

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

---

Институт ЭНИН  
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
Кафедра Электроэнергетических систем

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Исследование свойств и возможностей программного комплекса PSCAD для адекватного моделирования различных видов и типов автоматических регуляторов возбуждения синхронных генераторов</b>

УДК 621.313.322.013-5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A2A	Аскаров Алишер Бахрамжонович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Рубан Н.Ю.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Потехина Н.В.	-		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Романцов И.И.	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭЭС	Сулайманов А.О.	к.т.н., доцент		

Томск – 2016 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

<b>Код результата</b>	<b>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</b>
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК-1	Использовать информационные технологии, в том числе современные средства компьютерной графики, в своей предметной области
ПК-2	Демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин и использовать основные законы в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
ПК-3	Выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат
ПК-4	Использовать нормативные правовые документы в своей профессиональной деятельности
ПК-5	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от последствий возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий
ПК-6	Анализировать научно-техническую информацию, изучать отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования
ПК-7	Формировать законченное представление о принятых решениях и полученных результатах в виде отчета с его публикацией (публичной защитой)
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК-1	Анализировать технологический процесс как объект управления
УК-2	Обеспечивать соблюдение заданных параметров технологического процесса и качество продукции
УК-3	Использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда
УК-4	Обеспечивать соблюдение производственной и трудовой дисциплины

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

---

Институт ЭНИН

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра ЭЭС

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ Сулайманов А.О.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А2А	Аскарову Алишеру Бахрамжоновичу

Тема работы:

Исследование свойств и возможностей программного комплекса PSCAD для адекватного моделирования различных видов и типов автоматических регуляторов возбуждения синхронных генераторов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 02.02.2016 г. № 653/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Математическая модель автоматического регулятора возбуждения сильного действия, представленная в отечественной литературе;</li><li>2. Исходные данные исследуемого участка Томского энергорайона.</li></ol>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Обоснование выбранной тематики;</li><li>2. Описание исследуемой математической модели АРВ СД;</li><li>3. Описание встроенной в программу PSCAD модели АРВ;</li><li>4. Анализ исходных данных и принятие предварительных проектных решений;</li><li>5. Проведение исследований построенных моделей;</li><li>6. Анализ полученных данных.</li></ol>

<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Нормальная схема электрических присоединений исследуемого участка Томского энергорайона; 2. Модель схемы АРВ СД отечественного образца, реализованная в программной среде PSCAD.
---	--

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**  
*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Потехина Нина Васильевна
Социальная ответственность	Романцов Игорь Иванович

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


<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Рубан Н.Ю.	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2А	Аскарлов Алишер Бахрамжонович		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 82 с., 24 рис., 23 табл., 12 источников, 2 прил.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, математическое моделирование, синхронный генератор, автоматический регулятор возбуждения, PSCAD.

Объектом исследования является устройство автоматического регулирования возбуждения сильного действия синхронного генератора.

Цель работы – исследование моделей автоматических регуляторов возбуждения сильного действия синхронных генераторов отечественного и зарубежного производства в программе PSCAD.

В процессе исследования проводилось создание модели АРВ СД в программном комплексе PSCAD, производились тестовые возмущения для проверки правильности работы разработанной модели и ее зарубежного аналога, а также проведен анализ полученных результатов.

В результате исследования в программном комплексе PSCAD реализована адекватная модель АРВ СД синхронных генераторов, рассмотрено влияние параметров регулятора на работу генератора при возникновении возмущающих воздействий, а также выявлены различия в системах АРВ СД отечественных и зарубежных разработок.

Область применения: проектирование и моделирование различных элементов энергосистем в программной среде PSCAD.

Экономическая значимость работы: использование PSCAD позволяет осуществлять детальное моделирование элементов энергосистемы, что, в свою очередь, позволяет своевременно выявлять ошибки при проектировании новых объектов электрической сети и принимать меры по их устранению.

