонастраивающиеся ПИД-регуляторы, которые путем подачи на

объект единичного воздействия и анализа ответной реакции автоматически выставляют если не оптимальные, то достаточно хорошие коэффициенты. Более того, существуют алгоритмы адаптированного ПИД-регулирования, предполагающие автоматическую корректировку (подстройку) коэффициентов регулирования в процессе управления. С их помощью можно достичь очень высокого качества управления даже в сильно нелинейных системах, однако по каким-то причинам технологи и по сей день относятся к этому функционалу с большим подозрением.

3.4 Функциональная схема САР

На рисунке 12 показана функциональная схема системы регулирования частотой вращения турбины

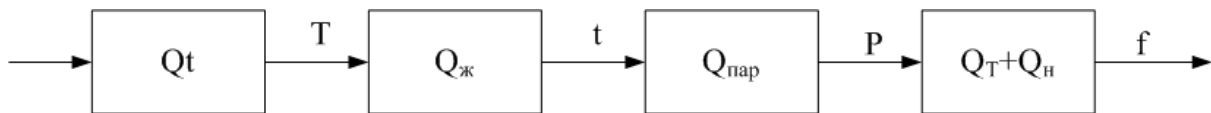


Рисунок 12 – Функциональная схема системы регулирования частотой вращения турбины

Система регулирования частотой вращения турбины представляет собой следующую последовательность действий: в результате сгорания топливного газа образующаяся тепловая энергия передается рабочей жидкости, находящейся в парогенераторе посредством теплообменного аппарата встроенного в парогенератор. В результате нагрева и соответственно испарения рабочей жидкости образуется поток пара, приводящий во вращение осевую турбину и находящийся с ним на одном валу ротор генератора и насоса.

Линеаризованная модель системы управления описывается следующим набором уравнений (таблица 1).

Таблица 1 – Модели системы и их уравнения

Наименование	Вид уравнения
Органическая жидкость	$T_{ж} \frac{dQ}{dt} + Q = K_{ж} \cdot T$

Поток пара	$P = K_{\text{ж}} \frac{dT}{dt}$
Нагрузка	$f = K_{\text{н}} \cdot P$

Продолжение таблицы 1 – Модели системы и их уравнения

Турбина	$f = K_{\text{т}} \frac{dP}{dt}$
---------	----------------------------------

3.5 Структурная схема САР

Получим модель в операторно-структурной форме. Исходя из условий, система с ресивером описывается следующей системой уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{\text{ж}} \frac{dQ}{dt} + Q = K_{\text{ж}} \cdot T \\ P = K_{\text{пар}} \frac{dT}{dt} \\ f = K_{\text{н}} \cdot P \\ f = K_{\text{т}} \frac{dP}{dt} \end{array} \right. \quad (11)$$

Чтобы получить операторно-структурную форму нужно преобразовать уравнения в операторную форму, используя преобразования Лапласа и разрешить их относительно старшей производной:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{\text{ж}} \cdot s \cdot Q(s) + Q(s) = K_{\text{ж}} \cdot T(s) \\ P(s) = K_{\text{пар}} \cdot s \cdot T(s) \\ f(s) = K_{\text{н}} \cdot P(s) \\ f(s) = K_{\text{т}} \cdot s \cdot P(s) \end{array} \right. \quad (12)$$

Теперь для каждого из этих уравнений необходимо составить эквивалентную ему операторно-структурную схему. Представлены уравнения и эквивалентные схемы на рисунках ниже:

$$— T_{\text{ж}} \cdot s \cdot Q(s) + Q(s) = K_{\text{ж}} \cdot T(s)$$

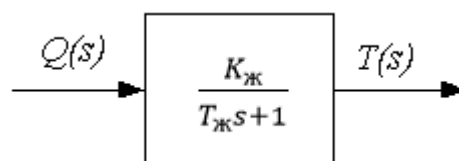


Рисунок 13 – Эквивалентная схема 1

$$— P(s) = K_{\text{пар}} \cdot s \cdot T(s)$$

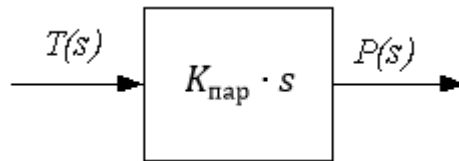


Рисунок 14 – Эквивалентная схема 2

$$— f(s) = K_{\text{н}} \cdot P(s)$$

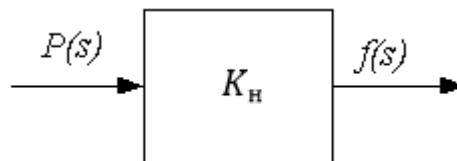


Рисунок 15 – Эквивалентная схема 3

$$— f(s) = K_{\text{т}} \cdot s \cdot P(s)$$

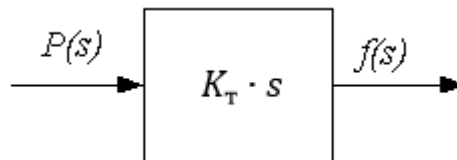


Рисунок 16 – Эквивалентная схема 4

После проведенных преобразований необходимо соединить полученные части операторно-структурной схемы в одно целое.

Результат представлен на рисунке 16.

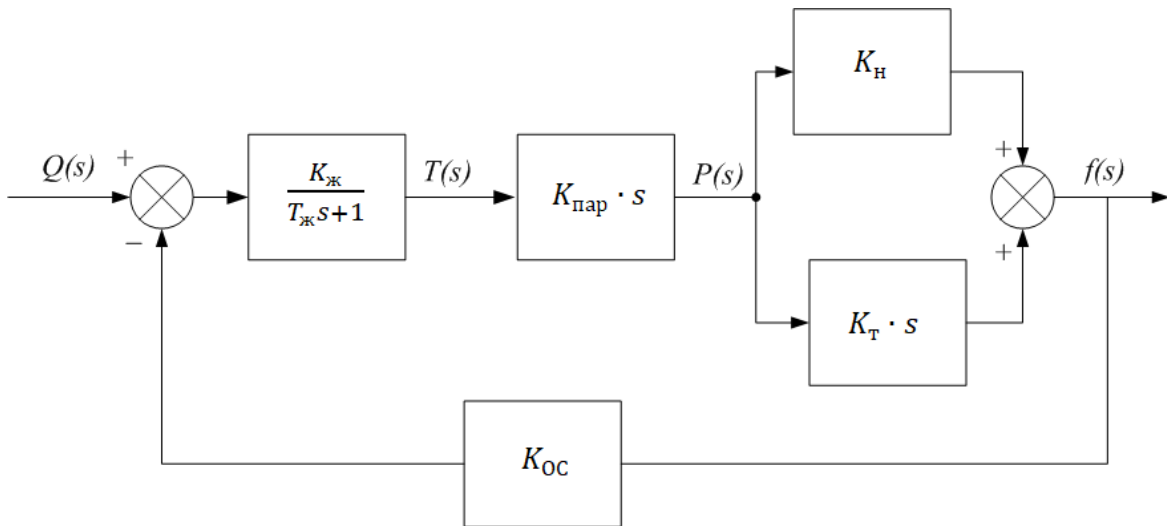


Рисунок 17 - Общая операторно-структурная схема

Опираясь на полученные данные, можно с легкостью определить передаточную функцию системы.

$$W(s) = \frac{K_{\text{ж}}K_{\text{пар}}K_{\text{н}}s^2 + K_{\text{ж}}K_{\text{пар}}K_{\text{т}}s}{K_{\text{ос}}K_{\text{ж}}K_{\text{пар}}K_{\text{т}}s^2 + (T_{\text{ж}} + K_{\text{ос}}K_{\text{ж}}K_{\text{пар}}K_{\text{н}})s + 1} \quad (13)$$

3.6 Синтез ПИД-регулятора

В общей теории автоматического управления структура регулятора выбирается исходя из модели объекта управления. При этом более сложным объектам управления соответствуют более сложные регуляторы. В данном же случае структура регулятора уже задана - рассматривается ПИД-регулятор, причем структура очень простая.

Исследуемая система имеет передаточную функцию:

$$W_u(s) = \frac{0,0025s^2 + 7,5 \cdot 10^{-9}s}{7,5 \cdot 10^{-9}s^2 + 300,0025s + 1} \quad (14)$$

Для упрощения моделирования системы в среде Matlab, используем блок с передаточной функцией и блоки звеньев ПИД-регулятора. Схема модели системы с ПИД-регулятором представлена на рисунке 18.

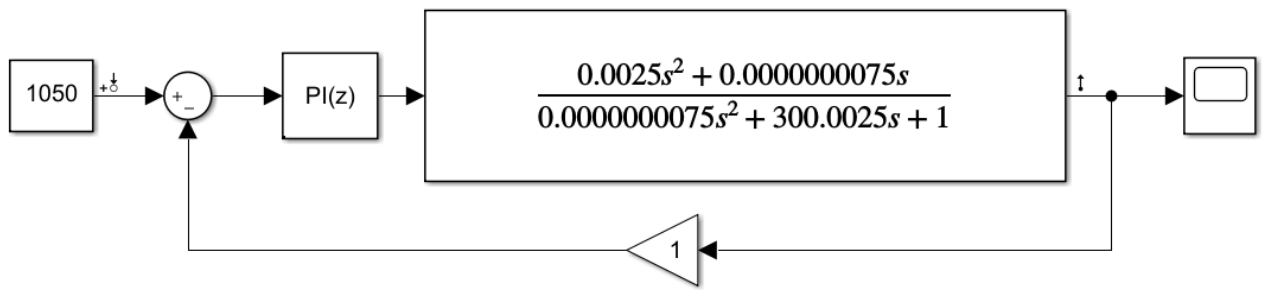


Рисунок 18 - Модель системы с ПИД-регулятором

Для решения задачи автоматического синтеза ПИД-регулятора в пакете Simulink есть специальный блок, который позволяет простым и быстрым методом настроить ПИД-регулятор, выводя текущий график переходного процесса.

Схема для автоматической настройки выглядит следующим образом (рисунок 19):

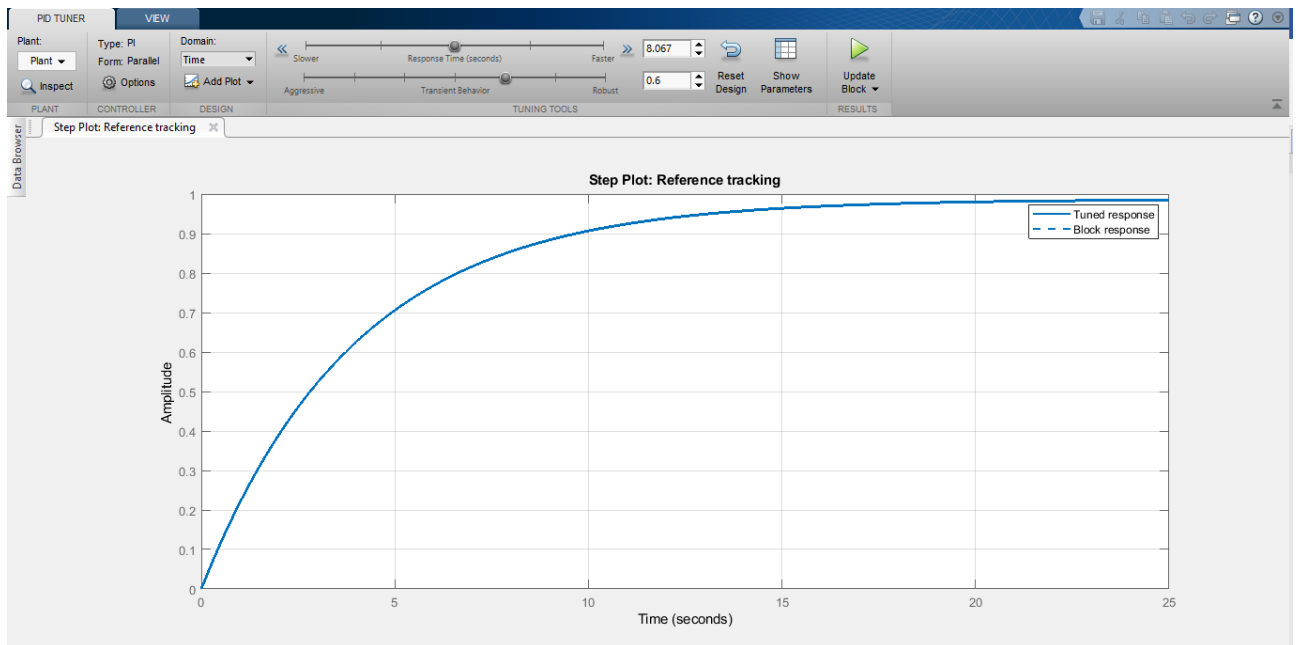


Рисунок 19 - Автоматическая настройка ПИД-регулятора
Переходный процесс показан на рисунке 22.