В будущем планируется дальнейшее рассмотрение работы данного типа автоматики энергосистем, но с более детальным рассмотрением режимных аспектов энергорайона, а также групповая работа АРВ, установленных на нескольких генераторах.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	8
1. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБРАННОЙ ТЕМАТИКИ .....	10
2. ОПИСАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АРВ СД .....	13
3. АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И ПРИНЯТИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ .....	23
4. ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ СМОДЕЛИРОВАННОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ .....	28
4.1. Первое тестовое возмущение.....	28
4.2. Второе тестовое возмущение.....	31
4.3. Третье тестовое возмущение .....	32
4.4. Четвертое тестовое возмущение.....	34
5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	39
5.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	40
5.1.1. Морфологический подход.....	40
5.1.2. Анализ конкурентных технических решений.....	42
5.1.3. SWOT-анализ.....	43
5.2. Планирование научно-исследовательских работ .....	45
5.2.1. Структура работ в рамках научного исследования .....	45
5.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ .....	46
5.3. Разработка графика проведения научного исследования.....	47
5.4. Бюджет научно-исследовательской работы.....	52
5.4.1. Основная заработная плата исполнителей темы .....	52
5.4.2. Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	54
5.4.3. Отчисления во внебюджетные фонды .....	54
5.4.4. Амортизационные отчисления .....	55
5.4.5. Накладные расходы .....	56
5.4.6. Формирование бюджета затрат научно-исследовательской работы .....	56
5.5. Определение ресурсоэффективности исследования .....	57

6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	62
6.1. Производственная безопасность .....	63
6.1.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	63
6.1.2. Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния на работающих .....	65
6.1.3. Пожарная безопасность.....	73
6.1.4. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме .....	74
6.2. Экологическая безопасность.....	75
6.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	76
6.4. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....	76
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	79
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	81
Приложение А Нормальная схема электрических присоединений исследуемого участка Томского энергорайона.....	83
Приложение Б Модель схемы АРВ СД отечественного образца, реализованная в программной среде PSCAD.....	84

## ВВЕДЕНИЕ

Основная особенность энергетики, отличающая ее от других отраслей промышленности, состоит в том, что в каждый момент времени выработка мощности должна строго соответствовать ее потреблению. Нарушение нормального режима работы одного из элементов может отразиться на работе многих элементов энергосистемы и привести к нарушению всего производственного процесса. Другая, не менее важная особенность состоит в том, что электрические процессы при нарушении нормального режима протекают так быстро, что оперативный персонал электростанций и подстанций не успевает вмешаться в протекание процесса и предотвратить его развитие. Эти особенности энергетики определили необходимость широкой автоматизации энергосистем.

К автоматике управления в нормальных режимах относятся устройства автоматического регулирования частоты и активной мощности (АРЧМ), автоматического регулирования возбуждения (АРВ) синхронных генераторов и др. С помощью данной автоматики обеспечиваются установленное качество электроэнергии по частоте и напряжению, повышение экономичности работы и запаса устойчивости параллельной работы.

В основе данной бакалаврской выпускной квалификационной работе лежит исследование автоматических регуляторов возбуждения сильного действия. Устройства автоматического регулирования возбуждения предназначены для поддержания напряжения в электрической системе и у электроприемников по заданным характеристикам при нормальной работе электроэнергетической системы; распределения реактивной нагрузки между источниками реактивной мощности по заданному закону; повышения статической и динамической устойчивости электрических систем и демпфирования колебаний в переходных режимах. Все синхронные генераторы должны быть оборудованы устройствами АРВ, согласно «Правилам устройства электроустановок» (ПУЭ) [1].

Применение АРВ приводит к поддержанию заданного значения напряжения на выводах генератора; оптимальному распределению реактивных нагрузок между параллельно работающими генераторами и электростанциями в целях минимизации потерь электроэнергии с учетом необходимости поддержания требуемых уровней напряжения в узловых точках энергосистемы; кратковременному увеличению тока возбуждения синхронных машин до максимального допустимого (потолочного) значения при значительных снижениях напряжения – форсировке возбуждения для повышения устойчивости параллельной работы и ускорения восстановления напряжения в сети после отключения коротких замыканий.