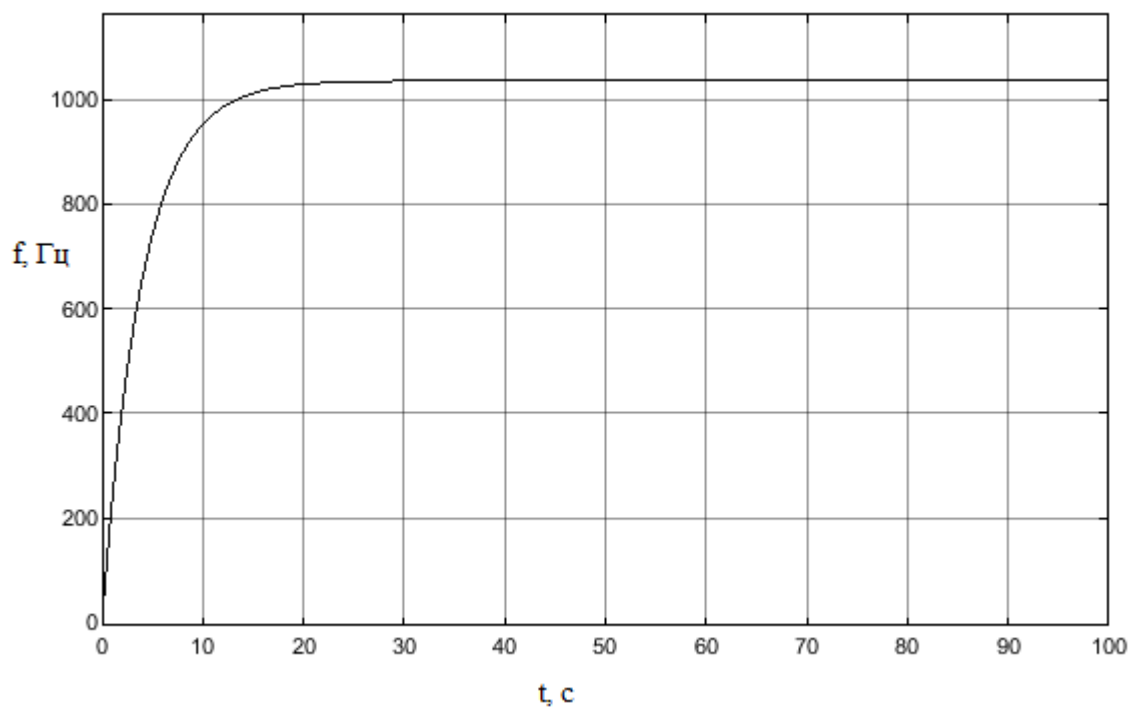


Рисунок 20 - Переходный процесс системы с автоматически настроенным ПИД-регулятором

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Согласно заключенному соглашению по НИОКР с ПАО ГАЗПРОМ задача по проектированию и последующему серийному выпуску автономных преобразователей энергии было возложена на ОАО ТЭМЗ. В связи с тем, что в рамках национального проекта «Сила Сибири» планируется построить газопровод, проходящий большому количеству сложных участков поверхности нашей страны (участкам вечной мерзлоты, болотам, густым лесам Сибири). Для обеспечения безопасности и надежности транспортировки газа необходимо каждые 50-70км установка кранового узла. Крановый узел состоит из шарового крана перекрывающего трубу, оснащенного электроприводом, источника энергии, узла телеметрии и связи. На протяжении 30 лет данную проблему удавалось решать с помощью монополиста ORMAT Technologies Inc., Израиль. Однако на сегодняшний момент в условиях «сакционных войн», и в связи с резким ростом доллара установка и покупка подобных преобразователей стало сравнима с установкой линии ЛЭП.

4.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Основными главными конкурентами являются установка компании ORMAT Technologies Inc. (конкурент 1) и установка ООО "Научно-производственное объединение "Санкт-Петербургская электротехническая компания" (конкурент 2).

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1 (таблица 2).

Таблица 2 – Оценочная карта

Критерии оценки	Вес критерия	Относительное значение			Средневзвешенное значение		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Энергоэффективность	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
2. Помехоустойчивость	0,01	5	5	4	0,05	0,05	0,04
3. Надежность	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
4. Унифицированность	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
5. Уровень материалоемкости	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
6. Уровень шума	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
7. Безопасность	0,2	5	5	5	1	1	1
8. Функциональная мощность	0,01	5	5	3	0,05	0,05	0,03
9. Простота эксплуатации	0,08	4	4	4	0,32	0,32	0,32
10. Ремонтпригодность	0,08	4	4	4	0,32	0,32	0,32
Экономические критерии оценки эффективности							
11. Конкурентоспособность	0,06	5	5	3	0,3	0,3	0,18
12. Уровень проникновения на рынок	0,03	4	5	2	0,12	0,15	0,06
13. Послепродажное обслуживание	0,07	5	5	3	0,35	0,35	0,21
14. Цена	0,06	5	3	3	0,3	0,18	0,18
15. Финансирование разработки	0,03	5	3	3	0,15	0,09	0,09
Итого	1	70	67	55	4,69	4,54	3,96

После суммирования показателей в оценке ресурсоэффективности наша разработка не уступает конкурентам, однако, если посмотреть на оценку эффективности, то можно заметить, что в некоторых пунктах немного отстаем. Однако установка новейшая, выигрывает по цене, то проникновение на рынок должно пройти за небольшой срок.

Были выявлены следующие недостатки конкурентов.

Для конкурента 1 характерны:

- 1 система зарубежная и дорогая;
- 2 устаревшая элементная база системы управления.

Для конкурента 2 характерны:

1 В состав системы включен рециркуляционный насос, питание которого осуществляется от самой системы, что снижает ее КПД и уменьшает надежность.

2 Так как в системе поддерживается постоянная температура рабочей области масляного котла, система всегда будет вырабатывать определенное количество электроэнергии, излишки которой придется сбрасывать на нагрузку. Не эффективное использование.

3 Система предназначена для работы в качестве резервного источника питания.

4.2.2 Морфологический анализ

Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования. Синтез охватывает как известные, так и новые, необычные варианты, которые при простом переборе могли быть упущены. Путем комбинирования вариантов получают большое количество различных решений, ряд которых представляет практический интерес.

Реализация метода предусматривает следующие этапы.

- 1 Точная формулировка проблемы.

Отсутствие отечественного устройства с низкой и с усовершенствованной базой элементов, отвечающего по всем требованиям ПАО «Газпром».

- 2 Раскрытие всех важных морфологических характеристик объекта.

3 К нашему устройству относятся: преобразователь энергии, устройство управления, привода.

4 Составим таблицу (таблица 3), в которой раскроем все возможные варианты по каждой характеристике.

Таблица 3 – Таблица характеристик

	1	2	3
А. Преобразователь энергии	ЛЭП	Ветрогенераторы	Турбогенератор
Б. Устройства управления	Ручное управление	Автономное управление	Автоматизированное управление
В. Типы приводов	Электрически приводы	Гидравлические приводы	Пневматические приводы
Г. Окружающая среда	Воздух	Вода	Вакуум

5 Проанализировав все возможные решения можно составить содержание устройства, которое может решить поставленную проблему. АЗБ2В1. Данное решение имеет низкую стоимость, простоту конструкции.

4.2.3 SWOT-таблица

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

SWOT-анализ проводится в несколько этапов. Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Результаты первого этапа SWOT-анализа представлять в табличной форме (таблица 4).

Таблица 4 – Первый этап SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Снижение человеческого фактора при эксплуатации;</p> <p>С2. Использование современного ПО и оборудования;</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1: Недостаточная осведомленность у заказчиков о возможностях предлагаемой технологии;</p> <p>Сл2: Необходимость</p>
--	---	--

Продолжение таблицы 4 – Первый этап SWOT-анализа

	<p>С3. Увеличение срока службы оборудования; С4. Импортозамещение; С5. Единственное подобное устройство в России</p>	<p>переоборудования в случае применения к объектам с устаревшим оборудованием; Сл3: Недостаточная информированность разработчиков о возможностях применяемого ПО; Сл4: Нехватка квалифицированных кадров; Сл5: Слабая развитость ПО отечественных издателей.</p>
<p>Возможности: В1: Использование новейших мировых разработок; В2: Повышение спроса на комплексную автоматизацию процессов; В3: Возможность выхода на мировой рынок; В4: Возможность получения грантов для проведения исследований и разработок; В5: Привлечение лучших специалистов.</p>		
<p>Угрозы: У1: Отсутствие спроса на разработку; У2: Высокая цена; У3: Риски информационной безопасности; У4: Узкая специализация целевых предприятий; У5: Сокращение рабочих мест.</p>		

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие

сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивная матрица проекта представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	B1	+	+	+	+	+
	B2	+	+	+	0	-
	B3	+	0	+	+	+
	B4	-	0	0	-	-
	B5	0	+	0	-	+
Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	+	+	+	+	+
	B2	+	0	+	-	0
	B3	+	-	+	0	0
	B4	0	-	+	+	0
	B5	-	0	+	+	0
Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	-	0	-	-	0
	У2	+	+	+	-	-
	У3	0	+	0	-	-
	У4	0	0	+	+	+
	У5	+	+	-	-	-
Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	+	+	-	0	0
	У2	-	+	+	-	+
	У3	-	+	+	-	+
	У4	+	0	-	-	0
	У5	0	+	0	-	-

В рамках третьего этапа составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 6).

Таблица 6 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Снижение человеческого фактора при эксплуатации; С2. Использование современного ПО и оборудования; С3. Увеличение срока службы оборудования; С4. Импортзамещение; С5. Единственное подобное устройство в России</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1: Недостаточная осведомленность у заказчиков о возможностях предлагаемой технологии; Сл2: Необходимость переоборудования в случае применения к объектам с устаревшим оборудованием; Сл3: Недостаточная информированность разработчиков о возможностях применяемого ПО; Сл4: Нехватка квалифицированных кадров; Сл5: Слабая развитость ПО отечественных издателей.</p>
<p>Возможности: В1: Использование новейших мировых разработок; В2: Повышение спроса на комплексную автоматизацию процессов; В3: Возможность выхода на мировой рынок; В4: Возможность получения грантов для проведения исследований и разработок; В5: Привлечение лучших специалистов.</p>	<p>В1С1С2С3 – Новейшие разработки позволят продлить срок службы оборудования, снизить степень участия человека в процессе проектирования и эксплуатации; В1С4С5 – новые разработки с сфере алгоритмов и вычислений позволят сократить время проведения расчетов; В2С1С2С3 – общая тенденция развития автоматизации ведёт к повышению срока службы оборудования и снижения участия человека в процессе; В3С1С3С4С5 – интегрированная модель производства позволит производить весь спектр расчетов, необходимых для поддержания оборудования в</p>	<p>В1Сл1Сл2Сл3 – скорость появления новых технологий на рынке может привести к неосведомленности и несоответствию оборудования текущим реалиям; В1Сл4 – Новые технологии способны упростить процесс получения точных моделей; В1Сл5 – отсутствие конкурентов на внутреннем рынке позволит проекту развиваться быстрее; В2Сл1Сл3 – Неосведомленность может привести к отсутствию спроса; В3Сл1Сл3 – для полноты реализации возможностей будут использованы интегрированные модели; В4Сл3Сл4 – грант на разработку может стимулировать разработчика</p>

Продолжение таблицы 6 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>надлежащем состоянии, прогнозирования параметров без участия человека; В5С2С5 – сложные технические задачи и современное оборудование смогут привлечь квалифицированных и заинтересованных в карьерном росте людей.</p>	<p>глубже изучить используемое им ПО, а также заняться поиском более выгодного пути получения моделей; В5Сл3Сл4 – привлечение квалифицированного персонала позволит избавиться от неосведомлённости, а так же решит проблемы со сложностью тестирования.</p>
<p>Угрозы: У1: Отсутствие спроса на разработку; У2: Высокая цена; У3: Риски информационной безопасности; У4: Узкая специализация целевых предприятий; У5: Сокращение рабочих мест.</p>	<p>У2С1С2С3 – высокая стартовая цена оправдывается снижением человеческого фактора и увеличения срока службы оборудования; У3С2 – современное оборудование имеет высокую степень информационной безопасности; У4С3С4С5 – узкая специализация готовой продукции- гарантия качественных решений в наиболее важных моментах; У5С1С2 – тенденции развития в области автоматизации диктуют сокращения участия человека в производстве посредством внедрения современных технологий;</p>	<p>У1Сл1Сл2 – недостаточная осведомлённость и нежелание переоборудовать производство часто приводят к снижению спроса; У2Сл2 – для предприятий с устаревшим оборудованием данная разработка приведёт к полному перевооружению, что благоприятно скажется на их производительности; У2Сл5 – высокие цены способны подтолкнуть отечественных издателей ПО вкладывать деньги в разработку; У3Сл2 – чтобы получить комплексную информационную безопасность, необходимо использовать современное оборудование; У3Сл3Сл5 – разработчикам средств информационной безопасности необходимо закладывать наиболее полный пакет решений в свою продукцию;</p>

4.3 Планирование в рамках научного исследования

4.3.1 Структура работ в рамках проектной работы

Трудоемкость выполнения ВКР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для реализации проекта необходимы два исполнителя – руководитель (Р), инженер(И). Следует разделить выполнение проекторной работы на этапы, представленные в таблице 7.

Таблица 7 – Этапы выполнения дипломной работы

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Исполнитель
Разработка задания	1	Постановка задачи	Р
Выбор направления исследования	2	Обзор научно-технической литературы	И
	3	Разработка и утверждение ТЗ	Р, И
	4	Календарное планирование работ	Р, И
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Разработка модели объекта	Р, И
	6	Проектирование схемы соединений	И
	7	Проектирование принципиальной электрической схемы	И
	8	Проектирование и расчет трансформатора	И
	9	Проектирование шкафа управление	И
	10	Создание конструкторской документации	И
Оформление отчета по НИР	11	Составление пояснительной записки	И

4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула:

$$T_{ожі} = \frac{3T_{\min} + 2T_{\max}}{5}, \quad (17)$$

где $T_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

T_{\min} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

T_{\max} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Рассчитаем $T_{ожі}$ руководителя за выполнение первой работы:

$$T_{ож1р} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \text{ чел.-дн.}$$

Рассчитаем $T_{ожі}$ инженера за выполнение второй работы:

$$T_{ож1и} = \frac{3 \cdot 15 + 2 \cdot 30}{5} = 21 \text{ чел.-дн.}$$

Аналогично рассчитываем ожидаемую трудоемкость за оставшиеся работы.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях $T_{рi}$, учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{рi} = \frac{T_{ожі}}{Ч_i}, \quad (18)$$

где $T_{рi}$ – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$T_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Рассчитаем длительность работ в рабочих днях для руководителя и инженера, используя данные с выполнения третьей работы:

$$T_{р3р} = \frac{T_{ож3р}}{Ч_3} = \frac{2,8}{2} = 1,4$$

$$T_{р3и} = \frac{T_{ож3и}}{Ч_3} = \frac{14}{2} = 7$$

Аналогично рассчитываем для остальной работы.

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi}k_{\text{кал}}, \quad (19)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Рассчитаем продолжительность выполнения работы для руководителя и инженера, используя данные с выполнения третьей работы:

$$T_{\text{кзр}} = T_{\text{рзр}}k_{\text{кал}} = 1,4 * 1,48 = 2,08$$

$$T_{\text{кзи}} = T_{\text{рзи}}k_{\text{кал}} = 7 * 1,48 = 10,36$$

Аналогично рассчитываем для остальной работы.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48, \quad (20)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

В таблице 8 приведены расчеты длительности отдельных видов работ.

Таблица 8 – Расчет трудоемкости выполняемых работ

№ раб	Трудоемкость работ						Исполн ители	Длительность ра- бот в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	T_{min} , чел-дни		T_{max} , чел-дни		$T_{\text{ожі}}$, чел-дни			P	C	P	C
	P	C	P	C	P	C					
1	1	-	2	-	1,4	-	1	1,4	-	2,07	-
2	-	15	-	30	-	21	1	-	21	-	31,08
3	2	10	4	20	2,8	14	2	1,4	7	2,08	10,36
4	1	1	2	2	1,4	1,4	2	0,7	0,7	1,04	1,04
5	3	4	7	8	4,6	5,6	2	2,3	2,8	3,40	4,14
6	-	10	-	20	-	14	1	-	14	-	20,72
7	-	10	-	20	-	14	1	-	14	-	20,72

8	-	7	-	12	-	9	1	-	9	-	13,32
9	-	15	-	22	-	17,8	1	-	17,8	-	26,34

Продолжение таблицы 8 – Расчет трудоемкости выполняемых работ

10	-	25	-	30	-	27	1	-	27	-	39,96
11	-	14	-	20	-	16	1	-	16	-	23,68
Итого:										8,59	252,28

4.3.3 Бюджет научно-технического исследования

Бюджет научно-технического исследования должен быть основан на достоверном отображении всех видов расходов, связанных выполнением проекта. В процессе формирования бюджета разработки используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты разработки;
- затраты на специальное оборудование для научных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты на научные и производственные командировки;
- накладные расходы.

В данной ВКР не было материальных затрат на разработку устройства.

4.3.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Для вычисления материальных затрат воспользуемся следующей формулой 21:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (21)$$

где m – количество видов материальных ресурсов;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов;

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Для разработки данного научного проекта необходимы следующие материальные ресурсы: потребляемая электроэнергия и расходные материалы (канцелярские товары и печатная бумага).

Длительность работ составляет 253 дня, для расчёта потребляемой энергии примем, что в день для проведения исследования тратится около 4 часов работы за компьютером. Компьютер потребляет в среднем 60 Вт в час. Зная стоимость электроэнергии по городу Томск, можно рассчитать сумму, которую необходимо для этого потратить (таблица 8).

Основными средствами для проведения исследования являются: компьютер и программное обеспечение (MS Visual Studio, MS Office, PTC Creo Elements/PRO, WinCC) (таблица 9).

Таблица 9 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Кол-во	Цена (руб.)
Электроэнергия	кВт.	40	136
Канцелярские товары	Шт.	1	500
Печатаная бумага	Пачка	1	300
Итого (руб.)			936

Поскольку предприятие предоставляет бесплатный доступ к разному виду программного обеспечения, в том числе MS Office и AutoCAD, следовательно, затратами на основные средства будут являться покупка ноутбука и стандартного пакета Microsoft Office (таблица 10).

Таблица 10 – Основные средства проведения исследования

Наименование	Единица измерения	Цена (руб.)
Ноутбук Asus N56VZ	шт.	48000
Microsoft Office 2016 Home and Student RU	шт.	4200
Итого (руб.)		52200

4.3.3.2 Основная заработная плата исполнителей

Основная заработная плата инженера и руководителя за выполнение проекта, рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} * T_{\text{р}}, \quad (22)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;
 $T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;
 $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.
Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (23)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;
 M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:
– при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;
– при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;
– при отпуске в 72 раб. дней $M = 9,6$;
 $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

В таблице 11 приведен баланс рабочего времени.

Таблица 11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	119	119
Потери рабочего времени в днях - отпуск - невыходы по болезни	48	48
M , количество месяцев работы без отпуска в течение года	11,2	11,2
$F_{\text{д}}$, действительный годовой фонд рабочего времени	198	198

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot k_{\text{р}}, \quad (24)$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет основной заработной платы

Исполнитель	$Z_{ТС}$, руб.	k_p	Z_M , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	7000	1,3	9100	514,75	5,8	2985,55
Инженер	7000	1,3	9100	514,75	129,3	66557,175
Итого:						69542,725

4.3.3.3 Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата включает заработную плату за не отработанное рабочее время, но гарантированную действующим законодательством. Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (25)$$

где $k_{доп}$ - коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Примем $k_{доп}$ равным 0,14 и рассчитаем дополнительную заработную плату для студента, руководителя.

$$Z_{допР} = k_{доп} \cdot Z_{оснР} = 0,14 \cdot 4478,3 = 417,98$$

$$Z_{допИ} = k_{доп} \cdot Z_{оснИ1} = 0,14 \cdot 66557,175 = 9318$$

$$Z_{доп} = 417,98 + 9318 = 9735,98$$

4.3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений определяется по формуле:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{оснС} + Z_{доп}), \quad (26)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

В таблице 13 приведены отчисления во внебюджетные фонды.

Таблица 13– Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель	Инженер
Основная заработная плата, руб.	2985,55	66557,18
Дополнительная заработная плата, руб.	417,98	9318
Коэффициент отчисления во внебюджетные фонды, %	30	30
Итого:	1021,06	22762,55
	23783,61	

4.3.3.5 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Накладные расходы составляют 15-20 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле 27 (таблица 14):

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (27)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

Таблица 14 – Накладные расходы

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Отчисления на социальные нужды, руб.
Руководитель проекта	2985,55	417,98	1021,06
Инженер	66557,18	9318	22762,55

Коэффициент накладных расходов	16%
Итого	
Руководитель	707,93
Инженер	15782,04
Суммарно	16489,97

4.3.4 Формирование бюджета затрат проекта

Расчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет бюджета затрат НТИ

Вид работ	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Накладные расходы	Итого плановая себестоимость
Рассмотренный проект	936 руб.	52200 руб.	69542,725 руб.	9735,98 руб.	23783,61 руб.	16489,97 руб.	172688,285 руб.
Аналог 1	1048,32 руб.	58464 руб.	77887,852 руб.	10904,3руб	26637,643 руб.	18468,766 руб.	193410,881 руб.
Аналог 2	1076,4 руб.	60030 руб.	79974,134 руб.	11196,377 руб.	27351,152 руб.	18963,466 руб.	198591,452 руб.

4.4 Определение ресурсной, финансовой и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. С помощью таблицы 18 определим интегральный показатель ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле 28:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (28)$$

где $I_{финр}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в том числе и аналогов).

$$I_{финр} = \frac{172688,285}{200000} = 0.86$$

$$I_{финр} = \frac{193410,881}{200000} = 0.97$$

$$I_{финр} = \frac{198591,452}{200000} = 0.99$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом (формула 29):

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i b_i, \quad (29)$$

где I_{pi} – интегральный финансовый показатель разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки.

Сравнительная оценка характеристик проекта представлена в таблице 16.

Таблица 16 – Сравнительная оценка характеристик

Критерии	Весовой коэффициент	Проект	Аналог1	Аналог2
Энергоэффективность	0,125	5	5	4
Помехоустойчивость	0,035	5	5	4
Надежность	0,125	5	5	4
Унифицированность	0,075	4	4	4
Уровень материалоемкости	0,075	5	5	5
Уровень шума	0,095	4	4	4
Безопасность	0,225	5	5	5
Функциональная мощность	0,035	5	5	3
Простота эксплуатации	0,105	4	4	4
Ремонтопригодность	0,105	4	4	4
Итого	1	4,6	4,6	4,1

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{финр}^p$) и аналога ($I_{финаi}^{ai}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле 30, 31 соответственно:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{финр}^p}, \quad (30)$$

$$I_{финаi}^{ai} = \frac{I_m^{ai}}{I_{финаi}^{ai}}, \quad (31)$$

Все необходимые параметры для оценки ресурсоэффективности сведены и рассчитаны в таблице 17.

Таблица 17 – Сравнительная таблица показателей эффективности

№	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель	0,86	0,97	0,99

	разработки			
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	4,6	4,1
3	Интегральный показатель эффективности	5,35	4,74	4,14
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,13	1,29

Таким образом, основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод об очевидном превосходстве разработки над аналогами 1 и 2. Такая разница обуславливается тем, что аналоги имеют ряд недостатков по сравнению с собственной разработкой.

4.5 Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков. Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности инноваций в качестве основных показателей рекомендуются считать:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- срок окупаемости (D_{PP});
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- индекс доходности (PI).

4.5.1 Расчет чистой текущей стоимости

Чистая текущая стоимость является абсолютным показателем. Условием экономичности инвестиционного проекта по данному показателю является выполнение следующего неравенства: $NPV > 0$.

Чем больше NPV , тем больше влияние инвестиционного проекта на экономический потенциал предприятия, реализующего данный проект, и на экономическую ценность этого предприятия.

Таким образом, инвестиционный проект считается выгодным, если NPV является положительной величиной. Расчет текущей стоимости по проекту показан в таблице 18.