Рассмотрение такой неотъемлемой части генераторов, как АРВ, является важным вопросом в исследовании автоматики энергосистем, т.к. данный вид устройств применяется на всех электрических станциях Российской Федерации и является обязательным, согласно регламенту, установленному ОАО «Системным оператором Единой энергетической системы» (СОО «СО ЕЭС») [3]. Моделирование в программном комплексе PSCAD предоставляет возможность подробного рассмотрения функционирования устройств автоматического регулирования возбуждения и сравнения встроенной модели АРВ зарубежного образца с математической моделью, представленной в отечественной литературе.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5A2A	Аскарору Алишеру Бахрамжоновичу

<b>Институт</b>	<b>Энергетический</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ЭЭС</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Бакалавр</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>Электроэнергетика и электротехника</b>

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску. Оклады в соответствии с окладами сотрудников «НИ ТПУ».
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Премиальный коэффициент 30%; Коэффициент доплат и надбавок 20%; Коэффициент дополнительной заработной платы 15%; Коэффициент, учитывающий накладные расходы 16%; Районный коэффициент 30%.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент, учитывающий отчисления во внебюджетные фонды 27,1 %

<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Морфологический подход. Анализ конкурентных технических решений. SWOT-анализ.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика разработки научного исследования: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; - заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы; - амортизационные отчисления.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Расчет интегрального показателя эффективности научного исследования.

<b>Перечень графического материала:</b>
1. <i>Морфологическая матрица</i> 2. <i>Сравнение конкурентных технических решений</i> 3. <i>Матрица SWOT-анализа</i> 4. <i>Календарный план-график выполнения НИ</i> 5. <i>Оценка ресурсной эффективности научного исследования</i>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
ст. преподаватель	Потехина Н.В.	—		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A2A	Аскаров Алишер Бахрамжонович		

## **5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

### **Введение**

Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и воплощения его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Основная цель данного раздела заключается в экономическом планировании и оценке ресурсоэффективности научно-исследовательской работы «Исследование свойств и возможностей программного комплекса PSCAD для адекватного моделирования различных видов и типов автоматических регуляторов возбуждения синхронных генераторов».

Объектом исследования данной работы являлась модель автоматического регулятора возбуждения сильного действия, которая может выполняться на разной элементной базе, что приводит к упрощению или усложнению принципиальной схемы устройства, а также к погрешностям при измерении контролируемых параметров электроэнергетической системы.

Основными пунктами данного раздела являются:

- Оценка коммерческого потенциала внедрения данной методики;
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсоэффективности исследования.

Для проведения данной оценки будут использоваться три метода: морфологический подход и анализ конкурентных технических решений. С помощью морфологического метода будут выявлены основные направления и методы обеспечения функционирования данной автоматики; далее будет произведен анализ различных технических решений.

## **5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

### **5.1.1 Морфологический подход**

В основе данного подхода лежит систематическое исследование всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования. Путем комбинирования вариантов получают большое количество различных решений, ряд которых представляет практический интерес.

Реализация метода предусматривает следующие этапы.

1. Точная формулировка проблемы исследования.
2. Раскрытие всех важных морфологических характеристик объекта исследования.
3. Раскрытие возможных вариантов по каждой характеристике. В рамках этого этапа составляется морфологическая матрица.
4. Выбор наиболее желательных функционально конкретных решений.

В качестве проблемы данного исследования предлагается принять функциональное исполнение данной автоматики, т.е. выбор типа измерительных преобразователей, выбор типа выходного сигнала, выбор типа исполнения автоматики и типа модели самого АРВ.