Таблица 18 - Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, тыс.руб.	0,000	120,882	120,882	120,882	120,882
2	Итого приток, тыс.руб.	0,000	120,882	120,882	120,882	120,882
3	Инвестиционные издержки, тыс.руб.	-172,688	0,000	0,000	0,000	0,000
4	Операционные затраты, тыс. руб. С+Ам+ФОТ	0,000	26,870	26,870	26,870	26,870
5	Налогооблагаемая прибыль (1-4)	0,000	94,012	94,012	94,012	94,012
6	Налоги, тыс. руб донал.приб*20%	0,000	18,802	18,802	18,802	18,802
7	Итого отток, тыс.руб. Опер.затр.+налоги	-172,688	45,672	45,672	45,672	45,672
8	Чистая прибыль, т.р. (5-7)	-172,688	48,340	48,340	48,340	48,340
9	Амортизация, т.р	0,000	-0,870	-0,870	-0,870	-0,870
10	Чистый денежный поток, тыс. руб. ЧДП=Пчист+Ам	-172,688	47,470	47,470	47,470	47,470
11	Коэффициент дисконтирования (приведения при $i = 20\%$)	1,000	0,985	0,970	0,955	0,941
12	Дисконтированный чистый денежный поток, тыс.руб. (с8*с9)	-172,688	46,754	46,049	45,355	44,671
13	То же нарастающим итогом, тыс.руб. ($NPV = 10,142$ тыс.руб.)	-172,688	-125,934	-79,884	-34,529	10,142

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 10,142 тыс. рублей, что позволяет сделать вывод о его эффективности.

4.5.2 Дисконтированный срок окупаемости

Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости.

Рассчитывается данный показатель примерно по той же методике, что и простой срок окупаемости, с той лишь разницей, что последний не учитывает фактор времени.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 19).

Таблица 19 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1.	Дисконтированный чистый денежный поток ($i=0,20$)	-172,688	46,754	46,049	45,355	44,671
2.	То же нарастающим итогом	-172,688	-125,934	-79,884	-34,529	10,142
3.	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{дск} = 3 + 34,529/44,671 = 3,77$ месяца				

4.5.3 Внутренняя ставка доходности (IRR)

Для установления показателя чистой текущей стоимости (NPV) необходимо располагать информацией о ставке дисконтирования, определение которой является проблемой, поскольку зависит от оценки экспертов. Поэтому, чтобы уменьшить субъективизм в оценке эффективности инвестиций на

практике широкое распространение получил метод, основанный на расчете внутренней ставки доходности (IRR).

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость следует из таблицы 20 и графика, представленного на рисунке 21.

Таблица 20 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	
1	Чистые денежные потоки	-172,688	47,470	47,470	47,470	47,470	
2	Коэффициент дисконтирования						
	$i=0,1$	1	0,992	0,984	0,976	0,969	
	$i=0,2$	1	0,985	0,970	0,955	0,941	
	$i=0,3$	1	0,978	0,957	0,937	0,916	
	$i=0,4$	1	0,972	0,945	0,919	0,894	
	$i=0,5$	1	0,967	0,935	0,904	0,874	
	$i=0,6$	1	0,962	0,925	0,889	0,855	
	$i=0,7$	1	0,957	0,915	0,876	0,838	
	$i=0,8$	1	0,952	0,907	0,863	0,822	
	$i=0,9$	1	0,948	0,899	0,852	0,807	
	$i=1$	1	0,944	0,891	0,841	0,794	
3	Дисконтированный денежный поток, тыс. руб						NPV
	$i=0,1$	-172,688	47,095	46,722	46,352	45,986	13,467
	$i=0,2$	-172,688	46,754	46,049	45,355	44,671	10,142
	$i=0,3$	-172,688	46,444	45,439	44,456	43,495	7,146
	$i=0,4$	-172,688	46,158	44,881	43,640	42,434	4,425
	$i=0,5$	-172,688	45,893	44,368	42,894	41,469	1,936
	$i=0,6$	-172,688	45,647	43,894	42,208	40,586	-0,354
	$i=0,7$	-172,688	45,417	43,452	41,573	39,775	-2,472
	$i=0,8$	-172,688	45,201	43,040	40,983	39,024	-4,440
	$i=0,9$	-172,688	44,998	42,654	40,433	38,327	-6,277
	$i=1$	-172,688	44,806	42,291	39,918	37,677	-7,997

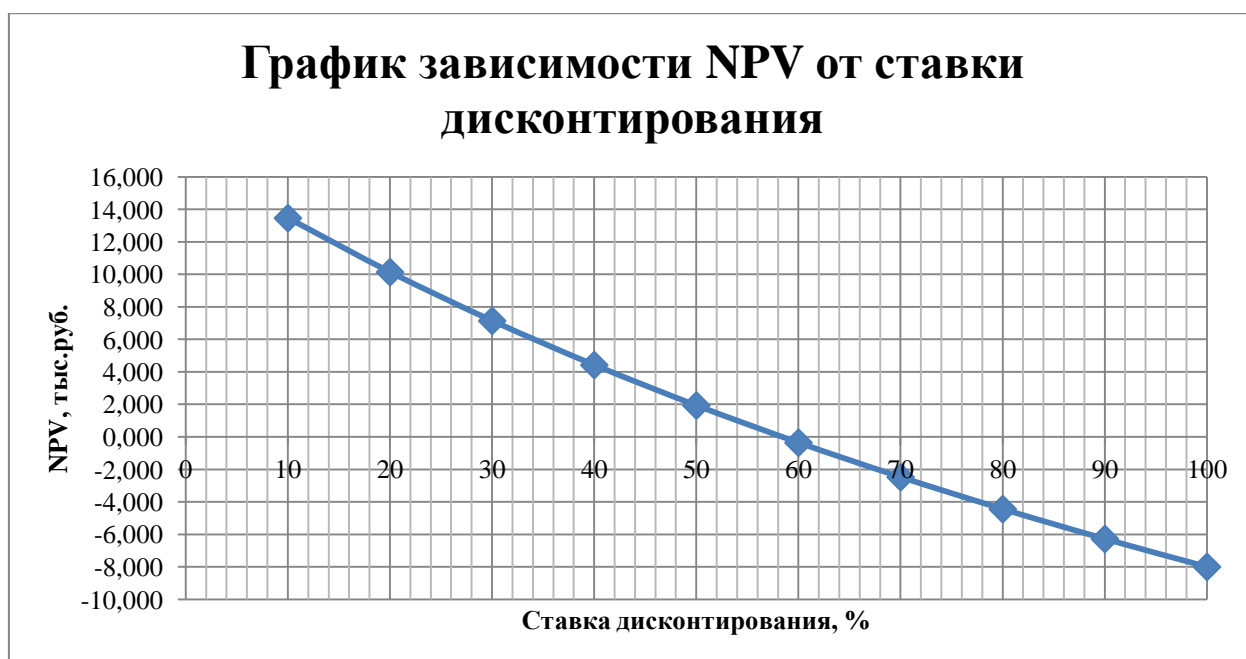


Рисунок 21 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования.

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,58.

4.5.4 Индекс доходности (рентабельности) инвестиций

Индекс доходности показывает, сколько приходится дисконтированных денежных поступлений на рубль инвестиций.

Расчет этого показателя осуществляется по формуле 32:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧПД_t}{(1+i)^t} / I_0, \quad (32)$$

где I_0 – первоначальные инвестиции.

$$PI = \frac{46,754 + 49,049 + 45,355 + 44,671}{172,688} = 1,059$$

$PI=1,059 > 1$, следовательно, проект эффективен при $i=0,2$.

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в

целом или отдельных категорий населений, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты (таблица 21).

Таблица 21 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Долгое время ожидания ответа обратной связи	Система, на основе скорректированных в ходе эксплуатации моделей, способна быстрее реагировать на различные запросы оператора.
Проведение технического обслуживания по графику ППР	Система позволяет следить за состоянием оборудования, что в свою очередь приводит к обслуживанию не по графику, а по требованию, что может существенно снизить затраты на обслуживание оборудования.

Таким образом, на основании всех расчётов можно сделать вывод о том, что проект является рентабельным и эффективным для инвестиций в первую очередь потому что обслуживание инвестиций не требует больших капиталовложений, так как разрабатываемая система является автономной и требует точной настройки, следовательно, и финансовые вложения только на начальном этапе своего функционирования. Все показатели финансовой и экономической эффективности, такие как чистая текущая стоимость (NPV), срок окупаемости (D_PP), внутренняя ставка доходности (IRR), индекс доходности (PI), рассчитанные в ходе работы по разделу подтверждают вышесказанное утверждение.

5 Социальная ответственность

Данный раздел дипломной работы посвящен анализу и разработке мер по обеспечению благоприятных и безопасных для творческой работы инженера-конструктора условий труда. Здесь рассмотрены вопросы производственной безопасности, эргономики, пожарной безопасности и охраны окружающей среды.

Согласно заключенному соглашению по НИОКР с ПАО ГАЗПРОМ задача по проектированию и последующему серийному выпуску автономных преобразователей энергии была возложена на ОАО ТЭМЗ.

Установка предназначена для использования в энергетике для получения электрической и тепловой энергии удаленных от централизованных сетей объектов нефтегазодобычи, магистральных трубопроводов, связи.

В данном разделе будут рассмотрены опасные факторы, присутствующие при работе данного устройства. К основным факторам можно отнести производственный шум, короткое замыкание, а также поражение электрическим током. В данном разделе также будут рассмотрены правовые вопросы регулирования трудовых отношений.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правовые нормы регулирует специальный государственный орган. Основные требования описаны в трудовом кодексе Российской Федерации и в СанПиН 2.2.4.548-96.

Время продолжительности рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю. В течение рабочего дня работнику должен быть предоставлен перерыв для отдыха и питания продолжительностью не более двух часов и не менее 30 минут.

К работе с установкой допускаются лица не моложе 16 лет, прошедшие специальное обучение. К работе не допускаются, не допускаются нетрудоспособные лица (инвалиды, пенсионеры, лица моложе 16 лет).

Основные органы, регулирующие правовые нормы сотрудников и осуществляющие контроль рабочего места являются:

- Федеральная инспекция труда;
- Государственная экспертиза условия труда;
- Федеральная служба по труду и занятости населения;
- Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителя и благополучия человека.

5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

В данном разделе рассмотрены основные нормативные документы, выполнение которых необходимо для безопасного исполнения рабочих обязанностей инженера-конструктора, который проводит большую часть времени за компьютером.

- В статье 22 Трудового кодекса РФ указано, что работодатель обязан обеспечивать безопасность работника и соответствие условий труда всем необходимым требованиям [8].

- Статья 27 Закона о санитарно-эпидемиологическом благополучии от 30 марта 1999 года регулирует вопросы влияния различных устройств (в том числе и ЭВМ) на здоровье работника.

- СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 (утверждены 30 мая 2003 года) регулируют порядок организации рабочего процесса для лиц, труд которых связан с компьютерной техникой. Требования документа распространяются на персон-альные компьютеры, периферийные устройства (клавиатуры, принтеры, модемы, блоки бесперебойного питания и т.д.), а также на видеодисплейные терминалы всех типов [13].

- Типовая инструкция ТОИ Р-45-084-01 (утверждена 2 февраля 2001 года) более детально регламентирует данный вопрос. Согласно данному документу, без перерыва работник может находиться за монитором компьютера не более двух часов.

ППБ 01-93 «Правила пожарной безопасности в Российской Федерации» устанавливает необходимые требования по пожарной безопасности ко всем системам и оборудованию, находящемуся в помещениях БКНС – электроустановки, системы отопления и вентиляции, противопожарное оборудование и т.д.

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Комфорт рабочего пространства (рисунок 22) складывается из эргономики рабочего места и рационального планирования пространства помещения в целом. Основное внимание необходимо уделить делению на рабочие зоны так, чтобы каждый сотрудник мог работать максимально эффективно, как отдельно так при необходимости работать в команде. Необходимо располагать наиболее часто используемые предметы на расстоянии вытянутой руки, что позволит минимизировать временные затраты на выполнение рутинных операций. Эргономика рабочего места напрямую влияет на производительность труда. Основными нормативными документами, определяющими требования к организации рабочих мест пользователей ПЭВМ, являются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [13] и ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» [10].