Морфологической характеристикой объекта исследования является преобразование входного сигнала через измерительные преобразователи (ИП) до необходимого значения, позволяющего применение измерительного органа, а также выполнение логических операций, которые создают регулирующее воздействие на систему возбуждения генератора. Сформированная морфологическая матрица относительно данной работы, представлена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Морфологическая матрица

	1	2	3
А. Тип ИП	Аналого-цифровой	Цифро-аналоговой	Электромагнитный
Б. Тип выходного сигнала	Цифровой	Аналоговый	–
В. Тип исполнения автоматики	Микропроцессорная	Аналоговая	Электромеханическая
Г. Модель АРВ	Микропроцессорная	Полупроводниковая аналоговая	Электромагнитная

Далее приведены варианты технологического исполнения, сформированные с помощью полученной таблицы:

1. Использование аналого-цифровых трансформаторов тока и напряжения; микропроцессорное исполнение всей элементной базы автоматики и модель АРВ СД – микропроцессорная.
2. Использование цифро-аналоговых трансформаторов тока и напряжения; аналоговое исполнение всей элементной базы автоматики и модель АРВ СД – полупроводниковая аналоговая.
3. Использование электромагнитных трансформаторов тока и напряжения; электромеханическое исполнение всей элементной базы автоматики и модель АРВ СД – электромагнитная.

В качестве исследования в данной работе используется первый вариант из-за того, что цель работы заключается в моделировании автоматики в программном комплексе PSCAD, который позволяет наиболее точное рассмотрение именно микропроцессорной техники.

### 5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Полученным вариантам технологического исполнения присвоены следующие обозначения:

1. Микропроцессорная модель АРВ СД – *A1*;
2. Полупроводниковая аналоговая модель АРВ СД – *A2*;
3. Электромагнитная модель АРВ СД – *A3*.

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений представлена в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>A3</i>	<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>A3</i>
1	2	3	4	5	6	7	8
Точность анализа данных	0,3	5	4	3	1,5	1,2	0,9
Функциональные возможности	0,2	5	5	1	1	1	0,2
Надежность	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
Качество интеллектуального интерфейса	0,1	5	4	2	0,5	0,4	0,2
Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,1	5	1	1	0,5	0,1	0,1
Цена	0,1	2	1	4	0,2	0,1	0,4
Простота эксплуатации	0,05	5	5	3	0,25	0,25	0,15
Помехоустойчивость	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
<b>Итого:</b>	1				4,6	3,55	2,5

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

В ходе проведения данного анализа конкурентных технических решений использование аналого-цифровых трансформаторов тока и напряжения, а также микропроцессорное исполнение всей элементной базы АРВ СД показало наилучшую конкурентоспособность, это связано с тем, что применение современных микропроцессорных моделей АРВ позволяет добиться наилучшего регулирования возбуждения, а также обеспечивает простоту монтажа и эксплуатации, не требующую специального обучения кадров.

### 5.1.3 SWOT-анализ

Далее приведен SWOT-анализ решения обладающего наибольшей конкурентоспособностью. SWOT-анализ – 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.

Первый этап анализа заключается в выявлении факторов внутренней и внешней среды организации и разделении их на четыре категории: Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы).

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа, которая приведена в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны:</b>          С1. Простота эксплуатации;          С2. Экологичность технологии;          С3. Повышение точности анализа данных;          С4. Быстродействие;          С5. Высокий срок эксплуатации.</p>	<p><b>Слабые стороны:</b>          Сл1. Новизна модели;          Сл2. Усложнение функциональной схемы;          Сл3. Отсутствие опыта работы в программе PSCAD;          Сл4. Слабая элементная база отечественного производства;          Сл5. Высокая стоимость.</p>
<p><b>Возможности:</b>          В1. Использование данной технологии предприятиями электроэнергетического комплекса;          В2. Повсеместное использование данной автоматики для поддержания устойчивости энергосистем;          В3. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ;          В4. Развитие применения комплекса PSCAD;          В5. Развитие технологий в данной отрасли.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Проведение брифинга для Министерства энергетики для привлечения инвестиций;</li> <li>2. Разработка универсального проекта, максимальная его унификация;</li> <li>3. Приобретение новых мест на рынке для дальнейшего внедрения данной технологии</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Снижение стоимости за счет использования аналогов другого производства;</li> <li>2. Проведение лекций для просвещения и обучения персонала.</li> </ol>
<p><b>Угрозы:</b>          У1. Отсутствие спроса на новые технологии;          У2. Развитая конкуренция технологий производства;          У3. Невозможность использования на устаревших генераторах;          У4. Экономическая ситуация в стране, влияющая на спрос;          У5. Появление новых конкурентных разработок.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Снижение стоимости за счет использования аналогов другого производства;</li> <li>2. Продвижение проекта с акцентированием на его достоинствах.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Дополнительная разработка проекта с акцентом на особенности энергосистемы;</li> <li>2. Нахождение новых путей поставки оборудования и инвестиций.</li> </ol>