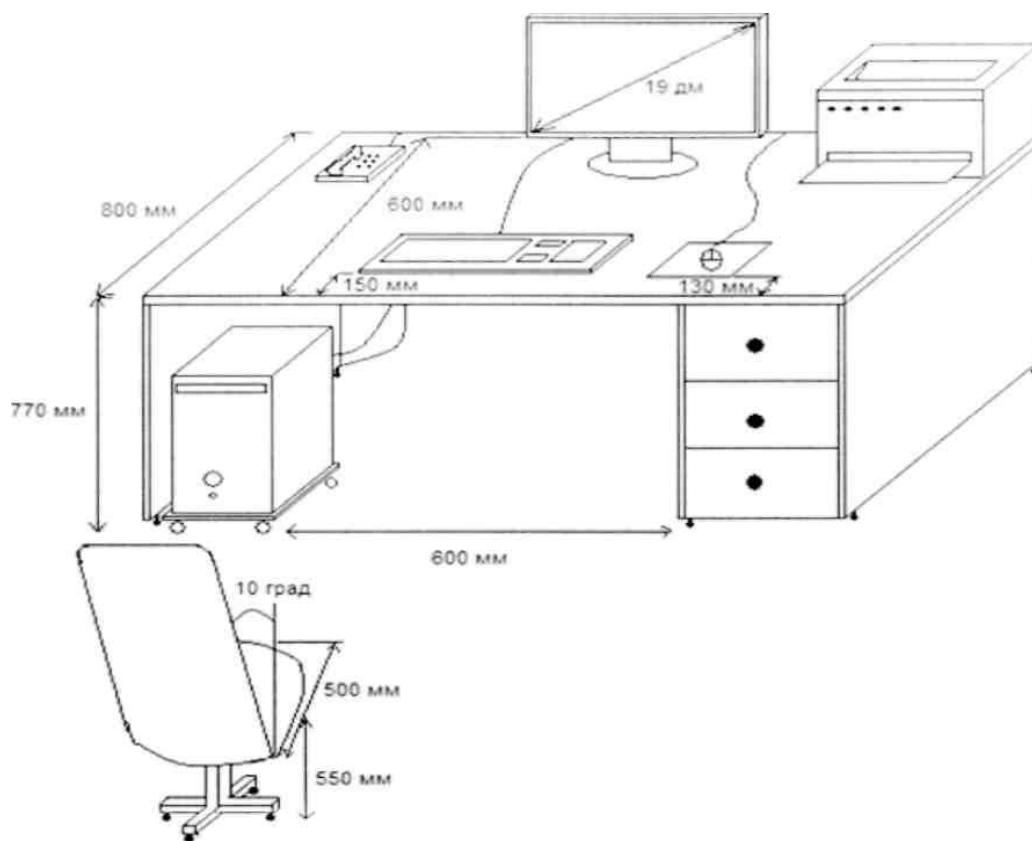


Рисунок 22 – Организация рабочего места

Сотрудники, с сидячей работой, проводят за столом около 90% рабочего, из-за чего давление в нижней части спины возрастает в пять раз, чем в положении стоя. Не рекомендуется использовать стандартные стулья более 15 минут в день, так как их использование может нанести вред для здоровья. Для снижения риска осложнений кресло должно быть снабжено подлокотниками, иметь максимальную глубину посадки и не пережимать артерии под коленями. Упругая спинка анатомической формы уменьшает нагрузку на позвоночник. В результате конструкция равномерно поддерживает тело по всей площади его соприкосновения с креслом.

5.2 Профессиональная социальная безопасность

5.2.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов

Разработка системы производится в офисном помещении с помощью персонального компьютера, который будет являться главным источником вредных факторов во время рабочего процесса.

Перечень опасных и вредных факторов, характерных для рабочей среды в течение жизненного цикла системы согласно [11] представлен в таблице 22.

Таблица 22 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) [1]; – СП 2.2.2.1327-03 Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту [2];
2. Производственный шум	-	+	+	– СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [5];
3. Отсутствие или недостаток естественного света				– СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах [7]; – СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы [6];
4. Повышенный уровень электромагнитных излучений	-	+	+	– ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования [8]; – ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования [11];
5. Риск поражения электрическим током	+	+	+	– НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности [12].

5.2.2. Анализ вредных факторов

5.2.2.1 Отклонение показателей микроклимата

Микроклиматом производственных помещений называются метеорологические условия внутренней среды этих помещений, которые

определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового облучения. Оптимальные значения этих характеристик зависят от сезона (холодный, тёплый), а также от категории физической тяжести работы. Для инженера-конструктора она является легкой (1а), так как работа проводится сидя, без систематических физических нагрузок.

Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений, в соответствии с периодом года и категорией работ, согласно [12], представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Категория Ia (до 139)	(22-25)	(21-25)	(40-60)	0,1
Теплый	Категория Ia (до 139)	(23-25)	(22-26)	(40-60)	0,1

Для создания благоприятных условий труда и повышения производительности, необходимо поддерживать оптимальные параметры микроклимата производственных помещений. Для этого должны быть предусмотрены следующие средства: центральное отопление, вентиляция (искусственная и естественная), искусственное кондиционирование.

Методы обеспечения нормальных микроклиматических условий:

1 Отопление –совокупность конструктивных элементов со связями между ними, предназначенных для получения, переноса и передачи необходимого количества теплоты в обогреваемых помещениях.

2 Защита от теплового излучения:

– теплоизоляция – температура нагретых поверхностей оборудования, коммуникаций и ограждений на рабочих местах не должна

превышать 45 °С, а для оборудования, внутри которого температура равна или ниже 100 °С, – не должна превышать 35 °С (в качестве теплоизоляционных используются мастичные, оберточные и засыпные материалы);

– экранирование – использование теплоотражающих, теплопоглощающих и теплоотводящих экранов;

– мелкодисперсное распыление воды – водяные завесы;

– воздушное душирование рабочих мест;

– оптимальное размещение оборудования и рабочих мест.

3 Герметизация помещений – улучшение плотности подгонки дверей, рам, заслонок и т.п.; двойное застекление; оборудование шлюзов; устройство тепловых воздушных завес.

4 Кондиционирование – искусственная автоматическая обработка воздуха с целью поддержания в помещениях заранее заданных метеорологических условий, независимо от изменения наружных условий и режимов внутри помещения.

5 Рациональные режимы труда и отдыха – организация дополнительных перерывов в рабочей смене для обогрева или охлаждения работников в специально оборудованных для этой цели помещениях.

6 Рациональный питьевой режим и медицинские средства профилактики.

Устройство работает автономно, поэтому присутствие человека имеет место быть только при установке и ремонте устройства. Автономный преобразователь энергии предназначен для использования на сложных участках поверхности нашей страны (участкам вечной мерзлоты, болотам, густым лесам Сибири).

5.2.2.2 Производственный шум

Шум на рабочем месте оказывает раздражающее влияние на работника, повышает его утомляемость, а при выполнении задач, требующих внимания и сосредоточенности, способен привести к росту ошибок и увеличению продолжительности выполнения задания. Люди, которым приходится работать в условиях длительного шума, обычно имеют головные боли, раздражительность, сталкиваются со снижением памяти, повышенной утомляемостью, также у многих понижен аппетит, есть боли в ушах и т. д. Перечисленные факторы снижают производительность, работоспособность человека, а также качество труда.

При выполнении основной работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБА. Допустимые уровни звукового давления в помещениях для персонала, осуществляющего эксплуатацию ЭВМ при разных значениях частот, приведены в таблице 24.

Таблица 24 – Допустимые уровни звука на рабочем месте

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентного звука (в дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Конструкторские бюро, программисты, лаборатории	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Основными источникам шума автономного преобразователя энергии являются вентиляторы для обдува конденсатора, турбогенератор. Другие источники хорошо изолированы от внешней среды. На человека данный шум не представляет никакой опасности, однако можно снизить воздействие уровня шума можно при помощи средств индивидуальной защиты.

5.2.2.3 Отсутствие или недостаток естественного света

Воздействие естественного света на человеческий организм представляет собой высокую гигиеническую и биологическую ценность,

поскольку естественный свет благодаря своему спектральному составу положительно влияет на психику человека, сохраняя ощущение его связи с окружающим миром. Отсутствие естественного освещения, как и его нехватка, классифицируется как вредный производственный фактор. Требования к освещению на рабочих местах с ПК показаны в таблице 25.

Таблица 25 – Требования к освещению на рабочих местах с ПК

Вид	Требование
Освещённость на рабочем столе	(200–400) лк
Освещённость на экране ПК	не выше 200 лк
Блики на экране	не выше 40 кд/м ²
Прямая блескость источника света	200 кд/м ²
Показатель ослепленности	не более 20
Показатель дискомфорта	не более 15
Отношение яркости	
– между рабочими поверхностями	3:1–5:1
– между поверхностями стен и оборудования	10:1
Коэффициент пульсации:	не более 10 %

В помещениях, предназначенных для работы с ПЭВМ, освещенность рабочей поверхности от систем общего освещения E_n должна быть не менее 300 лк. Коэффициент пульсации освещенности K_n не должен превышать 5 %, коэффициент естественной освещенности не должен превышать 2,1 % в соответствии с [14] и [15].

Расчет искусственного освещения для учебной аудитории:

- размеры помещения: $A = 12$ м; $B = 7$ м; $H = 2,9$ м; $S = 84$ м²;
- количество рядов светильников $N = 3$;
- высота рабочей поверхности $h_p = 0,7$ м;
- коэффициент отражения стен $\rho_{ст} = 50$ %;
- коэффициент отражения потолка $\rho_{п} = 70$ %;

- коэффициент запаса для помещения с малым выделением пыли $K_3 = 1,5$;
- коэффициент неравномерности освещения $Z = 1,1$;
- параметр для светильника типа ОДР с защитной решеткой $\lambda = 1,1-1,3$;
- световой поток одной лампы $\Phi_1 = 2500$ лм.

Рассчитали индекс помещения i по формуле (33):

$$i = \frac{S}{H \cdot (A+B)}, \quad (33)$$

- где S – площадь комнаты;
 H – высота комнаты;
 A – длина комнаты;
 B – ширина комнаты.

Получили в результате значение $i = 1,5$. Исходя из значения индекса помещения определили коэффициент использования светового потока $\eta = 51$ %. Требуемый световой поток нашли по формуле (34):

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K \cdot Z \cdot 100\%}{N \cdot \eta}, \quad (34)$$

- где Φ – световой поток;
 E_n – освещенность рабочей поверхности от систем общего освещения;
 K – коэффициент пульсации освещенности;
 Z – коэффициент неравномерности освещения;
 N – количество рядов светильников.

В результате получили значение $\Phi = 27720$ лм. В каждом светильнике 4 лампы со световым потоком 2500 лм. Таким образом, необходимое число светильников в ряду должно быть равно трем. На основании полученного значения рассчитали фактическое значение освещения в помещении по формуле (35):

$$E_{\text{факт}} = \frac{\Phi \cdot N \cdot \eta}{S \cdot K_3 \cdot Z \cdot 100\%}, \quad (35)$$

- где Φ – световой поток;

E_n – освещенность рабочей поверхности от систем общего освещения;

K – коэффициент пульсации освещенности;

Z – коэффициент неравномерности освещения;

N – количество рядов светильников.

В результате получили значение $E_{\text{факт}} = 306$ лк. На основании проделанных расчетов можно сделать вывод, что помещение удовлетворяет нормам освещения.

5.2.2.4 Повышенный уровень электромагнитных излучений

Электромагнитное поле оказывает негативное воздействие на наиболее чувствительные системы организма человека: нервную, иммунную, эндокринную и половую. Негативный эффект электромагнитного поля в условиях длительного воздействия накапливается, в результате возможно развитие отдаленных последствий, включая дегенеративные процессы центральной нервной системы, рак крови (лейкозы), опухоли мозга, гормональные заболевания. При работе с ПК пользователь находится в непосредственной близости к монитору, что вызывает воздействие электромагнитных полей (ЭМП). Вредное влияние переменных магнитных полей должно быть учтено при организации рабочего места с ПЭВМ.

Работа проводилась на современном ПК, где значения электромагнитного излучения малы и отвечают требованиям, которые приведены в таблице 26, согласно [15].

Таблица 26 – Временно допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах.

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот от 2 кГц до 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот от 2 кГц до 400 кГц	25 нТл

Для обеспечения нормальной деятельности пользователя с учетом норм предельно допустимой напряженности ЭМП экран монитора должен находиться на расстоянии от 0,6 до 0,7 м, но не ближе, чем 0,5 м от глаз.

5.2.2.5 Риск поражения электрическим током

Основным фактором поражения электрическим током при работе с автономным преобразователем энергии является то, что человек может напрямую контактировать со шкафами управления или другими электрическими приборами.

Защитное заземление должно обеспечивать защиту людей от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции.

Защитное заземление или зануление следует выполнять в установках при номинальных напряжениях 380В и выше переменного тока и 440В и выше постоянного тока – во всех случаях.