Анализируя полученную интерактивную матрицу проекта, видно, что достоинства внедрения современной модели АРВ превосходят недостатки, поэтому реализация данного проекта вполне возможна.

## 5.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения данного научного исследования формируется рабочая группа, в состав которой входит руководитель проекта (преподаватель) и инженер (студент-бакалавр). Затем по каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Информация о необходимом перечне этапов и работ в рамках проведения исследования, а также о распределении исполнителей по видам работ, представлена в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов и нормативных документов	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Анализ исходных данных	Инженер
	6	Работа с принципиальной схемой Томского энергорайона	Инженер
	7	Создание модели энергосистемы в программном комплексе PSCAD	Инженер

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Теоретические и экспериментальные исследования	8	Исследование встроенной модели АРВ СД	Инженер
	9	Создание отечественной математической модели АРВ СД	Инженер
	10	Сравнение отечественных и зарубежных моделей АРВ СД	Инженер
	11	Моделирование возмущений и аварийных ситуаций для проверки функционирования автоматики	Инженер
Обобщение и оценка результатов	12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
Разработка документации проекта	13	Социальная ответственность	Инженер
	14	Финансовый менеджмент	Инженер
	15	Составление пояснительной записки	Инженер

Как видно из приведенной таблицы 5.4, научно-исследовательская работа будет производиться в 15 последовательных этапов. После этого перейдем к определению времени и трудоемкости проведения тех или иных работ.

### 5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

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

$t_{mini}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

$t_{maxi}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}$$

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

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

Пример расчета:

- Руководитель – составление и утверждение технического задания:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 4}{5} = 2,8 \text{ чел.-дн.}$$

$$T_p = \frac{t_{ож}}{Ч} = \frac{2,8}{1} = 2,8 \text{ дн.}$$

- Инженер – подбор и изучение материалов и нормативных документов:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 6}{5} = 4,8 \text{ чел.-дн.}$$

$$T_p = \frac{t_{ож}}{Ч} = \frac{4,8}{1} = 4,8 \text{ дн.}$$

### 5.3 Разработка графика проведения научного исследования

Одним из методов планирования проекта является построение диаграммы Ганта. Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм

(гистограмм), который используется для иллюстрации плана, графика работ по какому-либо проекту.

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}$$

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.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}$$

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 соответствии с производственным календарем на 2016 год, суммарное количество выходных и праздничных дней в 2016 году составляет:

- При шестидневной рабочей неделе – 66 дней;
- При пятидневной рабочей неделе – 119 дней.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  необходимо округлить до целого числа. Допускается, что руководитель работает по шестидневной рабочей неделе, а инженер – по пятидневной. Все рассчитанные значения сведены в таблицу 5.5. Пример расчета:

- Руководитель – составление и утверждение технического задания:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{366}{366 - 66} = 1,22;$$

$$T_{\text{к}} = T_{\text{р}} \cdot k_{\text{кал}} = 2,8 \cdot 1,22 = 3,42 \approx 3 \text{ дн.}$$

- Инженер – подбор и изучение материалов и нормативных документов:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{366}{366 - 119} = 1,48;$$

$$T_{\text{к}} = T_{\text{р}} \cdot k_{\text{кал}} = 4,8 \cdot 1,48 = 7,1 \approx 7 \text{ дн.}$$

Таблица 5.5 – Временные показатели проведения научного исследования

№ раб.	Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
		$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожг}$ , чел-дни					
		Руковод.	Инженер	Руковод.	Инженер	Руковод.	Инженер	Руковод.	Инженер	Руковод.	Инженер
1	Составление и утверждение технического задания	2		4		2,8		2,8		3	
2	Подбор и изучение материалов и нормативных документов		4		6		4,8		4,8		7
3	Выбор направления исследований	2		3		2,4		2,4		3	
4	Календарное планирование работ по теме	1		2		1,4		1,4		2	
5	Анализ исходных данных		4		6		4,8		4,8		7
6	Работа с принципиальной схемой Томского энергорайона		3		5		3,8		3,8		6
7	Создание модели энергосистемы в программном комплексе PSCAD		8		10		8,8		8,8		13
8	Исследование встроенной модели АРВ СД		5		7		5,8		5,8		9
9	Создание отечественной математической модели АРВ СД		6		8		6,8		6,8		10

Продолжение таблицы 5.5

№ раб.	Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
		$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожі}$ , чел-дни					
		Руковод.	Инженер	Руковод.	Инженер	Руковод.	Инженер	Руковод.	Инженер	Руковод.	Инженер
10	Сравнение отечественных и зарубежных моделей АРВ СД		4		6		4,8		4,8		7
11	Моделирование возмущений и аварийных ситуаций для проверки функционирования автоматики		8		10		8,8		8,8		13
12	Оценка эффективности полученных результатов	8		10		8,8		8,8		11	
13	Социальная ответственность		2		4		2,8		2,8		4
14	Финансовый менеджмент		2		4		2,8		2,8		4
15	Составление пояснительной записки		7		10		8,2		8,2		12
Итого	Общее количество календарных дней для выполнения выпускной работы									111	
	Общее количество календарных дней, в течении которых работал инженер									92	
	Общее количество календарных дней, в течении которых работал руководитель									19	

На основании таблицы 5.5 построен календарный план-график, представленный на рисунке 5.1.