Исходя из ГОСТ Р 50571.10-96 можно сделать заключение, что наше устройство должно соприкасаться с заземлителем, которыми могут являться:

- металлические стержни или трубы;
- металлические полосы или проволока;
- металлические плиты, пластины или листы;
- фундаментные заземлители;
- стальная арматура железобетона.

Площадь сечения проводника выбирается исходя из тока короткого замыкания.

Исходя из ГОСТ 12.1.038-82 предельное допустимое напряжение прикосновения не должно превышать 65В.

Различают два основных вида поражения электрическим током: электрические травмы и электрические удары.

Поражение электрическим током может произойти:

— при двухполюсном источнике питания прикосновение к токонесущим частям электрического оборудования;

— при однополюсном прикосновении человека к незащищённым токонесущим частям;

— при контактировании человека с заземленными частями;

— при поражении электричеством человеческого тела под действием шагового напряжения.

Основные мероприятия по обеспечению электробезопасности являются:

— наличие защитного отключения;

— заземления оборудования;

— наличие изолирующего ограждения, информационных табличек;

— наличие у сотрудников средств индивидуальной защиты.

Конструкция АПЭ должна обеспечивать возможность надежного электрического соединения всех доступных прикосновению металлических нетоковедущих частей изделия, которые могут оказаться под напряжением с элементами заземления. Возле элемента заземления должен быть помещен нестираемый при эксплуатации знак заземления по ГОСТ 21130 - 75. Заземление составных частей АПЭ должно выполняться гибкими проводниками. Значение сопротивления между заземляющим зажимом (болтом) и каждой доступной прикосновению металлической токоведущей частью, которая может оказаться под напряжением, не должно превышать 0,1 Ом. Каждая часть изделия, оборудованная элементом для заземления, должна быть выполнена так, чтобы была возможность ее независимого присоединения к заземляющей магистрали посредством отдельного ответвления, чтобы при снятии какой-либо заземленной части изделия (например, для текущего ремонта) цепи заземления других частей не прерывались.

Сопротивление изоляции электрически изолированных цепей АПЭ при нормальных климатических условиях должно быть не менее 10 МОм.

Электрическая изоляция цепей должна выдерживать испытательное напряжение 1 кВ переменного тока частотой 50 Гц в течение 1 мин без пробоя или перекрытия.

На каждой линии распределения электроэнергии, отходящей от распределительного щита, должны быть установлены автоматические выключатели для защиты от токов короткого замыкания и перегрузок.

5.3 Экологическая безопасность

5.3.1 Анализ воздействий объекта на атмосферу

При работе автономного преобразователя энергии сжигается органическая жидкость, при этом в атмосферу выделяется углекислый газ. Но, так как местоположение парогенератора предусматривает большие расстояния от населенных пунктов, не является угрозой для окружающей среды.

5.3.2 Анализ воздействий объекта на литосферу

Другим аспектом является утилизация неисправного оборудования и устаревших деталей устройства. При неправильной утилизации неисправные детали могут нанести большой вред окружающей среде. Чтобы этого не произошло, предполагается обращаться в компанию, в которой происходит утилизация устройств. Данные предприятия функционируют на всей территории России.

5.3.3 Анализ воздействий объекта на гидросферу

В ходе технического обслуживания возможна замена органической жидкости. При неправильной утилизации масла, возможно, его попадание в грунтовые воды и в водохранилища. Что бы этого не произошло, предполагается производить утилизацию отработанного масла в фирмах по утилизации отходов.

5.3.4 Анализ воздействия объекта на селитебную зону

Данная установка устанавливается на сложных участках поверхности нашей страны (участках вечной мерзлоты, болотах, густых лесах Сибири) в тех местах, где нет населенных пунктов. Поэтому можно сказать, что не оказывает никакого влияния на селитебную зону.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Рассмотрим некоторые чрезвычайные ситуации в работе с автономным преобразователем.

Чрезвычайная ситуация может возникнуть при загазованности в помещении. Система контроля загазованности должна формировать сигнал при превышении заданных пороговых значений концентрации метана в помещениях:

- первый порог (более 10 % НКПВ, предупредительный порог) – предупредительную сигнализацию;
- второй порог (более 20 % НКПВ, аварийный порог) – аварийную сигнализацию.

При превышении аварийного порога (более 20 % НКПВ) должны формироваться сигналы на отключение подачи газа, остановку АПЭ, отключение вентиляции. Человек, который осуществлял какие-либо работы, нужно обязательно закончить все дела и уйти на безопасное расстояние.

Следующим ЧС является пожар. Блок-бокс АПЭ должен быть оснащен системой обнаружения и оповещения о пожаре, которая постоянно контролирует концентрацию оксида углерода, в соответствии с требованиями СП 5.13130-09. В случае возникновения пожара, при концентрации углекислого газа более 20 мг/м³, должно производиться отключение подачи газа, останов АПЭ, отключение вентиляции. Предупредительные и аварийные сигналы с системы автоматической пожарной сигнализации должны быть переданы в САУ АПЭ.

5.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте

Наиболее характерной ЧС для данного производственного помещения является пожар. Пожарная опасность ПЭВМ, обусловлена наличием в применяемом электрооборудовании горючих изоляционных материалов. Горючими являются изоляция обмоток соединительных проводов и кабелей.

Согласно определению категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной безопасности производства подразделяются по пожарной и взрывной опасности на категории А, Б, В, Г, Д.

Помещение, используемое для реализации практической части ВКР, по пожарной и взрывной опасности относят к категории Г (умеренная пожароопасность), характеризующейся отсутствием легковоспламеняющихся веществ и материалов в горячем состоянии.

При строительстве зданий и сооружений с учётом категории производства применяют строительные материалы и конструкции, которые подразделяются на три группы:

- сгораемые;
- трудносгораемые;
- несгораемые.

Здание, в котором находится помещение относится к несгораемым.

Тушение горящего электрооборудования под напряжением должно осуществляться имеющимися огнетушителями ОУ-5. Чтобы предотвратить пожар необходимо соблюдение организационных мероприятий:

- правильная эксплуатация приборов, установок;
- правильное содержание помещения;
- противопожарный инструктаж сотрудников аудитории;
- издание приказов по вопросам усиления ПБ;
- организация добровольных пожарных дружин, пожарно-технических комиссий;
- наличие наглядных пособий и т.п.

Выводы.

В ходе выполнения работы по разделу «Социальная ответственность» были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, суть которых заключалось в анализе основных нормативных документов регулирующих и регламентирующих производственную деятельность инженера-конструктора. Также были рассмотрены вредные факторы, такие как отклонение показателей микроклимата, производственный шум, отсутствие или недостаток естественного света, повышенный уровень электромагнитных излучений, риск поражения электрическим током. Были рассмотрены такие важные вопросы, как экологическая безопасность и безопасность в чрезвычайных ситуациях при использовании автономного преобразователя энергии. Следование правилам, описанным в данном разделе диссертации, помогут избежать данных ситуаций, а также обеспечить здоровье персонала и сохранность окружающей среды.

Заключение

В результате магистерской диссертации были рассмотрены два способа управления частотой вращения турбины. Метод с двухпозиционным регулятором показал, что регулятор справляется регулированием частоты вращения турбины. Однако наблюдаются участки торможения турбины, связанные с большой внутренней инерционностью. Для предотвращения выхода из строя турбины приходится включать тормозные резисторы, что в свою очередь поэтому приходится вырабатывать больше пара для компенсации этих участков, что в свою очередь снижает КПД всей установки. По таким выводам было решено спроектировать систему управления, основанную на методе с ПИД-регулятором. Данный метод показал, что частота вращения турбины может поддерживаться на одном уровне без каких-либо скачков выше и ниже частоты номинальной. При этом нет нужды включать дополнительные тормозные резисторы, следовательно, вырабатывать больше пара, что делает систему управления, основанную на ПИД-регуляторе, более выгодной, чем с двухпозиционным.

Были рассмотрены разделы по «Финансовому менеджменту, ресурсоэффективности и ресурсосбережению» и «Социальная ответственность». Также была написана часть на английском языке, которая представлена в приложении А.

Список литературы

- 1 Преобразователь энергии ORMAT [Электронный ресурс] // Advantek: [сайт]. – 2019. Режим доступа: <http://www.advantekny.com/cgi-bin/menu2.cgi?124000000000>. – Дата обращения 25.04.2019.
- 2 Информационно-поисковая служба [Электронный ресурс] // Федеральный институт промышленной собственности: [сайт]. – 2019. Режим доступа: http://www1.fips.ru/wps/wcm/connect/content_ru/ru/inform_resource.shtml. – Дата обращения 25.04.2019.
- 3 Беляев Л. А. Турбины тепловых и атомных электрических электростанций. Конспект лекций/ Л. А. Беляев. – М.: Изд-во, Томский политехнический университет, 2009.
- 4 Николаенко С.А., Цокур Д.С. Автоматизация систем управления: учебное пособие / С. А. Николаенко, Д. С. Цокур. Краснодар: Изд-во ООО «Крон», 2015. – 119 с.
- 5 TRM202 измеритель-регулятор двухканальный. Руководство по эксплуатации. –М: ОВЕН, рег.: 1-RU-20600-1.7, - 101 с.
- 6 Денисенко В. В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации: статья. Современные технологии автоматизации / В. В. Денисенко. Москва: Изд-во ООО «СТА-ПРЕСС». — 8 с.
- 7 ПИД-регулятор [Электронный ресурс] // Студенческая библиотека онлайн: [сайт]. – 2019. Режим доступа: https://studbooks.net/2078065/matematika_himiya_fizika/regulyator. – Дата обращения 19.05.2019.
- 8 Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/, свободный. – Загл. с экрана. – (Дата обращения 11.04.2019).

9 Свод правил: СП 2.2.2.1327-03 Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту. М.: Минздрав России, 2003. – 52 с.

10 ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. М.: Изд-во стандартов, 1986. – 9 с.

11 ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Изд-во стандартов, 2016. – 16 с.

12 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 2001. – 20 с.

13 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. М.: Минздрав России, 2003. – 56 с.

14 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. М.: Минюст РФ, 2016. – 7

15 ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 2006. – 67 с.

Приложение А
(обязательное)
Modernization of the turbine speed control system of the autonomous energy converter

Раздел 1 Введение

Introduction

Раздел 2 Обзор информации из источников об аналогах преобразователя энергии

Energy converter and its analogues

Раздел 3 Автономный преобразователь энергии

Autonomous energy converter

Раздел 4 Основные технические требования

Basic technical requirements

Раздел 5 Принцип работы паротурбинной установки

Principle of steam turbine installation

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ71	Кан Елена Сергеевна		

Консультант отделения автоматизации и робототехники:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Гайворонский Сергей Анатольевич	к.т.н., доцент		

Консультант – лингвист кафедры ОИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ ШБИП	Пичугова Инна Леонидовна	-		

Introduction

Within the framework of the national project "Power of Siberia" it is planned to build a gas pipeline passing through a large number of difficult areas of the surface of our country (permafrost, swamps, dense forests of Siberia). To ensure the safety and reliability of gas transportation every 50-70 km, it is necessary to install a crane assembly. The crane unit consists of a ball valve covering the pipe, equipped with an electric drive, an energy source, a telemetry and communication unit.

Everyone knows that wind turbines are not effective in forests and swamps. Solar panels are useless in the polar regions. The disadvantage of the diesel generator is fuel, which must be replenished. And the installation of power lines is very complex and economically unprofitable. Such working conditions can be described as harsh. Therefore, universal energy sources that convert the energy of the burned gas into electrical energy are particularly relevant.

For 30 years, this problem has been solved with the help of monopoly ORMAT Technologies Inc., Israel. However, at the moment in terms of "sanctions wars", and in connection with the sharp growth of dollar installation and purchase of such converters is comparable to that of installing power lines.

Based on the above, the topic of designing an Autonomous energy Converter for the power of Siberia project has become particularly relevant and vital.

According to the agreement signed for research and development, PJSC GAZPROM the task of designing and subsequent serial production of Autonomous energy converters has been assigned to OJSC TEMZ.

Autonomous Converter must consist of mechanical part (turbine, boiler, condenser) and electrical part (hardware part, software part).

The hardware part, in turn, should consist of control cabinets providing the lower level of the system operation (hardware maintenance of output parameters, protection). The software part consists of a software product (control, monitoring and data transmission programs).

In an Autonomous power Converter, the hardware part is as relevant and unique as the software part. The main task of the hardware is to ensure maximum

autonomy of the Converter and its protection in the face of software failure. At the same time, the hardware must be reliable and be able to carry out repairs quickly.