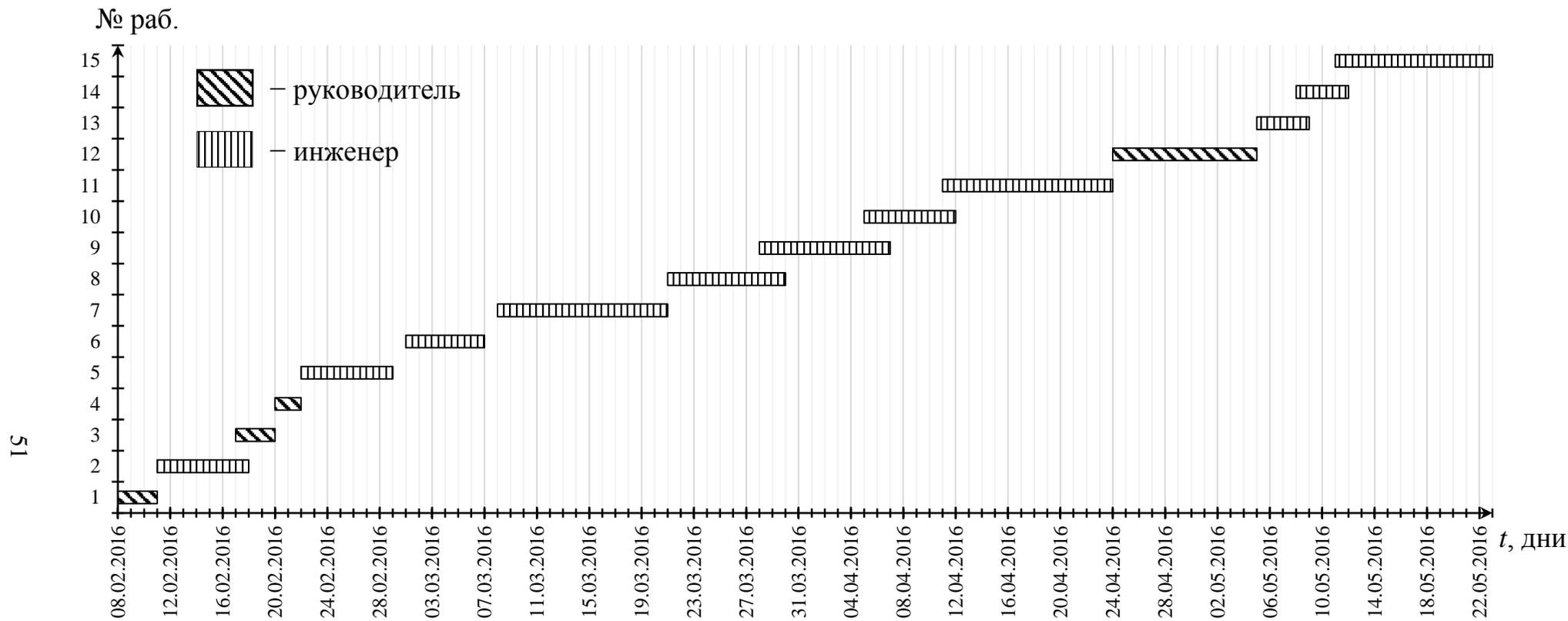


Рисунок 5.1 – Календарный план-график выполнения ВКР

## 5.4 Бюджет научно-исследовательской работы

### 5.4.1 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе будет производиться отражение всех видов расходов, связанных с выполнением научно-исследовательской работы. Основными пунктами определения бюджета НИР являются затраты по статьям:

- основная заработная плата исполнителей;
- дополнительная заработная плата исполнителей;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- амортизационные отчисления;
- накладные расходы.

В данной статье учитывается основная заработная плата научных работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина этих расходов определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИР (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12 – 20 % от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{он} \cdot T_p$$

где  $Z_{он}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 5);

$Z_{он}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{39760,5 \cdot 10,4}{248} = 1667,4 \text{ руб.},$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.:

$$Z_m = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 20389,99 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 39760,5 \text{ руб.}$$

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

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок составляет 0,2;

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для города Томска);

$M$  – 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;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 5.6).

Таблица 5.6 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней:		
• выходные дни и праздничные дни	66	119
Потери рабочего времени:		
• отпуск и невыходы по болезни	52	28
Действительный годовой фонд рабочего времени	248	219

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{мс}}$ , руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_m$ , руб.	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	20 389,99	0,3	0,2	1,3	39 760,5	1 667,4	19	31 680,6
Инженер	14 874,45	0,3	0,2	1,3	29 005,2	1 483,4	92	136 472,8
Итого:								168153,4

### 5.4.2 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы производится по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 31680,6 = 4752,1 \text{ руб.};$$
$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 136472,8 = 20470,9 \text{ руб.},$$

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

### 5.4.3 Отчисления во внебюджетные фонды

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 во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,271 \cdot (31680,6 + 4752,1) = 9873,3 \text{ руб.};$$
$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,271 \cdot (136472,8 + 20470,9) = 42531,7 \text{ руб.},$$

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

На основании пункта 1 ст. 58 закона № 212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, в 2016 году вводится пониженная ставка на размер страховых взносов – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	31 680,6	4 752,1
Инженер	136 472,8	20 470,9
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Отчисления во внебюджетные фонды		
Руководитель	9 873,3	
Инженер	42 531,7	
Итого	52 405	

#### 5.4.4 Амортизационные отчисления

В данную статью включаются все затраты, не связанные с приобретением специального оборудования необходимого для проведения работ по конкретной теме, причем учитывается только оборудование или программное обеспечение стоимостью от 40 тысяч рублей. Данные отчисления производятся для возмещения износа оборудования, приобретенного университетом для пользования студентами.