In this final paper a detailed review of the main existing solutions in the field of Autonomous energy converters will be made. The basic technical requirements for the Autonomous Converter are described. The principle of operation of the steam turbine, as well as the experiment of the speed control system on the basis of two-position control, during which a problem was identified that must be solved in this graduating work. The method of modernization of the existing solution with the help of PID controller is described. Various studies have been carried out to adjust the PID controller. The Appendix lists the programs of the two methods of operation of the turbine speed control system.

1 Energy converter and its analogues

The topic is relevant in connection with the urgent need to import substitution monopolist ORMAT Technologies Inc., Israel, in the field of energy converters of flared associated gas into electrical energy for remote crane nodes of the project of PJSC GAZPROM "Power of Siberia".

The ORMAT energy Converter (Figure 1), also known as the "closed-cycle vapor turbogenerator" (CCVT), is a one-of-a-kind, proven power plant with a capacity of 200 to 6000 Watts; reliably operating without maintenance in remote areas.

To improve reliability ORMAT used research in the field of thermodynamic design and technology of aircraft engines.

The sealed container with the working fluid is made of stainless steel; arc welding is carried out in a helium environment and checked by radiographic inspection for defects and helium masses. spectrometer for leaks. The ready-to-operate power unit is tested in the factory as a stand-alone unit with running-in for 100 hours.

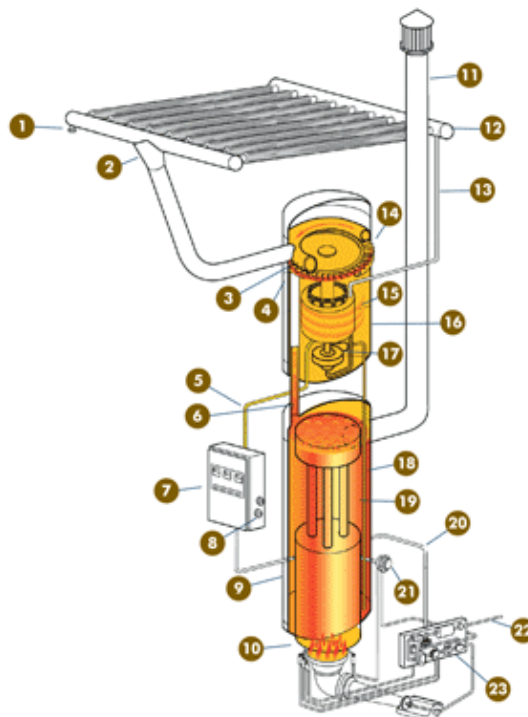
In addition to reliability, a very important feature of the installation is the lack of need for maintenance.

Since the only moving part is a smoothly and friction-free rotating shaft on liquid film bearings, sealed in a stainless steel container. In addition to refueling, the maintenance of gas-fired installations consists in the annual inspection and cleaning of the burner and condenser plates. The unit has means of protection against any deviations, including overheating.

One of the most original features of the plant is its ability to operate from different heat sources, since the operating cycle is closed and only external heating is required. For such purposes as feeding remote microwave relay stations operating continuously without any maintenance, ORMAT power plants most often use liquefied petroleum (associated) gas as fuel, due to its purity. However, natural gas, kerosene, aviation and diesel fuel can also be used as a fuel.

The disadvantages of the installation are:

1. The system is foreign and expensive.
2. Outdated element base of the control system.



1–vacuum valve, 2 – steam inlet to the condenser, 3 – turbine nozzle, 4 – steam inlet to the turbine, 5 –AC supply cables to the rectifier, 6 – steam, 7 – electric Cabinet with rectifier, 8 – filtered DC voltage at the outlet, 9 – steam generator, 10 –

burner, 11 – exhaust pipe, 12 – condenser, 13 – condensate outlet, 14 – turbine wheel, 15 – alternator, 16 – turbogenerator housing, 17 – power pump, 18 – condensate supply pipe, 19 – organic liquid, 20 – cables on the fuel supply control panel, 21 – thermostat, 22 – fuel inlet, 23 – fuel supply control panel

Figure 1 – Autonomous energy Converter (ORMAT)

The closest patent is the patent RU 2573541 for the invention "Energy system based on the organic Rankine cycle for the combustion of associated petroleum gas", IPC F02C3/00, F02C3/22. Application: 2014126811/02, 02.07.2014. Published: 20.01.2016. The patent owner the limited liability company "Scientific-production Association "St. Petersburg electrotechnical company" (EN) [5].

Figure 2 shows the energy system based on the organic Rankine cycle for the combustion of associated petroleum gas.

The energy system based on the organic Rankine cycle for the combustion of associated petroleum gas consists of an oil boiler 1, a circuit with an intermediate coolant (diathermal oil) 2, which connects the boiler 1 and the installation based on the organic Rankine cycle 3. An electric generator 4 is placed on the turbine shaft (not shown) of the installation based on the organic Rankine 3 cycle.

The energy system for the combustion of associated petroleum gas also includes a cooling system 5 of the installation based on the organic Rankine 3 cycle. The cooling system 5 consists of pipelines on which the circulation pump 6 and the heat exchanger 7 are located. The air supply line 8 passes through the heat exchanger 7, which is connected to the burner device for the complete combustion of associated petroleum gas 9. The associated gas supply line 10 is also connected to the burner device 9.

The bypass line 11 connects the exhaust pipe 12 and the combustion space (not shown) of the oil boiler 1.

On the bypass line 11 and the exhaust gas pipeline 12, respectively, control valves 13 and 14 are installed.

The energy system based on the organic Rankine cycle for the combustion of associated petroleum gas works as follows.

Associated oil gas on line 10 and air on line 8 are fed into the burner device 9, where there is a complete combustion of associated gas. The heat from the flue gases during combustion of the associated gas is transferred to the circuit with an intermediate coolant (diathermal oil) 2, through which this heat is transferred to the working body of the installation on the basis of the organic Rankine 3 cycle. The resulting heat is converted in an installation based on the organic cycle of Rankine 3 into electrical energy produced in an electric generator 4.

Flue gases from the combustion space of the oil boiler 1 through the pipeline 12 are partially released into the environment, and partly but the bypass line 11 are returned to the combustion space of the oil boiler 1 to maintain a constant temperature. Regulation of the amount emitted into the environment and returned to the combustion space of the oil boiler 1 flue gases from the combustion of associated gas is carried out by the control valves 13 and 14.

To cool the plant on the basis of the organic Rankine 3 cycle, a cooling system 5 is designed. The coolant circulates through the cooling system 5 due to the operation of the circulation pump 6 and is cooled by heat.

Energy system for the combustion of associated petroleum gas, comprising an oil boiler with a pipeline for the removal of exhaust gases with a control valve, a circuit with an intermediate coolant connecting the oil boiler and an installation based on an organic Rankine cycle, which is a closed circuit with an organic working fluid containing a turbine on a shaft with an electric generator and a cooling system with a heat exchanger and a circulation pump, characterized in that, that it is equipped with a burner device installed in the oil boiler for the complete combustion of associated petroleum gas with an air supply line connected to it, passing through the heat exchanger of the cooling system of the installation based on the organic Rankine cycle, and a bypass line with a control valve connecting the exhaust gas pipeline to the control valve and the combustion space of the oil boiler.

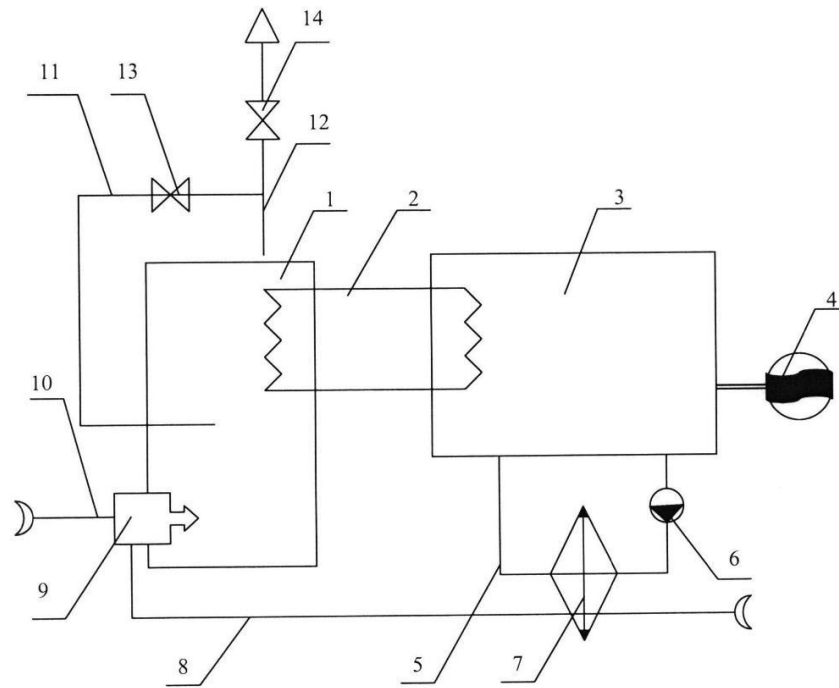


Figure 2 – Energy system based on organic Rankine cycle for associated gas combustion

Disadvantages of the energy system:

1. The system includes a recirculation pump, which is powered from the system itself, which reduces its efficiency and reliability.
2. Since the system maintains a constant temperature of the working area of the oil boiler, the system will always produce a certain amount of electricity, the excess of which will have to be discharged to the load.
3. The system is designed to operate as a backup power source.
4. There are no fans of forced cooling of the coolant.
5. The design of the turbine bearing units is not painted.
6. On the basis of the above, it was proposed to create a facility devoid of the identified shortcomings.

2 Autonomous energy converter

The installation is intended for use in power engineering for obtaining electric and thermal energy of oil and gas production facilities, trunk pipelines and communication facilities remote from centralized networks.

The Autonomous energy Converter uses an organic Rankine cycle to generate electricity and an additional heat exchanger to heat the heat carrier of the heat supply system.

The source of thermal energy is fuel gas, which can be used as natural gas, associated petroleum gas, etc.

The Autonomous energy Converter (Figure 3) consists of a gas combustion system that cleans, reduces, regulates the supply of fuel gas to the burner, automatic ignition, stops the supply of gas on the command of automatic safety.

As a result of the combustion of fuel gas, the generated thermal energy is transferred to the working fluid located in the steam generator by means of a heat exchanger built into the steam generator. As a result of heating and, accordingly, evaporation of the working fluid, a steam flow is formed, which rotates the axial turbine and the rotor of the generator and pump located on the same shaft with it. The electric generator is a contactless synchronous inductor machine that converts the mechanical energy of the turbine rotation into AC electrical energy. The rotor of the turbogenerator rotates in two hydrodynamic sliding bearings. The exhaust steam enters the condenser, where it cools and enters the liquid phase. With the help of a pump using the mechanical energy of the turbine, the condensed working fluid is pumped into the steam generator and part into the bearing Assembly, where it serves as a lubricant for sliding bearings.

Part of the heat energy generated by the combustion of fuel gas, not transferred to the working fluid of the steam generator is transferred to the heat carrier of the heat supply system by means of a heat exchanger located in the heater. During the circulation of the heat carrier, the heat energy is transferred to the heated room through the radiators, while the heat carrier is cooled, then, entering the heater, the heat carrier is heated again.

There is a regulating valve that allows changing the ratio of the distribution of thermal energy between the heat exchangers of the steam generator and the heater, and accordingly the generated electric and thermal energy.

The combustion products of the fuel gas (exhaust gases) are removed by the natural traction of the exhaust pipe.

The claimed technical solution makes it possible to improve reliability by eliminating the intermediate circuit with a coolant, the presence of only one rotating part – the rotor of the turbogenerator in two hydrodynamic sliding bearings lubricated with the working fluid.

The use of a heater with a heat exchanger for heating provides the possibility of more complete use of thermal energy in the combustion of fuel gas.

The regulating valve provides an opportunity to change the ratio of generated electric and thermal energy depending on external conditions (ambient temperature, electric load).

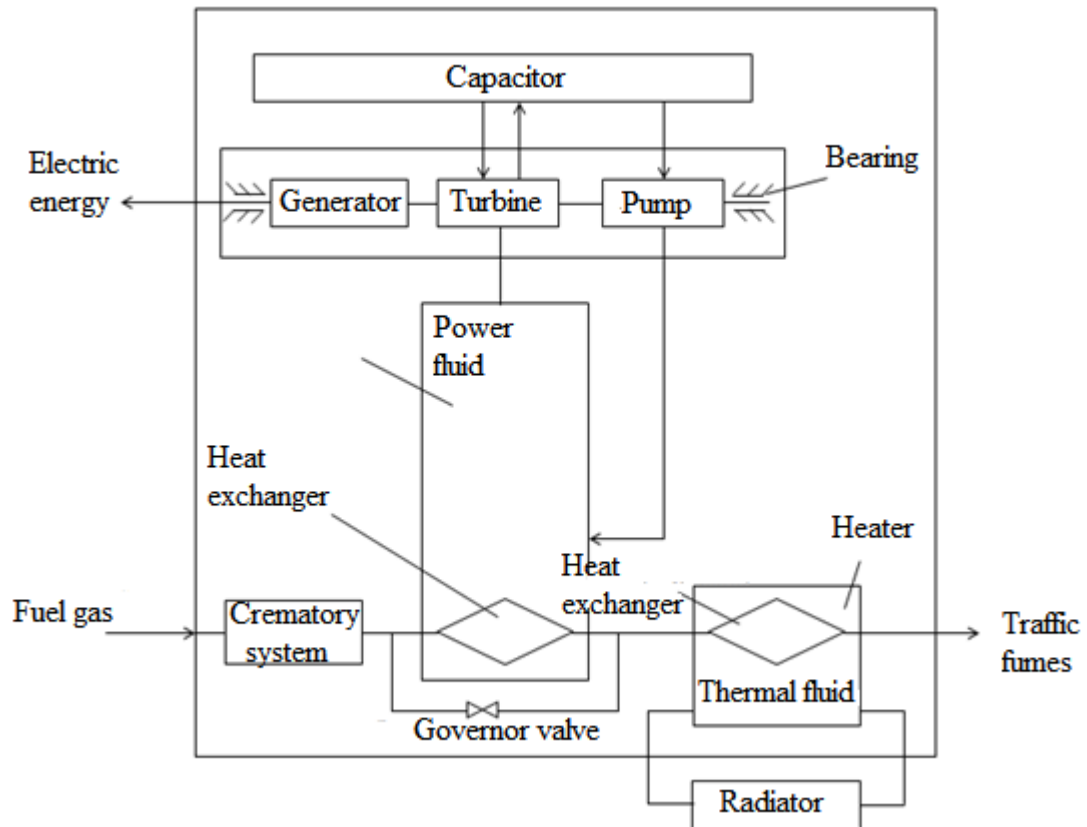


Figure 3 – Autonomous energy converter

3 Basic technical requirements

Based on the review of existing solutions, the Autonomous energy Converter (AEC) must meet the requirements of State Standard GOST and STO Gazprom.

Main technical parameters:

- rated power, 4000 W;
- rated voltage, 48 V \pm 5%.

AEC should be equipped with:

- fans blowing condenser in the amount of 2 pieces;
- the signalling device of burning of the fuse and the main burners;
- sensors of excess CH₄ and CO;
- sensor protection against overheating of the room AEC;
- sensor protection against overheating of the capacitor;
- sensor protection against overheating of the boiler;
- Autonomous system of ventilation, AEC;
- sensor the condenser temperature from minus 50 to plus 150;
- boiler temperature control sensor from minus 50 to plus 250°C;
- gas supply valves – 4 pcs;
- transformer for ignition of the ignition burner;
- gas pressure switch;
- unit loads for braking the turbine, with a capacity of 4 kW;
- the control Cabinet, the excitation coil;
- steam generator control Cabinet.

To be able to quickly repair cabinets and actuators (sensors, valves, etc.) they must be connected to each other through connectors.

4 Principle of steam turbine installation

At the end of the XIX century due to the development of electric machines and the widespread introduction of electricity, the development of steam turbine construction proceeded at a rapid pace. The first steam turbines in Russia began to be produced in 1907 at the Metal Plant in St. Petersburg.

Throughout the history of the development of turbine construction, a line has been traced to increase the efficiency of steam turbine plants and steam turbines, as well as to increase the unit capacity of energy turbines. At present, both for fossil-fired plants and nuclear power plants, the maximum unit capacity of steam turbines is at the level of 1000-1200 MW.

The steam turbine is one of the elements of the heat and power installation. Figure 4 shows a schematic diagram of the simplest such installation. The change in the state of steam in the Rankine cycle when steam passes individual units of the plant is illustrated in the T,s - diagram.

Feed pump 1 increases the pressure of the coolant to a pressure of p_o and delivers it to the steam generator 2, while spending on 1 kg of nutrient coolant work L_n . The process of isentropic compression of a coolant by a pump on an exaggerated scale is depicted in T,s - diagram by line $a'a$ (Figure 4).

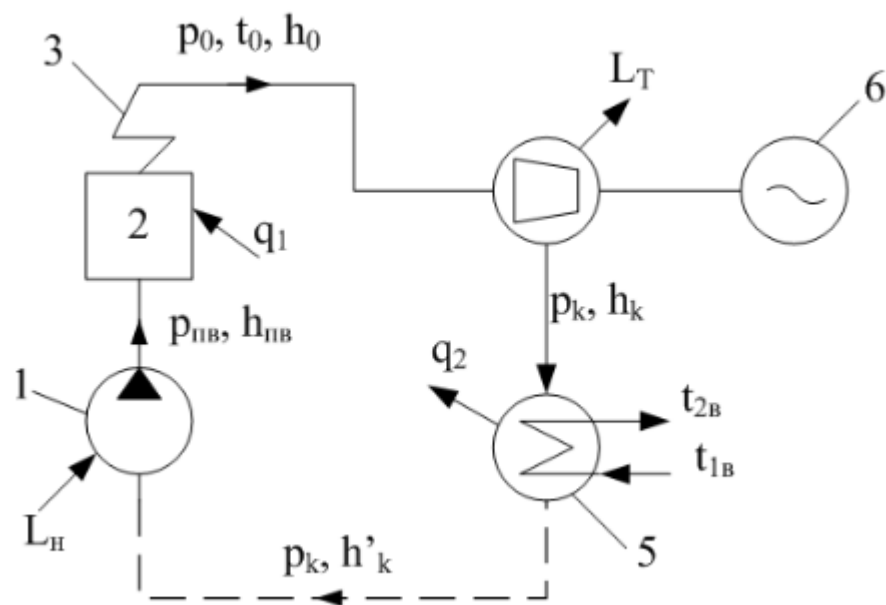


Figure 4 – Schematic diagram of a steam turbine installation

The heat supply in the steam generator, including the superheater, occurs at a constant pressure p_o , so that the amount of heat q_{TU} transferred to the water and steam, is entirely spent on increasing the enthalpy of steam.

The heat imparted to the steam in the steam generator and the superheater is depicted in the T,s - diagram of an area of $1abcd2$.

Released from the superheater with enthalpy h_o the steam is sent to the turbine 4 and, expanding in it, does work L_4 . For a turbine operating without loss and heat exchange with the external environment, the expansion process proceeds along an isentropic, which is shown by the line de in T,s -diagram. In the turbine exhaust steam enters the condenser 5. Here, at constant pressure p_{to} produced heat dissipation from the cooling water to steam, the steam condenses and the condensate enthalpy h'_k to the evacuated pump 1 and fed back into the steam generator. The heat removal in the condenser corresponds to the process ea' in the T,s -diagram.

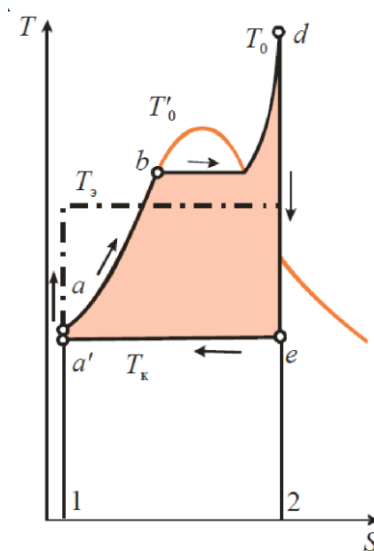


Figure 5 – The ideal cycle of a steam turbine installation (Rankine cycle) in T,s -diagram

The area equivalent to L is shaded in the T,s -diagram (Fig. 5)

In reality, in the turbine, as a result of losses during expansion, the steam associated with internal heat release, i.e. as the entropy increases during the

expansion process, the process line deviates from the isentropic, as shown in the h,s -diagram in Figure 6 by the d line .

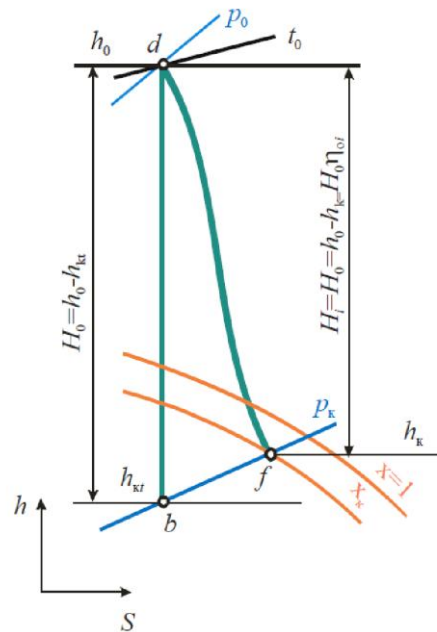


Figure 6 – The process of steam expansion in the turbine in h,s - diagram

The work that 1 kg of steam develops inside the turbine is called the used (real) heat transfer H_i .

The ratio of heat transfer to the disposable is called the relative internal efficiency

$$\eta_{oi} = \frac{H_i}{H_0} = \frac{L_{Ti}}{L_{Tt}} \quad (1)$$

Not all the power developed by the steam inside the turbine is used by the consumer, since part of it is spent on overcoming the mechanical losses ΔNm of the turbine.

The ratio of effective power to internal is called mechanical efficiency.

$$\eta_M = \frac{N_g}{N_i} = 1 - \frac{\Delta Nm}{N_i} \quad (2)$$

The ratio of the effective power to the power of an ideal turbine is called the relative effective efficiency η_{th} :

$$\eta_{oe} = \frac{N_g}{N_0} = \frac{N_i}{N_0} \frac{N_g}{N_i} = \eta_{oi} \eta_M \quad (3)$$

Since the steam turbine is used as a drive electric current generator, the electrical power N_e , gave the generator terminals with less effective output N_e of the turbine by the amount of loss ΔN_{eg} the generator:

$$N_3 = N_e - \Delta N_{\text{эГ}} \quad (4)$$

The ratio of electric power given from the generator leads to the effective power of the turbine spent on the rotation of the generator rotor is called the efficiency of the electric generator and is denoted

$$\eta_{\text{эГ}} = \frac{N_3}{N_e} = 1 - \frac{\Delta N_{\text{эГ}}}{N_e} \quad (5)$$

The ratio of electrical power to the power of an ideal turbine is called relative electrical efficiency.

$$\eta_{\text{оэ}} = \frac{N_3}{N_0} = \frac{N_i}{N_0} \frac{N_g}{N_i} \frac{N_3}{N_g} = \eta_{\text{oi}} \eta_{\text{M}} \eta_{\text{эГ}} = \eta_{\text{оэ}} \eta_{\text{эГ}} \quad (6)$$

The absolute internal efficiency can be represented as the ratio of internal power to the second consumption of heat supplied to the working fluid in the steam generator, i.e.

$$\eta_i = \frac{L_{\text{ГЛ}}}{q_{\text{ГГ}}} = \frac{N_i}{G_{\text{ГГ}}} \quad (8)$$

The magnitude of the absolute efficiency η_e does not characterize the efficiency of the entire power plant as a whole, since it does not take into account heat losses in the steam generator, energy consumption for the drive of the pumps (the main component of the station's so-called own needs), pressure losses in pipelines, etc. The efficiency of the turbine installation is net, subtracting from the power of the unit the power required to drive the feed pump:

$$\eta_3^{\text{netto}} = \frac{N_3 - N_{\text{н}}}{Q_{\text{ГГ}}} \quad (9)$$

According to the calculated design documentation, the optimum frequency of operation for a turbine, at which the absolute efficiency will be maximum and equal to about 7%, is 1050 Hz, while the rotation speed of the turbine will be 15750 rpm.

To control the turbine speed in the pilot plant, a parametric two-position regulator was used.

Conclusion

In this review, the main analogues of the Autonomous energy Converter have been considered. Their disadvantages have been revealed, which have been eliminated when creating the device. The principle of operation of the Autonomous energy Converter, technological characteristics have been considered in detail. The principle of operation of the turbine has also been described.