Таблица 5.9 – Стоимость необходимого программного обеспечения

№ п/п	Наименование	Кол-во единиц	Цена единицы, руб.	Общая стоимость, руб.
1	Программный комплекс PSCAD	1	154 000	154 000
Итого:				154 000

В связи с длительностью использования, учитывается данная стоимость с помощью амортизации:

$$A = \frac{C \cdot N_{\text{дн.исп.}}}{\Gamma_{\text{ср.служ.}} \cdot 365} = \frac{154000 \cdot 111}{5 \cdot 365} = 9366,6 \text{ руб.}$$

#### 5.4.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергия, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл}} &= (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{\text{нр}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}} + Z_{\text{амор}}) \cdot 0,16 = \\ &= (168153,4 + 25223 + 52405 + 9366,6) \cdot 0,16 = 40823,7 \text{ руб.}, \end{aligned}$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно принять в размере 16%.

#### 5.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательской работы

Рассчитанная величина затрат НИР является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательскую работу по каждому варианту исполнения приведен в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – Расчет бюджета затрат НИР

Наименование статьи	Сумма, руб.	%
Затраты по основной заработной плате исполнителей	168 153,4	56,81
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей	25 223	8,52

Наименование статьи	Сумма, руб.	%
Отчисления во внебюджетные фонды	52 405	17,71
Амортизационные отчисления	9 366,6	3,16
Накладные расходы	40 823,7	13,79
Бюджет затрат НИР	295 971,7	100

### 5.5 Определение ресурсоэффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. В данном разделе произведена оценка ресурсоэффективности научной разработки, т.к. определение финансовой эффективности не представляется возможным.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения модели исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i,$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности исследования представлен в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения  
проекта

Критерий \ Объект	Весовой коэффициент параметра	<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>A3</i>
Надежность работы	0,15	4	4	4
Габаритные размеры	0,1	5	4	3
Технические характеристики	0,2	5	5	3
Ремонтопригодность	0,15	2	4	4
Простота изготовления	0,2	4	3	4
Простота эксплуатации	0,2	5	4	3
Итого	1	4,2	4	3,5

Как видно из полученной таблицы 5.11, вариант микропроцессорного исполнения устройства автоматического регулирования возбуждения сильного действия синхронных генераторов обладает наилучшим интегральным показателем ресурсоэффективности.

### Заключение

В результате экономического планирования и оценке ресурсоэффективности научно-исследовательской работы «Исследование свойств и возможностей программного комплекса PSCAD для адекватного моделирования различных видов и типов автоматических регуляторов возбуждения синхронных генераторов» для выполнения автоматики была выбрана микропроцессорная модель АРВ СД, а также доказана конкурентоспособность данного технического решения в сравнении с другими вариантами исполнения.

Из проведенного морфологического анализа следует, что микропроцессорное исполнение АРВ сильного действия является наиболее перспективным и эффективным решением, т.к. в равной степени обеспечивает достойный уровень надежности, точности и простоты эксплуатации своей работы.

Также был произведен SWOT-анализ, который позволяет заключить, что преимущества внедрения современной микропроцессорной модели АРВ превосходят свои недостатки, поэтому реализация данного проекта является вполне возможной. Затем был составлен план и график необходимых работ, которые запланировали выполнение работы за 111 дней, а также посчитаны основные экономические показатели с выводом общего бюджета затрат на выполнение работы, что составило 295 971,7 рублей; основная часть бюджета приходится на затраты по основной заработной плате исполнителей – 56,81%, т.к. данная работа является преимущественно исследовательской и связана с работой в программном комплексе PSCAD. С точки зрения ресурсной эффективности для решения, поставленной в работе технической задачи был выбран наиболее подходящий и выгодный вариант, так как именно он имеет наибольший интегральный показатель ресурсоэффективности ( $I_{pi} = 4,2$ ).